

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Thales Rosa da Silva

**SISTEMA DE ILUMINAÇÃO SUSTENTÁVEL APLICADO EM
PAVILHÕES INDUSTRIAIS**

Porto Alegre

Julho 2019

THALES ROSA DA SILVA

**SISTEMA DE ILUMINAÇÃO SUSTENTÁVEL APLICADO EM
PAVILHÕES INDUSTRIAIS**

Trabalho de Diplomação apresentado á Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Miguel Aloysio Sattler

Porto Alegre

Julho 2019

THALES ROSA DA SILVA

**SISTEMA DE ILUMINAÇÃO SUSTENTÁVEL APLICADO EM
PAVILHÕES INDUSTRIAIS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Miguel Aloysio Sattler (UFRGS)
Ph.D. pela University of Liverpool
Orientador

Profa. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Luciana Inês Gomes Miron (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Alex e Ana, por todo amor e incentivo, e por acreditarem em mim mais do que eu mesmo um dia poderia acreditar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, professor Miguel Aloysio Sattler, por toda disponibilidade e ensinamentos. Todas as sugestões, ideias e tempo dedicado ao longo do estudo, que foram importantes para que o trabalho fosse desenvolvido. Aproveito também para agradecer, por levar a seus alunos conceitos e princípios de sustentabilidade, tão importantes e por vezes negligenciados na Engenharia.

Agradeço a meus pais, Alex Pizzio da Silva e Ana Paula Azevedo da Rosa, por serem meu norte na vida, pelo amor incondicional e por sempre estarem ao lado. Ao meu pai, agradeço especialmente, por sempre se fazer presente e perto, mesmo estando a muitos e muitos quilômetros de distância. Por sempre acreditar em mim, e por todas as ligações de horas e horas, para me manter motivado e firme nesta jornada, que por muitas vezes se apresentou difícil. À minha mãe, agradeço especialmente, por todo amor e carinho. Agradeço por me fazer ter a certeza, que mesmo que todas as coisas dessem erradas algum dia, eu sempre teria um lugar para onde ir e um abraço apertado para onde voltar.

Agradeço a meus tios Cristiane Azevedo Di Giorgio e Adriano Di Giorgio, e minha prima Iasmin Azevedo Di Giorgio, por todo apoio e carinho nessa jornada, e por toda a generosidade que jamais encontrarei novamente. Eu serei para sempre grato, e ainda assim será pouco.

Agradeço a minha namorada Pâmela Capone, pelo amor e companheirismo, e por sempre estar ao meu lado, planejando nosso futuro juntos. Agradeço, por ter sido minha melhor amiga, minha parceira e sempre a melhor parte dos meus dias.

Agradeço a meu irmão Rerison Rosa, a quem pude dividir os desafios, sacrifícios e alegrias do curso de engenharia, por toda a parceria de vida e todo apoio. Agradeço também por todo amor e amizade, imensuráveis e recíprocos.

Agradeço a meus queridos amigos Brunno Brum, Itallo Nebenzahl, Leonardo Vaz e Wagner Santos, pela parceria ao longo desses anos e por dividirem comigo as mesmas angústias e felicidades. O diploma que conquistamos ao final da graduação, não é nada perto da amizade que levamos para vida.

Agradeço a toda equipe da Technique Engenharia, pelo apoio nos momentos difíceis dessa reta final de curso, em especial a Magnus Corassini, por todo o apoio e ensinamentos.

Homens fortes criam tempos fáceis, tempos fáceis criam
homens fracos, homens fracos criam tempos difíceis e
tempos difíceis criam homens fortes.

Autor desconhecido

RESUMO

Os sistemas de iluminação artificial e natural têm um importante papel no desempenho das edificações sob o ponto de vista da eficiência energética e sustentabilidade, sobretudo em um contexto industrial onde há, geralmente, um elevado consumo energético. O presente trabalho tem como objeto de estudo um pavilhão industrial localizado no município de Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, que abriga uma indústria termoplástica. O objetivo principal deste estudo é realizar uma comparação entre o desempenho e o consumo de energia do sistema de iluminação atual da edificação e um novo sistema de iluminação proposto. Como a empresa está em processo de modificação de sua fábrica, este trabalho, no que tange a caracterização da edificação, baseia-se em um plano de reforma existente. Em um primeiro momento foram realizadas simulações computacionais através do *software* DIALux Evo, o que permitiu um diagnóstico do desempenho lumínico dos sistemas de iluminação artificial e natural, conforme previstos atualmente no plano de reforma da empresa. Pôde-se, desta forma, aferir que as condições de iluminamento apresentam deficiências, sobretudo pela distribuição assimétrica das luminárias. Além disso, é notável a falta de aberturas para passagens de luz natural no corpo da edificação, sobrecarregando assim, o sistema de lâmpadas fluorescentes tubulares previstas para promover iluminação artificial no ambiente. Posteriormente, a partir dos aspectos quantitativos das iluminâncias e qualitativos da distribuição de luz no interior da edificação, obtidos por meio das simulações, iniciou-se a elaboração de uma proposta de intervenções com intuito de otimizar a integração da luz artificial e natural na edificação, além de melhorar a eficiência energética e conseqüentemente diminuição dos gastos com energia elétrica. Para isto, foi englobada na proposta, a ampliação de área de iluminação natural a partir de painéis zenitais e a utilização de lâmpadas LED (*Light Emitting Diode*). Por fim, foi realizada uma análise, de desempenho lumínico e econômico, entre ambos os casos, de modo a validar uma tomada de decisão no sentido de implantação dos sistemas propostos.

Palavras-chave: Iluminação natural, Iluminação artificial, Eficiência energética, Sustentabilidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho	17
Figura 2 – Índice de reprodução de cor X ambientes	24
Figura 3 – Aparência de cor X temperatura de cor.....	24
Figura 4 – Movimento da Terra em torno do sol.....	28
Figura 5 – Planta de situação.....	37
Figura 6 – Distribuição de luminárias	40
Figura 7 – Vista geral da edificação	43
Figura 8 – Vista da fachada leste.....	44
Figura 9 – Vista da fachada sul	44
Figura 10 – Vista da fachada norte.....	45
Figura 11 – Índices de reflexão	46
Figura 12 – Parâmetros de projeto.....	48
Figura 13 – Características da luminária utilizada	49
Figura 14 – Curva fotométrica da luminária utilizada.....	49
Figura 15 – Características da luminária utilizada	53
Figura 16 – Curva fotométrica da luminária utilizada.....	53
Figura 17 – Distribuição de luminárias	54
Figura 18 - Distribuição das claraboias	56
Figura 19 - Diagrama de cores falsas	59
Figura 20 - Renderização do ambiente interno – sistema atual.....	60
Figura 21 - Renderização do ambiente interno – sistema proposto.....	60
Figura 22 - Vista geral da edificação com sistema de claraboias.....	64
Figura 23 - Vista lateral da edificação com sistema de claraboias.....	64
Figura 24 - Vista interna da edificação com sistema de claraboias.....	64
Figura 25 - Contribuição de iluminância média do sistema atual	65
Figura 26 - Contribuição de iluminância média do sistema proposto	65
Figura 27 - Gráfico comparativo de valores de iluminância – solstício de inverno.....	66
Figura 28 - Gráfico comparativo de valores de iluminância – solstício de verão	67
Figura 29 - Gráfico comparativo de valores de iluminância – equinócio de outono.....	67
Figura 30 - Gráfico comparativo de valores de iluminância – equinócio de primavera	68
Figura 31 - Gráfico comparativo de uniformidade – solstício de inverno.....	69

Figura 32 - Gráfico comparativo de uniformidade – solstício de verão	69
Figura 33 - Gráfico comparativo de uniformidade – equinócio de outono	70
Figura 34 - Gráfico comparativo de uniformidade – equinócio de primavera	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estimativa de consumo de energia elétrica	61
Tabela 2 - Custos operacionais dos sistemas de iluminação	61
Tabela 3 - Custos de implantação do sistema proposto.....	62

LISTA DE SIGLAS

CAD - *Computer Aided Design*

CIE - *Comission Internationale l'Éclairage*

FLD - Fator de Luz Diurna

HO - High Output

IRC - Índice de Reprodução de Cor

LED - *Light Emitting Diode*

NBR - Associação Brasileira de Normas Técnicas

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

Ra - Índice de Reprodução de Cor Mínimo

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UGRL - Índice Limite de Ofuscamento Unificado

LISTA DE SÍMBOLOS

cd – candela

Em – iluminância média

h - hora

K – Kelvin

km – quilômetros

kW – quiloWatt

lx – lux

lm – lúmens

mm - milímetros

m² - metros quadrados

N - norte

O – oeste

R\$ - real

S – sul

W - Watt

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. MÉTODO DE PESQUISA.....	14
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA	15
2.2 OBJETIVO DO TRABALHO	15
2.3 OBJETIVO PRINCIPAL	15
2.4 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS.....	15
2.5 PRESSUPOSTO.....	16
2.6 DELIMITAÇÕES	16
2.7 LIMITAÇÕES.....	16
2.8 DELINEAMENTO	16
3. SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO.....	20
3.1 CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO	20
3.1.1 Fluxo Luminoso	20
3.1.2 Iluminância.....	21
3.1.3 Luminância.....	21
3.1.4 Ofuscamento.....	22
3.1.5 Contraste	22
3.1.6 Intensidade Luminosa	23
3.1.7 Eficiência Luminosa	23
3.1.8 Índice de Reprodução de Cor (IRC)	23
3.1.9 Temperatura de Cor.....	24
3.1.10 Transmissão e Transmitância.....	24
3.1.11 Reflexão e Refletância	25
3.2 ILUMINAÇÃO NATURAL	25
3.2.1 Disponibilidade de Luz Natural (DLN)	26
3.2.2 Fator de Luz Diurna (FLD)	27
3.2.3 Geometria Solar	27
3.2.4 Luz do Sol e do Céu	29
3.2.5 Sistemas de Iluminação Natural.....	30
3.3 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	31
3.3.1 Luminárias	32
3.3.2 Lâmpadas	32

