UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

FERNANDA TIEMI HORIE

RETROFIT DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL PARA ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA - ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA COMERCIAL DE GRANDE PORTE

MONOGRAFIA

CURITIBA

2018

FERNANDA TIEMI HORIE

RETROFIT DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL PARA ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA - ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA COMERCIAL DE GRANDE PORTE

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Construções Sustentáveis, do Curso de Pós-Graduação Lato Sensu da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. José Alberto Cerri

CURITIBA

2018

Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba, Sede Ecoville
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Curso de Especialização em Construções Sustentáveis

TERMO DE APROVAÇÃO

RETROFIT DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL PARA ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA - ESTUDO DE CASO DE UMA EMPRESA DE GRANDE PORTE

Por

FERNANDA TIEMI HORIE

Esta monografia foi apresentada em 29 / 06 / 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Construções Sustentáveis. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

_____
Prof. Dr. José Alberto Cerri
Orientador

_____
Prof. Dr. Eduardo Leite Krüger
Membro Titular

_____
Profa. PhD. Marcia Silva de Araujo
Membro Titular

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. José Alberto Cerri, pela orientação, dedicação e disposição.

Ao Sr. Carlos Alves e à Paula Alves pela disponibilidade e oportunidade de tornar possível o desenvolvimento do estudo em sua empresa.

Ao Thiago Donha, Hustane Costa, Alessandro Donha e a toda equipe da empresa DHL Tratores por todo o auxílio.

À minha família por todo o carinho, apoio e incentivo.

Aos colegas da turma, pela companhia.

RESUMO

HORIE, Fernanda Tiemi. *Retrofit* do Sistema de Iluminação Artificial para Economia de Energia Elétrica - Estudo de Caso em uma Empresa Comercial de Grande Porte. 2018. 115 f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

Parte do consumo de energia elétrica em empresas de grande porte está relacionada ao numeroso uso de recursos artificiais de iluminação, ou seja, sistema de iluminação superdimensionado e equipamentos que geram alto consumo, ocasionando altos gastos com energia e manutenção. Em contrapartida a esse cenário, o desenvolvimento de práticas que minimizam o consumo energético nessas edificações e o lançamento de novos sistemas de iluminação com tecnologia *LED* que reduzem o consumo, oferecem opções vantajosas na hora de readequar o espaço. Além disso, a importância de um projeto luminotécnico também gera a redução de consumo e confere maior conforto e bem-estar ao usuário da empresa. Este trabalho apresenta um estudo de caso realizado em uma empresa comercial de grande porte já consolidada, para o qual foi analisado o sistema de iluminação artificial. Após identificar a ocorrência da problemática em questão foi possível realizar uma readequação por meio de um *retrofit*, buscando tornar o edifício mais eficiente energeticamente, com consequente redução no consumo de energia com iluminação.

Palavras-chave: Construções sustentáveis, iluminação, *retrofit*, eficiência energética

ABSTRACT

HORIE, Fernanda Tiemi. Retrofit of the Artificial Lighting System for Electrical Energy Efficiency - Case in Big Company. 2018. 115 f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

Part of electric energy consumption in big companies is related to the large use of artificial lighting resources, that is, oversized lighting system and equipment that generate high energy and maintenance costs. In contrast for this scenario, the development of practices that minimize energy consumption in these buildings and the launch of new LED lighting systems that reduce consumption, offer advantageous options when re-fitting the space. In addition, the importance of a lighting design also generates a reduction in consumption and more comfort and well-being to the user of the company. This paper presents a case study carried out in a large commercial company already consolidated, analyzing the artificial lighting system, identifying the occurrence of the problem in question and enabling a *retrofit*, in order to make the building more energy efficient and consequently minimize consumption with lighting.

Keywords: Sustainable buildings, lighting, *retrofit*, energy efficiency

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Iluminância 13

Figura 2 - Luminância 13

Figura 3 - Quadro eficiência luminosa de algumas lâmpadas 14

Figura 4 - Índice de Reprodução de Cor 14

Figura 5 - Tabela de Temperatura de cor 15

Figura 6 - Gráfico Vida Útil das Lâmpadas 16

Figura 7 - Lâmpada Incadescente Comum 17

Figura 8 - Lâmpada Incadescente Espelhada 18

Figura 9 - Lâmpada Halógena 18

Figura 10 - Lâmpada Fluorescente 19

Figura 11 - Tipos de Lâmpadas Fluorescentes Compactas, sendo 1 – Lâmpada circular, 2 – Compacta com tubos paralelos interconectados, 3 – Compacta com invólucro adicional 4 - Compacta com tubos paralelos interconectado 20

Figura 12 - Lâmpada a Vapor de Mercúrio de Alta Pressão 21

Figura 13 - Lâmpada Mista 21

Figura 14 - Lâmpada a Vapor de Sódio de Baixa Pressão 22

Figura 15 - Lâmpada a Vapor de Sódio de Alta Pressão 23

Figura 16 - Lâmpada de LED 24

Figura 17 - Gráfico Comparativo de custo e tempo de uso das lâmpadas 24

Figura 18 - LED Monsanto MV1 26

Figura 19 - Mapa Aéreo de Localização: cidade de Ponta Grossa 32

Figura 20 - Mapa Aéreo de Localização: Empresa DHL 33

Figura 21 - Mapa de irradiação solar – Estado do Paraná 37

Figura 22 - Mapa de irradiação solar: médias mensais – Ponta Grossa 37
Figura 23 - Planta Setorizada Pavimento Térreo Empresa DHL 38
Figura 24 - Planta Setorizada Pavimento Superior Empresa DHL 39
Figura 25 - Luminária de sobrepor - tipo 01.....40
Figura 26 - Lâmpada tubular TL5 HO 41
Figura 27 - Luminária de embutir - tipo 02.....41
Figura 28 - Lâmpada T5 41
Figura 29 - Luminária de embutir - tipo 03.....42
Figura 30 - Luminária hermética - tipo 04 42
Figura 31 - Lampada TL-D 43
Figura 32 - Luminária industrial - tipo 05 43
Figura 33 - Lâmpada Fluorescente Compacta 43
Figura 34 - Área externa com refletor 44
Figura 35 - Área externa com refletor tipo poste 45
Figura 36 - Luminária de embutir – tipo 09 45
Figura 37 - Lâmpada Fluorescente Compacta – tipo 09.....46
Figura 38 - Luminária industrial de sobrepor – tipo 10.....46
Figura 39 - Luminária spot de embutir – tipo 11 47
Figura 40 - Lâmpada PAR 20 – tipo 11 47
Figura 41 - atual Resultado Simulador Copel – Consumo sistema de iluminação artificial 51
Figura 42 - Lâmpada LEDtube Philips 53
Figura 43 - Tabela com Informações Técnicas Lâmpada Tubular LED.....53
Figura 44 - Lâmpada LEDtube Philips 54
Figura 45 - Tabela com Informações Técnicas Lâmpada Tubular LED.....54
Figura 46 - Lâmpada Essential LEDtube T8 Philips 55

Figura 47 - Informações Técnicas Lâmpada Essential LEDtube T8 Philips 55

Figura 48 - Lâmpada Empalux Alta Potência LED.....56

Figura 49 - Informações Técnicas Lâmpada Empalux Alta Potência LED.....56

Figura 50 - Lâmpada Philips LED.....57

Figura 51 - Informações Técnicas Lâmpada Philips LED.....57

Figura 52 - Lâmpada Philips LED PAR 20.....58

Figura 53 - Informações Técnicas Lâmpada Philips LED PAR 20.....58

Figura 54 - Resultado Simulador Copel – Consumo sistema de iluminação artificial após *retrofit*.....61

Figura 55 - Resultado DIALux – Setor 01: valores de iluminância do sistema de iluminação artificial.....67

Figura 56 - Resultado DIALux – Setor 02: valores de iluminância do sistema de iluminação artificial.....68

Figura 57 - Resultado DIALux – Setor 03 – valores de iluminância.....69

Figura 58 - Resultado DIALux – Setor 03 – valores de iluminância.....69

Figura 59 - Resultado DIALux – Setor 03 – valores de iluminância.....69

Figura 60 - Resultado DIALux – Setor 04 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial.....70

Figura 61 - Resultado DIALux – Setor 04 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial.....70

Figura 62 - Resultado DIALux – Setor 05 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial.....71

Figura 63 - Resultado DIALux – Setor 05 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial.....72

Figura 64 - Resultado DIALux – Setor 06 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial.....72

Figura 65 - Resultado DIALux – Setor 07 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial 73

Figura 66 - Resultado DIALux – Setor 08 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial 73

Figura 67 - Resultado DIALux – Setor 09 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial 74

Figura 68 - Resultado DIALux – Setor 10 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial 74

Figura 69 - Resultado DIALux – Setor 10 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial 75

Figura 70 - Resultado DIALux – Setor 02 – valores de iluminância após *retrofit* ..80

Figura 71 - Resultado DIALux – Setor 03 – valores de iluminância após *retrofit* ..81

Figura 72 - Resultado DIALux – Setor 03 – valores de iluminância após *retrofit* ..81

Figura 73 - Resultado DIALux – Setor 03 – valores de iluminância após *retrofit* ..82

Figura 74 - Resultado DIALux – Setor 04 – valores de iluminância após *retrofit* ..82

Figura 75 - Resultado DIALux – Setor 06 – valores de iluminância após *retrofit* ..83

Figura 76 - Resultado DIALux – Setor 07 – valores de iluminância após *retrofit* ..83

Figura 77 - Resultado DIALux – Setor 08 – valores de iluminância após *retrofit* ..84

Figura 78 - Resultado DIALux – Setor 09 – valores de iluminância após *retrofit* ..84

Figura 79 - Resultado DIALux – Setor 10 – valores de iluminância após *retrofit* ..85

Figura 80 - Resultado DIALux – Setor 11 – valores de iluminância após *retrofit* ..85

Figura 81 - Resultado DIALux – Setor 11 – valores de iluminância após retrofit ..86

Figura 82 - Resultado Simulador Copel – Consumo sistema de iluminação artificial após retrofit 02 – Revisão do Projeto Luminotécnico 89

Figura 83 - Resultado Simulador Copel – Consumo sistema de iluminação artificial após retrofit 02 – Revisão do Projeto Luminotécnico 93

Figura 83 - Cálculo de Payback – substituição por lâmpadas de LED 96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de iluminância no entorno imediato 31

Tabela 2 - Inventário do sistema de iluminação artificial existente 48

Tabela 3 - Consumo médio mensal de energia elétrica da empresa 52

Tabela 4 - Sistema de iluminação artificial após *retrofit* 59

Tabela 5 - Comparativo dos valores totais do sistema de iluminação artificial atual e após o *retrofit* 61

Tabela 6 - Iluminância no Sistema de Iluminação existente na empresa 63

Tabela 7 - Iluminância no Sistema de Iluminação após revisão 76

Tabela 8 - Sistema de iluminação artificial após *retrofit* 02 – Revisão do Projeto Luminotécnico 87

Tabela 9 - Sistema de iluminação artificial após *retrofit 01 e* 02 90

Tabela 10 - Comparativo dos valores totais do sistema de iluminação artificial atual e após o *retrofit* 01 e 02 integrados 92

Tabela 11 - Comparativo dos valores totais do sistema de iluminação artificial atual e após o *retrofit* 01 e 02 94

Tabela 12 - Levantamento de custos: lâmpadas substitutas para o sistema de iluminação artificial 95

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

COPEL – Companhia Paranaense de Energia;

K – Kelvin;

kWh – kiloWatt-hora;

LED – Light Emitting Diode;

Lm – Lumen;

Lx – Lux;

NBR – Norma Brasileira;

RGB – Red, Green, Blue;

RH – Recursos Humanos;

V – Volt;

W – Watt.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 9
1.1 OBJETIVO 10
1.1.1 Objetivos Específicos 10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 11
2.1 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 11
2.1.1 CONCEITOS BÁSICOS DE ILUMINAÇÃO 12
2.1.2 Lâmpadas 16
2.1.3 LEDs 23
2.1.4 Luminárias 27
2.2 PROJETO LUMINOTÉCNICO 28
2.2.1 DIALux para simulação de sistemas de iluminação artificial 29
2.3 NORMAS TÉCNICAS PARA ILUMINAÇÃO 29
3 METODOLOGIA 32
3.1 *RETROFIT* - SUBSTITUIÇÃO DAS LÂMPADAS EXISTENTES POR LED 34
3.2 REVISÃO DO PROJETO LUMINOTÉCNICO EXISTENTE 35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 37
4.1 *RETROFIT* 01: SUBSTITUIÇÃO DAS LÂMPADAS 52
4.2 *RETROFIT* 02: REVISÃO DO PROJETO LUMINOTÉCNICO 62
4.2.1 Análise de iluminância dos setores da situação atual 67
4.2.2 Análise de iluminância dos setores após *retrofit* 75
4.3 *RETROFIT* 01 E *RETROFIT* 02: REVISÃO DO PROJETO LUMINOTÉCNICO COM SUBSTITUIÇÃO DAS LÂMPADAS 90
4.3.1 Viabilidade para implementação das propostas de *retrofit* 01 e 02 95
5 CONCLUSÕES 96
REFERÊNCIAS 98
ANEXO A - PLANEJAMENTO DOS AMBIENTES, TAREFAS E ATIVIDADES COM A ESPECIFICAÇÃO DA ILUMINÂNCIA, LIMITAÇÃO DE OFUSCAMENTO E QUALIDADE DA COR 102

1 INTRODUÇÃO

Segundo Silva (2004) discorrer sobre lâmpadas e iluminação é algo bastante novo e ao mesmo tempo muito antigo, pois a iluminação artificial origina-se do tempo dos homens das cavernas, mais precisamente no período paleolítico quando os nossos ancestrais descobriam o fogo, que trazia luz e calor. Enquanto que atualmente a busca é justamente por eliminar o efeito do calor no ambiente, gerar economia de energia e eficiência das fontes de luz e das luminárias. Independente de ser um assunto novo ou antigo é fundamental no dia a dia do ser humano, e se tratando de espaços internos a necessidade da utilização de iluminação artificial se faz presente.

Para tanto, é necessário um cuidado especial com a instalação do sistema de iluminação na edificação, um bom projeto luminotécnico realizado por profissionais especializados resulta em um conjunto de benefícios para a edificação como um todo, para os usuários e para o proprietário do edifício. Por exemplo, não basta apenas colocar muitas lâmpadas em um ambiente, ou fazer o uso de lâmpadas de alta potência, pois muita luz não é sinônimo de um ambiente bem iluminado, isso acarretará no desperdício de energia, e pode ocasionar desconforto ao usuário. Essa é uma das grandes problemáticas em relação à iluminação, o superdimensionamento e a falta de um projeto luminotécnico adequado.

De acordo com Caddet (1995), a iluminação, de modo geral, é responsável por aproximadamente 30% do total de eletricidade exercida nos edifícios comerciais, estima-se que aproximadamente 2/3 desse valor poderia ser economizado se fosse implantado sistemas mais eficientes energeticamente de iluminação, correspondendo à uma economia total de 20% no consumo de eletricidade da edificação. Por meio de estudos realizados na Holanda, Weersink e Meyer (1996) também afirmaram que a utilização de sistemas de iluminação com melhor eficiência energética podem reduzir o consumo do edifício em até 20%.

Portanto, buscando atingir uma melhor eficiência energética e alternativas que reduzam o consumo de energia elétrica voltada à iluminação das edificações de grande porte do ramo empresarial e industrial já consolidadas, visto que estas possuem um alto consumo de energia voltado à iluminação, foi realizado um estudo para *retrofit* em uma empresa de revenda de tratores. Comprovando que é possível

obter resultados satisfatórios com a simples troca de lâmpadas sem modificar a qualidade de iluminação do local e valorizando a importância de um projeto luminotécnico.

1.1 OBJETIVO

Desenvolver um estudo de *retrofit* no sistema de iluminação artificial na empresa de tratores DHL Valtra, para reduzir custos e aumentar a eficiência energética.

1.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- realizar um levantamento das instalações fabris em termos de projeto arquitetônico, e suas disposições internas, com foco na iluminação, para o entendimento das funções e compreensão dos usos, necessidades e limitações de cada espaço atualmente;
- obter comprovação de que é possível, por meio da troca do sistema de iluminação mais eficiente, reduzir os custos com iluminação artificial dentro da empresa;
- realizar uma revisão do projeto luminotécnico, propondo a readequação do espaço, com redução da quantidade de luminárias excedentes e, consequentemente, maior eficiência energética e menor consumo;
- realizar um comparativo entre o espaço atual e após a readequação, utilizando *softwares* voltados a iluminação artificial, por meio da simulação dos espaços.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Objetivando adquirir as diretrizes projetuais para o estudo de caso, impossibilitando quaisquer equívocos na implementação de soluções sustentáveis, e obter um maior conhecimento, fez-se necessário o resgate histórico do sistema de iluminação artificial até os dias de hoje, com a incorporação das lâmpadas de LED, que foram utilizadas como equipamento de *retrofit* do sistema de iluminação artificial e também, as normas técnicas que auxiliam nas soluções para o estudo de caso na empresa.

Além disso, a conceituação de uma arquitetura que segue um projeto luminotécnico como forma de obter apenas a iluminação artificial necessária para cada ambiente e otimizar o uso da iluminação natural, proporcionando um ambiente agradável é fundamental para traçar as diretrizes aplicáveis.

2.1 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Para Ambrózio (2013) luz é o que se vê e nos faz ver, a qual representa a segurança, beleza, funcionalidade, e também modela espaços e cria ambientes, fazendo parte de nossas vidas. A primeira luz artificial vista foi o fogo, porém foi em 1879, após muitos anos de estudos que o empresário e cientista Thomas Edison viabilizou a primeira lâmpada incandescente comercial. As lâmpadas nada mais são que dispositivos responsáveis por converter energia elétrica em luz visível e calor no caso das lâmpadas incandescentes. Diferente dessas, as lâmpadas de LED não geram luz por meio de filamentos e consequentemente o calor é inexistente nesses sistemas. Para que a iluminação possa ser reproduzida se faz necessário o uso de luminárias que direcionam e distribuem a luz para a superfície de interesse, podendo ser direta ou indireta. Por vezes, dependendo da lâmpada utilizada, também é necessário o uso de reatores para o funcionamento.

Gastar menos e gerar mais é uma das frases que norteiam a busca por lâmpadas eficientes que está cada vez maior, e com o avanço da tecnologia, surgiram diversos tipos de lâmpadas com diferentes usos e aplicações. Tais lâmpadas eficientes economizam energia devido à alta eficiência luminosa e da manutenção do fluxo luminoso durante o seu período de vida. Se tratando de sistema de iluminação em um

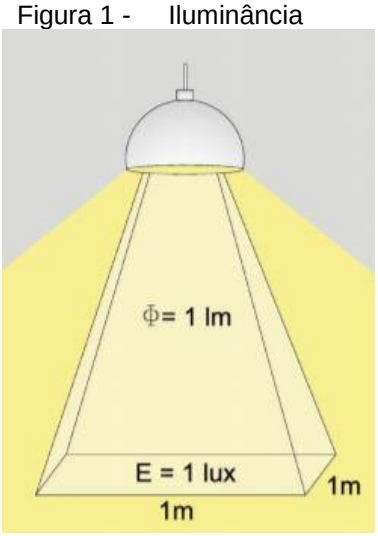
espaço, segundo Lamberts *et al*. (2014) a eficiência energética representa a capacidade de transformação da menor quantidade de energia possível, que corresponde à produção de luz visível, medida em lúmem/watt (lm/W), para geração da máxima quantidade de trabalho possível. Para isso, a iluminação em cada ambiente deve ser adequada para a realização das tarefas visuais executadas pelos ocupantes, por meio da otimização dos níveis de iluminação, garantindo uma iluminância suficiente e uma boa distribuição, do índice de reprodução de cor e temperatura de cor da fonte luminosa, contrastes adequados, ausência de ofuscamento e bom padrão e direção de sombras. Essas condições asseguram o conforto visual no ambiente.

2.1.1 CONCEITOS BÁSICOS DE ILUMINAÇÃO

Para obtenção de um sistema de iluminação eficiente e realização do *retrofit* em um determinado espaço é importante ter conhecimento sobre algumas noções básicas das características técnicas de lâmpadas e luminárias, para tanto, abaixo estão essas definições, segundo o Manual de Iluminação (PROCEL, 2011) e o Manual ELEKTRO de Eficiência Energética (ELEKTRO, 2014):

- fluxo Luminoso: representa a potência luminosa emitida ou observada que gera resposta visual. Também pode ser definida como a energia emitida ou refletida, por segundo, em todas as direções, sob a forma de luz. A unidade é o lumen (lm).
- intensidade Luminosa: é a concentração de luz emitida por segundo em uma determinada direção por uma fonte luminosa, contida num ângulo sólido. A unidade é a candela (cd).
- iluminância (E): é o fluxo luminoso que incide numa superfície por unidade de área (m^2) ou, a densidade de luz necessária para realizar uma determinada tarefa visual. A unidade é o lux, em que um lux corresponde à iluminância de uma superfície plana de um metro quadrado de área, sobre a qual incide perpendicularmente um fluxo luminoso de um lúmen, Figura 1. Existe uma norma técnica específica para valores de iluminância, a NBR ISSO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) - Iluminância de interiores, na qual os valores aparecem em forma de tabela por atividade.

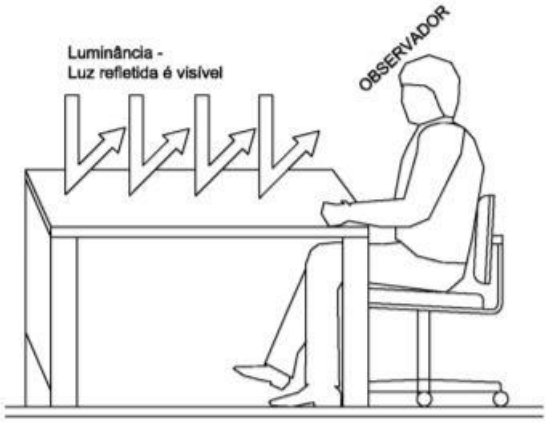
Figura 1 - Iluminância



Fonte: Manual de Iluminação – PROCEL (2011)

- luminância (L): é uma intensidade luminosa que atinge o observador, proveniente de reflexão de uma superfície ou de uma fonte de luz ou, de um feixe de luz no espaço. De maneira mais simples e coloquial é o brilho do objeto percebido pelo olho humano. Sua unidade é candela por metro quadrado (cd/m²), Figura 2.

Figura 2 - Luminância

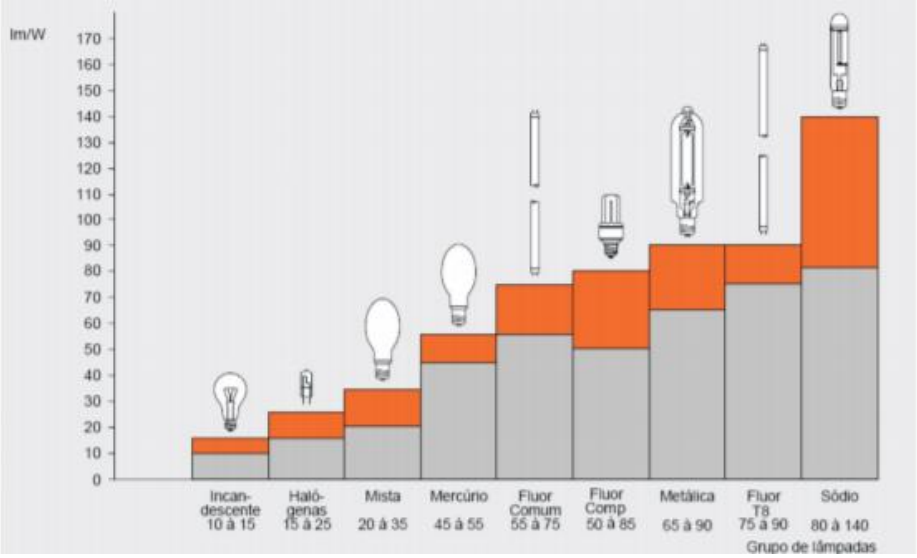


Fonte: Manual de Iluminação – PROCEL (2011)

- eficiência da luminária: é a razão entre os lumens emitidos por uma luminária e os lumens emitidos pela lâmpada, em uso da luminária.

- eficiência luminosa: é a relação entre o fluxo luminoso emitido e a energia elétrica consumida por unidade de tempo (potência) por uma fonte de luz. Quanto maior for a eficiência luminosa do sistema de iluminação, menor é o seu consumo energético, conforme pode ser observado na Figura 3, na qual a cor laranja representa os valores de eficiência luminosa de cada tipo de lâmpada. A unidade é em lumens por *Watt* (lm/W).

Figura 3 - Quadro eficiência luminosa de algumas lâmpadas



Fonte: Manual de Iluminação – PROCEL (2011)

- índice de Reprodução de Cor (IRC): indica a capacidade de reprodução da cor de um objeto diante de uma fonte de luz. O IRC é expresso em uma escala de 0 a 100%, em que quanto mais alto o valor, melhor é a fidelidade das cores, Figura 4. O valor é expresso em porcentagem (%).

Figura 4 - Índice de Reprodução de Cor

Fonte: Empalux - Informações Luminotécnicas (2018)

- temperatura de Cor (Cromaticidade): é uma característica da luz que expressa a cor aparente da luz emitida. Quanto mais alta a temperatura da cor, mais azul, ou seja, mais clara é a tonalidade de cor da luz. Quanto menor, mais vermelha, Figura 5. A unidade de medida é o Kelvin (K).

Figura 5 - Tabela de Temperatura de cor

Temperatura	Fonte de Luz
1.200 K	Luz do fogo
1.700 K	Candeeiro/Luz de vela
2.000 K	Lâmpada de vapor de sódio (iluminação pública)
2.680 K	Lâmpada incandescente comum de 40W
3.000 K	Lâmpada incandescente comum de 200W
3.000 K	Lâmpada fluorescente "branca quente"
3.200 K	Nascer/Pôr do Sol
3.200 K	Lâmpada de estúdio photoflood tipo B (halógena)
3.400 K	Lâmpada de estúdio photoflood tipo A
4.000 K	Lâmpada de flash (bulbo)
4.100 K	Luz do luar em noite de lua cheia
4.500 K	Arco voltáico (projetores antigos de cinema)
5.000 K	Lâmpadas de xenônio (projetores atuais de cinema)
5.000 a 5.500 K	Luz do sol ao amanhecer ou entardecer
5.500 a 5.600 K	Flash eletrônico
5.500 a 6.000 K	Luz do sol durante a maior parte do dia
5.800 K	Céu aberto ao meio-dia
6.000 K	Lâmpada fluorescente "branca fria"
6.000 K	Lâmpada de mercúrio
6.500 K	Lâmpada fluorescente "luz do dia"
6.500 a 7.500 K	Céu encoberto

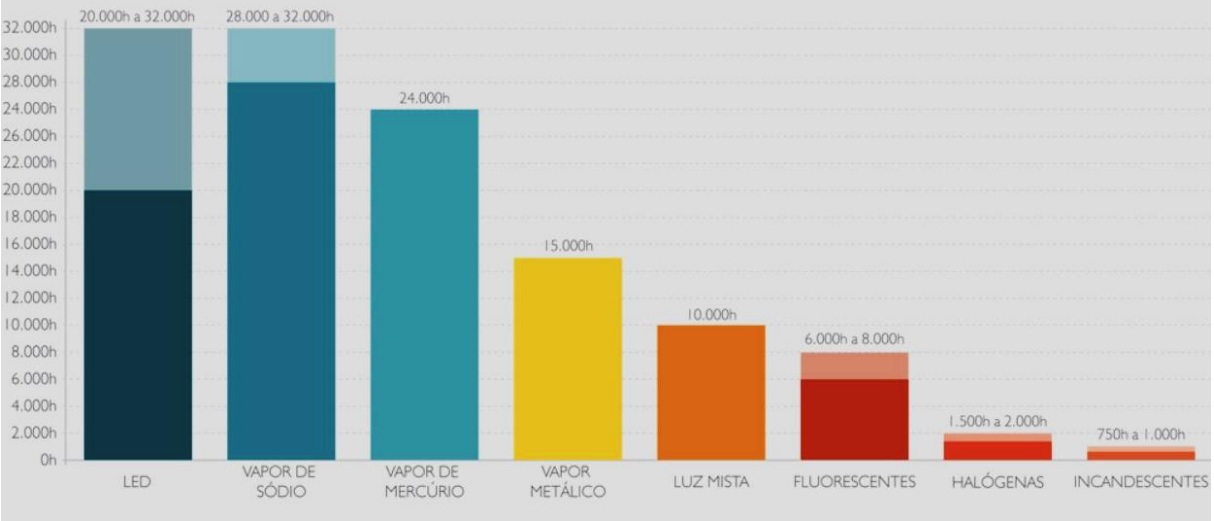
Fonte: Empalux – Informações Luminotécnicas (2018)

- ofuscamento: é o prejuízo na função visual causado pela presença de uma fonte de luz localizada no campo visual. Podendo ser direto, quando

a visualização é direta da lâmpada, ou indireto, quando é refletido através de superfícies refletoras.

- vida útil: é a expectativa de durabilidade de uma fonte luminosa, Figura 6. Considera-se que é o número de horas decorrido quando se atinge 70% da quantidade de luz inicial devido à depreciação do fluxo luminoso de cada lâmpada. É possível observar esses números de acordo com o gráfico apresentado, no qual apresentam cores distintas para cada tipo de lâmpada que correspondem aos valores em horas de suas vidas úteis, e para as barras que apresentam duas tonalidades, a cor mais clara representa a sua variação média de valores.

Figura 6 - Gráfico Vida Útil das Lâmpadas



Fonte: Empalux – Informações Luminotécnicas (2018)

2.1.2 Lâmpadas

A eficiência de um sistema de iluminação artificial está diretamente relacionada à eficiência luminosa da fonte de luz, que se caracteriza pela relação entre o fluxo luminoso emitido e a potência requerida. Outro aspecto importante a se considerar para obter melhor eficiência do sistema é a vida útil das lâmpadas (ELEKTRO, 2014).

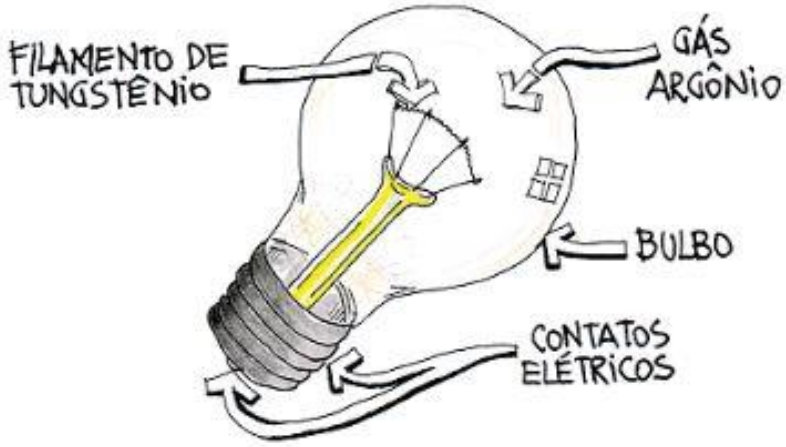
As lâmpadas são classificadas segundo seu mecanismo de produção de luz. Atualmente, existem diferentes tipos de lâmpadas para as mais diversas aplicações, porém elas são classificadas em dois tipos básicos: lâmpadas de irradiação por efeito

térmico, as incandescentes e lâmpadas de descarga em gases e vapores, que abrangem as fluorescentes, vapor de mercúrio, de sódio entre outras.

Lâmpadas Incandescentes

A lâmpada incandescente para gerar a luz utiliza o fenômeno da incandescência, na qual uma corrente elétrica percorrendo um filamento sob vácuo, produz calor e luz visível. É a forma mais antiga de tecnologia de iluminação elétrica e pouco vista hoje no mercado. Entre as suas vantagens estão o custo inicial baixo, o seu tamanho reduzido, funcionamento imediato e o fato de não haver necessidade de aparelhagem auxiliar. Porém, em contrapartida a vida útil é bastante curta, tem grandes chances de ocorrer o ofuscamento, pela sua alta luminância, e a sua eficiência luminosa é bem baixa, pelo fato de haver uma dissipação de calor muito alta que gera o desperdício de energia. Elas se dividem em três tipos: incandescentes comuns (Figura 7), refletoras ou espelhadas e halógenas.

Figura 7 - Lâmpada Incandescente Comum



Fonte: Lamberts *et al*. (2014)

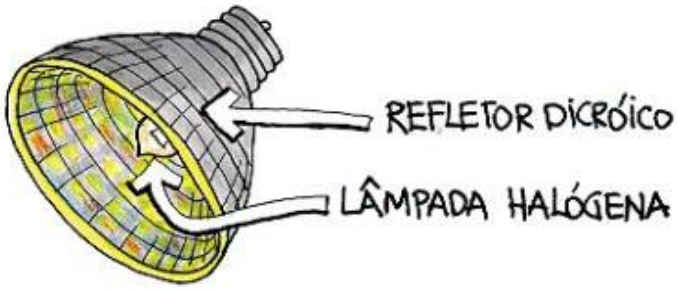
A lâmpada refletora ou espelhada (Figura 8) é composta por um refletor interno que melhora o direcionamento da luz, podendo ser parabólico ou elíptico. Esse redirecionamento da luz é feito através de um ponto focal à frente da parte frontal da lâmpada, pode vir a melhorar a eficiência da instalação, quando reduz a absorção da luz em alguns tipos de luminárias. Muito positivo quando utilizada em luminárias embutidas, por reduzir a perda de luz no interior da mesma.

Figura 8 - Lâmpada Incandescente Espelhada

Fonte: Lamberts *et al*. (2014)

A lâmpada hálógena, também chamada de lâmpada de tugstênio-halógeno, é uma lâmpada de alta pressão que contém gases halógenos, como o iodo ou o bromo, permitindo assim que os filamentos operem em temperaturas mais altas e consequentemente sejam mais eficientes em relação às incandescentes comuns. Algumas de suas vantagens são a luz mais branca e uniforme durante seu tempo de vida, menores dimensões e vida útil mais longa.