4. PROJETO LUMINOTÉCNICO	35
4.1 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO E SOFTWARE DIALUX EVO	36
5. CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	37
5.1 ASPECTOS GEOGRÁFICOS	38
5.2 DESCRIÇÃO DO PROJETO DE REFORMA DA EDIFICAÇÃO	38
5.2.1 Materiais e Técnicas Empregadas – Projeto Atual.....	39
5.2.2 Sistema de Iluminação Artificial – Projeto Atual.....	39
5.2.3 Sistema de Iluminação Natural – Projeto Atual	40
6. SIMULAÇÕES LUMÍNICAS	42
6.1 MODELAGEM DA EDIFICAÇÃO	43
6.2 CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO REQUERIDAS.....	47
6.3 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....	48
6.4 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NATURAL.....	50
7. SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PROPOSTOS	52
7.1 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL PROPOSTO	52
7.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NATURAL PROPOSTO	55
8. ANÁLISES DE RESULTADOS.....	58
8.1 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....	58
8.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NATURAL.....	63
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS.....	75
APÊNDICE A.....	77
APÊNDICE B.....	82
APÊNDICE C.....	83
APÊNDICE D.....	90
APÊNDICE E.....	107
APÊNDICE F.....	112

1. INTRODUÇÃO

A percepção do homem, acerca das condições de iluminação nos diferentes ambientes ocorre a todo instante, uma vez que tais condições são intrínsecas ao conforto visual humano. Além da satisfação de conforto luminoso, um sistema de iluminação requer em seu desenvolvimento, que aspectos como eficiência energética e sustentabilidade sejam observados, à medida que cada vez mais ganham relevância discussões acerca da aplicação destes em edificações e todos os sistemas que as compõe. Permitindo assim, atender nossas demandas atuais sem que haja prejuízo das demandas e necessidades futuras, tendo em vista as crises hídrica e climática que são recorrentes atualmente. Logo, condiciona-se desta forma, o projetista luminotécnico ao estudo de disponibilidade e comportamento da luz natural, bem como, ao uso de tecnologias mais eficientes empregadas em sistemas de iluminação artificial, além de prover de forma otimizada a integração destes dois sistemas.

Os sistemas de iluminação de edificações, em geral representam uma parcela considerável do consumo de energia elétrica das mesmas, sobretudo quando esses sistemas apresentam uma tecnologia defasada e/ou são mal dimensionados. No tocante a edificações em nível industrial, onde o consumo de energético e consequente dispêndio de recursos para manter tais sistemas é grande, torna-se necessária a redução do impacto econômico e ambiental causado pelo uso dos sistemas sob tais condições. Neste sentido, cada vez mais se busca projetos com alternativas mais sustentáveis e eficientes para este tipo de edificação, destacando-se a implantação de subsistemas de iluminação natural e a utilização de lâmpadas mais eficientes.

Neste contexto, o presente trabalho tem como propósito discutir a otimização de sistemas de iluminação aplicados em pavilhão industriais, através de um estudo de caso referente a um pavilhão que compreende a fábrica de uma indústria termoplástica. A partir disso, foi avaliada a utilização de painéis zenitais na cobertura da edificação, o que promove uma maior contribuição de iluminamento por luz natural ao interior da edificação, bem como, a utilização de lâmpadas do tipo LED (*Light Emitting Diode*), que possuem a melhor tecnologia oferecida pelo mercado, apresentando um consumo reduzido de energia e uma vida útil mais longa se comparada com lâmpadas como, por exemplo, a fluorescente, lâmpada mais comumente utilizada atualmente.

Ao longo desta pesquisa, buscou-se apropriar-se, ainda que de forma básica, dos conceitos relativos aos sistemas de iluminação e suas relações com os ambientes construídos e o ser humano, observando as principais questões referentes ao desempenho dos sistemas de iluminação e ao conforto visual dos usuários. Tornou-se assim, possível a abordagem e discussão destes conceitos no desenvolver do trabalho. A partir de modelagens e simulações computacionais, pôde-se descrever o funcionamento e projetar sistemas de iluminação, sob as recomendações das normas vigentes e com base na revisão de literatura realizada. Ao final do estudo, foram discutidos os resultados obtidos e desenvolvidos ao longo do trabalho, de modo a subsidiar a avaliação de desempenho lumínico, energético e econômico.

2. MÉTODO DE PESQUISA

As diretrizes que balizam o desenvolvimento deste trabalho são apresentadas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DA PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: qual a redução de consumo de energia elétrica será alcançada através da implementação de um projeto luminotécnico que otimize os sistemas de iluminação artificial e natural em um pavilhão industrial?

2.2 OBJETIVO DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são descritos nos itens a seguir.

2.3 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo principal deste trabalho é comparar o consumo de energia elétrica do sistema atual de iluminação e de um sistema proposto que visa otimizar a iluminação artificial e natural em um pavilhão industrial.

2.4 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) elaboração de um projeto luminotécnico utilizando luminárias LED e iluminação zenital, de acordo com as normas vigentes;

- b) determinação quantitativa do consumo de energia elétrica do sistema atual de iluminação;
- c) projeção do consumo de energia elétrica do sistema de iluminação proposto;
- d) apresentação da avaliação financeira de viabilidade econômica.

2.5 PRESSUPOSTO

Como pressuposto deste trabalho será admitido que os dados obtidos através do *software* DIALux Evo e todas as informações apresentadas nas normas NBR 5413/1992 – Iluminação de Interiores, NBR ISO/CIE 8995/2013 – Iluminação de Ambientes de Trabalho e NBR 15215/2005 – Iluminação Natural são válidos para o desenvolvimento do estudo proposto.

2.6 DELIMITAÇÕES

Este trabalho está delimitado ao estudo de um pavilhão industrial localizado no bairro Lomba Grande no município de Novo Hamburgo/RS.

2.7 LIMITAÇÕES

As limitações do trabalho são:

- a) não houve levantamento *in loco* de valores iluminância do pavilhão;
- b) utilização somente do *software* DIALux Evo para modelagens;
- c) caracterização da edificação baseada em plano de reforma.

2.8 DELINEAMENTO

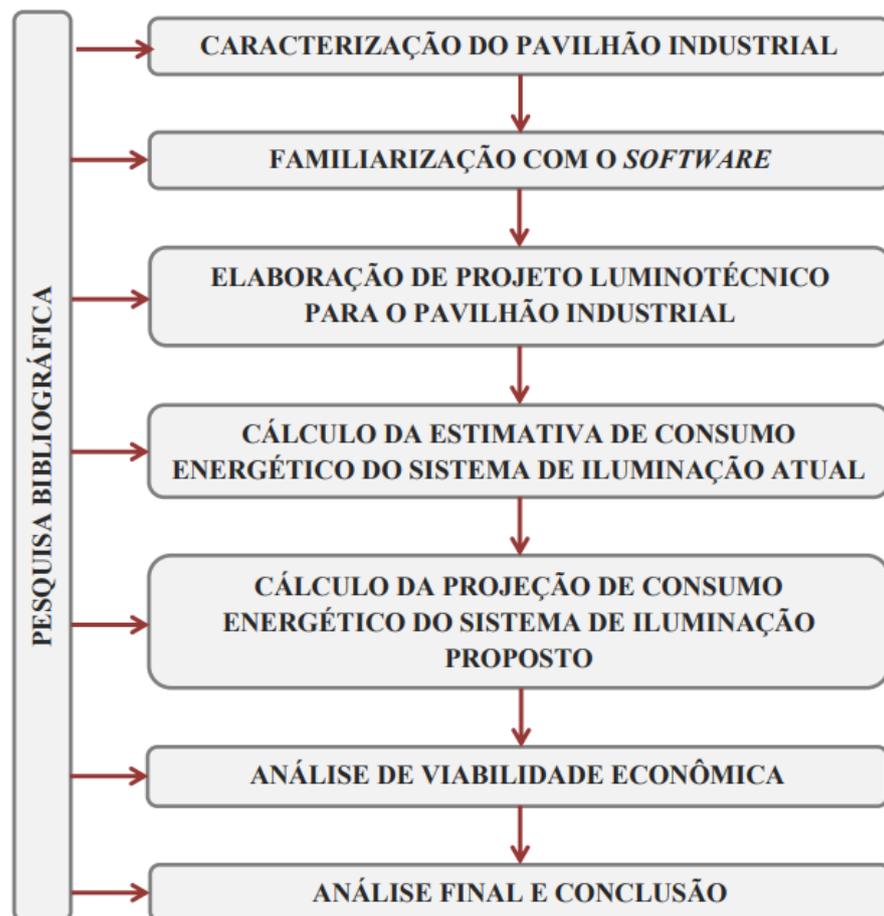
Este trabalho apresenta como etapas de desenvolvimento os seguintes itens:

- a) pesquisa bibliográfica;

- b) caracterização do pavilhão industrial;
- c) familiarização com *software*;
- d) elaboração de projeto luminotécnico para o pavilhão industrial;
- e) cálculo da estimativa de consumo energético do sistema de iluminação atual;
- f) cálculo da projeção de consumo energético do sistema de iluminação proposto;
- g) análise de viabilidade econômica;
- h) análise final e conclusão.