Figura 9 - Lâmpada Halógena



Fonte: Lamberts *et al*. (2014)

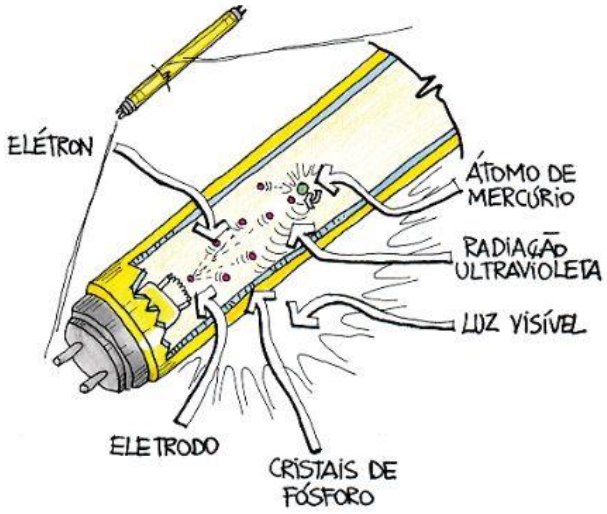
Lâmpadas de descarga

As lâmpadas de descarga seguem um princípio de funcionamento diferente das incandescentes. O funcionamento se dá por um gás inerte contido no interior da lâmpada que é ionizado por meio da corrente fornecida pelos elétrodos, em conjunto

com o vidro que é coberto com um pó de composto de fósforo que é excitado com a radiação ultravioleta proveniente da ionização dos gases, e desta forma emite luz visível. Essas lâmpadas requerem alguns dispositivos auxiliares, como reatores e *starters* para o seu funcionamento. Entre essa classificação estão as lâmpadas fluorescentes comuns, as compactas e as lâmpadas de vapor de mercúrio.

As lâmpadas fluorescentes, Figura 10, são em sua maioria em forma tubular, com um eletrodo em cada ponta, contendo vapor de mercúrio me baixa pressão. O reator que acompanha esse sistema tem como função fornecer alta voltagem inicial para começar a descarga e, rapidamente limitar a corrente para manter a descarga com segurança. O *starter* tem a finalidade de proporcionar a tensão necessária para haver a descarga inicial do gás, por meio de pulsações de corrente, ionizando o caminho da descarga para que a lâmpada inicie o seu funcionamento. Entre as suas vantagens estão a sua boa eficiência luminosa, vida média alta e baixo risco de ofuscamento por possuir baixa luminância. E as mais comuns são a T8, a T5 e a T12.

Figura 10 - Lâmpada Fluorescente



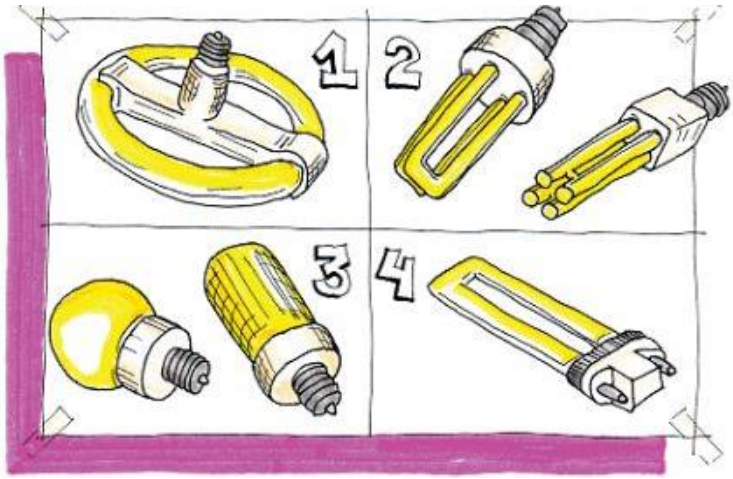
Fonte: Lamberts *et al*. (2014)

As fluorescentes compactas, Figura 11, são compostas por um pequeno bulbo fluorescente, e em alguns modelos vem acompanhados dos dispositivos de partida (reatores e starters). São divididas em quatro tipos básicos, segundo Lamberts *et al*. (2014):

- Forma circular com diâmetro padrão (26mm) com starter e reator incorporados;
- Forma compacta com dois ou mais tubos paralelos interconectados, com starter e reator incorporados;
- Forma compacta com invólucro adicional com reator e starter incorporados;
- Forma compacta com dois ou mais tubos paralelos interconectados sem dispositivos de partida incorporados.

Entre elas existem ainda as lâmpadas fluorescentes compactas com reatores magnéticos e com reatores eletrônicos, sendo as segundas mais eficientes.

Figura 11 - Tipos de Lâmpadas Fluorescentes Compactas, sendo 1 – Lâmpada circular, 2 – Compacta com tubos paralelos interconectados, 3 – Compacta com invólucro adicional 4 - Compacta com tubos paralelos interconectado



Fonte: Lamberts *et al*. (2014)

As lâmpadas a vapor de mercúrio, Figura 12, consistem em um bulbo de vidro resistente, com um tubo de descarga feito de quartzo que suporta temperaturas elevadas. O funcionamento ocorre pelo argônio e mercúrio, localizados no interior desse tubo, que estão submetidos à alta pressão e quando vaporizado, produz o efeito luminoso. Assim como a lâmpada fluorescente, a lâmpada de vapor de mercúrio também necessita de um reator específico, o qual controla a corrente e tensão elétrica. Elas possuem boa eficiência luminosa, alta duração, pequeno volume, luminância média, que evita o ofuscamento, e a aparência da sua luz é branca-azulada, porém possui baixa qualidade de reprodução de cores, além do seu custo inicial ser bastante elevado e um tempo longo para o seu acendimento. É indicada para iluminação de

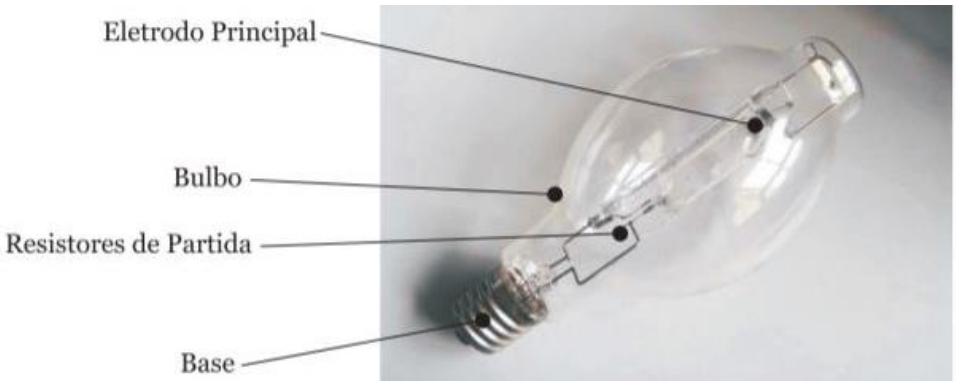
grandes áreas internas ou externas e comumente vista como iluminação pública, industrial, em jardins e fachadas de edifícios.

Figura 12 - Lâmpada a Vapor de Mercúrio de Alta Pressão

Fonte: Viana *et al*. (2012)

Um tipo especial dessa lâmpada é a luz mista, Figura 13, que consiste em um bulbo fluorescente com um tubo de descarga de mercúrio ligado em série com um filamento incandescente. Não necessita de reator para funcionar, pois o filamento além de emitir a energia luminosa, também funciona como elemento de estabilização da lâmpada, permitindo que seja ligada diretamente na rede. A radiação das duas fontes de misturam e resultam em uma luz branca difusa de cor agradável.

Figura 13 - Lâmpada Mista



Fonte: Viana *et al*. (2012)

As lâmpadas a vapor de sódio são divididas em duas classes, de baixa ou alta pressão. Elas necessitam de aparelhagem auxiliar para o seu funcionamento, e levam de cinco a oito minutos para atingir 80% do seu fluxo luminoso máximo Lamberts *et al*. (2014). Além disso, o seu custo inicial é elevado e a sua duração média é considerável.

As lâmpadas a vapor de sódio de baixa pressão, Figura 14, possuem um tubo de descarga no seu interior em forma de “U”, com um eletrodo em cada extremidade, e contém gases argônio e neônio em baixa pressão e sódio metálico. A descarga elétrica na partida inicia-se com o gás neônio, o qual produz um fluxo luminoso rosa e eleva a sua temperatura, causando a vaporização do sódio, em aproximadamente 15 minutos, a lâmpada atinge a sua condição normal e emite uma radiação monocromática de cor amarela. Entre as suas características principais estão a elevada eficiência luminosa, longa vida média, e devido ao fato de sua luz ser monocromática, a aplicação ocorre em grandes espaços externos, como estacionamentos e autoestradas, onde a reprodução da cor não se faz necessária.

Figura 14 - Lâmpada a Vapor de Sódio de Baixa Pressão

Fonte: Viana *et al*. (2012)

As lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão, Figura 15, possuem no tubo de descarga interno de excesso de sódio. A reprodução de cores é um pouco melhor que a de baixa pressão e apresenta uma boa eficiência luminosa. A tonalidade da luz é alaranjada agradável e a sua aplicação se dá em espaços externos e indústrias com grandes alturas.

Figura 15 - Lâmpada a Vapor de Sódio de Alta Pressão

Fonte: Viana *et al*. (2012)

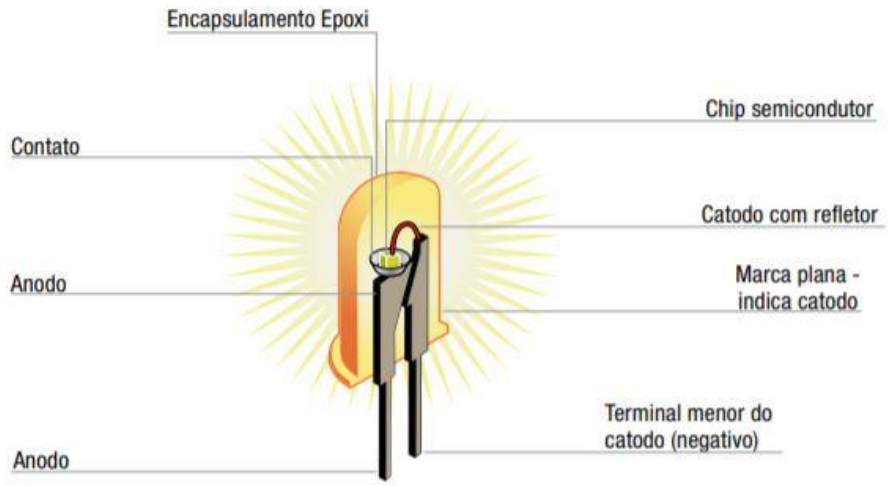
2.1.3 LEDs

O LED vem das siglas em inglês *Light Emitting Diode* (Diodo emissor de Luz), é um diodo semicondutor emissor de luz. Ele possui um terminal chamado cátodo e outro chamado ânodo que, quando polarizado, permitem a passagem de corrente elétrica, gerando luz (LABORATÓRIO DE ILUMINAÇÃO, 2012).

Entre as suas características principais estão a sua alta vida útil e eficiência energética, baixo custo de manutenção e baixo consumo de energia, tamanho reduzido, variedade de cores, efeito visual máximo (possibilidade de colorir superfícies com luz), alta resistência à choques e vibrações, luz dirigida, acendimento imediato, pequena dissipação de calor, não emitem radiação ultravioleta e assim não atraem mosquitos e insetos, operam em baixa tensão, oferecem segurança para os usuários em sua instalação e operação e são ecologicamente corretos (ELEKTRO, 2014).

No mercado, existem modelos de lâmpada de LED para iluminação geral, interna e externa, Figura 16, e também sinalizadores de emergência, retro iluminação para letreiros, facho concentrado, iluminação de destaque, sinalização, substituição de *neons* e outros. Ainda, *dimmers* especiais para controle da luminosidade e cor.

Figura 16 - Lâmpada de LED



Fonte: Elektro (2014)

Em relação ao custo, ainda é mais alto que as demais existentes no mercado, porém considerando o baixo custo de sua manutenção, em função da maior durabilidade e a redução do custo na conta de luz, o resultado final é compensado (INMETRO, 2016). O que é possível de se observar no esquema (Figura 17).

Figura 17 - Gráfico Comparativo de custo e tempo de uso das lâmpadas

Fonte: INMETRO (2016)

Outro fator de importante destaque, em se tratando dessas lâmpadas, é o seu descarte. Por sua alta durabilidade, ela possui menor índice de descarte no meio ambiente. Além disso, ao final da sua vida útil, os seus componentes podem ser reciclados, seguindo a logística reversa prevista para eletroeletrônicos, onde a lâmpada de LED deve ser desmembrada e cada tipo de material deve ser destinado ao seu tipo de reciclagem específico (SEGA, 2012).

Estado da Arte do LED

Para uma melhor compreensão do LED faz-se necessário o resgate histórico de desenvolvimento, aos novos avanços no mercado e as aplicações, segundo Schubert (2006).

A sua descoberta teve início em 1891, quando o químico norte-americano Eugene G. Acheson criou uma forma de produzir e vender o carbeto de silício ou carborundo (SiC) a baixo custo. Ele utilizou um forno, no qual o vidro e o carvão reagiram a alta temperatura e produziram o SiC, o qual possuía dureza elevada, baixo custo e assim era utilizado na indústria como material abrasivo.

No início do século XX foi descoberto o fenômeno da eletroluminescência, o qual consiste na passagem de uma corrente elétrica por um material no estado sólido para obtenção de luz emitida pelo material submetido a altas temperaturas. Esse fenômeno foi visto pela primeira vez em 1907 num diodo de carborundo, por Henry J. Round. Após vinte anos, o cientista e inventor russo Oleg Vladimirovich Losev publicou um artigo demonstrando ter descoberto a importância do LED para o mundo moderno como meio de comunicação de som e de imagem. Por meio de um de seus experimentos, verificou que a luminescência emitida se dava por incandescência, colocando gotas de benzeno sobre a amostra de luz, e obteve como resultado que a iluminação não era produzida pela incandescência, e sim por um processo de descarga eletrônica fria, pois a taxa de evaporação na amostra era muito baixa.

Em 1961, quando os cientistas da Texas Instruments (TI) Gary Pittman e Bob Biard desenvolviam um diodo de Esaki, criaram o LED infravermelho. Em 1962, o professor e engenheiro eletrotécnico Nick Holonyak Junior, na General Eletric

Company (GE), criou o primeiro LED a emitir luz no espectro visível, de cor vermelha, ficando conhecido por ser o pai do diodo emissor de luz visível.

A comercialização ocorreu a partir de então, embora a GE produzisse poucas unidades de LED, devido ao preço elevado e por não existir mercado para este produto. No início da década de 1960, quando a empresa “The Monsanto Co.” em parceria com a “Hewlett Packard Co.” (HP), começaram a produção em massa LEDs de fosfeto de arsenieto de gálio. Alguns anos mais tarde, a Monsanto produziu o “Monsanto MV1”, Figura 18, considerado o primeiro LED a ser produzido em massa.

Figura 18 - LED Monsanto MV1

Fonte: Industrial Alchemy (2010)

No final da década de 1960, o mercado de LED era constituído por *displays* numéricos, que tinham aplicação apenas em relógios e calculadoras. Porém, nessa mesma época a Radio Corporation of America (RCA) foi uma das pioneiras a produzir televisões a cores, fazendo o uso de tubos de raios catódicos. Nesse cenário, o diretor da divisão de pesquisa de materiais da RCA, James Tietjen, queria criar uma televisão a cores que pudesse ser colocada na parede, para isso precisaria de uma tela que tivesse *pixels* nas cores vermelho, verde e azul (Red, Green, Blue - RGB). Como já existiam o LED vermelho e verde, Paul Maruska, um jovem pesquisador foi

convencido por Tietjen a criar o LED azul através de filme de nitreto de gálio (GaN), e consegue demonstrar com auxílio de um professor que é possível a eletroluminescência de cor verde e azul num fino filme de GaN. Foi então que em 1993, os cientistas Shuji Nakamura e Takashi Mukai, criam os primeiros diodos emissores de luz de cor azul e verde, obtendo eficiências de 10%, desenvolveram LEDs, *lasers*, e cristais GaN, além de desenvolverem a cor branca.

Com isso, foi possível a utilização do LED na iluminação. Desde então, há um avanço considerável nessa área, visando melhorias em alguns aspectos dessa tecnologia.

2.1.4 Luminárias

A luminária além de ser uma peça decorativa, tem como função sustentar a lâmpada, garantir a conexão elétrica e direcionar o fluxo luminoso (ELEKTRO, 2012). Uma luminária eficiente e adequada otimiza o desempenho do sistema de iluminação artificial. Portanto, é importante avaliar sua eficiência e características de emissão (LAMBERTS *et al*., 2014). Por meio do material e da forma apropriada, a luminária pode maximizar o uso da luz emitida pela lâmpada, e assim, diminuir a carga total da iluminação.

Segundo Szokolay (1980), a eficiência de uma luminária pode ser obtida pela sua fração de emissão de luz (FEL) ou rendimento, dada pela relação entre a luz total emitida pela luminária e a luz total gerada pela lâmpada. Isto se explica pelo fato de uma parte da luz emitida pela lâmpada ser absorvida pela luminária, e o restante emitido para o espaço. O valor da fração depende dos materiais da construção, da refletância das superfícies, da forma, dos dispositivos utilizados para proteger as lâmpadas e do estado de conservação. A luminária, portanto, pode modificar o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas, desviá-lo para outras direções ou reduzir a quantidade de luz para diminuir o ofuscamento (LAMBERTS *et al*., 2014). Assim sendo, uma luminária eficiente deve se preocupar em preservar a máxima eficiência, atentar para o controle de ofuscamento e distribuição da luz.

Outra consideração importante é a manutenção, que deve ser feita periodicamente, visando a limpeza do sistema. Pois, com a poeira acumulada na luminária, a intensidade de fluxo luminoso é reduzida, e a iluminação no espaço

diminui. Se não houver essa manutenção, pode ocorrer 20% de perda de luz no ambiente (ELEKTRO, 2012).

2.2 PROJETO LUMINOTÉCNICO

O projeto luminotécnico é o conjunto de diversas variáveis que se complementam no espaço. É uma conjunção dos fatores que influenciarão a iluminação do ambiente (SILVA, 2009). Para a sua execução em um determinado ambiente, seja ele interno ou externo, é importante considerar além de suas características aplicadas, e função de iluminar, a fisiologia humana, a psicologia, segurança, arte e outros aspectos que a luz é capaz de transmitir. Desse modo, se faz importante analisar os efeitos comportamentais de um indivíduo frente a um sistema de iluminação, ou seja, dos efeitos sobre o indivíduo e o ato de ver (COSTA, 2005). Dentre os objetivos de um projeto luminotécnico, é importante se destacar a segurança, tanto no que se diz a respeito à segurança pública, quanto para a realização de atividades, devendo haver, portanto iluminação em quantidade e qualidade, a funcionalidade do espaço aliada a preocupação estética. A economia de energia, e a preocupação direta com as questões ambientais e energéticas.

A relação entre um bom projeto luminotécnico por profissionais especializados e o espaço pode ser vista em números, no qual um projeto luminotécnico bem desenvolvido pode melhorar o desempenho de uma organização em 15%, segundo Pascoalini e Lellis (2011), visto que atualmente aproximadamente 75% da iluminação de escritórios, por exemplo é baseada em iluminação ineficiente e desatualizada.

Existem alguns órgãos importantes que auxiliam e estimulam o desenvolvimento dessa área na arquitetura, a Associação Brasileira de Arquitetos de Iluminação (ASBAI) e a Comissão Internacional de Iluminação (CIE), que atuam juntamente com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e a Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABILUX). Além disso, foram desenvolvidos *softwares* que permitem simular as condições de iluminação natural e artificial em um ambiente, como o *Radiance, Ecotect Analysis, Apolux, Troplux, Lux, Relux e Dialux*, disponíveis hoje no mercado.

2.2.1 DIALux para simulação de sistemas de iluminação artificial

O DIALux é um *software* indicado como ferramenta de simulação energética em edificações (*Building Energy Software Tools Directory*) do Departamento de Energia dos Estados Unidos, disponível na versão gratuita e em constante atualização com o desenvolvimento atual de iluminação.

Ele se integra com outros programas aplicados em projetos luminotécnicos, como por exemplo o *AutoCAD*, permitindo a sua importação e exportação, para modelagem dos ambientes a serem analisados. É utilizado para a simulação e cálculos de iluminação em diversas situações, para áreas internas e externas de uma edificação, incluindo iluminação artificial e natural. Apresenta mais de cem fabricantes de luminárias e lâmpadas, os quais disponibilizam arquivos fotométricos e *plug-ins* compatíveis com o programa.

Ele utiliza como parâmetro a NBR ISSO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) para gerar os seus resultados de cálculo de níveis de iluminância ideais, indicando se a simulação do sistema apresenta-se dentro desses padrões, uniformidade e apresenta relatórios com densidade de potência instalada, calcula a quantidade de conjuntos necessários para atingir o nível de iluminância exigido no plano de trabalho e outros.

2.3 NORMAS TÉCNICAS PARA ILUMINAÇÃO

Para otimizar a qualidade do trabalho, é necessária uma iluminação adequada que permita o desenvolvimento de uma atividade com garantia de segurança, qualidade de vida e execução (MATTEDE, n.d.), além da escolha do tipo de lâmpada adequada e suas quantidades. Atualmente, existem diversos tipos de lâmpadas, devendo-se especificá-las corretamente para cada uso e função.

Para o Ministério do Trabalho, a iluminação é considerada um risco ambiental físico e dessa forma, o órgão regulamenta as condições ambientais de trabalho por meio da NR-17 – Norma Regulamentadora de Ergonomia. Locais de trabalho que não possuem iluminação adequada para a realização de atividades causam fadiga e sobrecarga na visão do observador e comprometem o desempenho e a eficiência do trabalho. Dessa forma, a norma apresenta os seguintes artigos a respeito de iluminação (MTPS, 1990):

- “17.5.3. Em todos os locais de trabalho deve haver iluminação adequada, natural ou artificial, geral ou suplementar, apropriada à natureza da atividade. ”
- “17.5.3.1. A iluminação geral deve ser uniformemente distribuída e difusa. ”
- “17.5.3.2. A iluminação geral ou suplementar deve ser projetada e instalada de forma a evitar ofuscamento, reflexos incômodos, sombras e contrastes excessivos. ”
- “17.5.3.3. Os níveis mínimos de iluminamento a serem observados nos locais de trabalho são os valores de iluminâncias estabelecidos na NBR 5413, norma brasileira registrada no INMETRO. ”
- “17.5.3.4. A medição dos níveis de iluminamento previstos no subitem 17.5.3.3 deve ser feita no campo de trabalho onde se realiza a tarefa visual, utilizando-se de luxímetro com fotocélula corrigida para a sensibilidade do olho humano e em função do ângulo de incidência. ”

Como indicado pela NR-17 e afim de garantir o bem-estar do usuário e o desempenho de trabalho, foi criada a NBR 5413 (ABNT, 1992) que determina os parâmetros de iluminância para projetos de interiores, porém, esta norma foi cancelada e substituída em 2013 pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) – Norma Brasileira de Iluminância de interiores. A qual estabelece os valores referenciais mínimos de iluminância em serviço para iluminação artificial em ambientes internos, domésticos, comerciais, industriais, lazer e outros, definindo “iluminância” como a quantidade de luz incidente em uma superfície.

A NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) leva em consideração não apenas a luminância e sua distribuição, mas o grau de ofuscamento, o índice de reprodução de cor, a aparência da cor, a direcionalidade da luz, a cintilação e efeito estroboscópio, a luz natural e a manutenção do sistema de iluminação para diversos locais e tipos de tarefas. Dessa forma, ela é considerada mais complexa que a anterior, NBR 5413 (ABNT, 1992), contendo maior abrangência de fatores que influenciam um projeto luminotécnico adequado, razão pela qual a substitui.

No anexo A, referente a uma tabela denominada “Planejamento dos ambientes, tarefas e atividades com a especificação da iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor” da Norma Brasileira de Iluminação de ambientes de trabalho, é apresentado um referencial de iluminâncias, em lux, por área de tarefas visuais, considerando ainda ofuscamento e qualidade da cor.

Nessa tabela são indicados os valores referenciais para iluminância mantida na superfície de referência para um ambiente, tarefa ou atividade, em *lux.* Além de valores que se correspondem ao índice limite de ofuscamento unificado (UGR) e ao índice de reprodução de cor mínimo.

Deve-se considerar ainda a iluminância no entorno imediato, a qual se relaciona com a iluminância da área de tarefa, pois mudanças drásticas nos valores de iluminância ao redor do ambiente podem vir a acarretar esforço visual estressante e desconfortável para o usuário. Os valores adotados precisam seguir o mínimo estabelecido na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de iluminância no entorno imediato

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

Fonte: ABNT, 2013

Portanto, para o projeto luminotécnico de ambientes internos, é necessário identificar a atividade e o ambiente apresentado na NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), e por meio das características das tarefas a serem executadas e dos observadores, utilizar os valores de referências indicados.

Conforme apresentado, a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) permite que a otimização dos fatores que influenciam uma boa iluminação melhorem o desempenho sem que seja necessário aumentar a iluminância do sistema. Dessa forma, em alguns casos, é possível otimizar o consumo de energia elétrica por parte da iluminação. Entretanto, não convém comprometer os aspectos visuais de iluminação para priorizar a redução do consumo de energia, devendo o bem-estar, a segurança e a otimização do desenvolvimento da atividade serem primordiais nas tomadas de decisões. Convém, no entanto, que se considere o uso de equipamentos, tecnologias como dimerização e/ou automação, e utilização da luz natural disponível para otimizar o sistema de iluminação artificial perante o consumo (TATEOKI, n.d.).

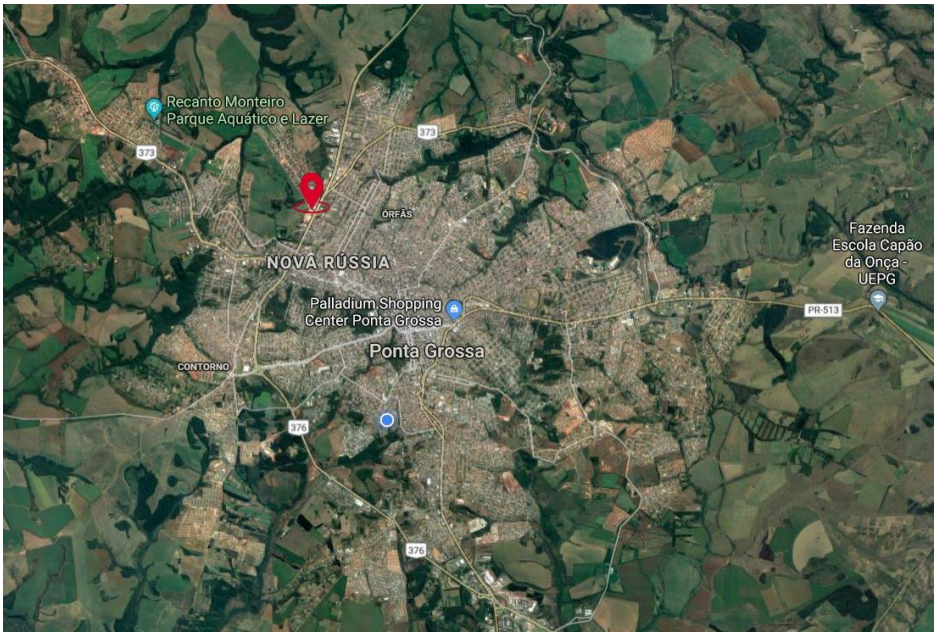
Assim, as normas se tornam essenciais para garantir que o trabalho ou atividade serão executados com segurança e qualidade, sendo possível determinar a quantidade de lâmpadas a serem utilizadas. Também, assegura que a iluminação artificial do ambiente não será subdimensionada, acarretando em uma má-condição de uso do ambiente e das necessidades biológicas do usuário, ou superdimensionada, onde o ambiente também terá más-condições de uso e ainda, consumo desnecessário e desperdício de energia.

3 METODOLOGIA

Primeiramente, a metodologia proposta aborda uma pesquisa da literatura dos conceitos básicos a serem utilizados a respeito de sistemas de iluminação artificial, projeto luminotécnico e sua relação com a sustentabilidade voltada à iluminação.

O projeto consiste em um estudo de caso em uma empresa, que abrange uma concessionária de tratores e maquinários agrícolas, que opera hoje com aproximadamente oitenta funcionários. Ela está localizada na cidade de Ponta Grossa, no bairro de Boa Vista, próximo à saída para o norte do Paraná, Figura 19.

Figura 19 - Mapa Aéreo de Localização: cidade de Ponta Grossa



Fonte: Google Maps (2018)

Para compreensão do espaço analisado, foram feitas visitas, primeiramente com uma das proprietárias para entendimento dos espaços e funcionamento da empresa, na qual foi possível identificar os setores que compreendem o edifício: área de vendas, manutenção, armazenamento de peças, setor administrativo e apoio para funcionários, que estão distribuídos em dois pavimentos, com aproximadamente oito mil metros quadrados de construção, em um terreno de vinte e quatro mil e duzentos metros quadrados de extensão, Figura 20. Essa nova unidade da empresa foi inaugurada em 2014 e não sofreu nenhuma reforma e alteração de iluminação artificial desde então.

Figura 20 - Mapa Aéreo de Localização: Empresa DHL

Fonte: Google Maps (2018)

Com o intuito de identificar a melhor e pior condição para análise posterior dos efeitos da incidência solar no interior da edificação, foi realizada uma análise espacial e solar, conforme seu posicionamento geográfico utilizando o Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná.

Ainda como parte desse levantamento inicial, foi realizado um levantamento *in loco* do espaço verificando as dimensões dos ambientes conforme projeto arquitetônico fornecido pelo engenheiro responsável pela obra. Simultaneamente à

verificação do espaço, foi realizado o levantamento *in loco* do sistema de iluminação artificial empregado hoje na empresa, quantificando as luminárias, lâmpadas e coletando informações de suas características. Com o auxílio do gerente de peças da empresa, o qual disponibilizou *e-mails* de compra das lâmpadas e luminárias foi possível acessar todas as características técnicas, e em entrevista com alguns funcionários obteve-se o tempo aproximado de permanência em que as luminárias ficam acesas por dia em cada ambiente. O proprietário também disponibilizou as contas de energia dos meses de janeiro a setembro do ano de 2017, tornando viável a análise de custos com energia elétrica da empresa.

Pretendendo obter a redução desses gastos voltados à iluminação artificial e demonstrando o quanto é possível reduzir esse consumo de energia com a readequação de um projeto luminotécnico, o processo de estudo de caso foi dividido em duas etapas: *Retrofit* através da substituição das lâmpadas existentes por LED e revisão do projeto luminotécnico existente.

3.1 *RETROFIT* - SUBSTITUIÇÃO DAS LÂMPADAS EXISTENTES POR LED

Identificar a possibilidade de adequação por meio da substituição apenas das lâmpadas existentes presentes em todos os espaços, por LED sem perder os aspectos qualitativos e sem modificar os fatores referentes à projeto luminotécnico, quanto à posicionamento e quantificação, para tanto as medidas realizadas foram:

- Identificar e quantificar os equipamentos de iluminação artificial existentes na empresa e suas respectivas cargas. Localizá-los em cada ambiente e realizar um inventário de todo o sistema.
- Realizar uma simulação de consumo de energia voltado à iluminação, através do simulador online da Copel.
- Identificar através de fabricantes de sistema de iluminação artificial as possíveis lâmpadas substitutas para cada luminária existente, avaliando a sua equivalência e compatibilidade.
- Realizar nova simulação de consumo de energia do sistema de iluminação, com as lâmpadas equivalentes encontradas, por meio do simulador online da Copel.
- Inserir os dados das luminárias do novo estudo em tabela (inventário).

- Comparar o sistema de iluminação existente e o novo sistema com a troca por lâmpadas de LED, pela elaboração de um quadro comparativo entre eficiência das luminárias atuais, e as possíveis substitutas.

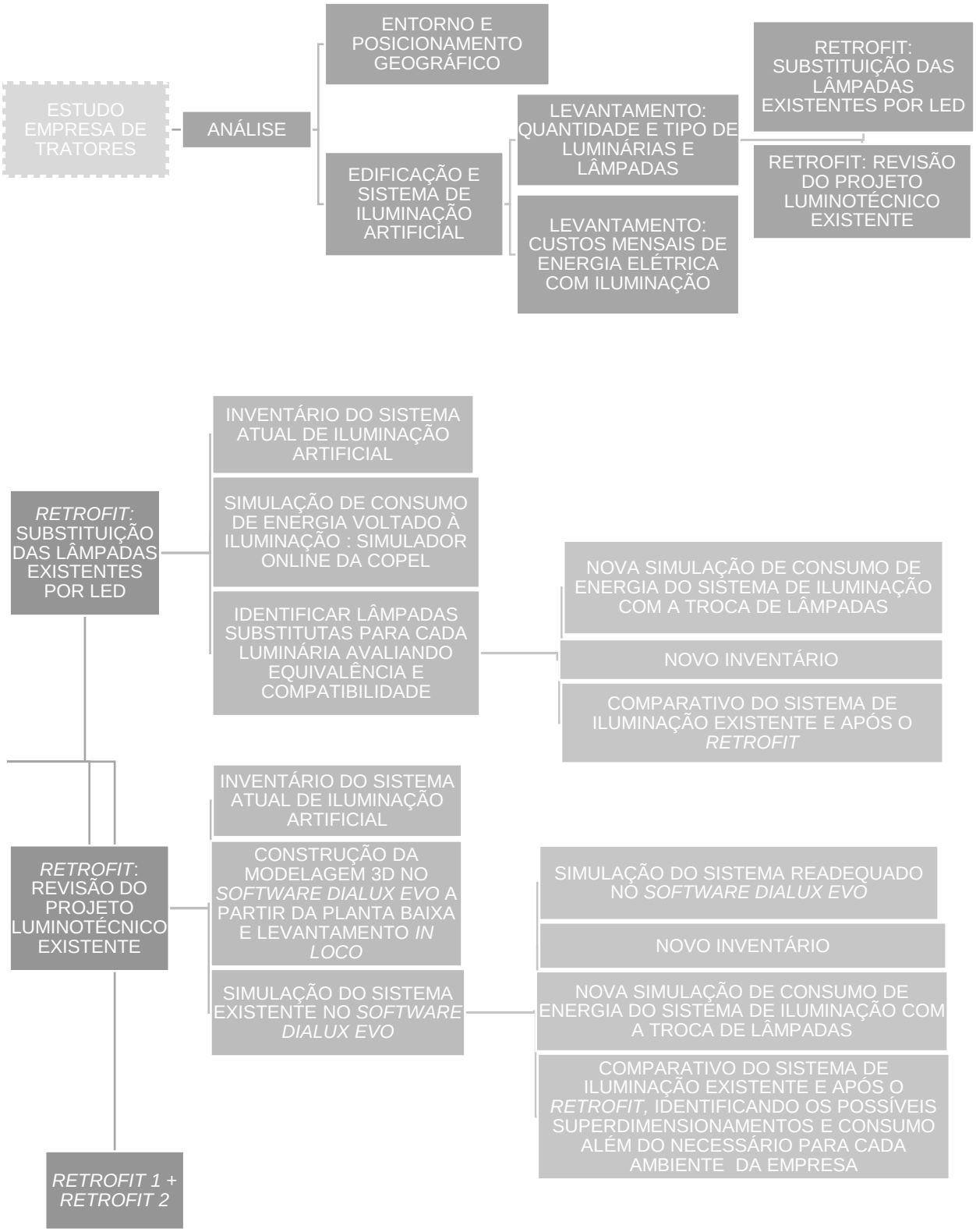
3.2 REVISÃO DO PROJETO LUMINOTÉCNICO EXISTENTE

Visando compreender o sistema de iluminação existente na empresa, obter um comparativo entre esse sistema e um estudo possível de baixo impacto de *retrofit* para a edificação atualmente, além de detectar as modificações que seriam necessárias, as medidas realizadas foram:

- Identificação e quantificação, em cada ambiente, dos equipamentos de iluminação artificial existentes na empresa;
- Construção de uma modelagem tridimensional no *software DIALux Evo*, a partir da planta baixa e levantamento *in loco*, considerando as aberturas, alturas e demais aspectos relevantes de cada ambiente.
- Simulação do sistema existente, no *DIALux Evo* resultando em gráficos, dados, imagens e avaliação do consumo energético do estado atual.
- Simulação do sistema revisado no *DIALux Evo* resultando em gráficos, dados, imagens e avaliação do consumo energético, considerando os equipamentos da iluminação existente, visando o menor impacto de intervenção para *retrofit* e utilizando normas e o próprio *software* como apoio.
- Inserção dos dados das luminárias do novo estudo em tabela.
- Nova simulação de consumo de energia do sistema de iluminação, com o novo sistema de iluminação artificial por meio do simulador online da Copel.
- Comparação do estudo luminotécnico existente e após revisão do edifício. Assim esse comparativo permitiu identificar os possíveis superdimensionamentos de luminárias e consequentemente o seu consumo além do necessário para cada ambiente da empresa.

O estudo demonstra em aspectos quantitativos a possibilidade de reduzir o consumo energético do sistema de iluminação com a utilização de recursos e equipamentos mais eficientes. Assim, mediante o comparativo projetual, e

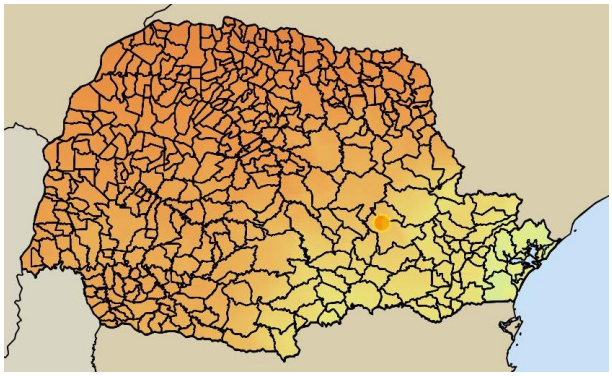
principalmente em custos, entre a situação atual e após as intervenções ocorre a concretização do objetivo principal da pesquisa, como é possível de se observar em síntese no fluxograma abaixo.



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

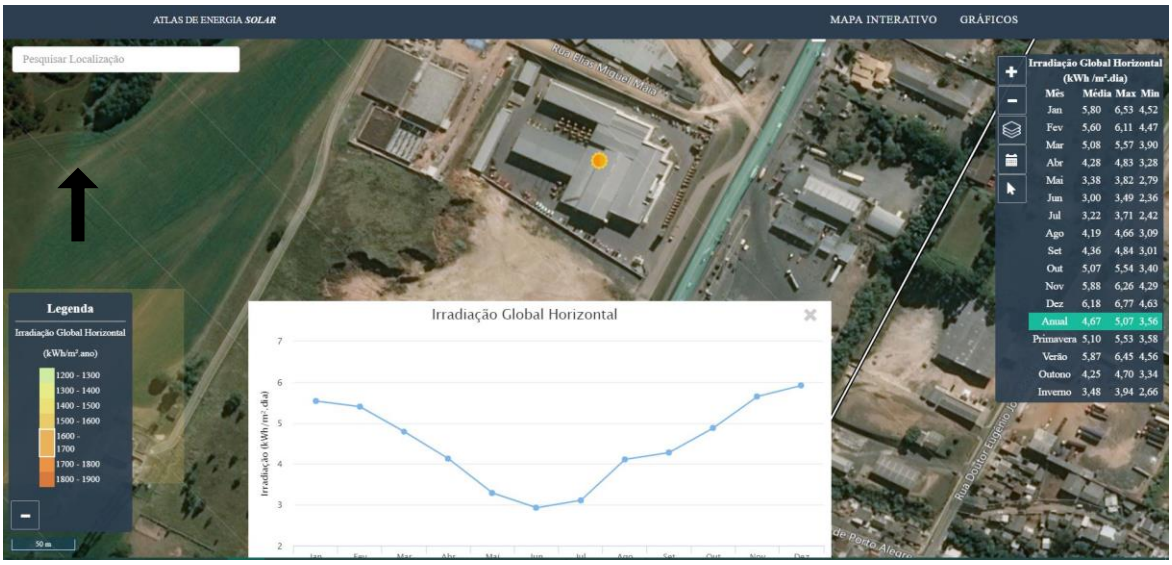
Utilizando o Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná, foi possível identificar a melhor condição para análise, onde a edificação recebe maior insolação, no mês de dezembro, e a pior condição, com menor incidência solar em junho, Figuras 21 e 22. Além disso, via inspeção visual e com o auxílio do Google Earth, foi identificado que não há sombra, visto que o seu entorno é composto por edificações baixas situadas à grandes distâncias e na fachada frontal uma larga rodovia separa as construções, configurando portanto uma edificação isolada.

Figura 21 - Mapa de irradiação solar – Estado do Paraná



Fonte: http://www.atlassolarparana.com/map

Figura 22 - Mapa de irradiação solar: médias mensais – Ponta Grossa



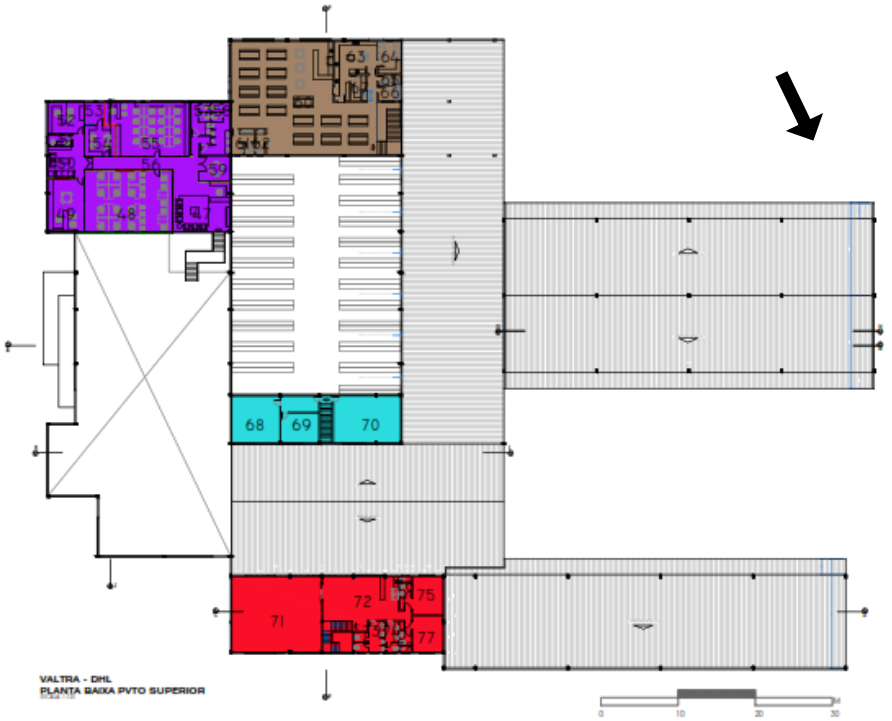
Fonte: http://www.atlassolarparana.com/map

No levantamento *in loco* da empresa, foram identificados os espaços a serem analisados e setorizados conforme Figuras 23 e 24 e suas legendas.

Figura 23 - Planta Setorizada Pavimento Térreo Empresa DHL

Fonte: Autoria Própria adaptado de Projeto Arquitetônico MJ Arquitetura

Figura 24 - Planta Setorizada Pavimento Superior Empresa DHL



SETORIZAÇÃO - LEGENDA

- ÁREA RH - ARQUIVO MORTO
- ÁREA AUDITÓRIO E DORMITÓRIOS
- ÁREA ADMINISTRATIVO SUPERIOR
- ÁREA REFEITÓRIO

AMBIENTES - LEGENDA

00	GUARITA	20	I.S 02	40	LIXAMENTO	60	REFEITÓRIO
01	SHOWROOM	21	DEPÓSITO EMBALAGENS	41	FUNILARIA	61	I.S MASCULINO
02	LOJA	22	PAINÉIS ELÉTRÔNICOS	42	BARRACÃO	62	I.S FEMININO
03	ATENDIMENTO	23	CAIXA	43	DEPÓSITO	63	COZINHA
04	CAFÉ	24	GERENTE DE PEÇAS	44	RAMPA DESCARGA	64	GELADEIRAS E FREEZERS
05	GERENTE	25	COMPRAS	45	ÁREA MANOBRA	65	I.S REFEITÓRIO
06	GERENTE	26	TELEVENDAS	46	RAMPAS DE LAVAGEM DE TRATORES	66	LAVANDERIA
07	REUNIÕES	27	GARANTIA	47	ESTAR/ESPERA	67	DESPENSA
08	GERENTE	28	ESCRITUÁRIO	48	FINANCEIRO	68	SALA DE REUNIÕES
09	DML	29	CHEFE OFICINA	49	SALA PROPRIETÁRIO DA EMPRESA	69	RH
10	COPA	30	MANUAIS	50	ESTAR	70	ARQUIVO MORTO
11	I.S MASCULINO	31	PÁTIO	51	I.S 03	71	AUDITÓRIO
12	I.S FEMININO	32	BOXES DE SERVIÇOS	52	SALA PROPRIETÁRIA DA EMPRESA	72	COFFEE BREAK
13	CIRCULAÇÃO	33	SALA MONTAGEM	53	EQUIPAMENTOS	73	I.S MASCULINO
14	CADASTRO	34	SALA ELÉTRICA	54	T.I	74	I.S FEMININO
15	ESTOQUE PEÇAS	35	ALMOXARIFADO/GARANTIA	55	ADMINISTRAÇÃO	75	DORMITÓRIO 01
16	FERRAMENTAS	36	SALA MONTAGEM 1	56	CIRCULAÇÃO PAV. SUP. ADMINISTRATIVO	76	I.S D. 01
17	I.S 01	37	SALA MONTAGEM 2	57	I.S FEMININO	77	DORMITÓRIO 02
18	VESTIÁRIO	38	LAVADOR PEÇAS	58	I.S MASCULINO	78	IS. D. 02
19	CHUVEIROS	39	PINTURA	59	REUNIÕES		

Fonte: Autoria Própria adaptado de Projeto Arquitetônico MJ Arquitetura

O edifício conta com 78 ambientes internos e externos e foi dividido em 11 setores de acordo com suas funções para facilitar a demonstração do sistema de iluminação existente, sendo elas, no pavimento térreo: Área de *Showroom,* Área Administrativa Térreo, Área de Vendas, Área de Estoque de Peças, Área Externa – Pátio, Área Vestiário Funcionários e Ferramentas e Área de Manutenção. No pavimento superior: Área RH e Arquivo Morto, Área Auditório e Dormitórios, Área Administrativa Superior, Área Refeitório. Onde, a partir de cada setor foi feito o levantamento de luminárias e lâmpadas, quantificando-as, localizando-as e identificando cada equipamento de iluminação artificial existente em cada setor.

Por meio de uma leitura do projeto arquitetônico dos ambientes, levantamento visual e fotográfico *in loco*, foi possível realizar a identificação das luminárias e lâmpadas utilizadas atualmente em toda a edificação, resultando em um total de onze diferentes equipamentos de iluminação.

A luminária tipo 01, localizada na área de *Show Room*, é uma luminária de sobrepor retangular ABALUX – C119, para 4 lâmpadas fluorescentes TL5 HO tubulares de 54W, 865 UNP Philips 6500K – e reator 220V, e fluxo luminoso de cada lâmpada é de 4.700lm, Figuras 25 e 26.

Figura 25 - Luminária de sobrepor - tipo 01

Fonte: Autoria própria

Figura 26 - Lâmpada tubular TL5 HO

Fonte: Koninklijke Philips N.V.

Localizada nas áreas administrativa, setor de vendas, área de estoque, auditório, dormitório e refeitório, a luminária tipo 02 é uma luminária de embutir quadrada ABALUX – C10, Figura 27, para 4 lâmpadas fluorescentes T5 tubulares de 14W, Philips 6500K, cor branca e reatores bivolt, e com fluxo luminoso de 1.260lm, figura 28.

Figura 27 - Luminária de embutir - tipo 02

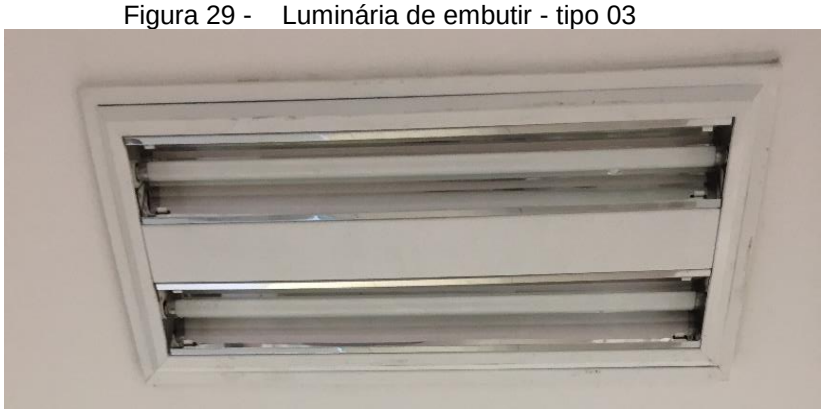
Fonte: Autoria própria

Figura 28 - Lâmpada T5

Fonte: Koninklijke Philips N.V.

A luminária tipo 3 está situada nas áreas de vendas, administração e manutenção, sendo uma luminária de embutir retangular ABALUX – C08, conforme Figura 30 para 2 lâmpadas fluorescentes T5 tubulares de 14W, Philips 6500K, cor branca (ver Figura 29) e reatores bivolt, com fluxo luminoso de 4.200 lm.

Figura 29 - Luminária de embutir - tipo 03



Fonte: Autoria própria

Estabelecidas nas áreas de estoque de peças, manutenção e ferramentas, a luminária tipo 4 é caracterizada por ser uma luminária hermética de sobrepor retangular TCW060 Philips BLIND, Figura 30, para 2 lâmpadas fluorescentes TL-D de 32W (ver Figura 31) e seu fluxo luminoso por lâmpada é de 2.350 lm.

Figura 30 - Luminária hermética - tipo 04

Fonte: Autoria própria

Figura 31 - Lâmpada TL-D

Fonte: Koninklijke Philips N.V.

A luminária tipo 05 que está situada na área de pátio e manutenção, e na área de estoque de peças, é uma luminária industrial (Figura 32) e comporta uma lâmpada de 46W, 220V, na cor branca, Empalux 6.400 K, em que o fluxo luminoso é de 2.806 lm, podendo ser conferida na Figura 33.

Figura 32 - Luminária industrial - tipo 05

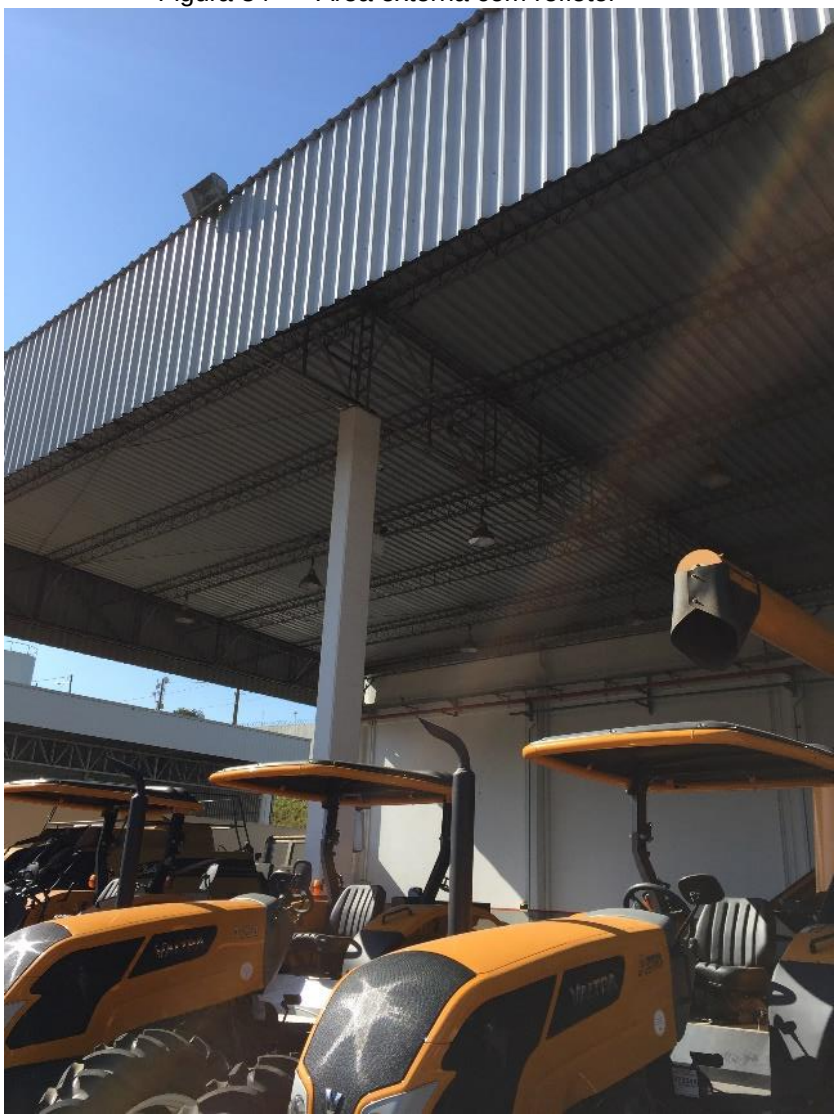
Fonte: Autoria própria

Figura 33 - Lâmpada Fluorescente Compacta

Fonte: Autoria própria

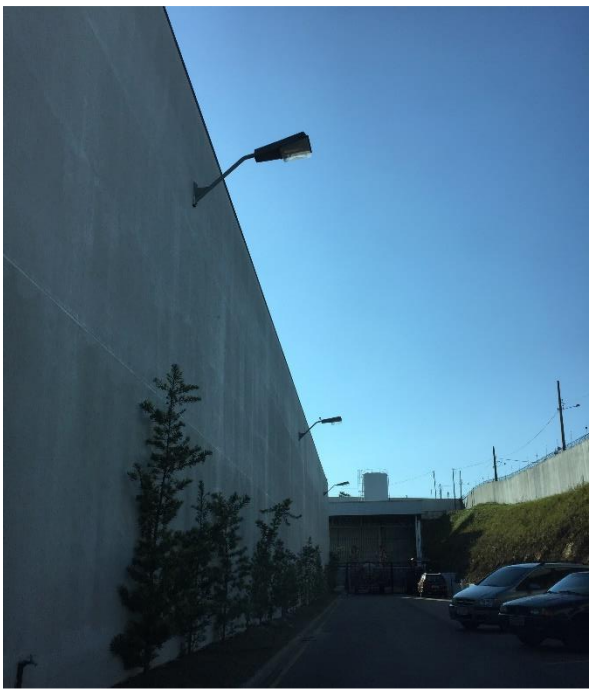
Na área externa, que abrange o entorno da edificação e o pátio, existem alguns refletores, referenciados como tipo 06, 07 e 08, porém eles não os utilizam mais, como forma de minimizar os gastos com sistema de iluminação. Isso ocorreu devido à falta de necessidade dessas luminárias permanecerem acesas, pois as demais existentes já são suficientes para iluminar os ambientes de trabalho, e o horário de funcionamento da empresa não requer o seu uso. Tais refletores tinham função de iluminação geral externa e para iluminação da placa da fachada, conforme pode ser observado nas Figuras 34 e 35 e dessa forma não foram considerados no estudo.

Figura 34 - Área externa com refletor



Fonte: Autoria própria

Figura 35 - Área externa com refletor tipo poste



Fonte: Autoria própria

Localizada nas áreas de vestiário, dormitório, auditório e refeitório, a luminária tipo 09 é circular de embutir, *Lumicenter* E2E27 VJC - DRN05, e é composta por duas lâmpadas compactas twister E27 de 23W com 127V. O fluxo luminoso para cada lâmpada é de 1.380lm, ver Figuras 36 e 37.

Figura 36 - Luminária de embutir – tipo 09

Fonte: Autoria própria

Figura 37 - Lâmpada Fluorescente Compacta – tipo 09

Fonte: Koninklijke Philips N.V.

Além das luminárias de embutir retangulares, a área de manutenção contém as luminárias tipo 10, que são luminárias fechadas industriais de sobrepor, e utilizam uma lâmpada fluorescente Empalux de 46W, com 220V, na cor branca – 6.400K. Para cada luminária o fluxo luminoso é de 2.806 lm , ver Figura 38.

Figura 38 - Luminária industrial de sobrepor – tipo 10

Fonte: Autoria própria

Por fim, a luminária tipo 11, que está situada nos dormitórios e de uso pouco frequente, é um *spot* de embutir (Figura 39), com uma lâmpada halógena PAR-20 de 50W (Figura 40), na cor branca – 4.000K, apresenta um fluxo luminoso de 900 lm.

Figura 39 - Luminária spot de embutir – tipo 11

Fonte: Autoria própria

Figura 40 - Lâmpada PAR 20 – tipo 11

Fonte: Koninklijke Philips N.V.

Todos esses dados avaliados resultaram em um inventário da iluminação artificial existente, em forma de tabela que contempla: luminária e seu quantitativo, lâmpada, seu quantitativo e sua potência, tempo médio aproximado de permanência das luminárias acesas, consumo em valor de *kWh*, altura de suas instalações e divide-se em pavimentos térreo e superior e seus onze setores, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Inventário do sistema de iluminação artificial existente

ESTUDO DE CASO - ILUMINAÇÃO OUTUBRO/2017 - DHL										
LUMINÁRIA	QUANTIDADE LUMINÁRIAS	LÂMPADA	POTÊNCIA (W) lâmpada	QUANT. TOTAL LÂMPADAS	POTÊNCIA (W) total	TEMPO PERMANÊNCIA	TEMPO MÉDIO ACESA (h/dia)	VALOR DO kWh (DIA)	VALOR DO kWh (MÊS)	ALTURA (m)
PAVIMENTO TÉRREO										
SETOR 01 - ÁREA DE SHOW ROOM										
TIPO 01 - ABALUX - C119	24	4 lâmpadas fluorescentes TL5 54W - Philips 6500K	54	96	5184	7h30 às 18h30	9,5	52,94	1058,81	6,37
TIPO 01 - ABALUX - C119	14	4 lâmpadas fluorescentes TL5 54W - Philips 6500K	54	56	3024	Uso esporadico	0	0	0	
SETOR 02 - ÁREA ADMINISTRATIVA TÉRREO										
TIPO 02 - ABALUX C10	19	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	14	76	1064	7h30 às 18h00 (A tarde e tempo de uso)	9,5	10,87	217,3	2,9
TIPO 02 - ABALUX C10	26	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	14	104	1456	7h30 às 18h00 (A tarde e tempo de uso)	8	12,5215	250,43	2,9
TIPO 02 - ABALUX C10	9	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	14	36	504	Uso esporadico	0,5	0,433	8,66	2,9
TIPO 02 - ABALUX C10	14	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	14	56	784	7h30 às 18h00 (A tarde e tempo de uso)	2	1,6855	33,71	2,9
SETOR 03 - ÁREA DE VENDAS										
TIPO 02 - ABALUX C10	24	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	14	96	1344	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	8	11,558	231,16	2,7
TIPO 03 - ABALUX C08	4	2 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	14	8	112	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	0,2405	4,81	2,7
SETOR 04 - ÁREA DE ESTOQUE PEÇAS										
TIPO 02 - ABALUX C10	4	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	14	16	224	Espaços não utilizados	0	0	0	2,7
TIPO 04 A (teto) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	49	2 lâmpadas fluorescentes TL-D 32W/64 RS	32	98	3136	7h30 às 18h00	9,5	32,023	640,46	2,53
TIPO 04 B (teto) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	14	2 lâmpadas fluorescentes TL-D 32W/64 RS	32	28	896	7h30 às 18h00	9,5	9,15	183	3,33
TIPO 04 C (parede) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	7	2 lâmpadas fluorescentes TL-D 32W/64 RS	32	14	448	7h30 às 18h00	9,5	4,575	91,5	2,15
TIPO 05 - LUMINÁRIA INDUSTRIAL	20	1 lâmpada: Empalux 46W - 220V - Branca 6.400 K	46	20	920	7h30 às 18h00	9,5	9,395	187,9	8,76

Continua

Continuação

SETOR 05 - ÁREA EXTERNA - PÁTIO - MANUTENÇÃO - ESTACIONAMENTO										
TIPO 04 A (teto) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	12	2 lâmpadas fluorescentes TL-D 32W/64 RS	32	24	768	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	4	3,302	66,04	2,92
TIPO 04 B (teto) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	4	2 lâmpadas fluorescentes TL-D 32W/64 RS	32	8	256	Espaço não utilizado	0	0	0	2,92
TIPO 04 C (parede) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	36	2 lâmpadas fluorescentes TL-D 32W/64 RS	32	72	2304	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	4	9,907	198,14	2,15
TIPO 05 - LUMINÁRIA INDUSTRIAL	107	1 lâmpada: Empalux 46W - 220V - Branca 6.400 K	46	107	4922	Apagadas durante o dia (Apenas esporadica-mente noite)	1	5,289	105,78	7,62
TIPO 06 refletores externos	7			7	7	Apenas esporadica-mente noite	0	0	0	
TIPO 07 postes refletores externos	9			9	9	Apenas esporadica-mente noite	0	0	0	
TIPO 08 refletor grande externo (placa)	1			1	1	Não está sendo utilizado	0	0	0	0
SETOR 06 - ÁREA VESTIÁRIO FUNCIONÁRIOS - FERRAMENTAS										
TIPO 04 A (teto) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	2	2 lâmpadas fluorescentes TL-D 32W/64 RS	32	4	128	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	1	0,1375	2,75	2,92
TIPO 04 C (parede) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	5	2 lâmpadas fluorescentes TL-D 32W/64 RS	32	10	320	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	1	0,344	6,88	2,15
TIPO 09 - CIRCULAR	15	2 lâmpadas compactas twister E27 23W - 127V	23	30	690	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	1,483	29,66	2,92
SETOR 07 - ÁREA MANUTENÇÃO 02										
TIPO 03 - ABALUX C08	34	2 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	14	68	952	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	2,0465	40,93	2,92
TIPO 10 - CIRCULAR SOBREPOR 02	12	1 lâmpada: Empalux 46W - 220V - Branca 6.400 K	46	12	552	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	1,1865	23,73	3,5
PAVIMENTO SUPERIOR										
SETOR 08 - RH - ARQUIVO MORTO										
TIPO 02 - ABALUX C10	6	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	14	24	336	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	9,5	3,431	68,62	2,7
TIPO 02 - ABALUX C10	6	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	14	24	336	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	0,1	0,072	1,44	2,7
TIPO 02 - ABALUX C10	6	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	14	24	336	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	0	0	0	2,7
SETOR 09-ÁREA AUDITÓRIO E DORMITÓRIOS										
TIPO 02 - ABALUX C10	23	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	14	92	1288	Uso esporadico	0,1	0,186	3,72	3,02
TIPO 09 - CIRCULAR	5	2 lâmpadas compactas twister E27 23W - 127V	23	10	230	Uso esporadico	0,1	0,049	0,98	3,02
TIPO 09 - CIRCULAR	8	2 lâmpadas compactas twister E27 23W - 127V	23	16	368	Uso esporadico (dormitórios)	0	0	0	3,02
TIPO 11 - PAR 20	3	1 lâmpada halógena - 50W	50	3	150	Uso esporadico (dormitórios)	0	0	0	3,02

Continua

Continuação

SETOR 10 - ÁREA ADMINISTRATIVA SUPERIOR										
TIPO 02 - ABALUX C10	37	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	14	148	2072	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	9,5	21,159	423,18	2,77
TIPO 02 - ABALUX C10	33	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	14	132	1848	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	3,973	79,46	2,77
TIPO 03 - ABALUX C08	5	2 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	14	10	140	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	9,5	1,429	28,59	2,7
SETOR 11 - ÁREA REFEITÓRIO										
TIPO 02 - ABALUX C10	30	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	14	120	1680	11h30 às 13h30 (Apenas tempo de uso)	2	3,612	72,24	2,86
TIPO 03 - ABALUX C08	9	2 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	14	18	252	09h00 às 15h00 (Apenas tempo de uso)	6	1,625	32,5	2,86
TIPO 09 - CIRCULAR	9	2 lâmpadas compactas twister E27 23W - 127V	23	18	414	11h30 às 13h30 (Apenas tempo de uso)	1	0,445	8,9	2,86
TOTAIS	652		882	1695	39455			205,068	4101,28	

Fonte: Autoria própria (2017)

Para detectar os valores de consumo do sistema de iluminação artificial em reais, foi realizada uma simulação via simulador de consumo da Copel (2017) disponível, o qual solicita como dados de entrada inicialmente a classe comercial/industrial, o equipamento (as lâmpadas), a sua potência, os dias da semana em que o equipamento é utilizado, o horário e tempo de uso, e a quantidade. Para esse último dado o simulador aceita o valor máximo de 15 equipamentos por vez, sendo necessária a sua repetição até atingir o valor total de equipamentos no sistema.

Outro detalhe importante é o fato de que o simulador direciona por meio do dado de entrada de horário de utilização a tarifa equivalente, sendo horário fora de ponta a de menor custo, compreendida das 22 horas às 17 horas, o intermediário a tarifa de maior custo, das 17 horas às 18 horas e das 21 horas às 22 horas e o horário de ponta também de maior custo, nos intervalos entre 18 horas e 21 horas.

Após a inserção de todos esses dados, foi fornecido o valor do consumo mensal do sistema de iluminação artificial em reais (R$) e em kWh, segundo a Figura 41.

Figura 41 - Resultado Simulador Copel – Consumo sistema de iluminação artificial atual

Fonte: Copel

De modo a identificar o consumo médio mensal voltado ao sistema de iluminação artificial atual e o valor correspondente em relação ao total de gastos com energia elétrica, foi obtida a Tabela 3 contendo os valores em reais (R$) de cada mês, e o consumo de energia elétrica total em kWh, no período de janeiro à setembro de 2017, obtendo assim a média tanto em reais quanto em kWh. É importante ressaltar que o fato desses dados serem utilizados posteriormente para análise comparativa entre os resultados obtidos no simulador da Copel voltado à iluminação e os valores contidos na conta de energia, foram desconsiderados valores das bandeiras tarifárias, juros e multas, e quaisquer valores que não se limitam apenas ao consumo.

Tabela 3 - Consumo médio mensal de energia elétrica da empresa

MÊS	VALOR CONSUMO (kWh)	VALOR CONSUMO EM REAIS (R$)
JANEIRO	10.810	5.251,58
FEVEREIRO	11.455	5.545,91
MARÇO	10.968	5.552,16
ABRIL	10.186	4.817,70
MAIO	9.319	4.441,16
JUNHO	11.900	6.154,26
JULHO	11.326	5.921,37
AGOSTO	11.609	6.466,46
SETEMBRO	11.654	6.355,94
MÉDIA MENSAL	**11025,222**	**R$ 5.611,84**

Fonte: Autoria própria (2017)

A partir desses valores coletados, por meio de uma análise comparativa entre o consumo de energia elétrica da empresa e o consumo voltado ao sistema de iluminação artificial, foi estabelecido que a iluminação corresponde a 37,20% no consumo geral de energia em kWh, um valor consideravelmente elevado.

4.1 *RETROFIT* 01: SUBSTITUIÇÃO DAS LÂMPADAS

Como primeira solução em minimizar os custos e tornar o sistema de iluminação artificial mais eficiente energeticamente, foi mantida a maioria das luminárias existentes, e realizada a troca apenas das lâmpadas.

Para as lâmpadas tubulares, tipo 01, conforme classificadas, utilizadas nas luminárias de sobrepor que utilizam 04 lâmpadas, foram encontradas no mercado a lâmpada de LED Master LEDtube que possui características muito semelhantes, se encaixa na luminária existente e anula a necessidade de um reator para acionamento. A Figura 42 ilustra tal lâmpada, e as suas demais características podem ser verificadas na Figura 43, na qual é importante ressaltar o seu fluxo luminoso, que é de 3.900 lúmens, esse valor ainda não se equivale ao fluxo luminoso da fluorescente existente, mas foi o mais próximo encontrado no mercado

Figura 42 - Lâmpada LEDtube Philips

Fonte: Koninklijke Philips N.V.

Figura 43 - Informações Técnicas Lâmpada Tubular LED

Dados do produto

General Information	
Cap-Base	G5 [G5]
Nominal Lifetime (Nom)	50000 h
Switching Cycle	50000X
B50L70	50000 h

Light Technical	
Color Code	840 [TCC de 4000K (841)]
Luminous Flux (Nom)	3900 lm
Luminous Flux (Rated) (Nom)	3900 lm
Correlated Color Temperature (Nom)	4000 K
Color Consistency	<6
Índice de restituição cromática (Nom.)	83
Lmf At End Of Nominal Lifetime (Nom)	70 %

Operating and Electrical	
Power (Rated) (Nom)	26 W
Lamp Current (Max)	700 mA
Lamp Current (Min)	450 mA
Starting Time (Nom)	0.5 s

Consumo de energia kWh/1000 h	31 kWh

Product Data	
Full product code	871869670529200
Order product name	MAS LEDtube HF 1200mm HO 26W 840 T5
EAN/UPC - Product	8718696705292
Order code	929001338402

Warm Up Time To 60% Light (Nom)	0.5 s
Voltage (Nom)	50-60 V

Temperature	
T-Ambient (Max)	45 °C
T-Ambient (Min)	-20 °C
T-Storage (Max)	65 °C
T-Storage (Min)	-40 °C

Controls and Dimming	
Dimmable	Não

Mechanical and Housing	
Product Length	1200 mm

Approval and Application	
Produto energeticamente eficiente	Yes
Energy Efficiency Label (EEL)	A++
Approval Marks	Marca CE RoHS compliance KEMA Keur certificate

Local Code	MLETUB-26W-T5N
Numerator - Quantity Per Pack	1
Numerator - Packs per outer box	10
Material Nr. (12NC)	929001338402
Net Weight (Piece)	0.155 kg

Fonte: Koninklijke Philips N.V.