As macro etapas desenvolvidas no trabalho são apresentadas pelo diagrama da figura 1, e descritas nos parágrafos seguintes.

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho



(fonte: elaborada pelo autor)

Por meio da **pesquisa bibliográfica** buscou-se um maior embasamento teórico com o objetivo de reunir informações, dados e conhecimentos necessários para a construção do trabalho. Sendo assim, houve uma maior apropriação dos conceitos relativos a sistemas de iluminação natural e artificial. Também foram estudadas normas técnicas que definem recomendações pertinentes à elaboração de projetos luminotécnicos. O conteúdo correspondente à pesquisa bibliográfica servirá como fundamentação teórica para desenvolvimento deste trabalho, desde a inserção de conceitos básicos até às análises de resultados e conclusões finais.

A **caracterização do pavilhão industrial** iniciou-se por levantamento de dados *in loco*. Em um primeiro momento obteve-se dados pertinentes à arquitetura da edificação de modo que fosse posteriormente possível elaborar um *as built* do pavilhão, contendo características construtivas como: materiais de acabamento e tipo e material da cobertura e estrutura, além de dados referentes às dimensões físicas da construção. Estas informações são necessárias para a construção do modelo virtual da edificação para a realização das simulações via software. Por se tratar de uma edificação que atualmente está sofrendo algumas modificações construtivas, esta etapa se baseia também em um plano de reforma para o pavilhão estudado. Em um segundo momento a caracterização realizada foi em relação aos sistemas de iluminação artificial e natural existentes. Para caracterizar o sistema de iluminação artificial atual, observou-se tipos de luminárias e lâmpadas utilizadas, energia unitária consumida e tempo de utilização de cada lâmpada, além do layout das luminárias dentro do pavilhão.

Através da **familiarização com o software**, pôde-se aprofundar os conhecimentos sobre suas ferramentas e funcionalidades que serão utilizados nas simulações ao longo do trabalho. As modelagens realizadas são etapas fundamentais na obtenção de dados necessários para a elaboração e análises dos projetos luminotécnicos.

A **elaboração de projeto luminotécnico para o pavilhão industrial** foi realizada através de *software* específico. Para o dimensionamento do sistema de iluminação artificial utilizou-se o *software* DIALux Evo versão 8.1 e as simulação referentes ao sistema de iluminação natural foram realizadas através do mesmo programa. Buscou-se atender as recomendações das normas pertinentes aos sistemas projetados, visando sempre um menor consumo energético além de uma distribuição adequada de iluminância promovida pela complementaridade na utilização dos sistemas artificial e natural de iluminação.

Após a elaboração do projeto luminotécnico realizou-se o **cálculo da estimativa de consumo energético do sistema de iluminação atual** e o **cálculo da projeção de consumo energético do sistema de iluminação proposto**, de modo a subsidiar a análise de viabilidade econômica. Para ambos os casos, considerou-se o tempo que cada lâmpada dos respectivos sistemas, fica acesa durante o expediente funcionamento da indústria, além do consumo energético característico de cada tipo de lâmpada e luminária.

A **análise de viabilidade econômica** foi realizada com base nos resultados obtidos nos cálculos de consumo de energia elétrica dos dois sistemas, atual e proposto, projetando assim os custos operacionais de cada um deles. Além disso, os custos para implementação do projeto luminotécnico desenvolvido foram considerados nesta análise.

Por fim, a **análise final e conclusão** foram realizadas com base nos resultados obtidos, e buscam retomar a questão da pesquisa, desta forma apresentando como resposta, em termos quantitativos, a redução de consumo de energia elétrica decorrente da implementação de um novo projeto luminotécnico.

3. SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

De acordo com Lam (1986) e Baker et al. (1993), após a introdução no mercado das lâmpadas fluorescentes em meados da década de 1950 houve uma rápida implementação deste tipo de luz artificial nas edificações, tornando-se o sistema preferencial de iluminação independentemente da luz natural disponível. Tal processo, já havia sido experimentado em 1880, quando a descoberta da lâmpada incandescente iniciou o processo utilização de fontes artificiais em detrimento aos sistemas de iluminação natural.

Porém, o contexto global atual, em que crises energéticas são cada vez mais recorrentes, nos impelem à busca de sistemas de iluminação com consumos energéticos reduzidos, e incluindo fontes de luz natural. Segundo Vianna e Gonçalves (2001), no Brasil, país que viveu crises energéticas recentes, serão de extrema importância à utilização da luz natural e da diminuição do consumo de fontes artificiais de iluminação, através, respectivamente, do melhor desempenho dos vidros nas fachadas e lâmpadas mais eficientes energeticamente. Pereira (2010) diz que, uma expressiva redução do consumo de energia, pode ser obtido com a adequada utilização das fontes de iluminação natural e artificial combinadas, sobretudo quando aplicadas em edifícios comerciais, industriais e públicos.

3.1 CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO

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

3.1.1 Fluxo Luminoso

Segundo Silva (2004, p. 40), fluxo luminoso “É a quantidade total de luz emitida por uma fonte e medida em lumens (lm)”. Para Costa (2005, p. 197), fluxo luminoso é definido como

“[...] a potência luminosa emitida ou observada, ou ainda, representa a energia emitida ou refletida, por segundo, em todas as direções sob a forma de luz.”. Sob o ponto de vista de um sistema de iluminação artificial quanto maior o tempo de serviço deste sistema menor é o fluxo luminoso transmitido. Esta queda de entrega deve-se ao envelhecimento dos componentes do sistema, como lâmpadas e luminárias, além do acúmulo de pó. O ambiente sob o qual o sistema de iluminação está exposto, bem como as condições de operação deste determinam a diminuição de forma antecipada do fluxo luminoso, segundo NBR ISO/CIE 8995 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

3.1.2 Iluminância

A iluminância é definida em norma como sendo o “Limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície quando esta tende a zero.” NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 1). O fluxo luminoso não apresenta uma distribuição uniforme, logo a iluminância não apresentará valores iguais em todos os pontos da área analisada. Sendo assim, para verificar se a área trabalhada está de acordo com os parâmetros requeridos se faz necessária a avaliação em termos de valor médio de iluminâncias dos pontos da área em questão (Vianna e Gonçalves, 2001).

3.1.3 Luminância

Segundo Moreira (1999, p. 18) pode-se conceituar luminância como o “limite da relação entre a intensidade luminosa irradiada em uma direção determinada, a partir de uma superfície elementar contendo um ponto dado e a área aparente dessa superfície para uma direção considerada, quando essa área tende a zero.”. A unidade representativa de luminância é candela por metro quadrado (cd/m^2).

Conforme a norma NBR 15215-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, p. 4) a luminância é experimentada por um ser humano “Quando uma parte da luz incidente sobre uma superfície é refletida, o olho humano perceberá a superfície

como uma fonte de luz. O brilho observado é chamado de luminância, que depende da posição e da direção em que o usuário olha [...].”

3.1.4 Ofuscamento

De acordo com a NBR ISSO/CIE 8995 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 6), “Ofuscamento é a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão, que pode ser experimentado tanto como um ofuscamento desconfortável quanto como um ofuscamento inabilitador.”. Para Lamberts et al. (2004, p. 59). “Quando o processo de adaptação não transcorre normalmente devido a uma variação muito grande de iluminação e/ou a uma velocidade muito grande, experimenta-se uma perturbação, desconforto ou até perda na visibilidade, que é chamada de ofuscamento.” Ainda é dito pelos autores que o ofuscamento pode se apresentar de forma perturbadora ou desconfortável e inabilitadora. O ofuscamento na forma perturbadora apesar de criar uma situação desconfortável aos usuários de um ambiente não é um impeditivo para que as tarefas visuais sejam desempenhadas por estes usuários. Porém, sob forma inabilitadora, o ofuscamento tende a comprometer de forma mais incisiva a realização das atividades desempenhadas no ambiente que experimenta este tipo de ofuscamento.

3.1.5 Contraste

A norma NBR 5461 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991), diz que contraste permite a avaliar a diferença de aspectos, devido à diferença de luminosidade percebida, de duas ou mais partes do campo de observação. Segundo Lamberts et al. (2004, p. 58), “Contraste é definido pela relação entre a luminância (brilho) de um objeto e a luminância do entorno imediato deste objeto. Em pleno dia podemos perceber diferenças de luminância de até 1%, mas sob condições precárias de iluminação até diferenças de 10% podem passar despercebidas.”.

3.1.6 Intensidade Luminosa

“Expressa em candelas (cd), é a intensidade do fluxo luminoso (lm) projetado em determinada direção.” (SILVA, 2004, p. 40). Segundo Costa (2005, p. 204), “[...] a intensidade luminosa é a grandeza de base do sistema internacional de iluminação humana. Diferentemente das demais, consiste numa grandeza biofísica e incorpora a reação humana para a visão da luz.”. O autor ainda define a intensidade luminosa como sendo a força geradora do fluxo luminoso, o que corresponderia, ainda segundo este, em uma analogia hidráulica, à pressão que impulsiona um jato de água.