Outro dado importante a se observar é o consumo em *watt* (W), no sistema passa de 216 W para 104 W com a substituição pelas lâmpadas de LED.

Para a segunda lâmpada tubular do sistema, denominada tipo 02, uma fluorescente T5, a lâmpada encontrada para a sua substituição foi uma tubular LED G5 I, conforme Figura 44, que também se encaixa na luminária existente e não necessita de reator. O seu fluxo luminoso é de 800 lm, porém como a outra lâmpada tubular, esse valor não se equivale ao fluxo luminoso da lâmpada existente, mas foi a que mais se aproximou em valores das lâmpadas no mercado para essa substituição,

esses valores e demais informações técnicas podem ser verificados na Figura 45. O consumo também sofreu grandes melhorias para o sistema, atualmente ele apresenta potência de 56 W, com a substituição ele passa para 30 W.

A luminária denominada tipo 03 também utiliza essa mesma lâmpada tubular, e, portanto, é substituída pela mesma lâmpada tubular de LED, tendo como reflexo em relação ao consumo o valor de 15W por luminária, sendo que anteriormente atingia 28W.

Figura 44 - Lâmpada LEDtube Philips

Fonte: Koninklijke Philips N.V.

Figura 45 - Informações Técnicas Lâmpada Tubular LED

General Information

Cap-Base	G5 [G5]	Switching Cycle	50000X
Main Application	Industrial	B50L70	40000 h
Nominal Lifetime (Nom)	40000 h		

Light Technical

Color Code	865 [TCC de 6500K]	Correlated Color Temperature (Nom)	6500 K
Beam Angle (Nom)	160 °	Color Consistency	<6
Luminous Flux (Nom)	800 lm	Índice de restituição cromática (Nom.)	83
Luminous Flux (Rated) (Nom)	800 lm	Llmf At End Of Nominal Lifetime (Nom)	70 %
Rated Beam Angle	160 °		

Operating and Electrical

Input Frequency	50-60 Hz	Warm Up Time To 60% Light (Nom)	0.5 s
Power (Rated) (Nom)	7.5 W	Power Factor (Nom)	0.9
Lamp Current (Nom)	400 mA	Voltage (Nom)	19 V
Starting Time (Nom)	0.5 s		

Temperature

T-Ambient (Max)	45 °C	T-Storage (Min)	-40 °C
T-Ambient (Min)	-20 °C	T-máxima na caixa (Nom)	60 °C
T-Storage (Max)	65 °C		

Fonte: Koninklijke Philips N.V.

As lâmpadas tubulares fluorescentes TL-D que compõem as luminárias herméticas, por sua vez, foram trocadas pelas lâmpadas tubo LEDs *“Essential LED*

T8", Figura 46, suas dimensões são compatíveis e as características de fluxo luminoso correspondem à 1.850 lm, como as demais, é o modelo de luminária existente no mercado que mais se aproxima ao valor da lâmpada fluorescente efetiva. Suas demais características podem ser conferidas na figura 47.

Figura 46 - Lâmpada Essential LEDtube T8 Philips

Fonte: Koninklijke Philips N.V.

Figura 47 - Informações Técnicas Lâmpada Essential LEDtube T8 Philips

Dados do produto

General Information	
Cap-Base	G13 [Medium Bi-Pin Fluorescent]
Main Application	Industrial
Nominal Lifetime (Nom)	30000 h
Switching Cycle	50000X
B50L70	30000 h
Light Technical	
Color Code	840 [TCC de 4000K (841)]
Beam Angle (Nom)	240 °
Luminous Flux (Nom)	1850 lm
Luminous Flux (Rated) (Nom)	1850 lm
Correlated Color Temperature (Nom)	4000 K
Color Consistency	<6
Índice de restituição cromática (Nom.)	82
Lmf At End Of Nominal Lifetime (Nom)	70 %
Operating and Electrical	
Input Frequency	50-60 Hz
Power (Rated) (Nom)	18 W
Lamp Current (Nom)	72 mA
Starting Time (Nom)	0.5 s
Warm Up Time To 60% Light (Nom)	instant full light s
Power Factor (Nom)	0.92
Voltage (Nom)	100-240 V
Temperature	
T-Ambient (Max)	45 °C
T-Ambient (Min)	-20 °C
T-Storage (Max)	65 °C
T-Storage (Min)	-40 °C
T-máxima na caixa (Nom)	70 °C
Controls and Dimming	
Dimmable	Não
Mechanical and Housing	
Product Length	1200 mm
Approval and Application	
Produto energeticamente eficiente	Yes
Suitable For Accent Lighting	No

Fonte: Koninklijke Philips N.V.

Como resultado dessa substituição, obtém-se o valor de consumo alterado de 64 W para 36 W.

A fim de localizar um equipamento que substitua as lâmpadas fluorescentes compactas espirais das luminárias tipo industrial, tanto do tipo 05, quanto do tipo 10, encontrou-se novamente o sistema de LED como lâmpada mais eficiente

energeticamente, com dimensões adequadas e base E27, que se encaixa devidamente na luminária industrial (Figura 48). É uma lâmpada de alta potência, com fluxo luminoso de 2.820 lm, muito próximo da atualmente implantada. Com potência de 30W, as luminárias que antes possuíam 46W, passam a ter um consumo menor e mantém o seu fluxo luminoso, tais valores podem ser vistos na Figura 49.

Figura 48 - Lâmpada Empalux Alta Potência LED

Fonte: Empalux

Figura 49 - Informações Técnicas Lâmpada Empalux Alta Potência LED

Alta Potência LED

Código	Tensão (V)	Potência (W)	Temp Cor (K)	IRC (%)	Base	Fluxo Luminoso (lm)	Dimensão (mm) D	Dimensão (mm) C	Un. Vendas	Cx. Master	Cód Barras
AL30362	BIVOLT	30	6500	>80	E27	2.820	80	157	5 un.	15.0 un. (3 x 5)	7896619426088

Fonte: Empalux

Em relação as lâmpadas fluorescentes compactas *twister*, do sistema designado tipo 09, as lâmpadas encontradas para a substituição foram as lâmpadas de LED *"Standard"*, Figura 50, que apresentam fluxo luminoso de 1.055 lúmens e potência de 9.5 W, Figura 51, ocasionando uma alteração de consumo de 46 W para 19 W por luminária.

Figura 50 - Lâmpada Philips LED

Fonte: Koninklijke Philips N.V.

Figura 51 - Informações Técnicas Lâmpada Philips LED

Dados do produto

General Information	
Cap-Base	E27 [E27]
Nominal Lifetime (Nom)	25000 h
Switching Cycle	50000X
Technical Type	9.5-75W

Light Technical	
Color Code	865 [TCC de 6500K]
Beam Angle (Nom)	150 °
Luminous Flux (Nom)	1055 lm
Luminous Flux (Rated) (Nom)	1055 lm
Color Designation	Luz dia fria
Correlated Color Temperature (Nom)	6500 K
Luminous Efficacy (rated) (Nom)	111.00 lm/W
Color Consistency	<6
Índice de restituição cromática (Nom.)	80
Lmf At End Of Nominal Lifetime (Nom)	70 %

Operating and Electrical	
Input Frequency	50-60 Hz
Power (Rated) (Nom)	9.5 W
Wattage Equivalent	75 W
Starting Time (Nom)	0.5 s
Warm Up Time To 60% Light (Nom)	0.5 s
Power Factor (Nom)	0.8
	76 mA
	50 mA
Voltage (Nom)	100-240 V

Temperature	
T-máxima na caixa (Nom)	80 °C

Controls and Dimming	
Dimmable	Não

Mechanical and Housing	
Bulb Finish	Foscado (FR)

Product Data	
Full product code	871869676578400
Order product name	LEDBulb 9.5W E27 6500K W A60 1BL/6 BR
EAN/UPC - Product	8718696765784

Fonte: Koninklijke Philips N.V.

Por fim, para os *spots* que comportam uma lâmpada halógena PAR20 encontrou-se uma lâmpada de LED (Figura 53), que contém o mesmo fluxo luminoso de 900 lúmens, ângulo de 25°, base E27, e demais características (Figura 54) que a torna compatível para a luminária.

Figura 52 - Lâmpada Philips LED PAR 20

Fonte: Koninklijke Philips N.V.

Figura 53 - Informações Técnicas Lâmpada Philips LED PAR 20

Dados do produto

General Information	
Cap-Base	E27 [E27]
Nominal Lifetime (Nom)	25000 h
Switching Cycle	50000X
Light Technical	
Color Code	827 [TCC de 2700K]
Beam Angle (Nom)	25 °
Luminous Flux (Nom)	900 lm
Luminous Flux (Rated) (Nom)	900 lm
Luminous Intensity (Nom)	5000 cd
Color Designation	Branco quente (WW)
Rated Beam Angle	25 °
Correlated Color Temperature (Nom)	2700 K
Luminous Efficacy (rated) (Nom)	75 lm/W
Color Consistency	<6
Índice de restituição cromática (Nom.)	80
Lmf At End Of Nominal Lifetime (Nom)	70 %
Operating and Electrical	
Input Frequency	50-60 Hz
Power (Rated) (Nom)	12 W
Lamp Current (Nom)	112 mA
Wattage Equivalent	68 W
Starting Time (Nom)	0.5 s
Warm Up Time To 60% Light (Nom)	0.5 s
Power Factor (Nom)	0.9
Voltage (Nom)	127 V
Temperature	
T-máxima na caixa (Nom)	90 °C
Controls and Dimming	
Dimmable	Sim
Approval and Application	
Suitable For Accent Lighting	Yes
Consumo de energia kWh/1000 h	17 kWh
Product Data	
Full product code	871869652735100
Order product name	LEDspot PAR30S 12-70W 827 25D 127V D
EAN/UPC - Product	8718696527351
Order code	929001187612

Fonte: Koninklijke Philips N.V.

Assim, usando de uma prática sustentável de simples intervenção de troca de lâmpadas, mantendo as mesmas luminárias foi possível realizar a substituição dos novos dados na tabela de inventário e chegar aos resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Sistema de iluminação artificial após *retrofit*

LUMINÁRIA	QUANTIDADE LUMINÁRIAS	LÂMPADA	QUANT. LÂMP.	POTÊNCIA (W) lâmpada	QUANT. TOTAL LÂMPADAS	POTÊNCIA (W) total/luminária	TEMPO PERMANÊNCIA	TEMPO MÉDIO ACESA (h/dia)	VALOR DO kWh (DIA)	VALOR DO kWh (MÊS)
PAVIMENTO TÉRREO										
SETOR 01 - ÁREA DE SHOW ROOM										
TIPO 01 - ABALUX - C119	24	4 lâmpadas tubo LED - 26W - Philips 6500K	4	26	96	2496	7h30 às 18h30	9,5	25,49	509,8
TIPO 01 - ABALUX - C119	14	4 lâmpadas tubo LED - 26W - Philips 6500K	4	26	56	1456	Uso esporadico	0	0	0
SETOR 02 - ÁREA ADMINISTRATIVA TÉRREO										
TIPO 02 - ABALUX C10	19	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	76	570	7h30 às 18h00 (A tarde e tempo de uso)	9,5	5,82	116,41
TIPO 02 - ABALUX C10	26	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	104	780	7h30 às 18h00 (A tarde e tempo de uso)	8	6,71	134,16
TIPO 02 - ABALUX C10	9	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	36	270	Uso esporadico	0,5	0,232	4,64
TIPO 02 - ABALUX C10	14	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	56	420	7h30 às 18h00 (A tarde e tempo de uso)	2	0,903	18,06
SETOR 03 - ÁREA DE VENDAS										
TIPO 02 - ABALUX C10	24	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	96	720	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	8	6,192	123,84
TIPO 03 - ABALUX C08	4	2 lâmpadas tubo LED - 7,5W - Philips 6500K	2	7,5	8	60	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	0,129	2,58
SETOR 04 - ÁREA DE ESTOQUE PEÇAS										
TIPO 02 - ABALUX C10	4	4 lâmpadas tubo LED G5 - 14W - Philips 6500K	4	7,5	16	120	Espaços não utilizados	0	0	0
TIPO 04 A (teto) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	49	2 lâmpadas Essential tubo LED - 18W - Philips	2	18	98	1764	7h30 às 18h00	9,5	18,013	360,26
TIPO 04 B (teto) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	14	2 lâmpadas Essential tubo LED - 18W - Philips	2	18	28	504	7h30 às 18h00	9,5	5,15	102,94
TIPO 04 C (parede) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	7	2 lâmpadas Essential tubo LED - 18W - Philips	2	18	14	252	7h30 às 18h00	9,5	2,573	51,47
TIPO 05 - LUMINÁRIA INDUSTRIAL	20	1 lâmpada Empalux LED - 30W - 6500K	1	30	20	600	7h30 às 18h00	9,5	6,127	122,54
SETOR 05 - ÁREA EXTERNA - PÁTIO - MANUTENÇÃO - ESTACIONAMENTO										
TIPO 04 A (teto) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	12	2 lâmpadas Essential tubo LED - 18W - Philips	2	18	24	432	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	4	1,857	37,15
TIPO 04 B (teto) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	4	2 lâmpadas Essential tubo LED - 18W - Philips	2	18	8	144	Espaço não utilizado	0	0	0
TIPO 04 C (parede) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	36	2 lâmpadas Essential tubo LED - 18W - Philips	2	18	72	1296	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	4	5,572	111,45
TIPO 05 - LUMINÁRIA INDUSTRIAL	107	1 lâmpada Empalux LED - 30W - 6500K	1	30	107	3210	Apagadas durante o dia (Apenas esporadica-mente noite)	1	3,449	68,99
TIPO 06 refletores externos	7	**SEM SUBSTITUIÇÃO**	1		7	7	Apenas esporadica-mente noite	0	0	0
TIPO 07 postes refletores externos	9	**SEM SUBSTITUIÇÃO**	1		9	9	Apenas esporadica-mente noite	0	0	0
TIPO 08 refletor grande externo (placa)	1	**SEM SUBSTITUIÇÃO**	1		1	1	Não está sendo utilizado	0	0	0

Continua

Continuação

SETOR 06 - ÁREA VESTIÁRIO FUNCIONÁRIOS - FERRAMENTAS										
TIPO 04 A (teto) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	2	2 lâmpadas Essential tubo LED - 18W - Philips	2	18	4	72	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	1	0,077	1,55
TIPO 04 C (parede) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	5	2 lâmpadas Essential tubo LED - 18W - Philips	2	18	10	180	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	1	0,193	3,87
TIPO 09 - CIRCULAR	15	2 lâmpadas Philips LED - 9,5W	2	9,5	30	285	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	0,612	12,25
SETOR 07 - ÁREA MANUTENÇÃO 02										
TIPO 03 - ABALUX C08	34	2 lâmpadas tubo LED - 7,5W - Philips 6500K	2	7,5	68	510	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	1,096	21,93
TIPO 10 - CIRCULAR SOBREPOR 02	12	1 lâmpada Empalux LED - 30W - 6500K	1	30	12	360	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	0,774	15,48
PAVIMENTO SUPERIOR										
SETOR 08 - RH - ARQUIVO MORTO										
TIPO 02 - ABALUX C10	6	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	24	180	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	9,5	1,838	36,76
TIPO 02 - ABALUX C10	6	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	24	180	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	0,1	0,038	0,77
TIPO 02 - ABALUX C10	6	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	24	180	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	0	0	0
SETOR 09-ÁREA AUDITÓRIO E DORMITÓRIOS										
TIPO 02 - ABALUX C10	23	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	92	690	Uso esporadico	0,1	0,099	1,99
TIPO 09 - CIRCULAR	5	2 lâmpadas Philips LED - 9,5W	2	9,5	10	95	Uso esporadico	0,1	0,02	0,4
TIPO 09 - CIRCULAR	8	2 lâmpadas Philips LED - 9,5W	2	9,5	16	152	Uso esporadico (dormitórios)	0	0	0
TIPO 11 - PAR 20	3	1 lâmpada Philips LED PAR 20 - 12W	1	12	3	36	Uso esporadico (dormitórios)	0	0	0
SETOR 10 - ÁREA ADMINISTRATIVA SUPERIOR										
TIPO 02 - ABALUX C10	37	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	148	1110	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	9,5	11,335	226,7
TIPO 02 - ABALUX C10	33	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	132	990	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	2,128	42,57
TIPO 03 - ABALUX C08	5	2 lâmpadas tubo LED - 7,5W - Philips 6500K	2	7,5	10	75	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	9,5	0,766	15,32
SETOR 11 - ÁREA REFEITÓRIO										
TIPO 02 - ABALUX C10	30	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	120	900	11h30 às 13h30 (Apenas tempo de uso)	2	1,935	38,7
TIPO 03 - ABALUX C08	9	2 lâmpadas tubo LED - 7,5W - Philips 6500K	2	7,5	18	135	09h00 às 15h00 (Apenas tempo de uso)	6	0,87	17,41
TIPO 09 - CIRCULAR	9	2 lâmpadas Philips LED - 9,5W	2	9,5	18	171	11h30 às 13h30 (Apenas tempo de uso)	1	0,184	3,68
TOTAIS	652		99	463,5	1695	21412			110,182	2203,67

Fonte: Autoria própria (2017)

Como resultado final, o sistema de iluminação de todos os espaços manteve as suas qualidades e características lumínicas no espaço, e também suas luminárias, e

com a intervenção da substituição por lâmpadas mais eficientes, que necessitam potências menores, gerou a redução do consumo dado em kWh, conforme Tabela 6 comparativa dos valores totais do sistema atual e após o *retrofit*.

Tabela 5 - Comparativo dos valores totais do sistema de iluminação artificial atual e após o *retrofit*

	QUANTIDADE LUMINÁRIAS	QUANT. LÂMP.	POTÊNCIA (W) lâmpada	QUANT. TOTAL LÂMPADAS	POTÊNCIA (W) total/luminária	VALOR DO kWh (DIA)	VALOR DO kWh (MÊS)
TOTAL SISTEMA ATUAL	652	99	882	1695	39.455	205,068	4.101,28
TOTAL SISTEMA PÓS RETROFIT	652	99	463,5	1695	21.412	101,182	2.203,67

Fonte: Autoria própria (2017)

Em relação ao consumo mensal do sistema de iluminação artificial em reais, foi realizada uma nova simulação utilizando o mesmo simulador de consumo da Copel, substituindo as lâmpadas do sistema atual, pelas lâmpadas sugeridas no *retrofit*. Houve, portanto, uma redução tanto em kWh, como pode ser verificada nas Tabelas 3, 5 e 6, quanto no valor em reais, no resultado apresentado na Figura 54.

Figura 54 - Resultado Simulador Copel – Consumo sistema de iluminação artificial após *retrofit*

Fonte: Copel

Logo, a diferença no consumo, em reais, foi de R$ 1.390,61, que corresponde a uma redução de 52,48% do valor condizente ao sistema de iluminação artificial atual, obtido apenas com a troca de lâmpadas, demonstrando a eficiência das mesmas e a possibilidade de uma redução de consumo relativamente simples e de baixo impacto para a empresa.

4.2 *RETROFIT* 02: Revisão do Projeto Luminotécnico

Como uma segunda opção de intervenção, visando ainda ao objetivo principal de redução do consumo com iluminação artificial e maior eficiência energética do sistema, foi realizada uma revisão do projeto luminotécnico atual, tendo em vista o menor impacto na situação existente, ou seja, levou-se em conta a máxima preservação dos equipamentos instalados hoje na empresa.

Primeiramente foi feita uma análise considerando a iluminação natural de acordo com as aberturas da edificação, tendo assim a real situação existente no local, pois a empresa opera em sua maior parte do dia no período em que há luz natural acompanhada do sistema artificial. Em decorrência dos resultados finais apresentarem impactante interferência do Sol, foi realizada uma segunda análise, considerando então apenas o sistema de iluminação artificial em cada ambiente, sendo esta utilizada para o *retrofit*, pois representa a pior situação de luminosidade, no caso de um funcionamento de todos os espaços da empresa no período em que não existe luz natural, o sistema de iluminação artificial deverá suprir de forma adequada o mínimo necessário para os usuários.

Para tanto, com o intuito de obter a compreensão do sistema de iluminação artificial no espaço presente, foi efetuada a simulação no *software* DIALux da situação atual. Para essa simulação foi importada a planta baixa dos pavimentos do programa *AutoCAD* e suas paredes e aberturas modeladas no programa, as luminárias foram inseridas via uma extensão do *software* que permite baixar diversos modelos existentes no mercado, de diversas marcas, com lâmpadas e valores de dimensões, potência, e corrente luminosa compatíveis com o programa, e como dados de saída são apresentados diagramas de iluminação, cálculos, imagens e outros parâmetros que auxiliam na readequação dos ambientes. A análise foi feita por setores, estes e

as luminárias citadas abaixo referem-se aos objetos descritos e nomeados no início do item 4.

Para definir quais seriam os valores de iluminância a serem utilizados como parâmetro, utilizou-se a norma NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), a qual estabelece os valores de iluminância recomendados para cada ambiente. Então, para o estudo de caso foi definido que seriam utilizados os valores médios estipulados para cada atividade da empresa semelhante às determinadas pela norma, conforme apresentados na última coluna da Tabela 6.

Dentre os resultados obtidos, podemos observar primeiramente a sua iluminância nos ambientes, que, na maioria dos espaços analisados, atingiu resultados acima da média estipulada como parâmetro e, nos locais em que há a incidência de luz solar, esses valores aumentam consideravelmente. Na Tabela 6 estão descritos tais valores de iluminância para cada setor, subdivididas nos ambientes e suas atividades, e na última coluna os parâmetros, onde a cor verde representa que os valores de iluminância apresentados no ambiente estão de acordo com o estabelecido pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), e os que aparecem destacados na cor rosa estão insuficientes.

Tabela 6 - Iluminância no Sistema de Iluminação existente na empresa

SETOR	AMBIENTE/ ATIVIDADE	LUMINÁRIAS	Valor de Iluminância Média (lx) CONSIDERANDO ILUMINAÇÃO NATURAL	Valor de Iluminância Média (lx) APENAS ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	Parâmetro de Valor de Iluminância Média (lx) NBR5413 - para sistema de iluminação artificial
PAVIMENTO TÉRREO					
SETOR 01 - ÁREA DE SHOW ROOM	SHOWROOM	TIPO 01	**1287** (MÍNIMO: 262 MÁXIMO: 7238)	**481** (MÍNIMO: 92.4 MÁXIMO:836)	≥ 300
	SALA DE REUNIÕES	TIPO 02	**2306** (MÍNIMO: 344 MÁXIMO: 13303)	**634** (MÍNIMO: 130 MÁXIMO: 1.154)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**2498** (MÍNIMO: 372 MÁXIMO: 13.322)	**514** (MÍNIMO: 96.3 MÁXIMO: 1.020)	≥ 500
	DML	TIPO 02	**1642** (MÍNIMO: 465 MÁXIMO: 11.200)	**518** (MÍNIMO: 267 MÁXIMO: 739)	≥ 200

Continua

Continuação

SETOR 02 - ÁREA ADMINISTRATIVA TÉRREO	COPA	TIPO 02	**3138** (MÍNIMO: 801 MÁXIMO: 13.531)	**504** (MÍNIMO: 150 MÁXIMO: 890)	≥ 200
	CAFÉ/ ATENDIMENTO	TIPO 02	**436** (MÍNIMO: 13.2 MÁXIMO: 875)	**435** (MÍNIMO: 9.35 MÁXIMO: 876)	≥ 200
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**1625** (MÍNIMO: 545 MÁXIMO: 4.117)	**666** (MÍNIMO: 123 MÁXIMO: 1.161)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**1595** (MÍNIMO: 434 MÁXIMO: 3.916)	**624** (MÍNIMO: 155 MÁXIMO: 1.137)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**551** (MÍNIMO: 74.8 MÁXIMO: 1.010)	**560** (MÍNIMO: 133 MÁXIMO: 1.013)	≥ 500
	BANHEIRO	TIPO 02	**771** (MÍNIMO: 266 MÁXIMO: 1303)	**553** (MÍNIMO: 212 MÁXIMO: 813)	≥ 200
	BANHEIRO	TIPO 02	**687** (MÍNIMO: 242 MÁXIMO: 1.078)	**548** (MÍNIMO: 206 MÁXIMO: 809)	≥ 200
SETOR 03 - ÁREA DE VENDAS	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**385** (MÍNIMO: 146 MÁXIMO: 590)	**382** (MÍNIMO: 136 MÁXIMO: 580)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**524** (MÍNIMO: 259 MÁXIMO: 681)	**524** (MÍNIMO: 259 MÁXIMO: 681)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**378** (MÍNIMO: 133 MÁXIMO: 616)	**376** (MÍNIMO: 127 MÁXIMO: 610)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**563** (MÍNIMO: 275 MÁXIMO: 724)	**560** (MÍNIMO: 274 MÁXIMO: 717)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**483** (MÍNIMO: 219 MÁXIMO: 676)	**483** (MÍNIMO: 217 MÁXIMO: 667)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**470** (MÍNIMO: 258 MÁXIMO: 647)	**467** (MÍNIMO: 250 MÁXIMO: 638)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**431** (MÍNIMO: 119 MÁXIMO: 730)	**419** (MÍNIMO: 104 MÁXIMO: 715)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**334** (MÍNIMO: 171 MÁXIMO: 510)	**335** (MÍNIMO: 167 MÁXIMO: 511)	≥ 500
	CIRCULAÇÃO	TIPO 03	**1.221** (MÍNIMO: 497 MÁXIMO: 1784)	**1210** (MÍNIMO: 458 MÁXIMO: 1.774)	≥ 200
SETOR 04 - ÁREA DE ESTOQUE PEÇAS	ESTOQUE DE PEÇAS/ DEPÓSITO	TIPOS 04 E 05	**791** (MÍNIMO: 43.9 MÁXIMO: 13.211)	**361** (MÍNIMO: 21.3 MÁXIMO: 713)	≥ 500

Continua

Continuação

SETOR 05 - ÁREA EXTERNA - PÁTIO - MANUTENÇÃO - ESTACIONAMENTO	MANUTENÇÃO	TIPO 04	**796** (MÍNIMO: 484 MÁXIMO: 1.913)	**583** (MÍNIMO: 330 MÁXIMO: 880)	≥ 500
	MANUTENÇÃO	TIPO 04	**743** (MÍNIMO: 350 MÁXIMO: 1.795)	**570** (MÍNIMO: 277 MÁXIMO: 863)	≥ 500
	PÁTIO	TIPO 05	**5299** (MÍNIMO: 135 MÁXIMO: 22.266)	**519** (MÍNIMO: 22.8 MÁXIMO: 1.040)	≥ 500
	MANUTENÇÃO	TIPO 05	**593** (MÍNIMO: 46.4 MÁXIMO: 4.240)	**593** (MÍNIMO: 33.7 MÁXIMO: 4.232)	≥ 500
	MANUTENÇÃO	TIPOS 04 E 05	**681** (MÍNIMO: 91.1 MÁXIMO: 4.109)	**682** (MÍNIMO: 93.3 MÁXIMO: 4.171)	≥ 500
SETOR 06 - ÁREA VESTIÁRIO FUNCIONÁRIOS - FERRAMENTAS	FERRAMENTAS	TIPO 04	**1040** (MÍNIMO: 138 MÁXIMO: 17.610)	**182** (MÍNIMO: 41.8 MÁXIMO: 451)	≥ 500
	VESTIÁRIO	TIPO 09	**1529** (MÍNIMO: 53.0 MÁXIMO: 13.958)	**200** (MÍNIMO: 13.0 MÁXIMO: 266)	≥ 200
SETOR 07 - ÁREA MANUTENÇÃO 02	MANUTENÇÃO	TIPO 03	**915** (MÍNIMO: 349 MÁXIMO: 2009)	**725** (MÍNIMO: 315 MÁXIMO: 1087)	≥ 500
	MANUTENÇÃO	TIPO 03	**946** (MÍNIMO: 401 MÁXIMO: 1899)	**822** (MÍNIMO: 385 MÁXIMO:1357)	≥ 500
	MANUTENÇÃO	TIPO 03	**1245** (MÍNIMO: 722 MÁXIMO: 1892)	**1235** (MÍNIMO: 709 MÁXIMO: 1882)	≥ 500
	MANUTENÇÃO	TIPO 03	**955** (MÍNIMO: 410 MÁXIMO 1958)	**825** (MÍNIMO: 379 MÁXIMO: 1362)	≥ 500
	MANUTENÇÃO	TIPO 03	**905** (MÍNIMO: 344 MÁXIMO: 1979)	**727** (MÍNIMO: 305 MÁXIMO: 1091)	≥ 500
	MANUTENÇÃO	TIPO 10	**246** (MÍNIMO: 136 MÁXIMO:297)	**237** (MÍNIMO: 135 MÁXIMO: 288)	≥ 500
PAVIMENTO SUPERIOR					
SETOR 08 - RH - ARQUIVO MORTO	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**1035** (MÍNIMO: 337 MÁXIMO: 2.541)	**439** (MÍNIMO: 171 MÁXIMO: 612)	≥ 200
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**1286** (MÍNIMO: 398 MÁXIMO: 2.651)	**402** (MÍNIMO: 134 MÁXIMO: 685)	≥ 200
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**602** (MÍNIMO: 353 MÁXIMO: 774)	**601** (MÍNIMO: 344 MÁXIMO: 773)	≥ 200
SETOR 09-ÁREA AUDITÓRIO E DORMITÓRIOS	AUDITÓRIO	TIPO 02	**2304** (MÍNIMO: 360 MÁXIMO: 16.100)	**442** (MÍNIMO: 171 MÁXIMO: 595)	≥ 500
	COFFE BREAK	TIPO 02	**2747** (MÍNIMO: 62.0 MÁXIMO: 16.552)	**277** (MÍNIMO: 7.38 MÁXIMO: 616)	≥ 200
	BANHEIRO	TIPO 09	**357** (MÍNIMO: 146 MÁXIMO: 542)	**234** (MÍNIMO: 63.7 MÁXIMO: 324)	≥ 200
	BANHEIRO	TIPO 09	**345** (MÍNIMO: 182 MÁXIMO: 520)	**243** (MÍNIMO: 141 MÁXIMO: 307)	≥ 200

Continua

Continuação

SETOR 10 - ÁREA ADMINISTRATIVA SUPERIOR	RECEPÇÃO/ ESPERA/ CIRCULAÇÃO	TIPOS 02 E 03	**441** (MÍNIMO: 2.90 MÁXIMO: 912)	**441** (MÍNIMO: 2.90 MÁXIMO: 912)	≥ 200
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**3712** (MÍNIMO: 648 MÁXIMO: 13.193)	**571** (MÍNIMO: 303 MÁXIMO: 702)	≥ 500
	BANHEIRO	TIPO 02	**520** (MÍNIMO: 288 MÁXIMO: 724)	**440** (MÍNIMO: 239 MÁXIMO: 621)	≥ 200
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**904** (MÍNIMO: 106 MÁXIMO: 2896)	**487** (MÍNIMO: 63.6 MÁXIMO: 686)	≥ 200
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**1518** (MÍNIMO: 566 MÁXIMO: 3106)	**535** (MÍNIMO: 235 MÁXIMO: 675)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**606** (MÍNIMO: 257 MÁXIMO: 787)	**566** (MÍNIMO: 206 MÁXIMO: 770)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**426** (MÍNIMO: 164 MÁXIMO: 662)	**426** (MÍNIMO: 164 MÁXIMO: 662)	≥ 500
	BANHEIRO	TIPO 02	**1555** (MÍNIMO: 542 MÁXIMO: 12.955)	**494** (MÍNIMO: 283 MÁXIMO: 659)	≥ 200
	BANHEIRO	TIPO 02	**1093** (MÍNIMO: 37.6 MÁXIMO: 12941)	**452** (MÍNIMO: 20.3 MÁXIMO: 689)	≥ 200
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**2316** (MÍNIMO: 429 MÁXIMO: 14503)	**577** (MÍNIMO: 143 MÁXIMO: 766)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**655** (MÍNIMO: 365 MÁXIMO: 846)	**655** (MÍNIMO: 365 MÁXIMO: 846)	≥ 500
SETOR 11 - ÁREA REFEITÓRIO	REFEITÓRIO	TIPOS 02 E 09	**1481** (MÍNIMO: 155 MÁXIMO: 13.967)	**452** (MÍNIMO: 52.5 MÁXIMO: 674)	≥ 200
	COZINHA	TIPO 03	**3353** (MÍNIMO: 467 MÁXIMO: 14.376)	**976** (MÍNIMO: 95.5 MÁXIMO: 1765)	≥ 500
	DESPENSA	TIPO 03	**586** (MÍNIMO: 237 MÁXIMO: 843)	**586** (MÍNIMO: 237 MÁXIMO: 843)	≥ 200
	COZINHA	TIPO 03	**3778** (MÍNIMO: 938 MÁXIMO: 13.711)	**712** (MÍNIMO: 398 MÁXIMO: 1161)	≥ 500
	LAVATÓRIO	TIPO 09	**184** (MÍNIMO: 98.7 MÁXIMO: 241)	**183** (MÍNIMO: 101 MÁXIMO: 239)	≥ 200
	BANHEIRO	TIPO 09	**160** (MÍNIMO: 64.0 MÁXIMO: 228)	**158** (MÍNIMO: 63.0 MÁXIMO: 226)	≥ 200
	BANHEIRO	TIPO 09	**384** (MÍNIMO: 166 MÁXIMO: 518)	**329** (MÍNIMO: 189 MÁXIMO: 447)	≥ 200
	BANHEIRO	TIPO 09	**344** (MÍNIMO: 225 MÁXIMO: 458)	**281** (MÍNIMO: 205 MÁXIMO: 347)	≥ 200

Fonte: Autoria própria (2018)

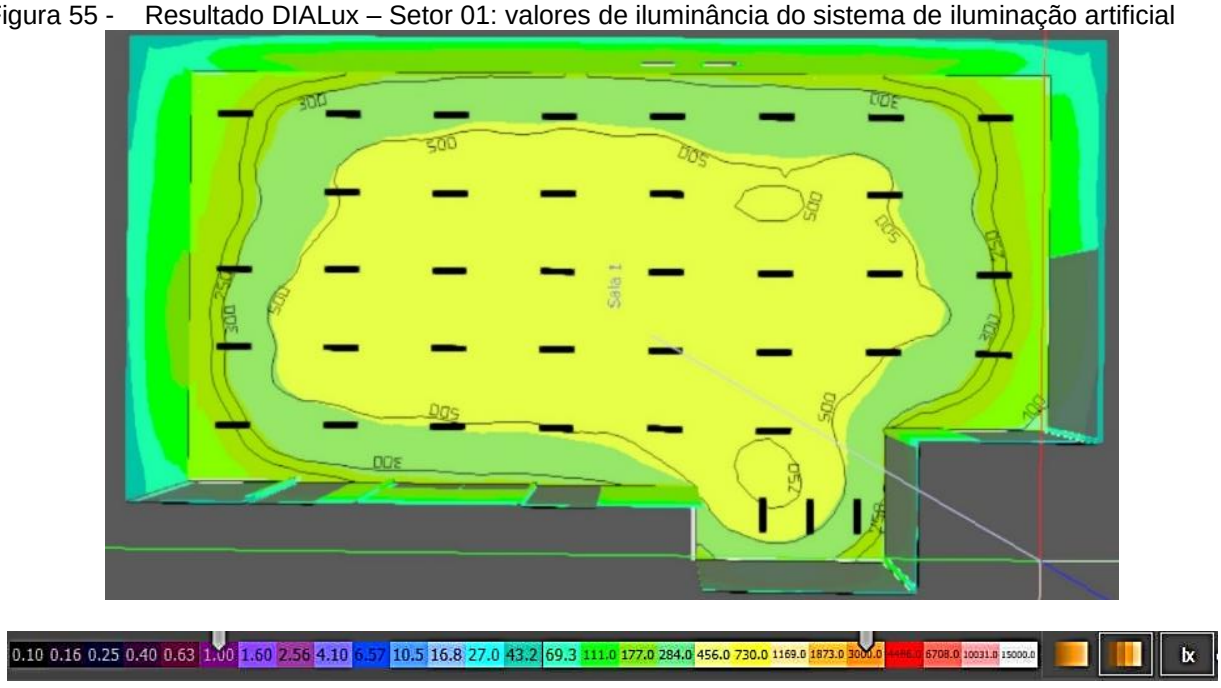
Outro aspecto de relevância encontrado para a readequação do sistema de iluminação artificial da edificação, é o fato de grande parte dos ambientes apresentarem um superdimensionamento no sistema de iluminação artificial e em

diversos casos, quando o pé direito é muito alto e as luminárias estão posicionadas sobrepostas às lajes, suas propriedades lumínicas se perdem no espaço, em seu longo trajeto até encontrar o objeto a ser iluminado. Isso gera um grande desperdício energético dos equipamentos e, consequentemente, a sua eficiência se torna baixa.