3.1.7 Eficiência Luminosa

A eficiência ou eficácia luminosa corresponde ao quociente entre o fluxo luminoso em lumens, pela potência consumida em watts. Sendo assim, correspondendo à definição física de rendimento (COSTA, 2005). Para Vianna e Gonçalves (2001, p. 68), a eficiência luminosa é um parâmetro de comparação entre lâmpadas, sendo assim muito útil quando utilizado em análises de consumo energético e conseqüentemente econômicas para instalações de sistemas de iluminação artificial.

3.1.8 Índice de Reprodução de Cor (IRC)

De acordo com a norma NBR ISO 8995 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 9), o índice de reprodução de cor “É importante tanto para o desempenho visual quanto para a sensação de conforto e bem-estar que as cores do ambiente, dos objetos e da pele humana sejam reproduzidas natural e corretamente, e de modo que façam com que as pessoas tenham uma aparência atrativa e saudável.”. Avalia numa escala de 0 a 100% a capacidade de uma luz artificial reproduzir a luz natural. Quanto mais próximo de 100%, mais fidedigna é a reprodução das cores, e conseqüentemente maior a qualidade da fonte de luz. Considerando lâmpadas como fontes de luz, estas são consideradas boas para a reprodução de cores quanto possuem índice acima de 80 (SILVA, 2004). A figura 2 apresenta a relação entre o IRC, a qualidade de reprodução de cor e locais de uso.

Figura 2 – Índice de reprodução de cor X ambientes

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

(fonte: SILVA, 2004, p.39)

3.1.9 Temperatura de Cor

As lâmpadas apresentam como uma característica, a aparência da cor, que se refere a aparência da cor da luz que esta reproduz. Para cada aparência de cor definida, há um intervalo de temperaturas de cor relacionado, segundo a NBR ISO/CIE 8995 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Sobre esta relação, Silva (2004, p. 37) diz que “Quanto mais alta for a temperatura em Kelvin, mais branca será a luz e quanto mais baixa, mais amarela e avermelhada será.”. A figura 3 apresenta uma classificação da relação entre a aparência da cor e a temperatura de cor.

Figura 3 – Aparência de cor X temperatura de cor

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

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 9)

3.1.10 Transmissão e Transmitância

De acordo com a NBR 5461 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, p.22) define-se transmissão como sendo a “Passagem de uma radiação através de um meio, sem modificação da frequência dos componentes monocromáticos dessa radiação.”.

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

3.1.11 Reflexão e Refletância

Quando uma radiação incide sobre uma superfície ou um meio qualquer e retorna sem que haja alteração na frequência dos seus componentes monocromáticos esta radiação experimenta o fenômeno de reflexão NBR 5461 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991). A reflexão pode ocorrer na forma de reflexão especular, difusa ou mista. A norma também apresenta o conceito de refletância como sendo “[...] a razão do fluxo radiante ou luminoso refletido, para o fluxo incidente, nas condições dadas.”.

3.2 ILUMINAÇÃO NATURAL

Atualmente a necessidade de economia de recursos energéticos promove a busca por edificações mais eficientes e sustentáveis, neste contexto tem aumentado o interesse pelo uso da iluminação natural nos ambientes internos. Segundo Souza (2010, p. 111), “A luz do dia possui grande parcela de contribuição para a redução do consumo de energia na alimentação de sistemas de iluminação elétrica. Contudo, seu uso deve ser planejado, pois a incidência de radiação solar pode aumentar a quantidade de energia gasta para o resfriamento ativo do ambiente”.

Neste sentido, Reinhart e Wienold (2011) dizem que para um projeto luminotécnico utilizar a iluminação natural de forma adequada este deve atender o conforto visual e térmico, juntamente com um consumo energético reduzido de iluminação artificial, aquecimento e resfriamento, além da satisfação dos usuários. Para Amorim (2002), sobre a satisfação dos usuários, a luz natural tem qualidades inerentes que podem propiciar, quando utilizada de forma coerente ambientes mais saudáveis sob o ponto de vista humano. Sobre as questões econômicas, Amorim (2002) reforça que a utilização deste tipo de sistema deve ocorrer de

forma planejada e juntamente com sistemas de luz artificial, para que possam retornar economia energética efetiva.

De acordo com Scarazzato (1995, p.15):

Os sistemas de iluminação natural, contudo, têm maior propensão a ofuscamento, porque, muitas vezes são usados para varias atividades além de apenas iluminar. Por outro lado, mesmo sem negar que o ofuscamento seja de fato um problema, existem algumas medidas projetuais que podem ser adotadas, a fim de reduzir o risco de sua ocorrência.

As edificações experimentam a importância da iluminação natural através de seus requisitos ambientais e econômicos que devem atender. Logo, faz-se necessário a utilização da luz natural de forma correta, de modo a otimizar seus benefícios e minimizar seus impactos negativos (AMORIM, 2007).

3.2.1 Disponibilidade de Luz Natural (DLN)

“Os níveis de iluminação internos proporcionados pela luz natural dependem de dois fatores principais: das características do ambiente construído (geometria do ambiente, tamanho e orientação das aberturas, refletância das superfícies internas, vizinhança, etc.) e da disponibilidade de luz natural externa.” (GARROCHO, 2005, p.17).

De acordo com a NBR 15215-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, p. 17):

A disponibilidade de luz natural é a quantidade de luz em um determinado local, em função de suas características geográficas e climáticas, que se pode dispor por um certo período de tempo. Dados e técnicas para a estimativa das condições de disponibilidade de luz natural são importantes para a avaliação do desempenho final de um projeto em termos de conforto visual e consumo de energia. Isto refere-se à maneira como varia a quantidade de luz durante o dia e épocas do ano, quanto dura essa iluminação ao longo do dia e os motivos pelos quais as localidades dispõem de mais ou menos luz [...].

Para o cálculo da disponibilidade de luz natural há parâmetros importantes como dados relativos ao posicionamento solar, datas ao longo do ano utilizadas na determinação, latitude e longitude geográfica do local e tipo de céu.

3.2.2 Fator de Luz Diurna (FLD)

A NBR 15215-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, p. 2) define o Fator de Luz Diurna (FLD) como a “Razão entre a iluminação natural num determinado ponto num plano horizontal interno devido à luz recebida direta ou indiretamente da abóbada celeste com uma distribuição de luminâncias conhecida, e a iluminação num plano horizontal externo produzida pela abóbada celeste totalmente desobstruída, expressa como uma percentagem.”. Ou seja, segundo Hopkinson et al. (1966, p. 28), “O fator luz do dia é a razão entre a iluminação interior e a iluminação simultaneamente disponível no exterior.”. De acordo com Barbosa (2010, p. 109), “A análise do fator de luz diurna (FLD) é importante dado para compreender a quantidade de luz incidente dentro do ambiente, em áreas distintas, o que torna possível definir estratégias de controle de iluminação artificial.”.

O fator de luz diurna pode ser determinado pela seguinte equação (HOPKINSON et al., 1966, p. 29):

$$E_i = (\text{FLD}/100) * E_e \quad (\text{equação 1})$$

Sendo:

E_i = quantidade de iluminamento interno, em lux;

FLD = fator luz do dia;

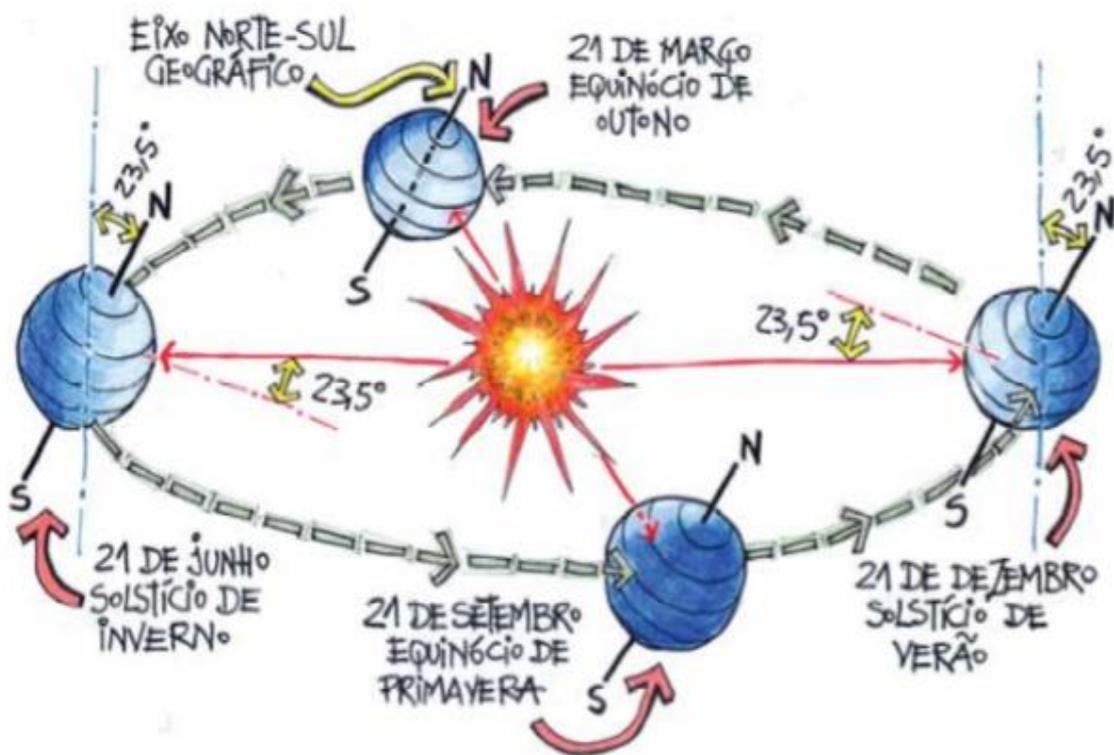
E_e = quantidade de iluminamento externo, em lux.

3.2.3 Geometria Solar

A luz solar é a principal fonte de iluminação natural. Esta fonte em diferentes locais do planeta apresenta variações de acordo com a época do ano. Tais variações nas características de iluminância são dependentes do ângulo de inclinação do eixo da Terra em relação ao Equador e do movimento de translação terrestre. Desta forma, há uma distribuição não uniforme da radiação solar ao longo do ano, proporcionando estações diferentes em locais distintos do planeta. Por este motivo, o sol apresenta-se por um número maior de horas no

verão do que o tempo que o experimentamos no inverno. Os dois extremos de exposição solar correspondem aos solstícios de verão e de inverno, onde respectivamente, temos o dia com o maior tempo de exposição solar e o menor dia de exposição da luz do sol. Os solstícios ocorrem em geral, nos dias 21 de dezembro, para o solstício de verão no Hemisfério Sul, e 21 de junho para o de inverno também para o Hemisfério Sul. Há também outros dois eventos, normalmente nos dias 21 de março e 21 de setembro, que correspondem, respectivamente, aos equinócios de outono e primavera (para o Hemisfério Sul). Assim como os solstícios os equinócios ocorrem de forma contrária nos Hemisférios Norte e Sul (LAMBERTS et al., 2004). A figura 4 representa o movimento da Terra ao redor do sol, os equinócios e solstícios e a inclinação do eixo terrestre.

Figura 4 – Movimento da Terra em torno do sol



(fonte: LAMBERTS et al., 2004, p. 115)

3.2.4 Luz do Sol e do Céu

De acordo com a norma NBR 15215-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, p. 1) “A luz natural que incide no ambiente construído é composta basicamente pela luz direta do sol e luz difundida na atmosfera (abóboda celeste). O primeiro passo no desenvolvimento de sistemas de iluminação natural consiste no conhecimento da disponibilidade de luz proporcionada por estas fontes.”.

Segundo Lamberts et al., (2004), a parcela de luz difundida ou difusa, corresponde a parte da radiação solar incidente que tem sua direção alterada por interferências ao penetrar na atmosfera. A parcela de luz natural considerada direta é aquela que atinge diretamente a Terra. A luz solar direta é maior que a luz difusa, que apresenta índices variando em torno de 5.000 a 20.000 lux para céu encoberto, enquanto a luz direta pode chegar a 100.000 lux, considerando dias de céu limpo. Logo a radiação solar direta pode por vezes se tornar indesejável devido a componente térmica. Apesar disso, “A luz natural direta introduz menor quantidade de calor por **lúmen** para o interior de um edifício que a maioria das lâmpadas.” (LAMBERTS et al., 2004, p. 76, grifo do autor). O autor ainda sustenta que apenas a metade da energia da radiação eletromagnética potencialmente pode se transformar em calor (LAMBERTS et al., 1998).

Segundo Tavares (2007, p.21) o CIE (Comission Internationale de l’Éclairage) estabeleceu para quantificar a luz que varia ao longo do dia em função dos fatores climáticos três tipos de céu:

- a) céu claro: é caracterizado por não ter mais do que 35% de nuvens cobrindo a abóboda celeste. A radiação direta é preponderante e sua variação é constante ao longo do dia; a radiação difusa é mais intensa ao redor do sol e no horizonte, e a luminância do céu depende da posição solar.
- b) céu parcialmente nublado: tem entre 35% e 75% da abóboda celeste coberto por nuvens, e grande variação de luminâncias, de uma área para outra.
- c) céu nublado: a distribuição de radiação tende a ser uniforme, tem mais de 75% do céu encoberto, e a luminância independe da orientação solar.

3.2.5 Sistemas de Iluminação Natural

Um projeto luminotécnico que aproveita a iluminação natural é considerado bom quando utiliza aberturas nas edificações de forma que a luz natural adentre o local desejado de modo que proporcione uma distribuição de iluminâncias no interior do ambiente satisfatória para o conforto dos usuários (HOPKINSON et al., 1966).

As aberturas nas edificações podem ser laterais ou zenitais. A iluminação natural lateral segundo a NBR 15215-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, p. 3) é a “Porção da luz natural, produzida pela luz que entra lateralmente nos espaços internos.” Já a Iluminação zenital é definida como “Porção de luz natural produzida pela luz que entra através dos fechamentos superiores dos espaços internos.” NBR 15215-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 3).

3.2.5.1 Sistema de aberturas laterais

A incidência de luz natural no interior das edificações, penetrando lateralmente a esta, ocorre principalmente através de janelas, que são os sistemas de iluminação natural mais utilizados. De acordo a NBR 15215-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 3), o sistema de iluminação natural, janela, é definido como sendo a “Abertura num fechamento vertical cujo limite inferior está acima do nível do piso, permitindo a penetração lateral da luz e/ou radiação solar, visão ao exterior e ventilação natural.”

Outra tipologia de sistema de iluminação natural lateral são as prateleiras de luz. Conforme diz Amorim (2002, p.5), em relação ao posicionamento deste componente, as prateleiras podem ser classificadas em internas, externas ou mistas, e ainda retas ou curvas de acordo com a angulação da componente. Segundo o autor as dimensões do sistema dependem dos ângulos solares da região. Este tipo de sistema pode ser utilizado tanto para melhorar a distribuição de luz natural quanto para proteger da radiação direta.

3.2.5.2 Sistema de aberturas zenitais

Segundo Vianna e Gonçalves (2001), sistemas de iluminação natural que se servem de aberturas zenitais dispõem de uma iluminação natural interna mais uniforme se comparado à sistemas que utilizam apenas aberturas laterais, desde que estejam distribuídas uniformemente nas coberturas das edificações. Em geral, também apresentam níveis de iluminância superiores aos fornecidos por aberturas laterais. No entanto, Amorim (2002) destaca que da mesma forma que os níveis de iluminância são maiores a carga térmica que estas aberturas sofrem aumentam na mesma proporção, logo é fundamental a utilização com critérios, uma vez que o conforto térmico é essencial para a satisfação dos usuários.

Conforme a norma NBR 15215-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 3) a definição das principais tipologias de sistemas de iluminação zenital são:

átrio: Espaço luminoso interno envolvido lateralmente pelas paredes da edificação e coberto com materiais transparentes ou translúcidos que admitem luz a ambientes internos da edificação ligados ao átrio por componentes de passagem;

clarabóia: Abertura situada numa cobertura plana ou inclinada que permite a entrada zenital de luz natural e pode permitir também ventilação;

cúpula: Cobertura hemisférica vazada ou construída com materiais translúcidos permitindo iluminação zenital e cobrindo toda ou a maior parte do espaço abaixo;

duto de sol: Espaço luminoso interno não habitável especialmente projetado para conduzir a luz direta do sol para ambientes internos sem acesso direto ao exterior, sendo suas superfícies feitas de materiais com elevada reflexão;

lanternim: Elevação coberta da porção mais elevada da cobertura apresentando aberturas laterais nas faces opostas permitindo iluminação zenital e ventilação;

poço de luz: Espaço luminoso interno que conduz a luz natural para porções internas da edificação.

3.3 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

No que tange à arquitetura das construções a luz natural sempre teve protagonismo como fonte de iluminação. Posteriormente à descoberta da eletricidade, as edificações passaram a fazer uso mais constantemente dos sistemas de iluminação artificial, sobretudo nos casos onde o sistema de iluminação natural não atendia de forma adequada os ambientes internos. Por tanto, a luz de fontes artificiais permitiram que o ser humano pudesse desenvolver suas

atividades nos períodos ou casos em que a iluminação natural era escassa ou inexistente, permitindo assim, o homem experimentar certo conforto e comodidade no decorrer das suas mais variadas atividades (LAMBERTS et al., 2004, p.232).

Para obtermos um sistema de iluminação artificial de qualidade e funcional é fundamental segundo Granja (2012, p. 59), “Ao iniciar um projeto luminotécnico, é necessário analisar e definir que tipo de iluminação artificial é mais adequado para o espaço interior a partir de três princípios básicos: como a luz deverá ser distribuída pelo ambiente; como a luminária irá distribuir a luz; qual é a ambientação que queremos dar, com a luz, ao espaço.”.

Os sistemas de iluminação artificial são compostos por luminárias, lâmpadas e equipamentos complementares como, por exemplo, dispositivos de controle, reatores e transformadores.