4.2.1 Análise de iluminância dos setores da situação atual

O setor 01, que representa uma ampla área de *showroom* é composto por um sistema de luminárias do tipo 01, e para o sistema de iluminação artificial isolada, apresentou valor de iluminância média muito acima do adequado para o espaço, justificado pelo fato de existir muitas luminárias, e as mesmas apresentarem alta potência e alto fluxo luminoso. Como o espaço é muito amplo e as luminárias estão localizadas à 6,37 metros do piso acabado, as suas propriedades lumínicas se perdem no espaço, gerando o desperdício e caracterizando o sistema como de baixa eficiência energética. Na Figura 55 é possível observar os resultados obtidos por meio de valores médios de iluminância, representados nos tons de verde e amarelo.

Figura 55 - Resultado DIALux – Setor 01: valores de iluminância do sistema de iluminação artificial

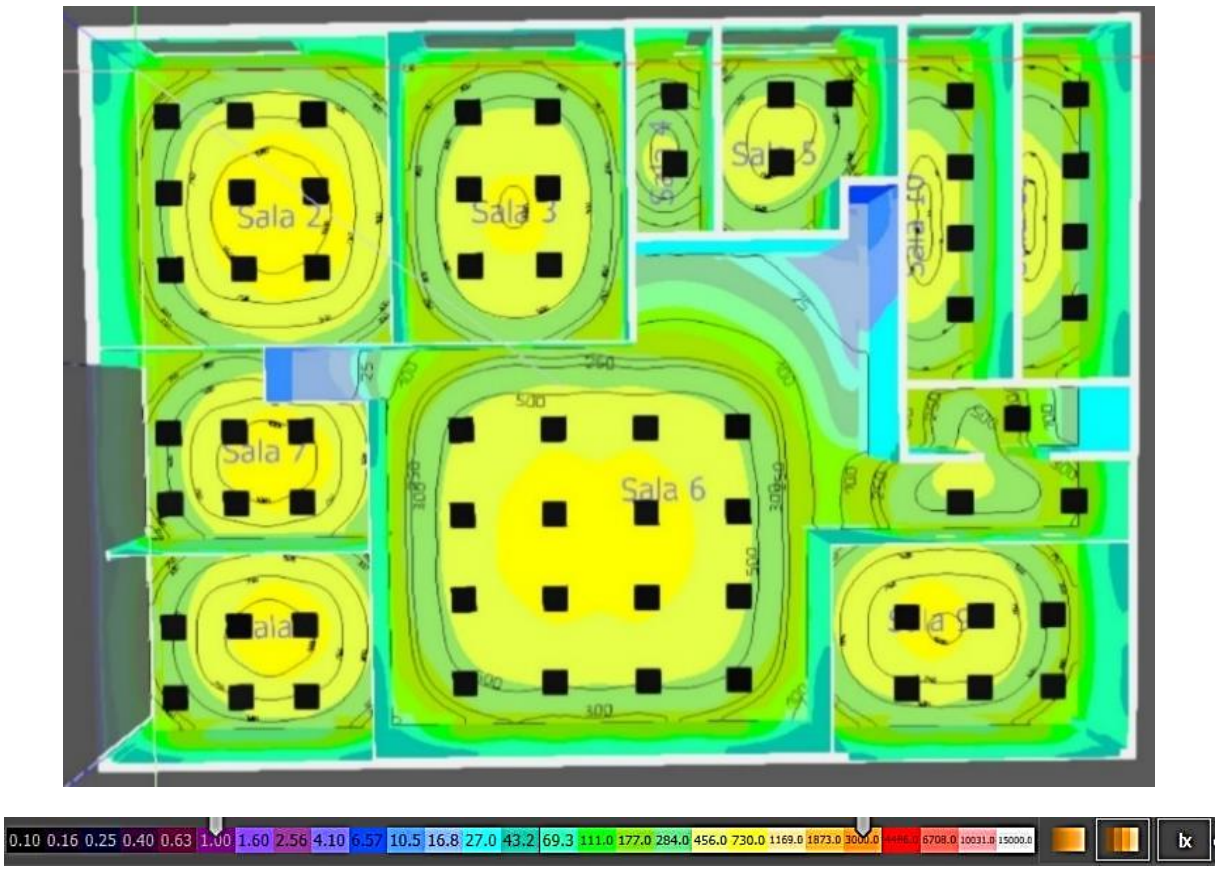


Fonte: DiaLux (2018)

O setor 02, abrange a área administrativa do edifício, o sistema implantado nesse espaço corresponde a luminária tipo 02 localizadas à altura de 2,90 metros, que está

presente em vários outros ambientes da empresa, apontou valores de iluminância acima do parâmetro estabelecido, conforme apontado na Figura 56. Visto que a sua disposição em todos esses ambientes é muito semelhante, segue proporcionalmente o número de luminárias por área.

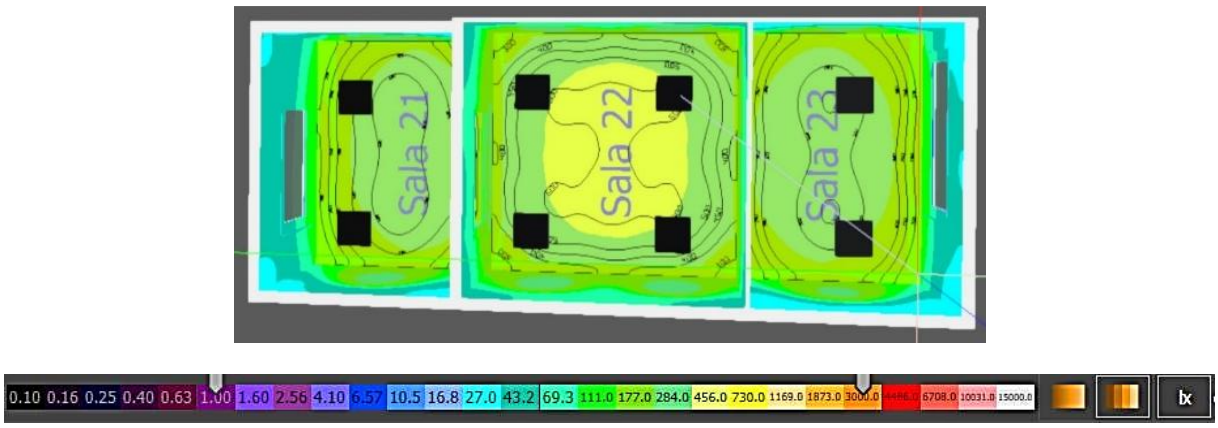
Figura 56 - Resultado DIALux – Setor 02: valores de iluminância do sistema de iluminação artificial



Fonte: DiaLux (2018)

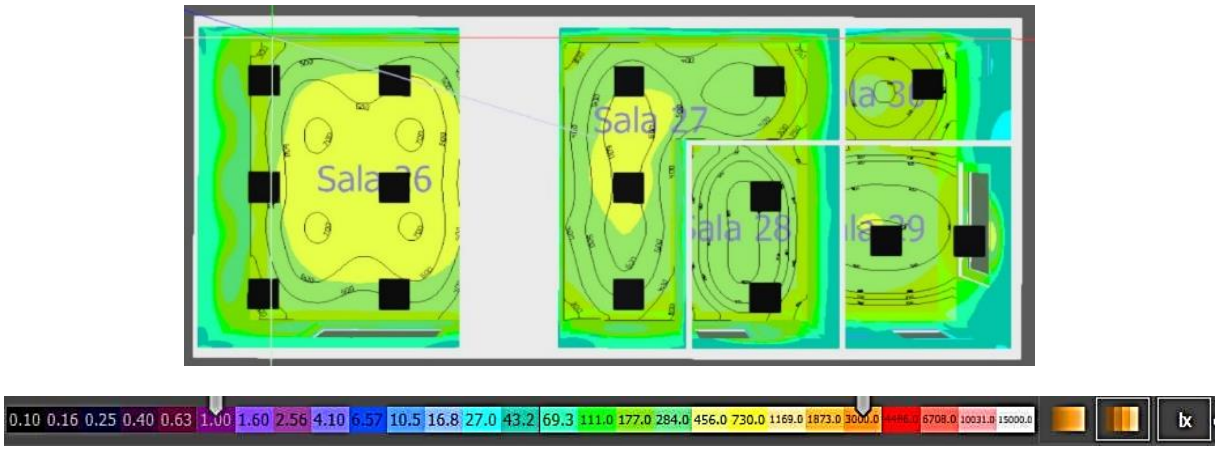
O setor de vendas (setor 03) é composto por luminárias do tipo 02, à uma altura de 2,70 metros e os seus espaços se caracterizam de forma semelhante ao setor 02, para a avaliação do sistema de iluminação artificial, a maioria de seus ambientes apresentam valores de iluminância abaixo do mínimo estabelecido como parâmetro, Figuras 57 e 58. Um dos ambientes é formado por luminárias do tipo 03 e apresenta-se superdimensionado, no qual os seus valores de iluminância aparecem muito acima do mínimo indicado, conforme Figura 59, isso ocorre devido a sua pequena área em relação a quantidade e potência excedentes das luminárias.

Figura 57 - Resultado DIALux – Setor 03 – valores de iluminância



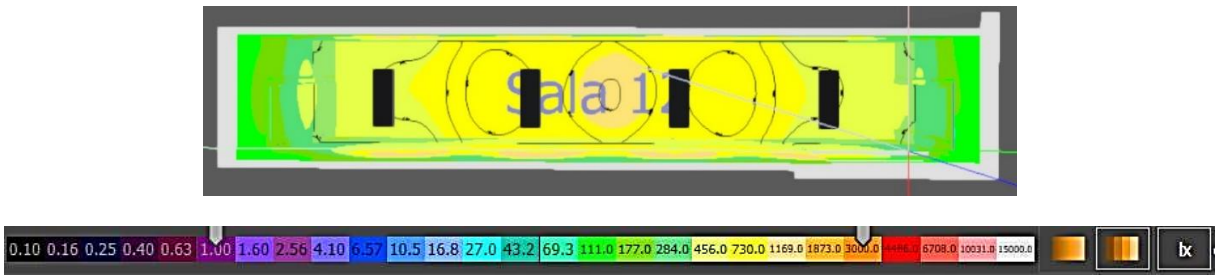
Fonte: DiaLux (2018)

Figura 58 - Resultado DIALux – Setor 03 – valores de iluminância



Fonte: DiaLux (2018)

Figura 59 - Resultado DIALux – Setor 03 – valores de iluminância

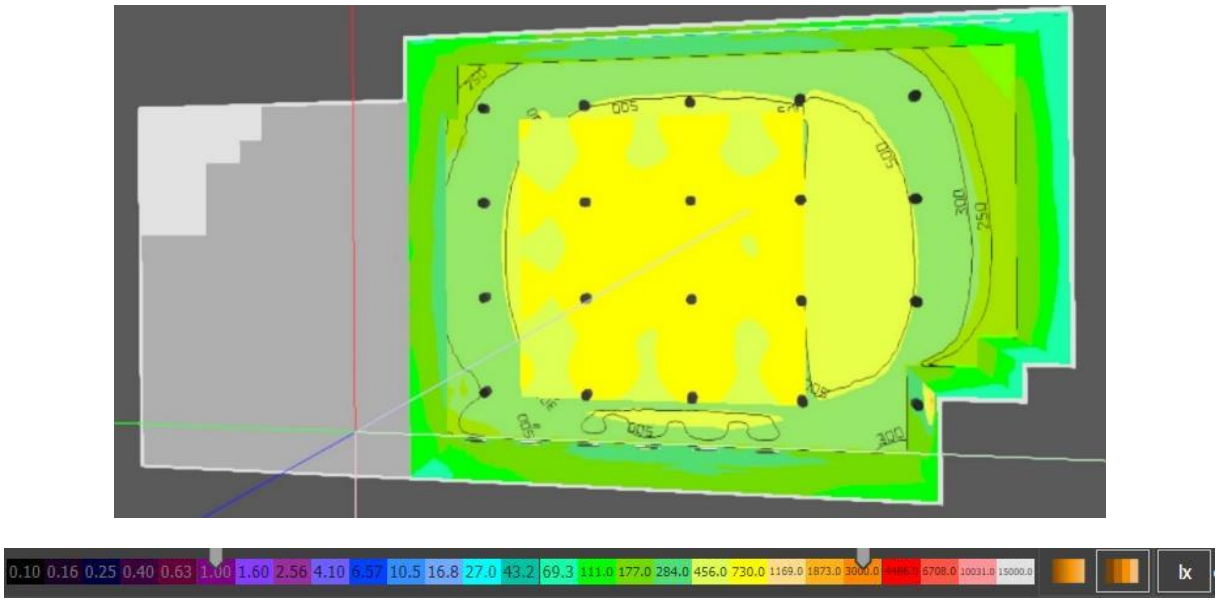


Fonte: DiaLux (2018)

A área de estoque de peças, que corresponde ao setor 04, é constituída por luminárias do tipo 04, que variam em relação as suas alturas e posicionamento. Desse modo, elas foram sub-classificadas em 4A luminárias de teto dispostas à 2,53 metros

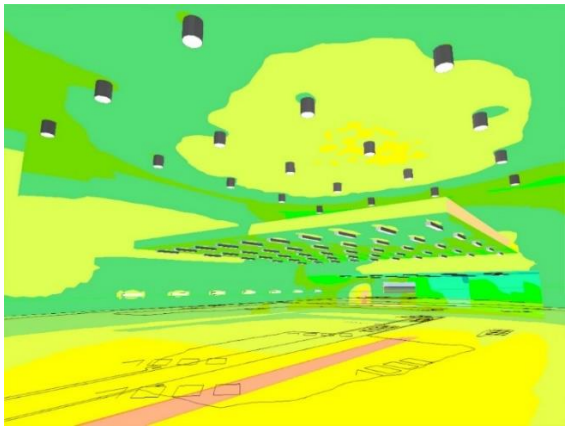
de altura, 4B à 3,33 metros e 4C nas paredes à 2,15 metros do piso. Elas estão compostas no espaço com as luminárias industriais tipo 05 localizadas à 8,76 metros do piso. Juntas criam um ambiente com grande número de luminárias e pouca iluminância, correspondendo à um valor médio de apenas 361 lx, quando considerado apenas o sistema artificial, Figuras 60 e 61. Assim como o setor 01, o sistema de iluminação artificial apresenta a perda de energia, pelo seu amplo espaço, além de superdimensionamento de luminárias e suas potências.

Figura 60 - Resultado DIALux – Setor 04 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial



Fonte: DiaLux (2018)

Figura 61 - Resultado DIALux – Setor 04 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial

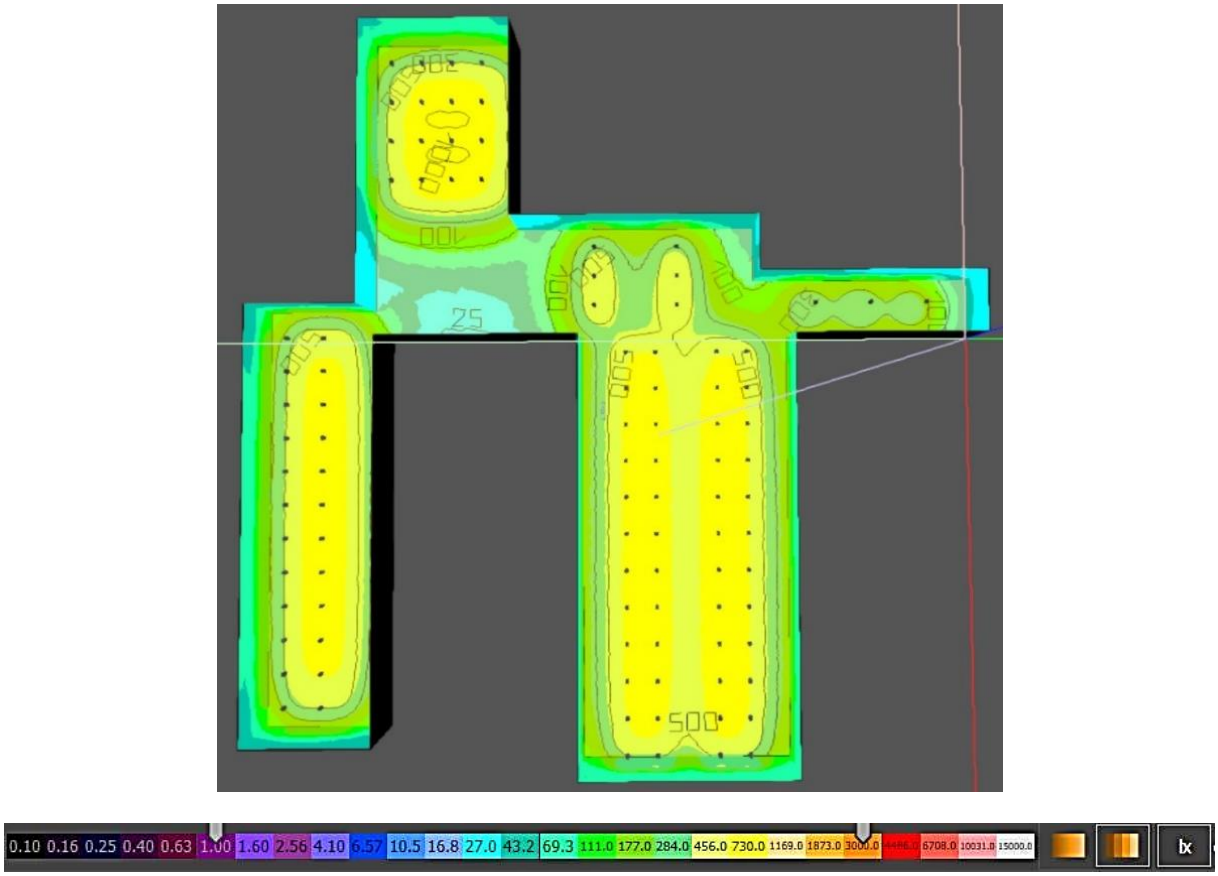


Fonte: DiaLux (2018)

Na área externa do setor 05, estão as luminárias do tipo 05, foi efetuada à análise nesse extenso pátio coberto, aberto nas laterais, com 7,62 metros de altura. Além de apresentar grande quantidade de lâmpadas, se faz importante evidenciar que os usuários não utilizam a iluminação artificial durante o dia, apenas ao anoitecer, já que o espaço é aberto e bem iluminado naturalmente (Figura 62).

É importante destacar também que os resultados no sistema de iluminação artificial são relativamente baixos, pois há a perda energética do sistema, por conta da altura de instalação dos equipamentos.

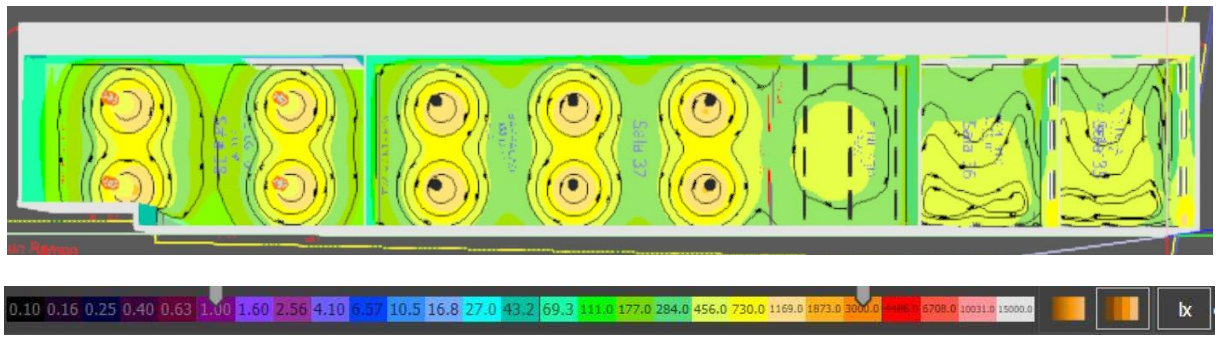
Figura 62 - Resultado DIALux – Setor 05 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial



Fonte: DiaLux (2018)

Esse setor também contempla uma área coberta e conta com luminárias do tipo 04, com instalação nas paredes à uma altura de 2,15 metros e na laje com altura de 2,92 metros, e luminárias tipo 05, visto que os seus resultados foram satisfatórios, conforme disposto na Figura 63.

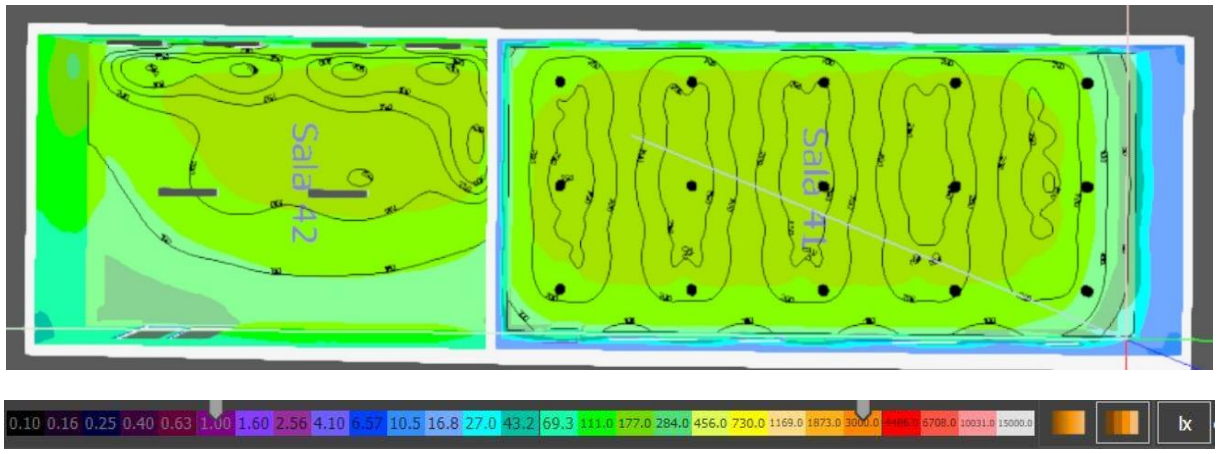
Figura 63 - Resultado DIALux – Setor 05 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial



Fonte: DiaLux (2018)

O setor 06, conta com um vestiário para funcionários que possui luminárias do tipo 09 a 2,92 metros do piso e denota estar na média perante a norma vigente. Já a sala de ferramentas, a qual possui luminárias do tipo 04, localizadas à uma altura de 2,15 metros nas paredes e 2,92 no teto, os seus valores de iluminância estão abaixo do parâmetro (Figura 64).

Figura 64 - Resultado DIALux – Setor 06 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial

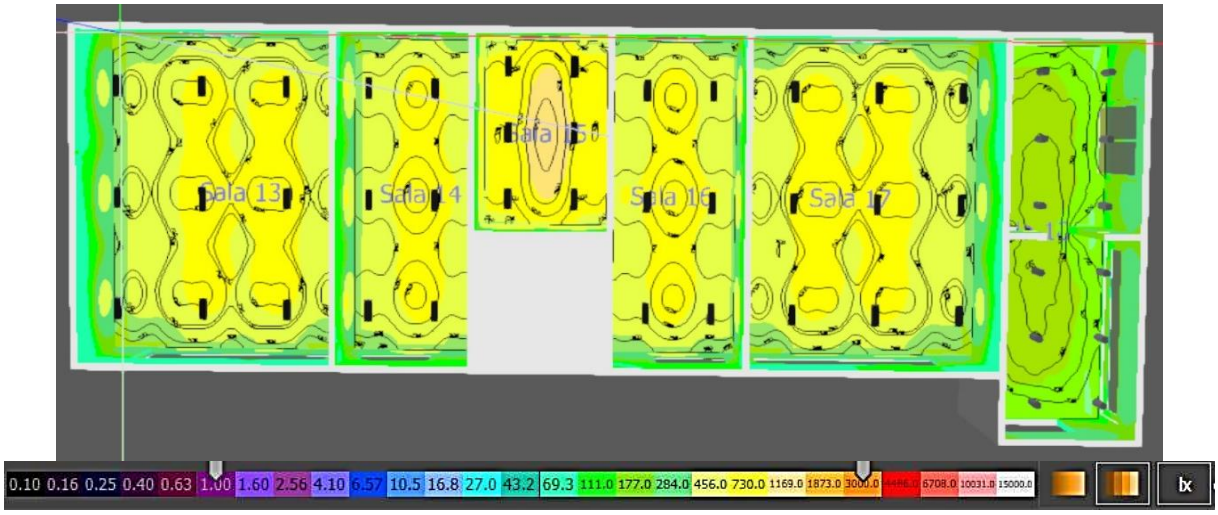


Fonte: DiaLux (2018)

As luminárias do tipo 03, que pertencem ao setor 07 cumpriram com os fatores de iluminância do ambiente. Contudo, foram apontadas como um sistema superdimensionado, pois é possível de observar mais uma vez que o valor médio de Iluminância está acima do mínimo indicado para a área de manutenção, e a ocorrência se dá devido a quantidade e potência excedentes das luminárias em seus locais de instalação. Já as luminárias tipo 10, concentradas em uma das áreas de manutenção,

apresenta baixos valores de iluminância, apesar de sua alta potência e sua grande quantidade, esses valores estão representados em tons de verde, se destacando das demais salas, conforme Figura 65.

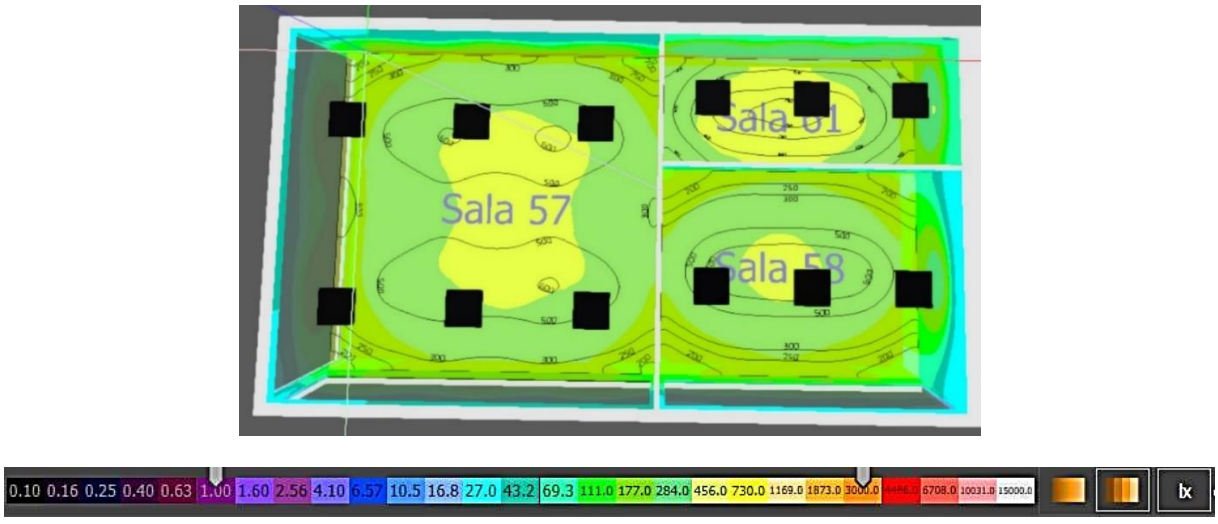
Figura 65 - Resultado DIALux – Setor 07 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial



Fonte: DiaLux (2018)

Situado no pavimento superior, o setor 08 abrange salas com luminárias do tipo 02, os resultados avaliando apenas os efeitos luminosos dos equipamentos, Figura 66, se demonstrou coerente com os parâmetros de iluminância.

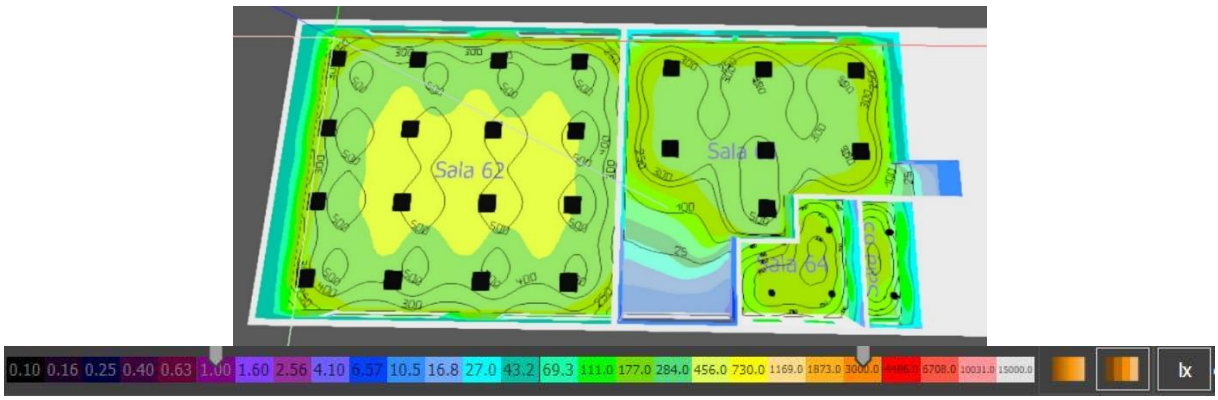
Figura 66 - Resultado DIALux – Setor 08 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial



Fonte: DiaLux (2018)

Quanto à iluminância no setor 09, com exceção da sala de auditório, os demais ambientes se manifestam condizentes aos valores estabelecidos na norma. O setor compreende as luminárias do tipo 02 para os espaços mais amplos e luminárias do tipo 09 nos banheiros (Figura 67).

Figura 67 - Resultado DIALux – Setor 09 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial



Fonte: DiaLux (2018)

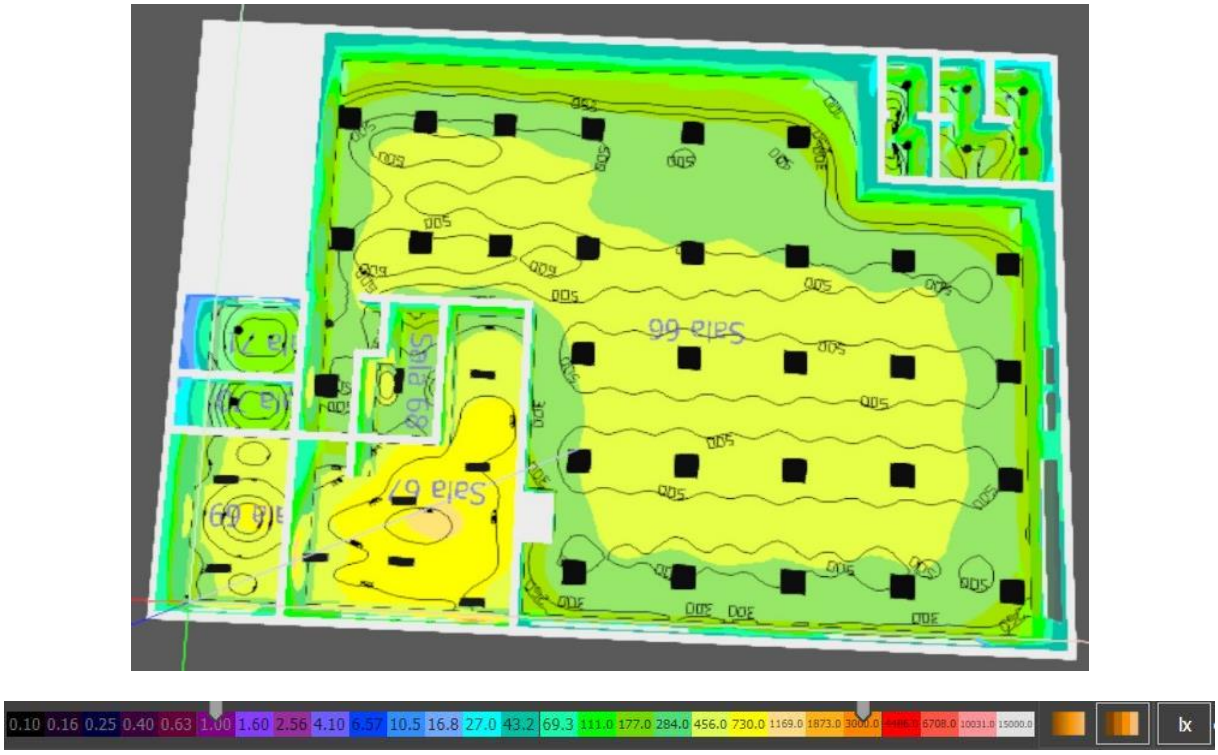
Também localizado no pavimento superior, o setor 10, que possui luminárias do tipo 02 em suas salas e tipo 03 na circulação dispostas à 2,77 metros de altura do piso, obteve em sua maioria resultados de iluminância satisfatórios para os seus ambientes, segundo recomendação normativa. Apenas uma das salas demonstrou valores de iluminância abaixo dos parâmetros propostos (Figura 68).