3.3.1 Luminárias

Segundo Lamberts et al. (2004, p. 241), “Uma luminária eficiente otimiza o desempenho do sistema de iluminação artificial.”. O autor aponta alguns aspectos importantes que devem ser observados ao avaliar uma luminária, como, por exemplo, eficiência e características de emissão de luz. A eficiência de uma luminária vem da relação luz emitida pela luminária e a luz emitida pela lâmpada, uma vez que, apenas uma parte da luz que uma lâmpada emite é transferida ao espaço a outra parte dessa luz é absorvida pela luminária utilizada. A distribuição das luminárias também é um fator crucial nos sistemas de iluminação artificial, a medida que se deve fazer essa distribuição de forma que complemente a luz natural disponível (LAMBERTS et al., 2004).

3.3.2 Lâmpadas

A determinação da escolha do tipo de lâmpada a ser utilizada está atrelada aos tipos de uso e a alguns parâmetros como: fluxo luminoso, potência, índice de reprodução de cor, custo etc. Segundo a classificação e definição do Manual de Iluminação Natural e Artificial do PROCEL EDIFICA, os principais tipos de lâmpadas são apresentados nos itens a seguir:

3.3.2.1 Lâmpadas incandescentes

“Emite luminosidade através de um processo de passagem da corrente elétrica por um filamento de tungstênio, que ao se aquecer, gera a luz [...]. A eficiência energética é baixa, pois apenas 10% da energia consumida é transformada em luz.” (ALMEIDA et al., 2011, p. 21).

3.3.2.2 Lâmpadas fluorescentes

“As lâmpadas fluorescentes emitem luz pela passagem da corrente elétrica através de um gás [...]. Essas lâmpadas são a clássica forma para uma iluminação econômica. São de alta eficiência e longa durabilidade o que viabilizou aplicação nas mais diversas áreas comerciais e industriais.” (ALMEIDA et al., 2011, p. 22).

3.3.2.3 Lâmpadas de descarga

“A luz de uma lâmpada de descarga não é produzida pelo aquecimento de um filamento, mas pela excitação de um gás (um vapor de metal ou uma mistura de diversos gases e vapores) dentro de um tubo de descarga [...]. Todas as lâmpadas de descarga requerem uma maneira de controle ou estabilização da corrente através de um dispositivo chamado reator.” (ALMEIDA et al., 2011, p. 24-25).

3.3.2.4 Lâmpadas de halogênio

“Seguindo o mesmo princípio de funcionamento das incandescentes comuns [...], em comparação às incandescentes comuns: luz mais brilhante e uniforme ao longo da vida; maior eficiência energética que as incandescentes, ou seja, mais luz com potência menor ou igual [...]” (ALMEIDA et al., 2011, p. 21).

3.3.2.5 Lâmpadas de LED

“[...] tornou-se possível a utilização de LEDs como substitutos das lâmpadas normais, com a vantagem da altíssima vida útil e eficiência energética. Outras vantagens são seu tamanho reduzido, a variedade de cores, a alta resistência a choques e vibrações, a luz dirigida e a pequena dissipação de calor. Sua durabilidade pode atingir até 100.000 horas.” (LAMBERTS et al., 2004, p. 239).

4. PROJETO LUMINOTÉCNICO

O principal condicionante no desenvolvimento de projetos luminotécnicos para edificações é o conforto visual. Um bom sistema de iluminação é aquele que possui direcionamento e intensidade adequados sobre os ambientes, de modo a proporcionar além de uma boa definição de cores a ausência de ofuscamento, evitando assim prejuízo visual aos usuários. Conforto visual pode ser definido como um conjunto de condições, sob as quais um ambiente está submetido, de forma que o ser humano possa desenvolver suas atividades visuais com a máxima precisão visual, menor esforço e com o menor risco de prejuízos a saúde visual, além de riscos reduzidos de acidentes (LAMBERTS et al., 2004).

Um projeto luminotécnico pode ser, sempre que possível, visando o conforto visual, desenvolvido objetivando a união dos sistemas de luz natural e artificial. Segundo Souza (2003, p. 13-14), “A utilização eficiente qualitativa e quantitativamente de sistemas integrados de iluminação artificial e natural proporciona ao usuário ambientes agradáveis e prazerosos, evitando desperdício de energia elétrica e proporcionando o retorno em curto prazo do investimento inicial em sistemas tecnologicamente eficientes.”.

A viabilidade econômica dos projetos luminotécnicos desenvolvidos para sistemas de iluminação de edificações está, assim como, a sustentabilidade de edificações, diretamente atrelada à eficiência energética alcançada por estes sistemas.

De acordo com Toledo (2008, p. 8):

O projeto luminotécnico tem ação direta sobre o impacto do uso da energia elétrica nas edificações em diversos pontos: uso apropriado da luz natural visando à redução da necessidade de iluminação artificial; a especificação do sistema de iluminação natural; a especificação de um sistema de iluminação artificial que garanta máxima eficiência energética dentro dos objetivos de projeto; e a especificação de sistemas de controle e acionamento da iluminação artificial que façam a conexão da operação desses sistemas com a luz natural disponível.

4.1 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO E SOFTWARE DIALUX EVO

Para dimensionar sistemas de iluminação artificial existem alguns métodos de cálculo de iluminância, dentre estes, o Método de Lúmens e o Método Ponto a Ponto são os mais comuns e utilizados. Alguns *softwares* são utilizados para facilitar a elaboração dos projetos luminotécnicos, uma vez que são capazes de simular as condições de iluminação natural e artificial de diferentes ambientes dentro de um projeto. Um exemplo deste tipo de programa computacional é o DIALux Evo, *software* específico para projetos lumínicos. Há ainda, *softwares* semelhantes como Relux e Velux. Além disso, o *software* Revit amplamente utilizado em projetos de arquitetura e engenharia apresenta ferramentas que possibilitam estudos luminotécnicos do mesmo tipo. Neste trabalho adotou-se como *software* de uso, o DIALux Evo, por se tratar de uma ferramenta específica para este tipo de estudo luminotécnico, além de apresentar bons recursos de modelagem e simulação computacional.

Segundo Lamberts et al. (2004, p. 167):

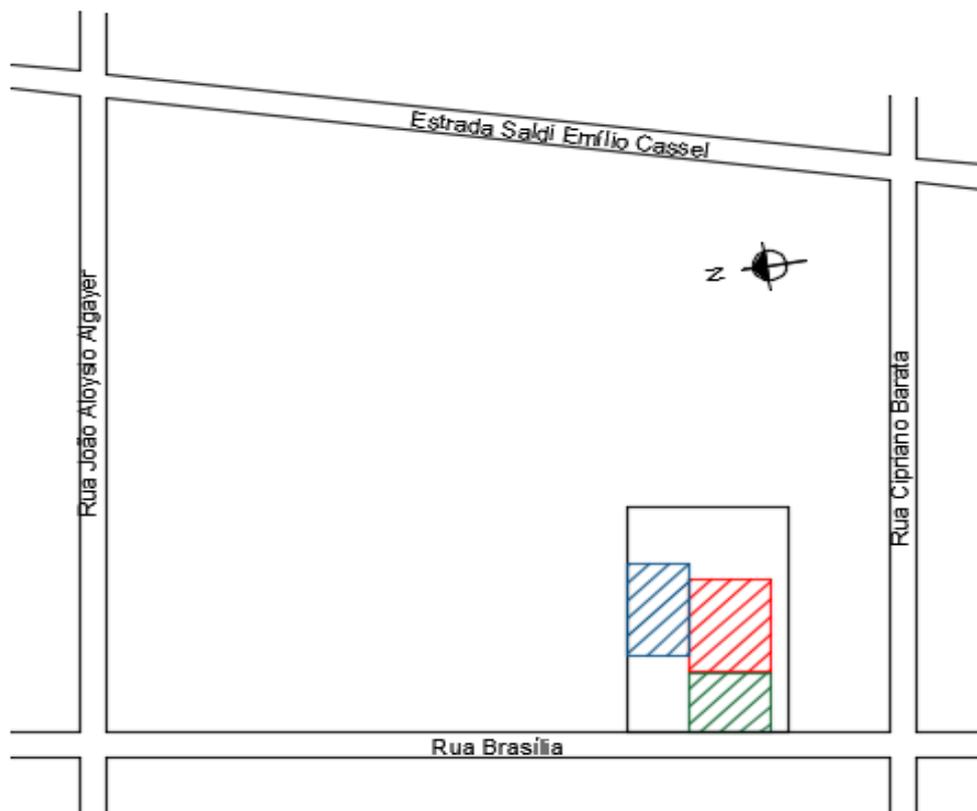
O DIALux pode modelar o ambiente luminoso a ser analisado ou importar importar e exportar arquivos em qualquer programa CAD em formatos como DWG e DXF, além de oferecer visualização fotorrealística das simulações. O programa é disponível em 25 línguas e pode calcular iluminação interior e exterior, tanto artificial quanto natural, incluindo cálculo de iluminação pública e de emergência. Inclui a possibilidade de criar animações, é considerado bastante fácil para aprender, oferecendo tutoriais que perguntam por parâmetros necessários e guiam o usuário pelo processo de projeto luminotécnico.

Neste trabalho, tanto o dimensionamento do sistema de iluminação artificial quanto o natural serão realizados através do *software* DIALux Evo.

5. CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

A edificação estudada corresponde a um pavilhão industrial situado no bairro Lomba Grande no município de Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, e abriga uma empresa do ramo termoplástico que tem foco na produção de artigos para ferramentaria em geral. Atualmente, a empresa que conta com 15 colaboradores, está em processo de modificação em sua planta fabril. O terreno onde está localizada a edificação possui ainda outras duas edificações, uma na parte frontal do lote com acesso para a via urbana e a outra posicionada ao lado norte do prédio, onde atualmente funcionam os processos de produção da indústria. A distribuição das construções no terreno pode ser observada na figura 5.

Figura 5 – Planta de situação



(fonte: elaborada pelo autor)

A edificação destacada na figura 5 em vermelho está em processo de reforma e será a nova planta da fábrica da empresa, já a destacada em azul, atual planta fabril, será demolida. O prédio na área frontal do terreno destacado na cor verde será destinado à locação imobiliária não fazendo parte da análise deste trabalho. A caracterização da edificação desenvolvida neste capítulo será realizada sobre o projeto final de reforma da edificação que abrigará a produção da fábrica. Logo, todas as análises realizadas, bem como as propostas intervenções com o objetivo de tornar a edificação mais sustentável e eficiente energeticamente basear-se-ão no projeto final de reforma e não no estado atual da edificação.

5.1 ASPECTOS GEOGRÁFICOS

A edificação se localiza em uma área residencial do bairro Lomba Grande no município de Novo Hamburgo, região do Vale do Sinos. Com uma população de cerca de 10 mil habitantes o bairro compreende a zona rural do município situando-se a 15 km do centro da cidade e em torno de 47 km da capital do estado, Porto Alegre.

O terreno na qual a edificação está inserida tem seu acesso através da rua Brasília, com cerca de 36 metros de largura e 57 metros de comprimento o terreno possui uma área de aproximadamente de 2.050 m² localizada a uma latitude de 29°45'50"S e longitude de 51°02'23"O. A edificação retangular com 18 metros de largura por 23 metros de comprimento apresenta uma área útil de 402 m² e ocupa cerca de 20% da área total do terreno. O pavilhão está distribuído no sentido longitudinal do terreno e possui o alinhamento da fachada principal voltada para o interior do lote com uma orientação de 8° com o norte (azimute).

5.2 DESCRIÇÃO DO PROJETO DE REFORMA DA EDIFICAÇÃO

O pavilhão destinado ao estudo possui um projeto de reforma que visa reestabelecer as condições de uso da edificação sem necessariamente dispor de melhorias nos sistemas de iluminação natural e artificial, de modo a prover melhores condições de eficiência e sustentabilidade energética.

5.2.1 Materiais e Técnicas Empregadas – Projeto Atual

O projeto de reforma prevê para o sistema de paredes de vedação o fechamento do perímetro da edificação em alvenaria, a elevação das paredes será efetuada até o encontro com a estrutura metálica de sustentação (tesoura) do telhamento, mantendo-se os pilares treliçados metálicos. Serão utilizados para a vedação blocos cerâmicos de seis furos, com revestimento em reboco nas faces internas e externas, seguido de pintura com tinta látex na cor amarelo claro, nas faces externas, e na cor branca nas faces internas. Excetua-se a esta especificação a fachada principal e parte da fachada sul do prédio que manterão seu fechamento através de telhas metálicas galvanizadas, logo sem alteração da configuração atual que se encontram. As paredes internas existentes serão demolidas, desta forma o prédio apresentará a área interna ampla e sem divisões.

A edificação tem como solução para o sistema de pisos a utilização de concreto polido, apresentando a coloração cinza claro, próximo ao tom de cor característico do cimento, sem a utilização de outros acabamentos. A cobertura que conta com telhas metálicas galvanizadas apresenta duas águas com inclinações distintas, sendo a água do telhado norte da edificação a 7° e a água correspondente ao telhado sul da edificação apresentando uma inclinação de 6°. Por não possuir sistema de forros o pavilhão apresenta uma altura máxima igual a 5,40 metros, localizado no encontro das duas águas, que geram uma assimetria longitudinal na edificação.

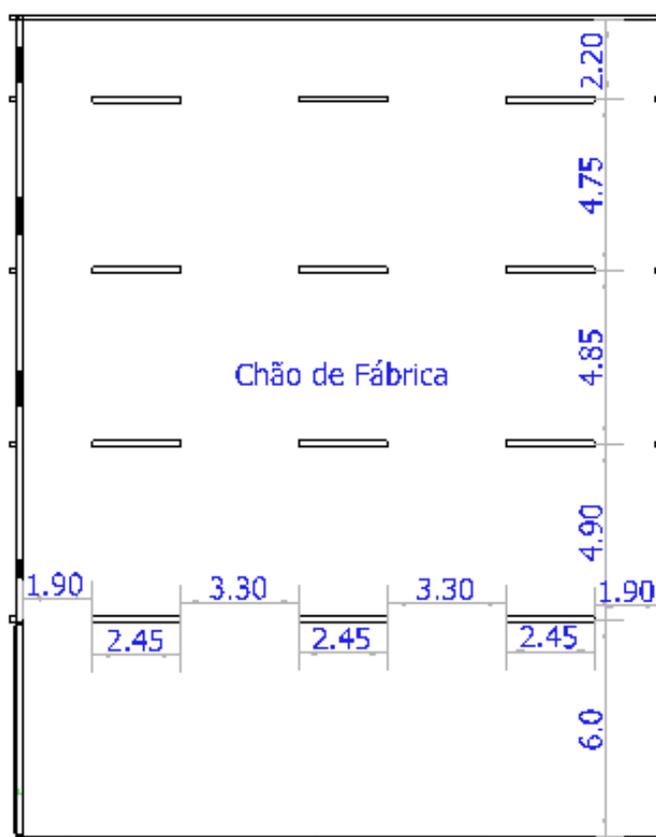
As plantas, cortes e outros detalhes arquitetônicos do projeto final de reforma são apresentados no Apêndice A.

5.2.2 Sistema de Iluminação Artificial – Projeto Atual

O projeto prevê para o sistema de iluminação artificial a reutilização das luminárias existentes na edificação que atualmente compreende a fábrica da empresa. O sistema atual é composto por 12 luminárias do tipo simples, cada uma com duas lâmpadas, totalizando 24 lâmpadas tubulares do tipo T12 de 110 watts, da marca Osram, com fluxo luminoso igual a 8300 lumens.

As luminárias serão fixadas na estrutura metálica do telhado, localizadas a 4,20 metros do piso. Não há previsão de um sistema independente de acionamento para as luminárias, que devem seguir o padrão de funcionamento atual da fábrica. Logo devem se manter acionadas durante todo o período de funcionamento da empresa, que atualmente desenvolve uma jornada diária de trabalho das 8h00min às 18h00min. A figura 6 apresenta a distribuição atual de projeto das luminárias.

Figura 6 – Distribuição de luminárias



(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.3 Sistema de Iluminação Natural – Projeto Atual

O projeto prevê para o sistema de iluminação natural apenas aberturas laterais no corpo da edificação. São, ao todo 7 janelas com esquadrias metálicas, 4 destas localizadas na fachada norte do pavilhão e 3 janelas na fachada sul da edificação, que ainda conta com uma abertura

circular correspondente a exaustão de ar, que será mantida afim de evitar maiores intervenções na parede de vedação. A distribuição das janelas manterá a atual disposição, conforme pode ser observado na planta arquitetônica, Apêndice A. As janelas apresentam área de 1,2 m² de abertura, com 1 metro de largura e 1,20 metros de altura e têm seu peitoril fixado a 80 centímetros do piso acabado.

O pavilhão possui atualmente duas portas, uma na fachada principal e outra na fachada norte da edificação, o que será mantido após o término das intervenções. O plano de utilização da empresa, relativo ao uso destas portas, é de que a porta lateral da fachada norte se mantenha aberta durante todo o período de funcionamento da edificação, para que os funcionários tenham livre acesso as áreas internas e externas à fábrica, sem que haja problemas no fluxo de pessoas. Esta porta de 2,5 metros de largura e 3,5 metros de altura acrescenta cerca de 8,75 m² à área de abertura lateral da edificação, o que deve propiciar um aumento considerável de iluminação na região mais próxima a esta. A porta localizada na fachada principal do pavilhão tem previsão de funcionamento na posição fechada, ocorrendo sua abertura apenas em situações de carregamento e descarregamento de materiais e produtos.

O projeto de reforma não prevê outras aberturas na edificação como, por exemplo, aberturas zenitais. Outros detalhes complementares referentes às aberturas constam no Apêndice A.

6. SIMULAÇÕES LUMÍNICAS

Neste capítulo será apresentada a modelagem do pavilhão industrial estudado, descrevendo os principais parâmetros utilizados ao longo do desenvolvimento do processo de criação do modelo virtual da edificação. Esta modelagem foi embasada nas propostas de modificações, que a empresa tem em seu plano de reforma para futura utilização da edificação. Logo é baseada no projeto final de reforma e não no estado atual em que se encontra o pavilhão.