Figura 68 - Resultado DIALux – Setor 10 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial

Fonte: DiaLux (2018)

O setor 11, com pé direito de 2,86 metros, envolve o refeitório da empresa e conta com equipamentos de iluminação do tipo 02, 03 e 09. Com exceção de um dos banheiros e do lavatório, os demais ambientes alcançaram os valores ideais de acordo com os parâmetros estabelecidos. Na Figura 69, os tons de amarelo e verde claro demonstram que para esses espaços estão bem iluminados. Além disso, fica evidente que no salão principal do refeitório a grande quantidade de luminárias do tipo 02 resulta em um espaço com sistema de iluminação artificial superdimensionado.

Figura 69 - Resultado DIALux – Setor 10 – valores de iluminância do sistema de iluminação artificial



Fonte: DiaLux (2018)

4.2.2 Análise de iluminância dos setores após *retrofit*

Considerando o reposicionamento das luminárias, e possíveis ajustes, utilizou-se como parâmetro a eficiência atual das luminárias ou o ideal recomendável perante as normas ABNT NBR 5413 (Iluminância de Interiores) e a NBR ISO/CIE 8995-1 (Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior) para cada ambiente e assim, foi realizado a nova simulação no *software DIALux*. Para definir as propostas de revisão do projeto luminotécnico existente foi considerado o menor impacto no sistema

de iluminação artificial existente, preservando as suas luminárias e lâmpadas, propondo apenas a readequação das mesmas em seus ambientes, visando o reposicionamento e redução da sua quantidade quando necessário, sustentando suas alterações nos valores de iluminância de cada espaço dados em iluminância (*lx)*.

Como resultados desse *retrofit*, foi realizada uma segunda tabela de iluminância (Tabela 7) para cada setor e suas respectivas divisões internas, com os valores atualizados segundo proposto no estudo, podendo ser feito o comparativo entre os valores encontrados para o sistema de iluminação artificial atual e após a revisão. É notável que todos os valores de iluminância encontram-se adequados perante parâmetro pré-estabelecido, e que ainda houve uma preocupação em atingir valores muito próximos do mínimo exigido pela norma NBR ISO/CIE 8995-1, para minimizar o número de luminárias excedentes e, por conseguinte atingir redução de consumo energético.

Tabela 7 - Iluminância no Sistema de Iluminação após revisão

SETOR	AMBIENTE/ ATIVIDADE	LUMINÁRIAS	Valor de Iluminância Média (lx) APENAS ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	Valor de Iluminância Média (lx) RETROFIT	Parâmetro de Valor de Iluminância Média (lx) NBR5413 - para sistema de iluminação artificial
PAVIMENTO TÉRREO					
SETOR 01 - ÁREA DE SHOW ROOM	SHOWROOM	TIPO 01	**481** (MÍNIMO: 92.4 MÁXIMO:836)	**352** (MÍNIMO: 76.5 MÁXIMO:1.255)	≥ 300
	SALA DE REUNIÕES	TIPO 02	**634** (MÍNIMO: 130 MÁXIMO: 1.154)	**581** (MÍNIMO: 285 MÁXIMO: 747)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**514** (MÍNIMO: 96.3 MÁXIMO: 1.020)	**514** (MÍNIMO: 96.3 MÁXIMO: 1.020)	≥ 500
	DML	TIPO 02	**518** (MÍNIMO: 267 MÁXIMO: 739)	**257** (MÍNIMO: 66.7 MÁXIMO: 464)	≥ 200

Continua

Continuação

SETOR 02 - ÁREA ADMINISTRATIVA TÉRREO	COPA	TIPO 02	**504** (MÍNIMO: 150 MÁXIMO: 890)	**327** (MÍNIMO: 59.2 MÁXIMO: 580)	≥ 200
	CAFÉ/ ATENDIMENTO	TIPO 02	**435** (MÍNIMO: 9.35 MÁXIMO: 876)	**260** (MÍNIMO: 5.13 MÁXIMO: 625)	≥ 200
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**666** (MÍNIMO: 123 MÁXIMO: 1.161)	**520** (MÍNIMO: 131 MÁXIMO: 721)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**624** (MÍNIMO: 155 MÁXIMO: 1.137)	**564** (MÍNIMO: 253 MÁXIMO: 719)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**560** (MÍNIMO: 133 MÁXIMO: 1.013)	**560** (MÍNIMO: 133 MÁXIMO: 1.013)	≥ 500
	BANHEIRO	TIPO 02	**553** (MÍNIMO: 212 MÁXIMO: 813)	**263** (MÍNIMO: 96.8 MÁXIMO: 453)	≥ 200
	BANHEIRO	TIPO 02	**548** (MÍNIMO: 206 MÁXIMO: 809)	**261** (MÍNIMO: 94.8 MÁXIMO: 451)	≥ 200
SETOR 03 - ÁREA DE VENDAS	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**382** (MÍNIMO: 136 MÁXIMO: 580)	**628** (MÍNIMO: 353 MÁXIMO: 799)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**524** (MÍNIMO: 259 MÁXIMO: 681)	**524** (MÍNIMO: 259 MÁXIMO: 681)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**376** (MÍNIMO: 127 MÁXIMO: 610)	**644** (MÍNIMO: 365 MÁXIMO: 820)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**560** (MÍNIMO: 274 MÁXIMO: 717)	**560** (MÍNIMO: 274 MÁXIMO: 717)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**483** (MÍNIMO: 217 MÁXIMO: 667)	**597** (MÍNIMO: 189 MÁXIMO: 865)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**467** (MÍNIMO: 250 MÁXIMO: 638)	**658** (MÍNIMO: 349 MÁXIMO: 959)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**419** (MÍNIMO: 104 MÁXIMO: 715)	**568** (MÍNIMO: 123 MÁXIMO: 820)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**335** (MÍNIMO: 167 MÁXIMO: 511)	**596** (MÍNIMO: 375 MÁXIMO: 777)	≥ 500
	CIRCULAÇÃO	TIPO 03	**1210** (MÍNIMO: 458 MÁXIMO: 1.774)	**562** (MÍNIMO: 243 MÁXIMO: 890)	≥ 200
SETOR 04 - ÁREA DE ESTOQUE PEÇAS	ESTOQUE DE PEÇAS/ DEPÓSITO	TIPOS 04 E 05	**361** (MÍNIMO: 21.3 MÁXIMO: 713)	**571** (MÍNIMO: 44.1 MÁXIMO: 1.069)	≥ 500

Continua

Continuação

SETOR 05 - ÁREA EXTERNA - PÁTIO - MANUTENÇÃO - ESTACIONAMENTO	MANUTENÇÃO	TIPO 04	**583** (MÍNIMO: 330 MÁXIMO: 880)	**583** (MÍNIMO: 330 MÁXIMO: 880)	≥ 500
	MANUTENÇÃO	TIPO 04	**570** (MÍNIMO: 277 MÁXIMO: 863)	**570** (MÍNIMO: 277 MÁXIMO: 863)	≥ 500
	PÁTIO	TIPO 05	**519** (MÍNIMO: 22.8 MÁXIMO: 1.040)	**519** (MÍNIMO: 22.8 MÁXIMO: 1.040)	≥ 500
	MANUTENÇÃO	TIPO 05	**593** (MÍNIMO: 33.7 MÁXIMO: 4.232)	**593** (MÍNIMO: 33.7 MÁXIMO: 4.232)	≥ 500
	MANUTENÇÃO	TIPOS 04 E 05	**682** (MÍNIMO: 93.3 MÁXIMO: 4.171)	**682** (MÍNIMO: 93.3 MÁXIMO: 4.171)	≥ 500
SETOR 06 - ÁREA VESTIÁRIO FUNCIONÁRIOS - FERRAMENTAS	FERRAMENTAS	TIPO 04	**182** (MÍNIMO: 41.8 MÁXIMO: 451)	**538** (MÍNIMO: 144 MÁXIMO: 989)	≥ 500
	VESTIÁRIO	TIPO 09	**200** (MÍNIMO: 13.0 MÁXIMO: 266)	**200** (MÍNIMO: 13.0 MÁXIMO: 266)	≥ 200
SETOR 07 - ÁREA MANUTENÇÃO 02	MANUTENÇÃO	TIPO 03	**725** (MÍNIMO: 315 MÁXIMO: 1087)	**641** (MÍNIMO: 112 MÁXIMO: 1.063)	≥ 500
	MANUTENÇÃO	TIPO 03	**822** (MÍNIMO: 385 MÁXIMO:1357)	**564** (MÍNIMO: 163 MÁXIMO:1.256)	≥ 500
	MANUTENÇÃO	TIPO 03	**1235** (MÍNIMO: 709 MÁXIMO: 1882)	**673** (MÍNIMO: 243 MÁXIMO: 1.251)	≥ 500
	MANUTENÇÃO	TIPO 03	**825** (MÍNIMO: 379 MÁXIMO: 1362)	**567** (MÍNIMO: 163 MÁXIMO: 1.265)	≥ 500
	MANUTENÇÃO	TIPO 03	**727** (MÍNIMO: 305 MÁXIMO: 1091)	**589** (MÍNIMO: 136 MÁXIMO: 1.145)	≥ 500
	MANUTENÇÃO	TIPO 10	**237** (MÍNIMO: 135 MÁXIMO: 288)	**625** (MÍNIMO: 371 MÁXIMO: 760)	≥ 500
PAVIMENTO SUPERIOR					
SETOR 08 - RH - ARQUIVO MORTO	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**439** (MÍNIMO: 171 MÁXIMO: 612)	**236** (MÍNIMO: 33.2 MÁXIMO: 562)	≥ 200
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**402** (MÍNIMO: 134 MÁXIMO: 685)	**277** (MÍNIMO: 94.5 MÁXIMO: 465)	≥ 200
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**601** (MÍNIMO: 344 MÁXIMO: 773)	**223** (MÍNIMO: 30.2 MÁXIMO: 486)	≥ 200
SETOR 09-ÁREA AUDITÓRIO E DORMITÓRIOS	AUDITÓRIO	TIPO 02	**442** (MÍNIMO: 171 MÁXIMO: 595)	**547** (MÍNIMO: 221 MÁXIMO: 703)	≥ 500
	COFFE BREAK	TIPO 02	**277** (MÍNIMO: 7.38 MÁXIMO: 616)	**277** (MÍNIMO: 7.38 MÁXIMO: 616)	≥ 200
	BANHEIRO	TIPO 09	**234** (MÍNIMO: 63.7 MÁXIMO: 324)	**234** (MÍNIMO: 63.7 MÁXIMO: 324)	≥ 200
	BANHEIRO	TIPO 09	**243** (MÍNIMO: 141 MÁXIMO: 307)	**243** (MÍNIMO: 141 MÁXIMO: 307)	≥ 200

Continua

Continuação

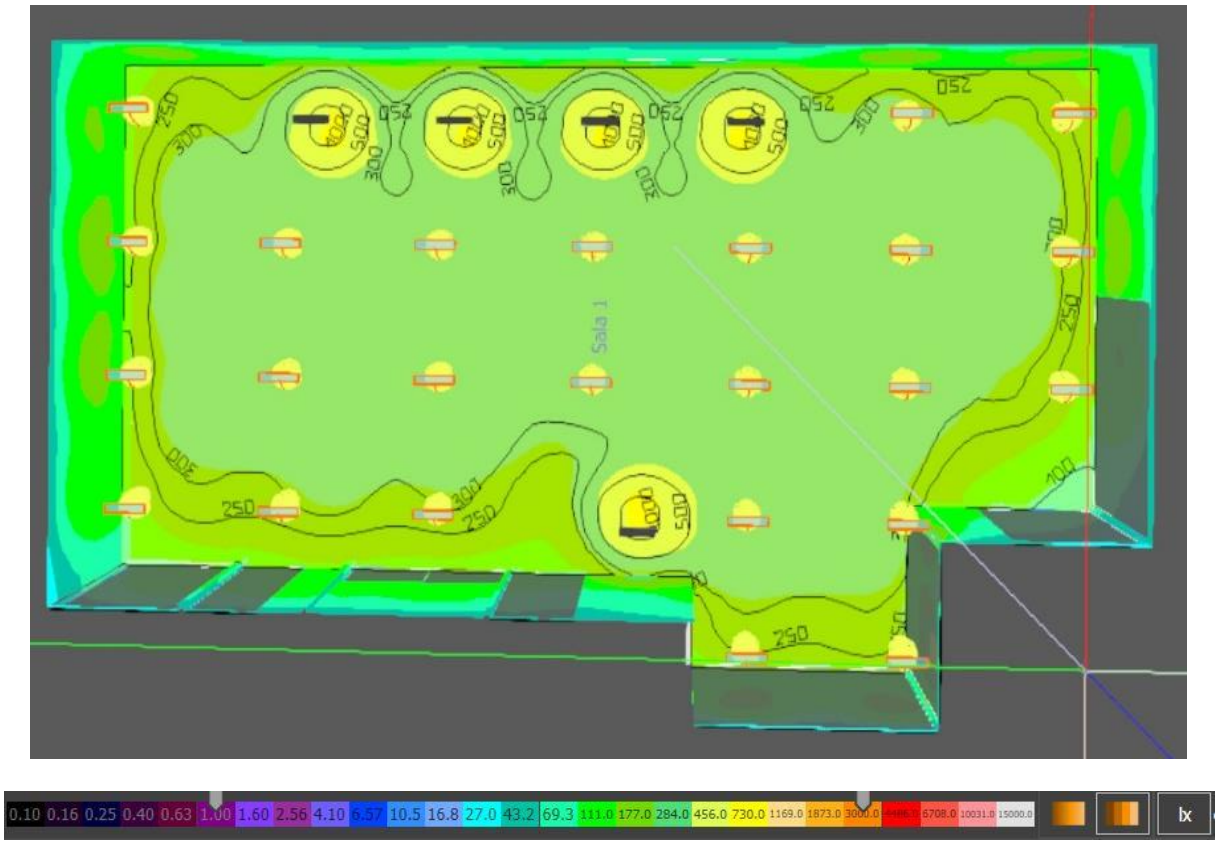
SETOR 10 - ÁREA ADMINISTRATIVA SUPERIOR	RECEPÇÃO/ ESPERA/ CIRCULAÇÃO	TIPOS 02 E 03	**441** (MÍNIMO: 2.90 MÁXIMO: 912)	**323** (MÍNIMO: 2.00 MÁXIMO: 739)	≥ 200
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**571** (MÍNIMO: 303 MÁXIMO: 702)	**571** (MÍNIMO: 303 MÁXIMO: 702)	≥ 500
	BANHEIRO	TIPO 02	**440** (MÍNIMO: 239 MÁXIMO: 621)	**440** (MÍNIMO: 239 MÁXIMO: 621)	≥ 200
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**487** (MÍNIMO: 63.6 MÁXIMO: 686)	**262** (MÍNIMO: 17.9 MÁXIMO: 541)	≥ 200
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**535** (MÍNIMO: 235 MÁXIMO: 675)	**535** (MÍNIMO: 235 MÁXIMO: 675)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**566** (MÍNIMO: 206 MÁXIMO: 770)	**566** (MÍNIMO: 206 MÁXIMO: 770)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**426** (MÍNIMO: 164 MÁXIMO: 662)	**623** (MÍNIMO: 250 MÁXIMO: 981)	≥ 500
	BANHEIRO	TIPO 02	**494** (MÍNIMO: 283 MÁXIMO: 659)	**269** (MÍNIMO: 83.2 MÁXIMO: 533)	≥ 200
	BANHEIRO	TIPO 02	**452** (MÍNIMO: 20.3 MÁXIMO: 689)	**311** (MÍNIMO: 11.3 MÁXIMO: 555)	≥ 200
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**577** (MÍNIMO: 143 MÁXIMO: 766)	**577** (MÍNIMO: 143 MÁXIMO: 766)	≥ 500
	SALA DE TRABALHO	TIPO 02	**655** (MÍNIMO: 365 MÁXIMO: 846)	**655** (MÍNIMO: 365 MÁXIMO: 846)	≥ 500
SETOR 11 - ÁREA REFEITÓRIO	REFEITÓRIO	TIPOS 02 E 09	**452** (MÍNIMO: 52.5 MÁXIMO: 674)	**243** (MÍNIMO: 11.1 MÁXIMO: 625)	≥ 200
	COZINHA	TIPO 03	**976** (MÍNIMO: 95.5 MÁXIMO: 1765)	**804** (MÍNIMO: 296 MÁXIMO: 1.302)	≥ 500
	DESPENSA	TIPO 03	**586** (MÍNIMO: 237 MÁXIMO: 843)	**586** (MÍNIMO: 237 MÁXIMO: 843)	≥ 200
	COZINHA	TIPO 03	**712** (MÍNIMO: 398 MÁXIMO: 1161)	**712** (MÍNIMO: 398 MÁXIMO: 1161)	≥ 500
	LAVATÓRIO	TIPO 09	**183** (MÍNIMO: 101 MÁXIMO: 239)	**273** (MÍNIMO: 175 MÁXIMO: 337)	≥ 200
	BANHEIRO	TIPO 09	**158** (MÍNIMO: 63.0 MÁXIMO: 226)	**316** (MÍNIMO: 227 MÁXIMO: 372)	≥ 200
	BANHEIRO	TIPO 09	**329** (MÍNIMO: 189 MÁXIMO: 447)	**329** (MÍNIMO: 189 MÁXIMO: 447)	≥ 200
	BANHEIRO	TIPO 09	**281** (MÍNIMO: 205 MÁXIMO: 347)	**281** (MÍNIMO: 205 MÁXIMO: 347)	≥ 200

Fonte: Autoria própria (2018)

Logo, para se chegar a esses resultados de iluminância, os sistemas de iluminação artificial de cada ambiente setorizado passaram por algumas readequações:

- Setor 01: Para as luminárias do tipo 01 dispostas, a solução para a questão do superdimensionamento do sistema na ampla área foi substituir as alturas de sua instalação acima das mesas de atendimento e loja para 3 metros de altura. Além de reduzir a quantidade total de luminárias de 38 para 29, mantendo todas as suas características originais. O resultado foi a distribuição homogênea de iluminação para o grande salão e um cuidado maior com a iluminação nas mesas de trabalho e área de loja, visível na Figura 70, representada nas cores verde e amarela.

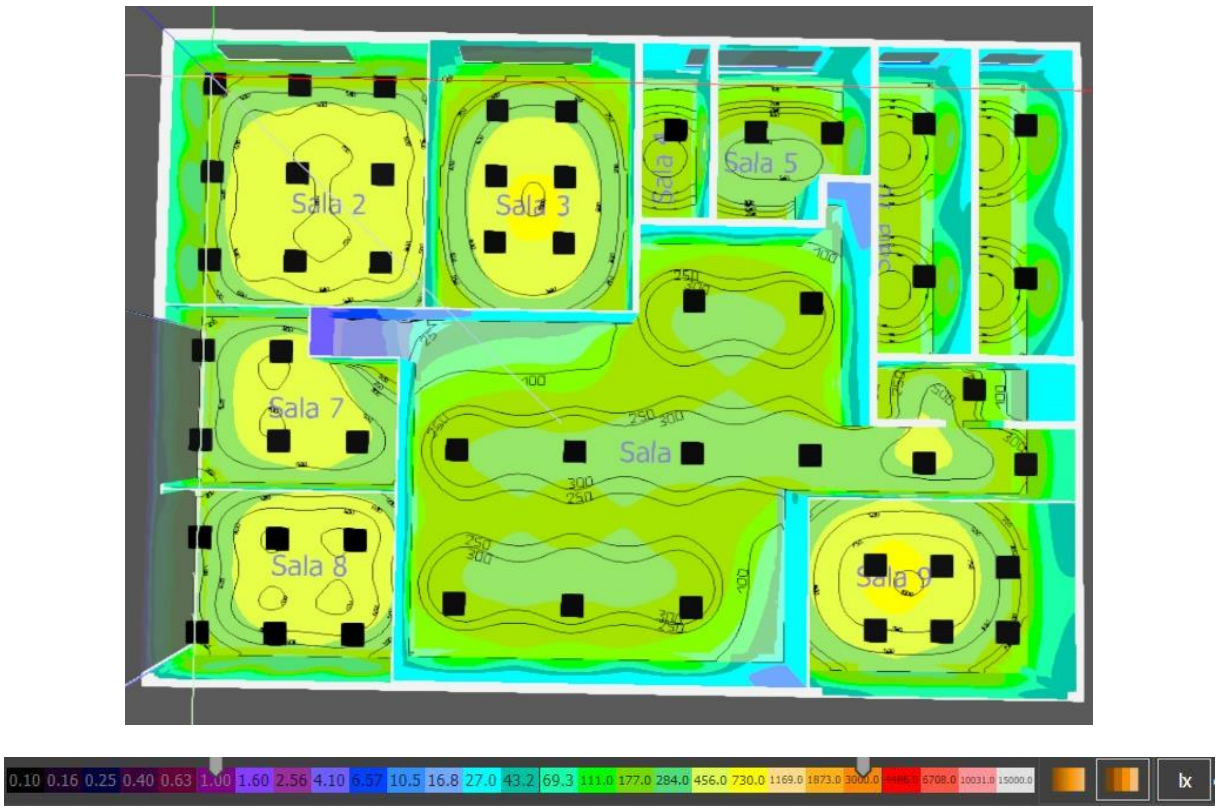
Figura 70 - Resultado DIALux – Setor 01 – valores de iluminância após *retrofit*



Fonte: DiaLux (2018)

- Setor 02: A solução para as luminárias do tipo 02 instaladas nesse setor foi a sua redistribuição em cada sala considerada com valores excedentes de iluminância, conforme a Figura 71.

Figura 71 - Resultado DIALux – Setor 02 – valores de iluminância após *retrofit*



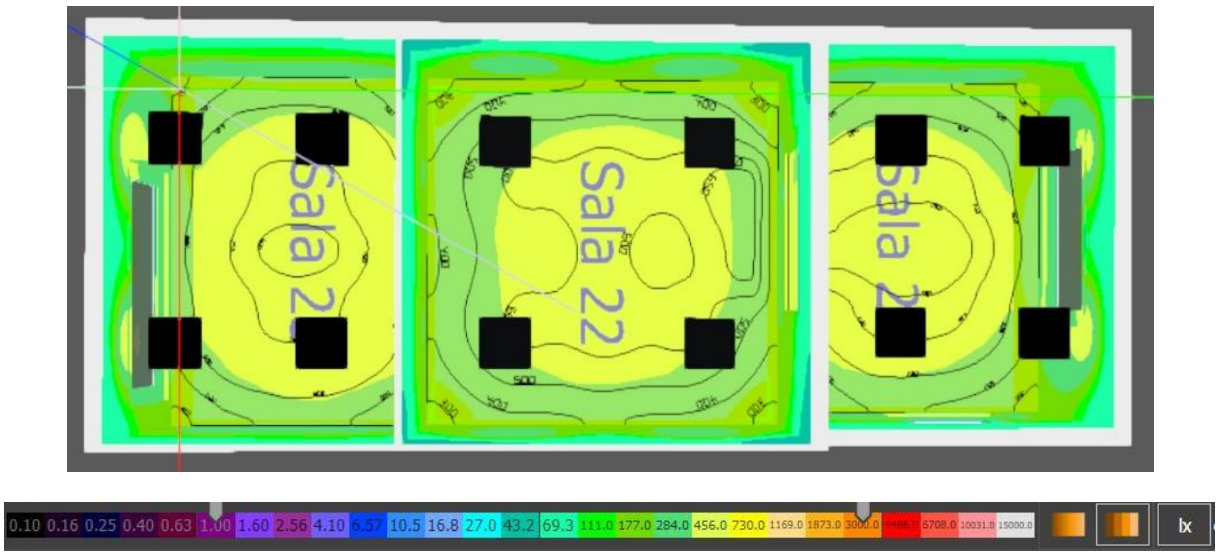
Fonte: DiaLux (2018)

- Setor 03: Para a luminária do tipo 03 localizada na circulação que se encontrava superdimensionada, foram reduzidos os equipamentos de iluminação artificial (Figura 72). Para os demais ambientes que englobam as luminárias tipo 02 e denotavam valores inferiores à norma, foram mantidas as luminárias, redistribuídas e realizada a inclusão de outras luminárias complementares do tipo 02 com o intuito de alcançar os valores mínimos exigidos (Figuras 73 e74).

Figura 72 - Resultado DIALux – Setor 03 – valores de iluminância após *Retrofit*

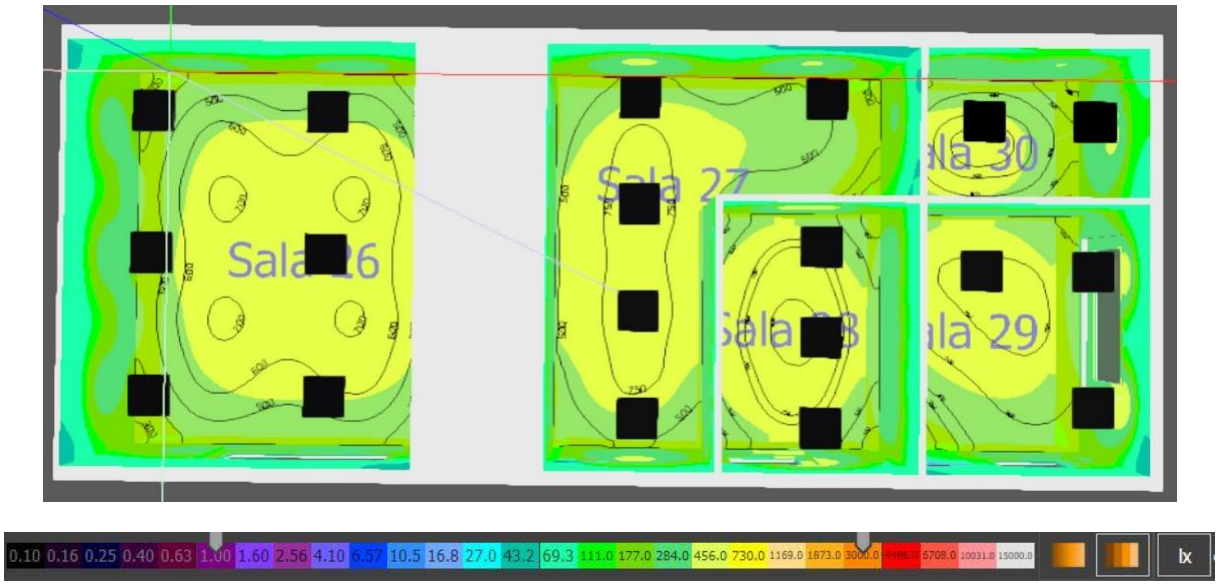
Fonte: DiaLux (2018)

Figura 73 - Resultado DIALux – Setor 03 – valores de iluminância após *retrofit*



Fonte: DiaLux (2018)

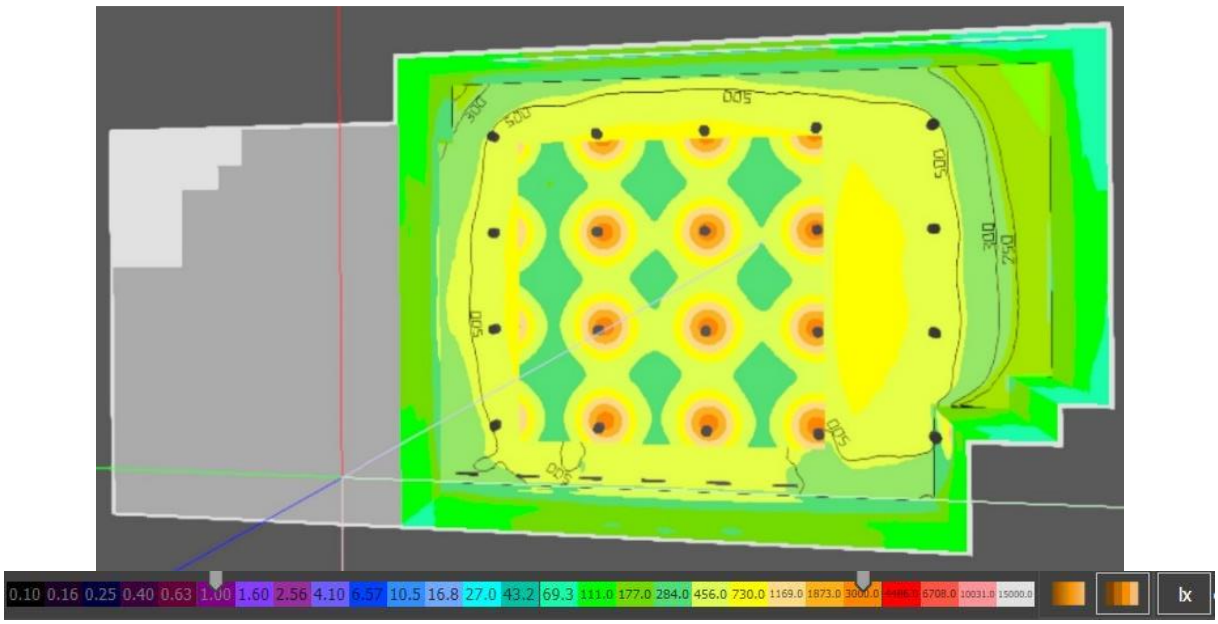
Figura 74 - Resultado DIALux – Setor 03 – valores de iluminância após *retrofit*



Fonte: DiaLux (2018)

- Setor 04: Os ajustes realizados para esse sistema de iluminação artificial que apresentava valores de iluminância abaixo do sugerido pela norma, foram a reposicionamento das luminárias herméticas de parede do tipo 04 e a redução em metros da instalação vertical de todo o sistema que utiliza a luminária do tipo 05 para uma altura de 6,50 metros, apresentados na Figura 75.

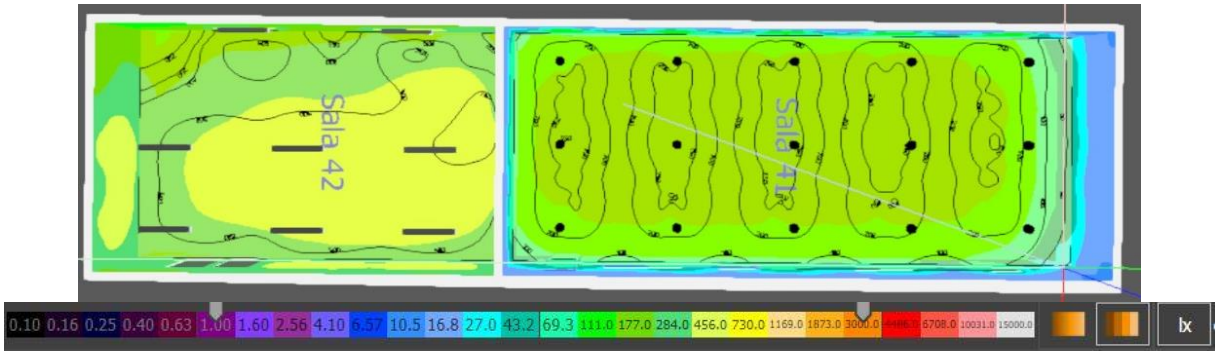
Figura 75 - Resultado DIALux – Setor 04 – valores de iluminância após *retrofit*



Fonte: DiaLux (2018)

- Setor 05: Como os resultados de iluminância apresentados para esse setor no item 4.2.1 foram satisfatórios, pelo seu uso pouco frequente e por estarem ainda localizadas na área externa e receberem, portanto, muita iluminação natural, não foi considerada nenhuma ação em relação ao sistema existente.
- Setor 06: De modo a impactar minimamente no sistema de iluminação artificial atual da empresa, o foco de intervenção para esse setor ocorreu apenas na sala de manutenção posicionada à esquerda na Figura 76, que exibiram os seus valores como insuficientes, aumentando o número de luminárias gerais no teto e abaixando as suas alturas, diminuindo algumas luminárias da parede.

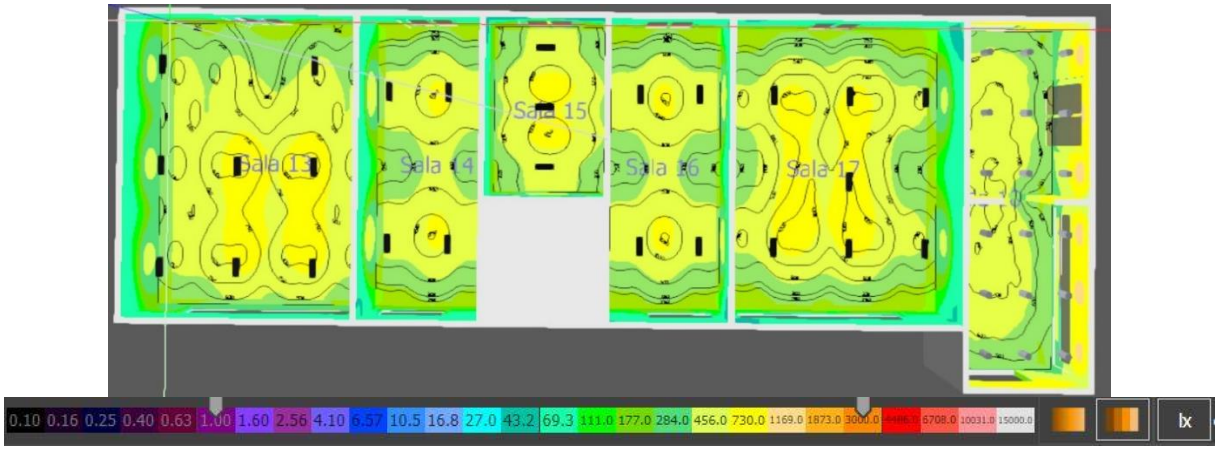
Figura 76 - Resultado DIALux – Setor 06 – valores de iluminância após *Retrofit*



Fonte: DiaLux (2018)

- Setor 07: As luminárias existentes nesse setor foram redimensionadas nas suas respectivas salas, diminuindo a quantidade de equipamentos para reduzir os valores de iluminância próximos ao mínimo ideal estabelecido como parâmetro. Contudo, para a área que se demonstrou insuficiente, localizado à direita na Figura 77, a solução foi reduzir a sua altura para 2,60 metros e aumentar o número de luminárias, atingindo assim o valor de iluminância necessário.

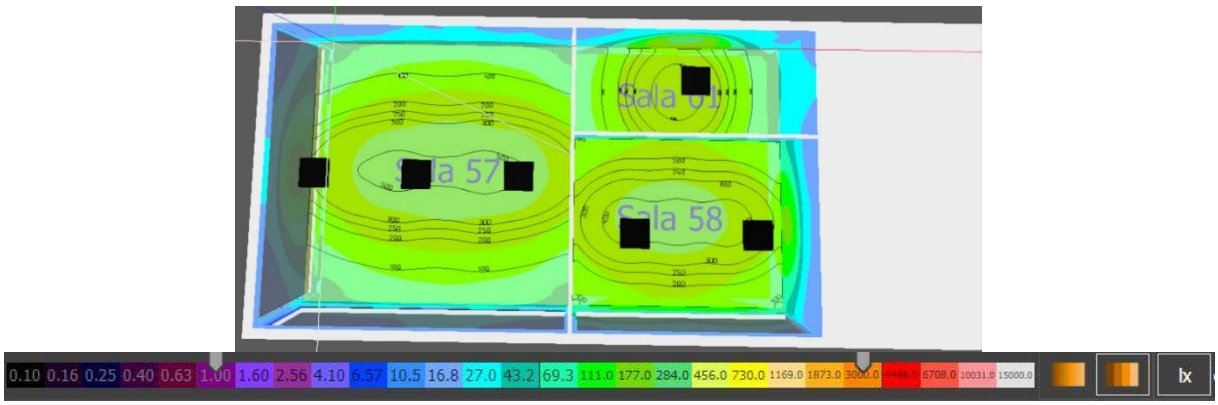
Figura 77 - Resultado DIALux – Setor 07 – valores de iluminância após *retrofit*



Fonte: DiaLux (2018)

- Setor 08: Assim como outros ambientes que contam com as luminárias do tipo 02, foi realizada a redistribuição do sistema de iluminação no espaço, reduzindo a sua quantidade total no setor, Figura 78.

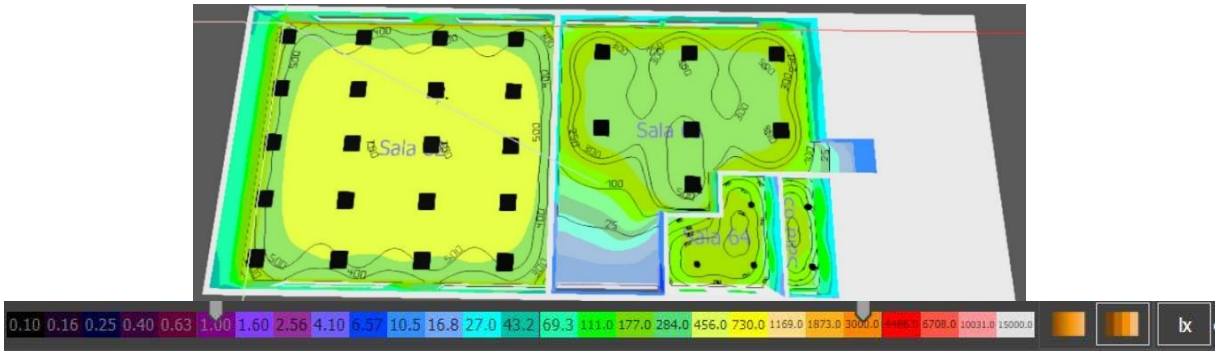
Figura 78 - Resultado DIALux – Setor 08 – valores de iluminância após *retrofit*



Fonte: DiaLux (2018)

- Setor 09: Foi realizado apenas o aumento em quantidade de luminárias para o auditório, pois os demais espaços desse setor apresentaram bons resultados de iluminância para as suas funções (Figura 79).

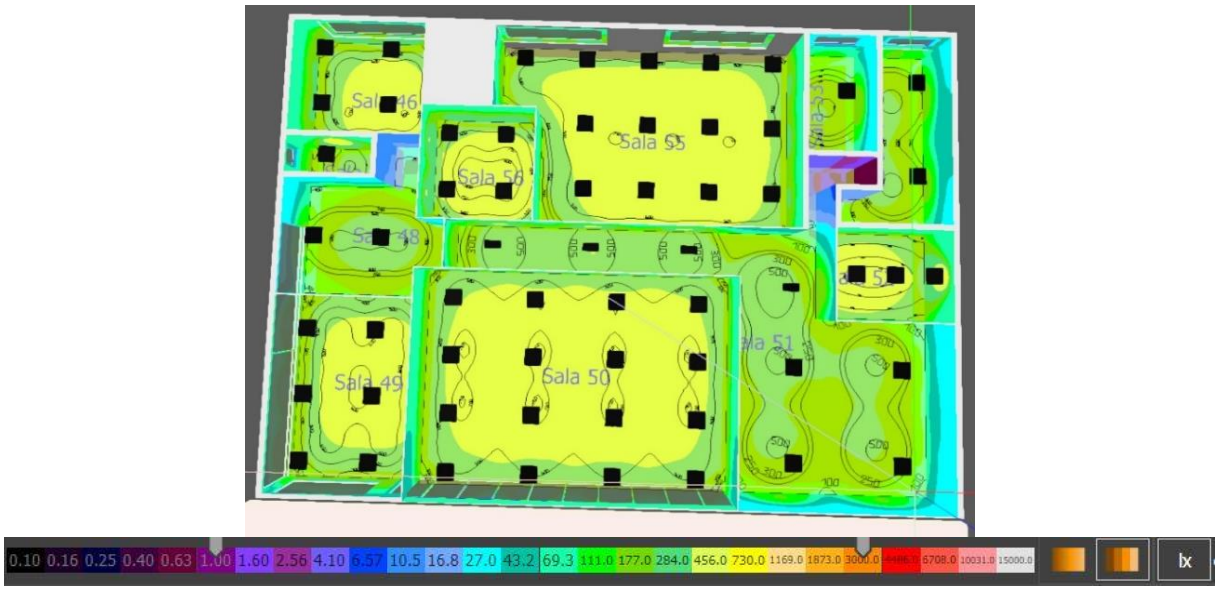
Figura 79 - Resultado DIALux – Setor 09 – valores de iluminância após *retrofit*



Fonte: DiaLux (2018)

- Setor 10: Esse setor abrange na maioria de seus ambientes luminárias do tipo 02, a readequação para esses espaços visa minimizar em quantidade de equipamentos. E para uma das áreas de trabalho que demonstrou valores de iluminância abaixo da recomendação normativa, a solução foi incluir uma luminária, cumprindo com o valor de iluminância desejado, de acordo com a Figura 80.

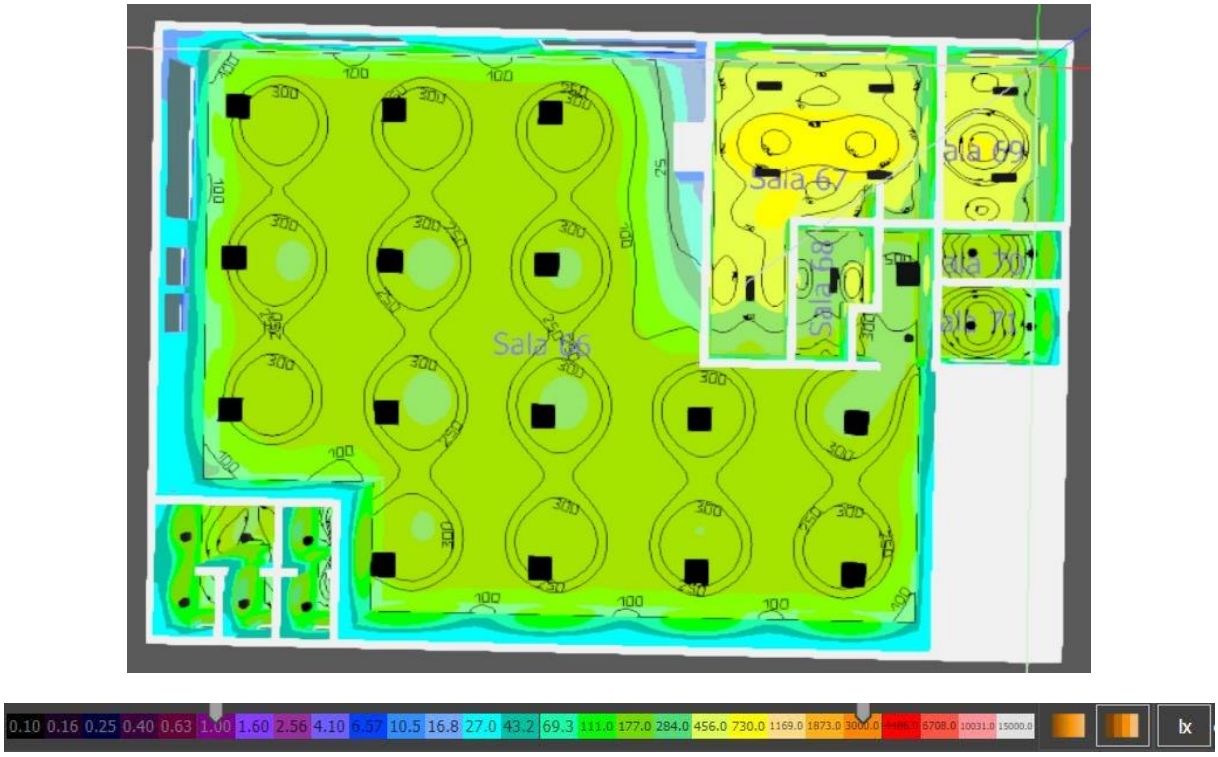
Figura 80 - Resultado DIALux – Setor 10 – valores de iluminância após *retrofit*



Fonte: DiaLux (2018)

- Setor 11: A readequação para esse setor ocorre da mesma maneira como para o setor anterior, entre os resultados apresentados na Figura 81 estão a diminuição do número de equipamentos do sistema artificial de iluminação excedentes e o aumento de algumas luminárias para os ambientes de banheiro e lavatório que apresentaram valores de iluminância insuficientes.

Figura 81 - Resultado DIALux – Setor 11 – valores de iluminância após *Retrofit*



Fonte: DiaLux (2018)

A partir dos resultados gerados pelo *software* apresentados, foi realizada a inserção dos novos dados na tabela de inventário, apontando os valores de consumo em kWh para essa simulação, de acordo com a Tabela 8. De modo geral, as intervenções realizadas foram também de baixo impacto, assim como a primeira proposta de *retrofit*.

Tabela 8 - Sistema de iluminação artificial após *retrofit* 02 – Revisão do Projeto Luminotécnico

LUMINÁRIA	QUANTIDADE LUMINÁRIAS	LÂMPADA	QUANT. LÂMP.	POTÊNCIA (W) lâmpada	QUANT. TOTAL LÂMPADAS	POTÊNCIA (W) total/luminária	TEMPO PERMANÊNCIA	TEMPO MÉDIO ACESA (h/dia)	VALOR DO kWh (DIA)	VALOR DO kWh (MÊS)	ALTURA (m)
PAVIMENTO TÉRREO											
SETOR 01 - ÁREA DE SHOW ROOM											
TIPO 01 - ABALUX - C119	19	4 lâmpadas fluorescentes TL5 54W - Philips 6500K	4	54	76	4104	7h30 às 18h30	9,5	41,91	838,24	6,37 e 3,00
TIPO 01 - ABALUX - C119	9	4 lâmpadas fluorescentes TL5 54W - Philips 6500K	4	54	36	1944	Uso esporadico	0	0	0	
SETOR 02 - ÁREA ADMINISTRATIVA TÉRREO											
TIPO 02 - ABALUX C10	11	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	4	14	44	616	7h30 às 18h00 (A tarde e tempo de uso)	9,5	6,29	125,81	2,9
TIPO 02 - ABALUX C10	23	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	4	14	92	1288	7h30 às 18h00 (A tarde e tempo de uso)	8	11,08	221,53	2,9
TIPO 02 - ABALUX C10	9	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	4	14	36	504	Uso esporadico	0,5	0,61	12,27	2,9
TIPO 02 - ABALUX C10	8	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	4	14	32	448	7h30 às 18h00 (A tarde e tempo de uso)	2	0,96	19,26	2,9
SETOR 03 - ÁREA DE VENDAS											
TIPO 02 - ABALUX C10	31	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	4	14	124	1736	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	8	14,93	298,59	2,7
TIPO 03 - ABALUX C08	2	2 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	2	14	4	56	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	0,12	2,4	2,7
SETOR 04 - ÁREA DE ESTOQUE PEÇAS											
TIPO 02 - ABALUX C10	4	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	4	14	16	224	Espaços não utilizados	0	0	0	2,7
TIPO 04 A (teto) LUMINÁRIA HERMÉTICA	49	2 lâmpadas fluorescentes TL-D 32W/64 RS	2	32	98	3136	7h30 às 18h00	9,5	32,026	640,52	2,53
TIPO 04 B (teto) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	14	2 lâmpadas fluorescentes TL-D 32W/64 RS	2	32	28	896	7h30 às 18h00	9,5	9,15	183	3,33
TIPO 04 C (parede) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	7	2 lâmpadas fluorescentes TL-D 32W/64 RS	2	32	14	448	7h30 às 18h00	9,5	4,575	91,5	3
TIPO 05 - LUMINÁRIA INDUSTRIAL	20	1 lâmpada: Empalux 46W - 220V - Branca 6.400 K	1	46	20	920	7h30 às 18h00	9,5	9,395	187,9	6,5
SETOR 05 - ÁREA EXTERNA - PÁTIO - MANUTENÇÃO - ESTACIONAMENTO											
TIPO 04 A (teto) LUMINÁRIA HERMÉTICA	12	2 lâmpadas fluorescentes TL-D 32W/64 RS	2	32	24	768	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	4	3,302	66,04	2,92
TIPO 04 B (teto) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	4	2 lâmpadas fluorescentes TL-D 32W/64 RS	2	32	8	256	Espaço não utilizado	0	0	0	2,92
TIPO 04 C (parede) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	36	2 lâmpadas fluorescentes TL-D 32W/64 RS	2	32	72	2304	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	4	9,907	198,14	2,15
TIPO 05 - LUMINÁRIA INDUSTRIAL	107	1 lâmpada: Empalux 46W - 220V - Branca 6.400 K	1	46	107	4922	Apagadas durante o dia (Apenas esporadica-mente noite)	1	5,289	105,78	7,62
TIPO 06 refletores externos	7		1		7	7	Apenas esporadica-mente noite	0	0	0	
TIPO 07 postes refletores externos	9		1		9	9	Apenas esporadica-mente noite	0	0	0	
TIPO 08 refletor grande externo (placa)	1		1		1	1	Não está sendo utilizado	0	0	0	0

Continua

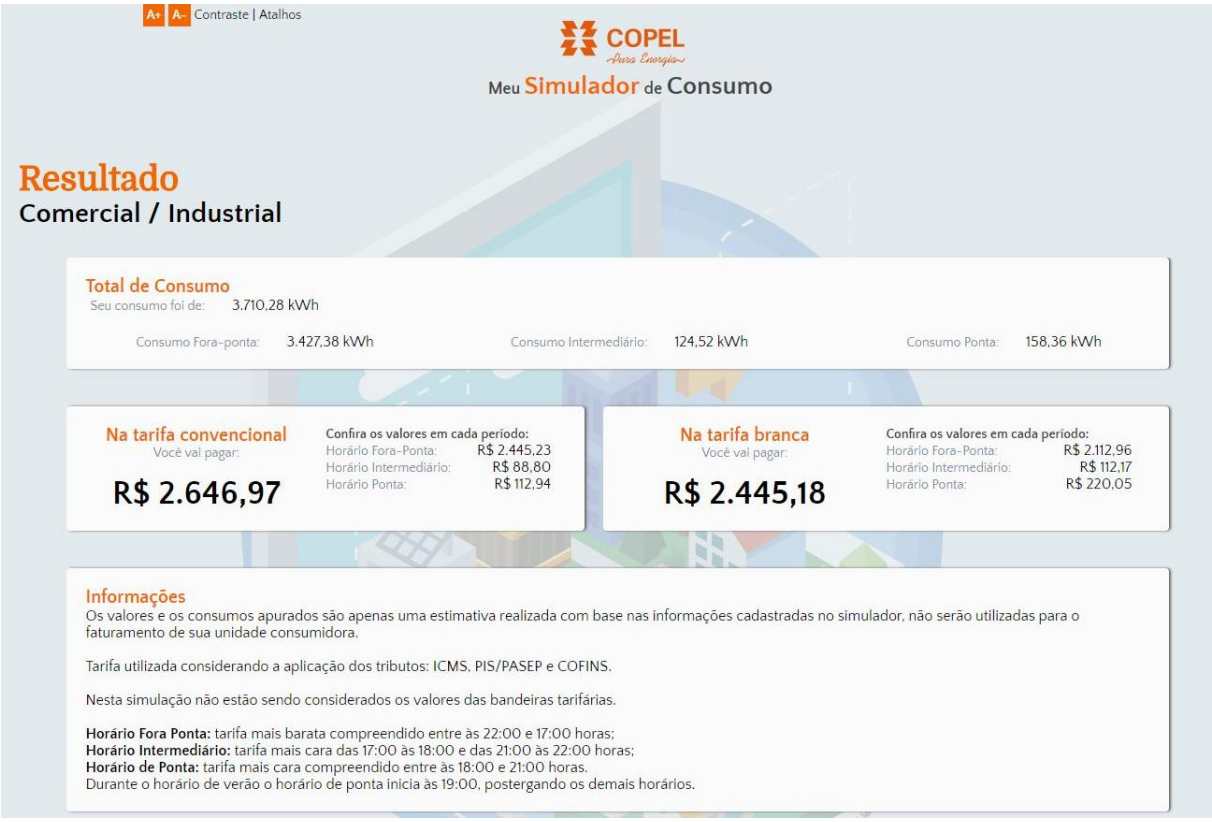
Continuação

SETOR 06 - ÁREA VESTIÁRIO FUNCIONÁRIOS - FERRAMENTAS										
TIPO 04 A (teto) LUMINÁRIA HERMÉTICA	6	2 lâmpadas fluorescentes TL-D 32W/64 RS	2	32	12	384	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	1	0,4125	8,25	2,6
TIPO 04 C (parede) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	3	2 lâmpadas fluorescentes TL-D 32W/64 RS	2	32	6	192	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	1	0,206	4,12	2,15
TIPO 09 - CIRCULAR	15	2 lâmpadas compactas twister E27 23W - 127V	2	23	30	690	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	1,483	29,66	2,92
SETOR 07 - ÁREA MANUTENÇÃO 02										
TIPO 03 - ABALUX C08	26	2 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	2	14	52	728	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	1,565	31,3	2,92
TIPO 10 - CIRCULAR SOBREPOR 02	18	1 lâmpada: Empalux 46W - 220V - Branca 6.400 K	1	46	18	828	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	1,78	35,6	2,6
PAVIMENTO SUPERIOR										
SETOR 08 - RH - ARQUIVO MORTO										
TIPO 02 - ABALUX C10	3	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	4	14	12	168	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	9,5	1,715	34,31	2,7
TIPO 02 - ABALUX C10	3	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	4	14	12	168	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	0,1	0,144	2,88	2,7
TIPO 02 - ABALUX C10	6	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	4	14	24	336	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	0	0	0	2,7
SETOR 09-ÁREA AUDITÓRIO E DORMITÓRIOS										
TIPO 02 - ABALUX C10	27	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	4	14	108	1512	Uso esporadico	0,1	1,299	25,99	3,02
TIPO 09 - CIRCULAR	5	2 lâmpadas compactas twister E27 23W - 127V	2	23	10	230	Uso esporadico	0,1	0,197	3,95	3,02
TIPO 09 - CIRCULAR	8	2 lâmpadas compactas twister E27 23W - 127V	2	23	16	368	Uso esporadico (dormitórios)	0	0	0	3,02
TIPO 11 - PAR 20	3	1 lâmpada halógena - 50W	1	50	3	150	Uso esporadico (dormitórios)	0	0	0	3,02
SETOR 10 - ÁREA ADMINISTRATIVA SUPERIOR										
TIPO 02 - ABALUX C10	34	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	4	14	136	1904	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	9,5	19,443	388,86	2,77
TIPO 02 - ABALUX C10	22	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	4	14	88	1232	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	2,6485	52,97	2,77
TIPO 03 - ABALUX C08	4	2 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	2	14	8	112	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	9,5	1,1435	22,87	2,7
SETOR 11 - ÁREA REFEITÓRIO										
TIPO 02 - ABALUX C10	16	4 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	4	14	64	896	11h30 às 13h30 (Apenas tempo de uso)	2	1,926	38,52	2,86
TIPO 03 - ABALUX C08	8	2 lâmpadas fluorescentes T5 14W - 6500K	2	14	16	224	09h00 às 15h00 (Apenas tempo de uso)	6	1,445	28,89	2,86
TIPO 09 - CIRCULAR	11	2 lâmpadas compactas twister E27 23W - 127V	2	23	22	506	11h30 às 13h30 (Apenas tempo de uso)	1	0,543	10,86	2,86
TOTAIS	600		99	882	1485	35215			185,4945	3710,01	

Fonte: Autoria própria (2017)

Logo, para o consumo do sistema de iluminação artificial em reais, foi realizada uma terceira simulação utilizando novamente o simulador de consumo da Copel, na qual os resultados estão apresentados na Figura 82.

Figura 82 - Resultado Simulador Copel – Consumo sistema de iluminação artificial após *retrofit* 02 – Revisão do Projeto Luminotécnico



Fonte: Copel

Analisando-se a segunda proposta de intervenção do sistema de iluminação artificial da empresa, a diferença de consumo em reais para a situação atual da empresa foi de R$ 279,14, correspondendo então à uma redução de apenas 9,54% do valor do sistema de iluminação artificial atual, e diferente dos resultados obtidos através da troca de lâmpadas, atingindo resultados significantes para a redução de consumo, com métodos simples e de baixo impacto, essa proposta de *retrofit,* apesar de apresentar pequenas modificações, para algumas das intervenções implicaria em reformas construtivas da edificação e o resultado final não possui grande efeito no consumo da empresa comparada ao outro.

4.3 *RETROFIT* 01 E *RETROFIT* 02: Revisão do Projeto Luminotécnico com substituição das lâmpadas

De modo a obter resultados ainda melhores para a redução do consumo mensal em iluminação artificial para a empresa foi realizada uma proposta que integra o *retrofit* 01 e o *retrofit* 02, ou seja, um novo sistema de iluminação artificial após revisão do projeto luminotécnico, incluindo a troca de lâmpadas por LED. Assim, foi possível substituir os dados na tabela de inventário e obter os dados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Sistema de iluminação artificial após *retrofit 01 e* 02

ESTUDO DE CASO - ILUMINAÇÃO OUTUBRO/2017 - DHL										
LUMINÁRIA	**QUANTIDADE LUMINÁRIAS**	**LÂMPADA**	**QUANT. LÂMP.**	**POTÊNCIA (W) lâmpada**	**QUANT. TOTAL LÂMPADAS**	**POTÊNCIA (W) total/luminária**	**TEMPO PERMANÊNCIA**	**TEMPO MÉDIO ACESA (h/dia)**	**VALOR DO kWh (DIA)**	**VALOR DO kWh (MÊS)**
PAVIMENTO TÉRREO										
SETOR 01 - ÁREA DE SHOW ROOM										
TIPO 01 - ABALUX - C119	19	4 lâmpadas tubo LED - 26W - Philips 6500K	4	26	76	1976	7h30 às 18h30	9,5	20,18	403,6
TIPO 01 - ABALUX - C119	9	4 lâmpadas tubo LED - 26W - Philips 6500K	4	26	36	936	Uso esporadico	0	0	0
SETOR 02 - ÁREA ADMINISTRATIVA TÉRREO										
TIPO 02 - ABALUX C10	11	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	44	330	7h30 às 18h00 (A tarde e tempo de uso)	9,5	3,37	67,4
TIPO 02 - ABALUX C10	23	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	92	690	7h30 às 18h00 (A tarde e tempo de uso)	8	5,93	118,6
TIPO 02 - ABALUX C10	9	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	36	270	Uso esporadico	0,5	0,232	4,64
TIPO 02 - ABALUX C10	8	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	32	240	7h30 às 18h00 (A tarde e tempo de uso)	2	0,516	10,32
SETOR 03 - ÁREA DE VENDAS										
TIPO 02 - ABALUX C10	31	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	124	930	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	8	7,998	159,96
TIPO 03 - ABALUX C08	2	2 lâmpadas tubo LED - 7,5W - Philips 6500K	2	7,5	4	30	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	0,0645	1,29
SETOR 04 - ÁREA DE ESTOQUE PEÇAS										
TIPO 02 - ABALUX C10	4	4 lâmpadas tubo LED G5 - 14W - Philips 6500K	4	7,5	16	120	Espaços não utilizados	0	0	0
TIPO 04 A (teto) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	49	2 lâmpadas Essential tubo LED - 18W - Philips	2	18	98	1764	7h30 às 18h00	9,5	18,013	360,26
TIPO 04 B (teto) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	14	2 lâmpadas Essential tubo LED - 18W - Philips	2	18	28	504	7h30 às 18h00	9,5	5,15	103
TIPO 04 C (parede) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	7	2 lâmpadas Essential tubo LED - 18W - Philips	2	18	14	252	7h30 às 18h00	9,5	2,573	51,46
TIPO 05 - LUMINÁRIA INDUSTRIAL	20	1 lâmpada Empalux LED - 30W - 6500K	1	30	20	600	7h30 às 18h00	9,5	6,127	122,54

Continua

Continuação

SETOR 05 - ÁREA EXTERNA - PÁTIO - MANUTENÇÃO - ESTACIONAMENTO										
TIPO 04 A (teto) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	12	2 lâmpadas Essential tubo LED - 18W - Philips	2	18	24	432	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	4	1,857	37,14
TIPO 04 B (teto) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	4	2 lâmpadas Essential tubo LED - 18W - Philips	2	18	8	144	Espaço não utilizado	0	0	0
TIPO 04 C (parede) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	36	2 lâmpadas Essential tubo LED - 18W - Philips	2	18	72	1296	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	4	5,572	111,44
TIPO 05 - LUMINÁRIA INDUSTRIAL	107	1 lâmpada Empalux LED - 30W - 6500K	1	30	107	3210	Apagadas durante o dia (Apenas esporadica-mente noite)	1	3,449	68,98
TIPO 06 refletores externos	7	**SEM SUBSTITUIÇÃO**	1		7	7	Apenas esporadica-mente noite	0	0	0
TIPO 07 postes refletores externos	9	**SEM SUBSTITUIÇÃO**	1		9	9	Apenas esporadica-mente noite	0	0	0
TIPO 08 refletor grande externo (placa)	1	**SEM SUBSTITUIÇÃO**	1		1	1	Não está sendo utilizado	0	0	0
SETOR 06 - ÁREA VESTIÁRIO FUNCIONÁRIOS - FERRAMENTAS										
TIPO 04 A (teto) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	6	2 lâmpadas Essential tubo LED - 18W - Philips	2	18	12	216	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	1	0,231	4,62
TIPO 04 C (parede) - LUMINÁRIA HERMÉTICA	3	2 lâmpadas Essential tubo LED - 18W - Philips	2	18	6	108	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	1	0,116	2,32
TIPO 09 - CIRCULAR	15	2 lâmpadas Philips LED - 9,5W	2	9,5	30	285	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	0,612	12,24
SETOR 07 - ÁREA MANUTENÇÃO 02										
TIPO 03 - ABALUX C08	26	2 lâmpadas tubo LED - 7,5W - Philips 6500K	2	7,5	52	390	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	0,838	16,76
TIPO 10 - CIRCULAR SOBREPOR 02	18	1 lâmpada Empalux LED - 30W - 6500K	1	30	18	540	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	1,161	23,22
PAVIMENTO SUPERIOR										
SETOR 08 - RH - ARQUIVO MORTO										
TIPO 02 - ABALUX C10	3	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	12	90	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	9,5	0,919	18,38
TIPO 02 - ABALUX C10	3	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	12	90	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	0,1	0,019	0,38
TIPO 02 - ABALUX C10	6	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	24	180	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	0	0	0
SETOR 09-ÁREA AUDITÓRIO E DORMITÓRIOS										
TIPO 02 - ABALUX C10	27	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	108	810	Uso esporadico	0,1	0,116	2,32
TIPO 09 - CIRCULAR	5	2 lâmpadas Philips LED - 9,5W	2	9,5	10	95	Uso esporadico	0,1	0,02	0,4
TIPO 09 - CIRCULAR	8	2 lâmpadas Philips LED - 9,5W	2	9,5	16	152	Uso esporadico (dormitórios)	0	0	0
TIPO 11 - PAR 20	3	1 lâmpada Philips LED PAR 20 - 12W	1	12	3	36	Uso esporadico (dormitórios)	0	0	0

Continua

Continuação

SETOR 10 - ÁREA ADMINISTRATIVA SUPERIOR										
TIPO 02 - ABALUX C10	34	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	136	1020	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	9,5	10,416	208,32
TIPO 02 - ABALUX C10	22	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	88	660	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	2	1,418	28,36
TIPO 03 - ABALUX C08	4	2 lâmpadas tubo LED - 7,5W - Philips 6500K	2	7,5	8	60	7h30 às 18h00 (Apenas tempo de uso)	9,5	0,613	12,26
SETOR 11 - ÁREA REFEITÓRIO										
TIPO 02 - ABALUX C10	16	4 lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	4	7,5	64	480	11h30 às 13h30 (Apenas tempo de uso)	2	1,032	20,64
TIPO 03 - ABALUX C08	8	2 lâmpadas tubo LED - 7,5W - Philips 6500K	2	7,5	16	120	09h00 às 15h00 (Apenas tempo de uso)	6	0,773	15,46
TIPO 09 - CIRCULAR	11	2 lâmpadas Philips LED - 9,5W	2	9,5	22	209	11h30 às 13h30 (Apenas tempo de uso)	1	0,225	2,5
TOTAIS	600		99	463,5	1485	19282			99,5405	1988,81

Fonte: Autoria própria (2018)

Portanto, como resultado final no sistema de iluminação artificial da empresa, todos os ambientes permaneceram com as mesmas características e qualidades lumínicas atuais, além da preservação de suas luminárias. Por meio da substituição das lâmpadas por LED e revisão do projeto luminotécnico, o sistema se tornou mais eficiente energeticamente e apresentou redução do consumo, dado em kWh, em relação à situação atual, conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Comparativo dos valores totais do sistema de iluminação artificial atual e após o *retrofit* 01 e 02 integrados

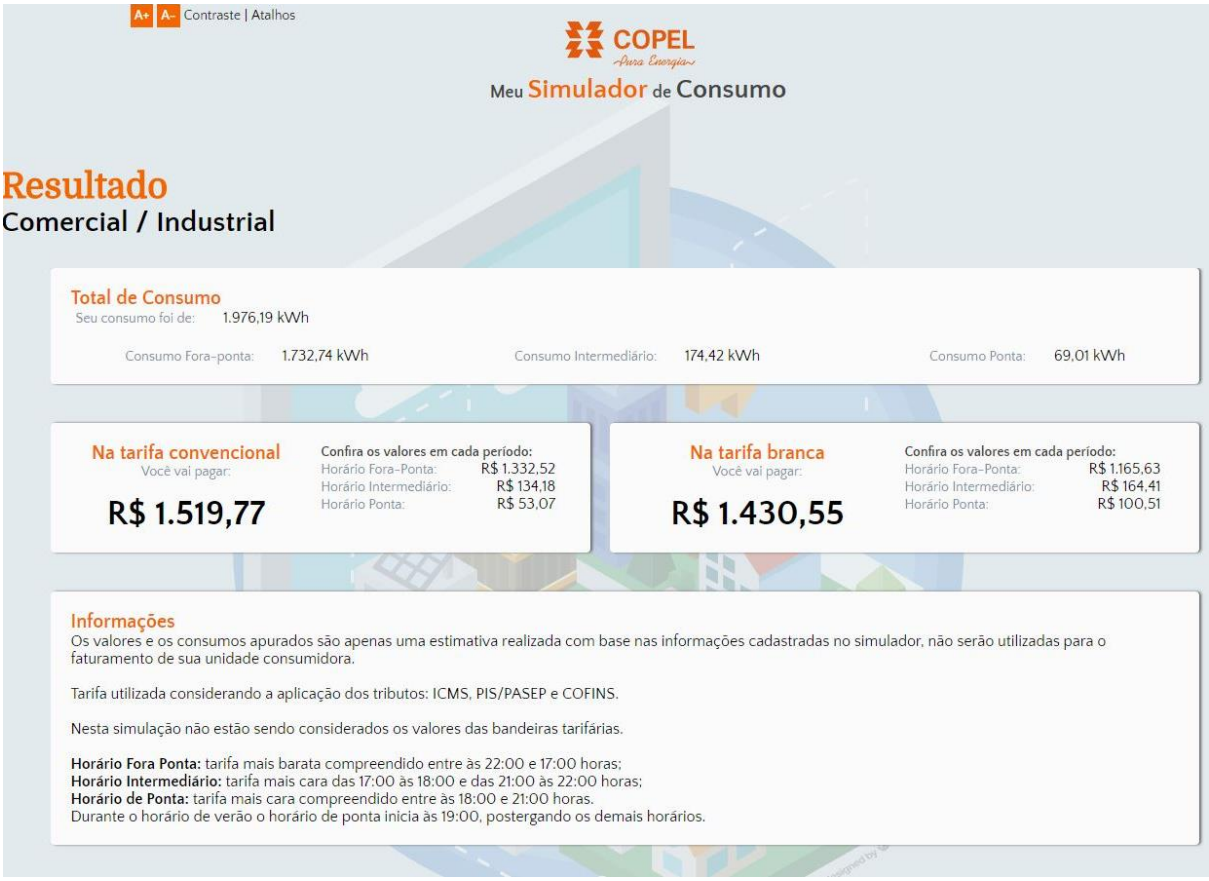
	QUANTIDADE LUMINÁRIAS	QUANT. LÂMP.	POTÊNCIA (W) lâmpada	QUANT. TOTAL LÂMPADAS	POTÊNCIA (W) total/luminária	VALOR DO kWh (DIA)	VALOR DO kWh (MÊS)
TOTAL SISTEMA ATUAL	652	99	882	1695	39.455	205,068	4.101,28
TOTAL SISTEMA PÓS RETROFIT	600	99	463,5	1485	19.282	99,5405	1.988,81

Fonte: Autoria própria (2018)

Em consequência desses resultados obtidos, por meio de uma nova simulação no simulador de consumo da Copel, o valor em reais do consumo mensal do sistema de iluminação artificial é de R$1.519,77, o que corresponde à uma redução de

R$1.406,34 diante do sistema de iluminação artificial atual, conforme apresentado na Figura 83. Ou seja, demonstra a possibilidade de uma redução ainda maior no consumo se aliar a substituição das lâmpadas por LED, em conjunto a revisão do projeto luminotécnico.

Figura 83 - Resultado Simulador Copel – Consumo sistema de iluminação artificial após *retrofit* 02 – Revisão do Projeto Luminotécnico



Fonte: Copel

Por meio de todos os resultados obtidos em cada uma das intervenções propostas, foi realizada uma tabela comparativa (Tabela 11), de modo resumido, apresentando a quantidade total de luminárias presente em cada um dos sistemas de iluminação artificial, a quantidade de lâmpadas, potência, consumo mensal estimado em quilowatt/hora (kWh) e em reais (R$).

Tabela 11 - Comparativo dos valores totais do sistema de iluminação artificial atual e após o *retrofit* 01 e 02

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	nº TOTAL LUMINÁRIAS	nº TOTAL LÂMPADAS	POTÊNCIA (W) total/luminária	CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL (kWh)	CONSUMO MENSAL (R$)
SISTEMA ATUAL	652	1.695	39.455	4.101,28	2.926,11
SISTEMA PÓS *RETROFIT* 01 - TROCA DE LÂMPADAS	652	1.695	21.412	2.203,67	1.535,50
SISTEMA PÓS *RETROFIT* 02 - REVISÃO DO PROJETO LUMINOTÉCNICO	600	1.485	35.215	3.710,01	2.646,97
SISTEMA PÓS INTEGRAÇÃO DOS *RETROFIT*S 01 E 02	600	1.485	19.282	1.990,81	1.519,77

Fonte: Autoria própria (2018)

Estes resultados indicam que o sistema de iluminação artificial com melhor desempenho energético apresentado é o sistema que sugere a troca de lâmpadas, nomeado *retrofit* 01, apesar de manter o mesmo número de luminárias e lâmpadas existente hoje, a troca dos equipamentos gerou a queda da potência e por consequência desse fator, a redução do consumo energético total mensal. Apesar da proposta de *retrofit* 02 também apresentar redução no consumo, tanto energético quanto em reais, a simples troca de lâmpadas apresenta-se mais viável para a situação em que se encontra o sistema de iluminação artificial e as instalações da empresa. No entanto, quando integradas as propostas de *retrofit* 01 e 02, os resultados para a empresa apresentam-se ainda mais interessantes em relação a implementação e diminuição dos valores de consumo mensal no sistema de iluminação artificial.

4.3.1 Viabilidade para implementação das propostas de *retrofit* 01 e 02

Visando apresentar a possibilidade de implementação das propostas de retrofit 01 e 02 para a empresa de tratores, foi feito um estudo de viabilidade. Primeiramente, foi realizado um levantamento de custos, em reais, com valores atuais de mercado para cada produto, encontrados em páginas de compras *online*, conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Levantamento de custos: lâmpadas substitutas para o sistema de iluminação artificial

ITEM	QUANTIDADE DE LÂMPADAS	CUSTO UNITÁRIO (R$)	CUSTO TOTAL (R$)	FONTE
Lâmpadas tubo LED - 26W - Philips 6500K	76	R$ 29,80	R$ 2.264,80	https://www.eletrorede.com.br
Lâmpadas tubo LED G5 - 7,5W - Philips 6500K	828	R$ 49,59	R$ 41.060,52	http://www.lojaeletrica.com.br
Lâmpadas Essential tubo LED - 18W - Philips	254	R$ 33,90	R$ 8.610,60	https://www.eletrorede.com.br
Lâmpada Empalux LED - 30W - 6500K	145	R$ 42,90	R$ 6.220,50	https://www.eletrorastro.com.br
Lâmpadas Philips LED - 9,5W	62	R$ 24,50	R$ 1.519,00	https://www.eletrorede.com.br
TOTAL			**R$ 59.675,42**	

Fonte: Autoria própria (2018)

Assim, por meio de um cálculo do Prazo de Retorno de Investimento (PRI), ou conhecido também como *payback*, apresentado na Figura 84, foi possível estabelecer o tempo de retorno do investimento. Para este cálculo foi utilizado o valor do custo das lâmpadas multiplicado pelo número total de lâmpadas de LED, que podem ser conferidos na Tabela 12, dividido pelo valor em reais da economia de energia anual.

Figura 84 - Cálculo de Payback – substituição por lâmpadas de LED

$$Payback = \frac{\text{Custo das lâmpadas de LEDs x Número de lâmpadas}}{\text{Economia de energia anualmente em reais (R\$)}} = \frac{59.675,42}{R\$16.876,08} = 3,53$$

Fonte: Autoria própria (2018)

Portanto, o tempo para que deixe de ser um investimento e beneficie a empresa com economia financeira do novo sistema implantado, com a troca de lâmpadas e revisão do projeto luminotécnico, seria de 3,5 anos. O que corresponde à um retorno de médio prazo, porém pode ser considerado rápido diante da vida útil das lâmpadas de LED, que correspondem em média à 50.000 horas, e se utilizadas aproximadamente 8 horas por dia, como é o caso da maioria dos ambientes da empresa, a sua durabilidade pode chegar a 15 anos (LED PLANET, 2018).

5 CONCLUSÕES

Empresas de grande porte tem uma forte relação com o numeroso uso de recursos artificiais de iluminação, gerando alto consumo energético e manutenção. Visando minimizar tais gastos com energia elétrica, surge o desenvolvimento de práticas que consistem em utilizar novas tecnologias de lâmpadas, que além de reduzir o consumo, oferecem opções vantajosas na hora de um *retrofit*, pois proporcionam um fluxo energético equivalente às utilizadas nos edifícios, porém com menor consumo. O presente estudo comprovou esses resultados, mostrando que a substituição de lâmpadas fluorescentes por LED proporcionou à empresa uma redução de mais de 50% no consumo energético do sistema de iluminação artificial da empresa, além de ser considerada uma intervenção de baixo impacto, contando ainda com a maior durabilidade dos novos equipamentos.

Além disso, com o objetivo de reduzir custos e conferir maior conforto e bem-estar aos usuários do espaço, foi realizada uma revisão no projeto luminotécnico existente, pelo *software* DIALux foram inseridos todos os dados levantados e identificou-se os valores de iluminância nos espaços internos e externos da empresa, apontando os locais que se apresentavam de acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1

(ABNT, 2013), e os que estavam com iluminância excedente ou insuficientes. Portanto, buscando mínimas modificações para o sistema de iluminação artificial atual, foi realizada a readequação das luminárias dos ambientes, porém o percentual de redução de consumo energético para essa proposta foi de apenas 9,54%, podendo ser ampliado se fossem realizadas maiores intervenções, com a substituição das luminárias e lâmpadas. Assim sendo, foi realizada uma terceira proposta de intervenção integrando o *retrofit* denominado 01, com o *retrofit* 02 a qual não só cumpriu com seus objetivos em relação à redução do consumo de energia no sistema de iluminação artificial, como resultou em uma melhoria econômica ainda maior, com retorno financeiro de aproximadamente três anos e meio, tornando-se uma solução viável de implementação para a empresa de tratores.

Como sugestões para futuros trabalhos, propõe-se realizar um novo estudo de revisão do sistema de iluminação artificial, aprofundando o conceito de projeto luminotécnico visando atingir melhores resultados em redução do consumo energético.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 5413 – Iluminância de Interiores.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1992. 13 p.

ABNT. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2013. 46 p.

AMBRÓZIO, Lucélia Maria Molena. **A importância do projeto luminotécnico.** IPOG, 2013. 13 p.

BECK, Elisa de Oliveira. **Desempenho Luminoso e Energético de LEDS para reformas de sistema de iluminação de ambientes de escritório.** LABEE, Florianópolis, UFSC, 2016.

BORBA, Heitor. **A Lei que chama a Norma que foi revogada.** Heitor Borba Soluções. Disponível em: http://heitorborbasolucoes.com.br/a-lei-que-chama-a-norma-que-foi-revogada/. Acesso em: 2 de maio de 2018.

CADEDET (1995). **Saving energy with efficient lighting in comercial buildings**. 01.CADDET Energy Efficiency – Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies. Holanda. 22 p.

COPEL. **Simulador de Consumo**. Brasil. Disponível em: https://www.copel.com/scnweb/simulador/inicio.jsf. Acesso em: 18 de setembro de 2017.

COSTA, Gilberto José Corrêa da. **Iluminação Econômica – cálculo e avaliação**. 3ª edição. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2005. 566 p.

DIALUX. **Plan, calculate and visualize light**. Disponível em: https://www.dial.de/en/software/dialux/learn-to-use-dialux/. Acesso em: 04 de dezembro de 2017.

DIALUX. **Programa Dialux Evo**. 2018.

EFICIENTE CONSULTORIA. **Calculadora de Payback para Lâmpadas de LED**. Brasil. Disponível em: http://eficienteconsultoria.com.br/calculadoras/calculadora-lampadas-de-led . Acesso em: 15 de julho de 2018.

ELEKTRO. **Manuais Elektro de eficiência energética**. Brasil, 2014. Disponível em: https://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientiza%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica/manualIluminacao_novo.pdf. Acesso em: 14 de setembro de 2017.

EMPALUX. **Catálogo de produtos 2017**. Brasil. 2017. Disponível em: http://www.empalux.com.br/index.php?a1=p. Acesso em: 20 de outubro de 2017.

GHISI, Enedir. **Desenvolvimento de uma metodologia para *retrofit* em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina.** Florianópolis: UFSC, 1997. 305 p.

GOOGLE EARTH. **Programa Google Earth**. 2017.

INDUSTRIAL ALCHEMY. **Monsanto MV1 LED**. Disponível em: http://www.industrialalchemy.org/articleview.php?item=975. Acesso em 3 de maio de 2018.

INMETRO. **Lâmpada LED**. Brasil. 2016. Disponível em: http://ftp.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/cartilhas/lampada-led/lampadaled.pdf. Acesso em: 3 de maio de 2018.

LABENS. Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná. Disponível em: http://www.atlassolarparana.com/. Acesso em: 17 de outubro de 2017.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano PEREIRA, Fernando. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. Brasil, 2013. 366 p.

LED Planet. **Lúmens e Watts? Como escolher corretamente lâmpadas econômicas LED.** LED Planet. Disponível em: http://www.ledplanet.com.br/blog/lumens-e-watts-como-comprar-lampadas-economicas-led/. Acesso em: 8 de fevereiro de 2018.

LED Planet. **Quanto Tempo Dura uma Lâmpada LED?** LED Planet. Disponível em: https://www.ledplanet.com.br/quanto-tempo-dura-uma-lampada-led/. Acesso em: 19 de julho de 2018.

LUZ, Jeanine Marchiori da. **Luminotécnica**. Brasil, 1995. 36 p.

MATTEDE, Henrique. **A NBR 5413 – Iluminância de Interiores.** Mundo da Elétrica. Disponível em: https://www.mundodaeletrica.com.br/a-nbr-5413-iluminancia-de-interiores/. Acesso em: 2 de maio de 2018.

MORAES, Letícia Niero; CLARO, Anderson. **Estudo Comparativo de sistemas de iluminação artificial considerando luz natural e consumo de energia.** UFSC, Florianópolis, Brasil, 2013. 16 p.

MTPS. **NR-17 – Ergonomia.** Ministério do Trabalho e Previdência Social. Portaria MTPS n°. 3.751, 23 de novembro de 1990.

OSRAM. **Catálogo de Produtos.** 2017. Disponível em: https://www.osram.com.br/cb/produtos/index.jsp. Acesso em: 21 de outubro de 2017.

PASCOALINI, Juliana e LELLIS, Leonardo. **PHILIPS – Soluções para Arquitetura Corporativa**. 2011.

PHILIPS. **Catálogo de Produtos.** 2017. Disponível em: http://www.lighting.philips.com.br/prof. Acesso em: 20 de outubro de 2017.

PHILIPS. **Guia Prático Philips Iluminação.** Disponível em: http://www.ceap.br/material/MAT25102012201415.pdf. Acesso em: 20 de outubro de 2017. 37 p.

PROCEL. **Manual de Iluminação.** 2011. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/MANUAL+DE+ILUMINACAO+-+PROCEL_EPP+-AGOSTO+2011.pdf/d42d2f36-0b90-4fe0-805f-54b862c9692c;jsessionid=A7AE9AD7FFE410D97E371853D50763B0.srv154. Acesso em: 15 de janeiro de 2018.

SANTOS, Talía Simões dos; BATISTA, Marília Carone; POZZA, Simone Andréa; ROSSI, Luciana Savoi. **Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais**.

SCHUBERT, E. Fred. **Light-emitting diodes.** CAMBRIDGE: Cambridge University Press. 2006. 434 p.

SCOPACASA, V. A. Introdução à Tecnologia de LED. Revista LA_PRO, São Paulo, ed.1, p. 5-10, 2008. Disponível em:

http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/LA_Pro1/02%20-%20pro_leds_Vis%C3%A3o_Geral.pdf. Acesso em: 20 de outubro de 2017.

SEGA, Pedro; KAWASAKI, Juliana; ROIZENBLATT, Isac; BORIN, Felipe. **LED alia eficiência energética e economia**. Revista AECWEB, 2012. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/led-alia-eficiencia-energetica-e-economia_9773_0_1. Acesso em: 20 de outubro de 2017.

SILVA, Mauri Luiz da. **Luz, Lâmpadas & Iluminação**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2004. 160 p.

SILVA, Mauri Luiz da. **Iluminação – Simplificando o Projeto**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2009. 176 p.

SILVA, Nuno Filipe Vasconcelos da. **Iluminação LED – Avaliação Econômica e Ambiental.** 2013. 93 p.

TATEOKI, Getúlio Teruo. **Luminotécnica – Norma Técnica ABNT NBR ISO/CIE 8995-1.** n.d. Disponível em: http://www.getulio.eng.br/meusalunos/ieprediais/norma.pdf. Acesso em: 21 de maio de 2018.

VIANA, Augusto Nelson Carvalho; BORTONI, Edson da Costa; NOGUEIRA, Fábio José Horta; HADDAD, Jamil; NOGUEIRA, Luís Augusto Horta; VENTURINI, Osvaldo José; YAMACHITA, Roberto Akira. **Eficiência energética: fundamentos e aplicações**. 1ª edição. UNIFEI, São Paulo, 2012. 315 p.

VILUX. **História da evolução da lâmpada**. Brasil. Disponível em: http://www.vilux.com.br/ver_noticias.asp?codigo=143. Acesso em: 8 de fevereiro de 2016.

WEERSINK, Annemarie; MEYER, Jo. (1996). ***Lighting and overall energy performance of office buildings. New lighting systems, Newsletter*** **1996**. CADDET Energy Efficiency – Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies. Holanda. p 10-12.

ANEXO A – PLANEJAMENTO DOS AMBIENTES, TAREFAS E ATIVIDADES COM A ESPECIFICAÇÃO DA ILUMINÂNCIA, LIMITAÇÃO DE OFUSCAMENTO E QUALIDADE DA COR

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\overline{E_m}$ lux	UGR_L	R_a	Observações
1. Áreas gerais da edificação				
Saguão de entrada	100	22	60	
Sala de espera	200	22	80	
Áreas de circulação e corredores	100	28	40	Nas entradas e saídas, estabelecer uma zona de transição, a fim de evitar mudanças bruscas.
Escadas, escadas rolantes e esteiras rolantes	150	25	40	
Rampas de carregamento	150	25	40	
Refeitório/Cantinas	200	22	80	
Salas de descanso	100	22	80	
Salas para exercícios físicos	300	22	80	
Vestiários, banheiros, toaletes	200	25	80	
Enfermaria	500	19	80	
Salas para atendimento médico	500	16	90	T_{cp} no mínimo 4 000 K.
Estufas, sala dos disjuntores	200	25	60	
Correios, quadros de distribuição	500	19	80	
Depósito, estoques, câmara fria	100	25	60	200 lux, se forem continuamente ocupados.
Expedição	300	25	60	
Estação de controle	150	22	60	200 lux se forem continuamente ocupadas.
2. Edificações na agricultura				
Carregamento e operação de mercadorias, equipamentos de manuseio e máquinas	200	25	80	
Estábulo	50	28	40	

Continua

Continuação

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\overline{E_m}$ lux	UGR_L	R_a	Observações
Cercado para animais doentes, baias para parto de animais	200	25	80	
Preparação dos alimentos, leiteira, lavagem de utensílios	200	25	80	
3. Padarias				
Preparação e fornada	300	22	80	
Acabamento, decoração	500	22	80	
4. Cimento, concreto e indústria de tijolos				
Secagem	50	28	20	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Preparação dos materiais, trabalhos nos fornos e misturadores	200	28	40	
Trabalhos em máquinas em geral	300	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Formas brutas	300	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
5. Indústria de cerâmica e vidro				
Secagem	50	28	20	
Preparação, trabalhos em máquinas em geral	300	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Esmaltagem, laminação, compressão, moldagem de peças simples, vitrificação, sopragem do vidro	300	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Polimento, moagem, gravação, polimento do vidro, moldagem de peças de precisão, fabricação de instrumentos de vidro	750	19	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Trabalho decorativo	500	19	80	
Polimento de vidro ótico, polimento manual e gravação de cristais, trabalhos em mercadorias comuns	750	16	80	
Trabalho de precisão, por exemplo: polimento decorativo, pintura à mão	1 000	16	90	T_{cp} no mínimo 4 000 K.
Fabricação de pedras preciosas sintéticas	1 500	16	90	T_{cp} no mínimo 4 000 K.
6. Indústria de borracha, indústria plástica e química				
Instalações de processamento operadas remotamente	50		20	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Instalações de processamento com intervenção manual limitada	150	28	40	

Continua

Continuação

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\overline{E_m}$ lux	UGR_L	R_a	Observações
Instalações de processamento com trabalho manual constante	300	25	80	
Metrologias, laboratórios	500	19	80	
Produção farmacêutica	500	22	80	
Produção de pneus	500	22	80	
Inspeção de cor	1 000	16	90	T_{cp} no mínimo 6 500 K.
Corte, acabamento, inspeção	750	19	80	
7. Indústria elétrica				
Fabricação de cabos e fios	300	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Bobinagem:				
— bobinas grandes	300	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
— bobinas médias	500	22	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
— bobinas pequenas	750	19	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Impregnação das bobinas	300	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Galvanoplastia	300	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Montagem:				
— bruta, por exemplo, grandes transformadores	300	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
— média, por exemplo, quadros de distribuição	500	22	80	
— fina, por exemplo, telefone	750	19	80	
— de precisão, por exemplo, equipamentos de medição	1 000	16	80	
Oficinas eletrônicas, ensaios, ajustes	1 500	16	80	
8. Indústria de alimentos				
Locais de trabalho e zonas em cervejarias, maltagem, lavagem, enchimento de barris, limpeza, peneiração, descascamento, alimentos em conserva, fábrica de chocolate, locais de trabalho e zonas em fábricas de açúcar, para secagem e fermentação de tabaco cru, câmara de fermentação	200	25	80	
Triagem e lavagem de produtos, moagem, mistura, embalagem	300	25	80	
Locais de trabalho e zonas para abatedouros, açougues, leiteiras, área de filtragem, em refinarias de açúcar	500	25	80	
Corte e triagem de frutas e vegetais	300	25	80	

Continua

Continuação

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\overline{E_m}$ lux	UGR_L	R_a	Observações
Fabricação de alimentos finos, cozinha	500	22	80	
Fabricação de charutos e cigarros	500	22	80	
Inspeção de vidros e garrafas, controle do produto, ornamentação, triagem na decoração	500	22	80	
Laboratórios	500	19	80	
Inspeção de cor	1 000	16	90	T_{cp} no mínimo 4 000 K.
9. Fundições e plantas de fundição de metal				
Túneis do tamanho de um homem sob o piso, porão etc.	50	28	20	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Plataformas	100	25	40	
Preparação da areia	200	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Vestiários	200	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Trabalhos nos cadinhos e misturadores	200	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Baia da fundição	200	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Área dos vibradores	200	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Máquinas de moldagem	200	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Moldagem central e auxiliar	300	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Fundição	300	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Construção de modelos	500	22	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
10. Cabeleireiros				
Cabeleireiro	500	19	90	
11. Fabricação de joias				
Trabalho com pedras preciosas	1 500	16	90	T_{cp} no mínimo 4 000 K.
Fabricação de joias	1 000	16	90	
Relojoaria (manual)	1 500	16	80	
Relojoaria (automática)	500	19	80	
12. Lavanderias e limpeza a seco				
Entrada de mercadorias, marcação e distribuição	300	25	80	
Lavagem e limpeza a seco	300	25	80	
Passar roupas	300	25	80	
Inspeção e reparos	750	19	80	
13. Indústria de couro				
Trabalho em cubas, barris, tanques	200	25	40	

Continua

Continuação

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\overline{E_m}$ lux	UGR_L	R_a	Observações
Descarnar, aparar, esfregar, tombar peles	300	25	80	
Trabalho em selas, fábrica de sapatos, costura, polimento, modelagem, corte, puncionamento	500	22	80	
Triagem	500	22	90	T_{cp} no mínimo 4 000 K.
Tingimento de couro (máquina)	500	22	80	
Controle de qualidade	1 000	19	80	
Inspeção de cor	1 000	16	90	T_{cp} no mínimo 4 000 K.
Fabricação de sapato	500	22	80	
Fabricação de luva	500	22	80	
14. Trabalho e processamento em metal				
Forjamento de molde aberto	200	25	60	
Forjamento por derramamento, soldagem, moldagem a frio	300	25	60	
Usinagem grosseira e média Tolerâncias > 0,1 mm	300	22	60	
Usinagem de precisão: retificação Tolerâncias < 0,1 mm	500	19	60	
Gravação: inspeção	750	19	60	
Desenho de formas de fio e tubo	300	25	60	
Usinagem de placa ≥ 5 mm	200	25	60	
Trabalho em folha de metal < 5 mm	300	22	60	
Ferramentaria; fabricação de equipamento de corte	750	19	60	
Montagem:				
— bruta	200	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
— média	300	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
— fina	500	22	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
— de precisão	750	19	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Galvanoplastia	300	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Pintura e preparação de superfícies	750	25	80	
Confecção de ferramenta, modelo e dispositivo, mecânica de precisão, micromecânica	1 000	19	80	
15. Indústria de papel				

Continua

Continuação

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\overline{E_m}$ lux	UGR_L	R_a	Observações
Processamento da madeira ou fibra, moagem	200	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Processo e fabricação de papel, máquinas de papel, papel canelado, fábrica de papelão	300	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Trabalho de encardenação de livros padrões, por exemplo: dobra, triagem, colagem, corte, gravação em relevo, costura	500	22	60	
16. Subestações				
Instalação de abastecimento de combustíveis	50	28	20	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Casa da caldeira	100	28	40	
Salas de máquinas	200	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Salas auxiliares, por exemplo: sala das bombas, sala dos capacitores, quadro de chave de distribuição etc.	200	25	60	
Salas de controle	500	16	80	Os painéis de controle frequentemente estão na vertical. Dimerização pode ser necessária. Para trabalho com VDT, ver 4.10.
17. Gráficas				
Corte, douração, gravação em relevo, gravura em bloco, trabalhos em pedras e placas, impressoras, matriciais	500	19	80	
Triagem de papel e impressão manual	500	19	80	
Configuração de tipo, retoque, litografia	1 000	19	80	
Inspeção de cor em impressão multicolorida	1 500	16	90	Tcp 5 000 K.
Gravação em aço e cobre	2 000	16	80	Para iluminação direcional, ver 4.5.2.
18. Trabalhos em ferro e aço				
Instalações de produção sem intervenção manual	50	28	20	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Instalações de produção com operação manual ocasional	150	28	40	
Instalações de produção com operação manual contínua	200	25	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Depósito de chapas	50	28	20	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.

Continua

Continuação

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\overline{E_m}$ lux	UGR_L	R_a	Observações
Fornos	200	25	20	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Usinagem, bobinadeira, linha de corte	300	25	40	
Plataformas de controle, painéis de controle	300	22	80	
Ensaio, medição e inspeção	500	22	80	
Túneis do tamanho de um homem sob o piso, porões etc.	50	28	20	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
19. Indústria têxtil				
Locais de trabalho e zonas de banhos, abertura de fardos	200	25	60	
Cardar, lavar, passar, extrair, pentear, dimensionar, cortar a carda, pré-fiação, juta, fiação de linho	300	22	80	
Fiação, encordoar, bobinar, enrolar, urdir, tecer, trançar, trabalhar em malha	500	22	80	Prevenir contra os efeitos estroboscópicos.
Costurar, trabalho fino em malha, prendendo os pontos	750	22	90	
Projeto manual, desenhos de padrões	750	22	90	T_{cp} no mínimo 4 000 K.
Acabamento, tingimento	500	22	80	
Sala de secagem	100	28	60	
Estampagem automática	500	25	80	
Extrair, selecionar, aparar	1 000	19	80	
Inspeção de cor, controle do tecido	1 000	16	90	T_{cp} no mínimo 4 000 K.
Reparo invisível	1 500	19	90	T_{cp} no mínimo 4 000 K.
Fabricação de chapéu	500	22	80	
20. Construção de veículos				
Trabalhos no chassi e montagem	500	22	80	
Pintura, câmara de pulverização, câmara de polimento	750	22	80	
Pintura: retoque, inspeção	1 000	16	90	T_{cp} no mínimo 4 000 K.
Fabricação de estofamento (manuseamento)	1 000	19	80	
Inspeção final	1 000	19	80	
21. Marcenaria e indústria de móveis				
Processo automático, por exemplo: secagem na fabricação de madeira compensada	50	28	40	

Continua

Continuação

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\overline{E_m}$ lux	UGR_L	R_a	Observações
Poços de vapor	150	28	40	
Sistema de serras	300	25	60	Prevenir contra os efeitos estroboscópicos.
Trabalho de marceneiro em bancos de carpintaria, colagem, montagem	300	25	80	
Polimento, pintura, marcenaria de acabamento	750	22	80	
Trabalho em máquinas de marcenaria, por exemplo: tornear, acanelar, desempenar, rebaixar, chanfrar, cortar, serrar afundar	500	19	80	Prevenir contra os efeitos estroboscópicos.
Seleção de madeira folheada, marchetaria, trabalhos de embutir	750	22	90	Tcp no mínimo 4 000 K.
Controle de qualidade	1 000	19	90	Tcp no mínimo 4 000 K.
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	
23. Varejo				
Área de vendas pequena	300	22	80	
Área de vendas grande	500	22	80	
Área da caixa registradora	500	19	80	
Mesa do empacotador	500	19	80	
24. Restaurantes e hotéis				
Recepção/caixa/portaria	300	22	80	
Cozinha	500	22	80	
Restaurante, sala de jantar, sala de eventos	200	22	80	Recomenda-se que a iluminação seja projetada para criar um ambiente íntimo.
Restaurante *self-service*	200	22	80	
Bufê	300	22	80	
Salas de conferência	500	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.

Continua

Continuação

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\overline{E_m}$ lux	UGR_L	R_a	Observações
Corredores	100	25	80	Durante o período da noite são aceitáveis baixos níveis de iluminação.
25. Locais de entretenimento				
Teatros e salas de concerto	200	22	80	
Salas com multiuso	300	22	80	
Salas de ensaio, camarins	300	22	80	É necessário que a iluminação do espelho seja isenta de ofuscamento para a maquiagem.
Museus (em geral)	300	19	80	Iluminação adequada para atender aos requisitos de exibição, proteção contra os efeitos de radiação.
26. Bibliotecas				
Estantes	200	19	80	
Área de leitura	500	19	80	
Bibliotecárias	500	19	80	
27. Estacionamentos públicos (internos)				
Rampas de entrada e saída (durante o dia)	300	25	40	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Rampas de entrada e saída (durante a noite)	75	25	40	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Pistas de tráfego	75	25	40	As cores para segurança devem ser reconhecíveis.
Estacionamento	75	28	40	Uma iluminância vertical elevada aumenta o reconhecimento das faces das pessoas e, por esta razão, a sensação de segurança.
Guichê	300	19	80	1) Evitar reflexões nas janelas. 2) Prevenir ofuscamento oriundo do lado externo.
28. Construções educacionais				
Brinquedoteca	300	19	80	
Berçário	300	19	80	
Sala dos profissionais do berçário	300	19	80	
Salas de aula, salas de aulas particulares	300	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500	19	80	

Continua

Continuação

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\overline{E_m}$ lux	UGR_L	R_a	Observações
Sala de leitura	500	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Quadro negro	500	19	80	Prevenir reflexões especulares.
Mesa de demonstração	500	19	80	Em salas de leitura 750 lux.
Salas de arte e artesanato	500	19	80	
Salas de arte em escolas de arte	750	19	90	$T_{cp} > 5\,000$ K.
Salas de desenho técnico	750	16	80	
Salas de aplicação e laboratórios	500	19	80	
Oficina de ensino	500	19	80	
Salas de ensino de música	300	19	80	
Salas de ensino de computador	500	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.
Laboratório linguístico	300	19	80	
Salas de preparação e oficinas	500	22	80	
Salas comuns de estudantes e salas de reunião	200	22	80	
Salas dos professores	300	22	80	
Salas de esportes, ginásios e piscinas	300	22	80	Para as instalações de acesso público, ver CIE 58 – 1983 e CIE 62 – 1984.
29. Locais de assistência médica				
Salas de espera	200	22	80	Iluminância ao nível do piso.
Corredores: durante o dia	200	22	80	Iluminância ao nível do piso.
Corredores: durante a noite	50	2	80	Iluminância ao nível do piso.
Quartos com claridade	200	22	80	Iluminância ao nível do piso.
Escritório dos funcionários	500	19	80	
Sala dos funcionários	300	19	80	
Enfermarias				
— iluminação em geral	100	19	80	Iluminância ao nível do piso.
— iluminação de leitura	300	19	80	
— exame simples	300	19	80	
Exames e tratamento	1 000	19	90	
Iluminação noturna, iluminação de observação	5	19	80	
Banheiros e toaletes para os pacientes	200	22	80	
Sala de exames em geral	500	19	90	
Exames do ouvido e olhos	1 000		90	Luminária para exame local.
Leitura e teste da visão colorida com gráficos de visão	500	16	90	

Continua

Continuação

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\overline{E_m}$ lux	UGR_L	R_a	Observações
Escâner com intensificadores de imagem e sistemas de televisão	50	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.
Salas de diálise	500	19	80	
Salas de dermatologia	500	19	90	
Salas de endoscopia	300	19	80	
Salas de gesso	500	19	80	
Banhos medicinais	300	19	80	
Massagem e radioterapia	300	19	80	
Salas pré-operatórias e salas de recuperação	500	19	90	
Sala de cirurgia	1 000	19	90	
Cavidade cirúrgica	Especial			$\overline{E_m}$ = 10 000 lux – 100 000 lux.
UTI				
— iluminação em geral	100	19	90	No nível do piso.
— exame simples	300	19	90	No nível do leito.
— exame e tratamento	1 000	19	90	No nível do leito.
— observação noturna	20	19	90	
— Dentistas				
— Iluminação em geral	500	19	90	Convém que a iluminação seja isenta de ofuscamento para o paciente.
— No paciente	1 000		90	Luminária para exame local.
— Cavidade cirúrgica	5 000		90	Valores maiores que 5 000 lux podem ser necessários.
— Branqueamento dos dentes	5 000		90	$T_{cp} \geq 6\,000$ K.
Inspeção de cor (laboratórios)	1 000	19	90	$Tcp \geq 5\,000$ K.
Salas de esterilização	300	22	80	
Salas de desinfecção	300	22	80	
Salas de autópsia e necrotérios	500	19	90	
Mesa de autópsia e mesa de dissecação	5 000		90	Valores maiores que 5 000 lux podem ser necessários.
30. Aeroportos				
Saguões de embarque e desembarque, áreas de entrega da bagagem	200	22	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Áreas de conexão, escadas rolantes, esteiras rolantes	150	22	80	
Balcão de informações, *check-in*	500	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.
Alfândega e balcão de controle do passaporte	500	19	80	É importante a iluminância vertical.

Continua

Continuação

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\overline{E_m}$ lux	UGR_L	R_a	Observações
Salas de espera	200	22	80	
Local de armazenamento das bagagens	200	22	80	
Áreas da verificação de segurança	300	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.
Torre de controle do tráfego aéreo	500	16	80	1) Recomenda-se que a iluminação seja dimerizável. 2) Para trabalho com VDT, ver 4.10. 3) Recomenda-se que seja evitado o ofuscamento oriundo da luz natural.
Salas de tráfego aéreo	500	16	80	1) Recomenda-se que a iluminação seja dimerizável. 2) Para trabalho com VDT, ver 4.10.
Hangares de reparos e testes	500	22	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Áreas de testes dos motores	500	22	88	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Áreas de medição em hangares	500	22	80	Para montagem alta: ver também 4.6.2.
Plataformas e passagens subterrâneas para passageiros	50	28	40	
Saguão de compra de passagens e grandes espaços abertos para circulação de multidões	200	28	40	
Escritórios das bagagens e passagens e contadores	300	19	80	
Salas de espera	200	22	80	
3.1 Locais para celebrações e cultos religiosos (Igrejas, mosteiros, sinagogas, templos, etc)				
Corpo do local	100	25	80	
Cadeira, altar, púlpito.	300	22	80	

Fonte: ABNT, 2013