Utilizou-se como ferramenta computacional neste trabalho o *software* DIALux Evo, versão 8.1 devido aos inúmeros recursos disponíveis em uma interface amigável e a compatibilidade com programas da plataforma CAD, que, em geral, é utilizada nos projetos de arquitetura e engenharia. O software, desenvolvido pela empresa alemã DIAL, possibilita realizar simulações de diferentes cenários de iluminação, permitindo a mescla de iluminação artificial e natural, ou ainda, a análise de forma isolada para cada tipo de sistema. A ferramenta opera a partir de parâmetros de entrada, tais como, índices físicos das superfícies (piso, teto, paredes) e altura de plano de trabalho. Além disso, considera características construtivas dimensionais, como pé-direito, dimensões dos ambientes e distribuição e tipo de aberturas. O software, para a análise de iluminação artificial, executa as simulações a partir de curvas fotométricas digitais (curvas IES) de lâmpadas e luminárias, cadastradas por *plug-ins* de diferentes marcas globais do seguimento. Já, para um estudo relativo às condições de utilização da luz natural, o programa opera suas simulações utilizando parâmetros como: coordenadas geográficas e azimute das edificações, época do ano e condições de céu.

Através das simulações é possível quantificar os níveis e a distribuição da luz nos diferentes ambientes estudados, sendo estes internos ou externos às construções. Todo o acervo de informação extraído do programa possibilita aos usuários uma melhor tomada de decisão quando do desenvolvimento de projetos luminotécnicos, contribuindo assim para que aspectos, como redução do consumo de energia, e melhor uso da luz natural em ambientes internos sejam otimizados, ainda em fase de projeto.

6.1 MODELAGEM DA EDIFICAÇÃO

Previamente à modelagem, foi elaborada em plataforma CAD, através do *software* AutoCAD 2016, a planta arquitetônica e os cortes da edificação analisada, já considerando as intervenções que compõe o plano de reforma da empresa. Pôde-se, desta forma, exportar o arquivos criado para o *software* DIALux Evo, onde, através das ferramentas de desenho disponíveis, realizou-se a criação do modelo virtual 3D da edificação. As figuras 7, 8, 9 e 10 apresentam vista geral, fachada leste, fachada sul e fachada norte da edificação, respectivamente. As fotografias obtidas *in loco*, para as mesmas vistas virtuais apresentadas na sequência, estão no Apêndice B.

Figura 7 – Vista geral da edificação



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 8 – Vista da fachada leste



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 9 – Vista da fachada sul



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 10 – Vista da fachada norte



(fonte: elaborada pelo autor)

O software possui uma biblioteca de materiais, classificados quanto ao tipo de utilização, materiais para pisos, paredes e forros, ou, ainda, materiais para uso interno e externo. Para cada tipo de material, esse banco de dados atribui diferentes índices físicos, como grau de reflexão, índice de refração, grau de transmissão, entre outros. Para o parâmetro, grau de reflexão, comparou-se os valores apresentados pelo DIALux Evo, para os diferentes tipos de superfícies empregadas na edificação, com os valores do mesmo índice físico determinado pelo Manual de Iluminação do PROCEL, publicado em agosto de 2011, conforme figura 11.

Figura 11 – Índices de reflexão

Material ou cor	Valor	Material ou cor	Valor
Azul claro	30 - 55	Madeira clara	30 - 50
Azul escuro	Oct-25	Madeira escura	Oct-25
Azulejo branco	60 - 75	Mármore claro	60 - 70
Amarelo	65 - 75	Marrom	Oct-25
Branco	70 -85	Ocre	30 - 50
Cimento claro	35 - 50	Preto	5
Concreto claro	30 - 40	Rocha	60
Concreto escuro	15 - 25	Rosa	45 - 60
Cinza claro	45 - 65	Tijolo claro	20 - 30
Cinza escuro	Oct-20	Tijolo escuro	Oct-15
Cinza médio	25 - 40	Verde claro	30 - 55
Esmalte branco	65 - 75	Verde escuro	Oct-25
Gesso	70 - 80	Vermelho claro	25 - 35
Granito	15 - 25	Vermelho escuro	Oct-20
Laranja	25 - 35	Vidro transparente	5-Oct

(fonte: Manual de Iluminação PROCEL, 2011, p.33)

Observou-se coerência entre os valores apresentados na tabela acima e os valores atribuídos pelo software no momento da modelagem. Sendo assim, para a superfície do piso interno da edificação foi adotado um índice de reflexão igual a 35%, referente ao concreto polido na cor cinza claro. Para as paredes internas, com acabamento em reboco, com pintura na cor branca, foi atribuída uma refletância de 75%, maior que o índice de 50%, fixado para as paredes externas revestidas em reboco, com pintura na cor amarelo claro. Para as telhas metálicas presentes na cobertura, porta da fachada leste e parte da parede sul do pavilhão foi utilizado um índice de reflexão igual a 60%. A porta metálica, em azul escuro, presente na fachada norte, apresenta índice de 5% de reflexão e os elementos metálicos da estrutura do telhado, em cinza escuro, tiveram suas refletâncias fixadas em 10%.

Um parâmetro de grande importância para o desenvolvimento da modelagem e consequente verificação dos resultados é a altura de trabalho considerada. Neste caso, a altura de trabalho está relacionada às dimensões do maquinário da fábrica. Com base em medições *in loco* da altura dos postos de trabalho, observou-se, como altura média do plano de trabalho, a medida de 1 metro em relação ao nível do piso.

Outros parâmetros também são especificados no decorrer da modelagem como o grau de transmissão das janelas, parâmetro que representa as condições de sujidade do vidro das aberturas, que, para este caso, foi utilizado o valor de 0,9 (90%). O fator de manutenção foi fixado em 0,8.

A modelagem deste trabalho desconsidera, devido a grande complexidade, alguns elementos no entorno da edificação, como, por exemplo, vegetação e outras edificações existentes.

6.2 CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO REQUERIDAS

Na elaboração de trabalhos luminotécnicos, uma das principais etapas, ainda na fase inicial de projeto, é a verificação dos índices de iluminância requeridos pela norma vigente. Atualmente, no Brasil, a norma que baliza esse tipo de parâmetro é a norma NBR ISO 8995. De acordo com esta, a iluminância mínima requerida para o tipo de ambiente estudado, considerando as atividades de trabalho, é de 300 lux, para áreas de tarefa, e 200 lux, para áreas de entorno imediato. Entende-se que este nível de iluminância sobre o plano de trabalho proporciona ao trabalhador a acuidade e conforto visual necessários para a realização de suas tarefas diárias. A figura 12 apresenta, conforme a norma, alguns valores de iluminância mínima para os diferentes tipos de casos. Pode-se observar, também, a indicação do índice limite de ofuscamento unificado (UGRL) e do índice de reprodução de cor mínimo (Ra), 25 e 80, respectivamente. O caso analisado neste trabalho corresponde a uma indústria de artigos plásticos, com instalações de processamento com trabalho manual constante. Ainda, conforme a NBR ISO 8995, o fator de uniformidade mínimo requerido é de 0,7 para a área de realização de tarefa e de 0,5 para a área de entorno imediato. Para a realização das simulações, de iluminação artificial e iluminação natural, neste trabalho, estabeleceu-se, como área de entorno imediato, todo perímetro interno da edificação, considerando uma faixa de 1 metro de largura, em direção ao centro do prédio. Sendo assim, considera-se toda a região central do pavilhão, fora desta área marginal, como área de tarefa.

Figura 12 – Parâmetros de projeto

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	\bar{E}_m lux	UGR _L	R _a	Observações
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	
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	

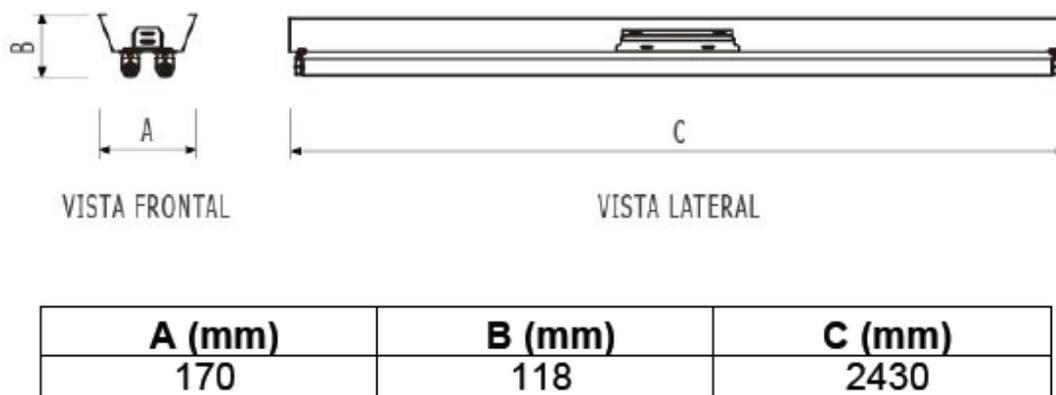
(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 14)

6.3 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

O modelo computacional 3D, desenvolvido de acordo com as especificações do projeto final de reforma do pavilhão, permite verificar as condições de uso e eficiência do sistema de iluminação artificial e confrontar estes resultados com os parâmetros requeridos pela norma.

O sistema de iluminação previsto foi incorporado à modelagem da edificação. Conforme descrito no item 5.2.2, este sistema conta com 12 luminárias do tipo simples, fixadas a 4,20 metros do nível do piso, e contendo, cada uma, duas lâmpadas, totalizando 24 lâmpadas tubulares HO, do tipo T12, de 110 watts, da marca Osram, com fluxo luminoso igual a 8300 lumens. O conjunto de luminárias foi modelado junto à edificação, de acordo com layout apresentado anteriormente, na figura 6. Como não foi possível utilizar na simulação a curva fotométrica da luminária especificada em projeto, buscou-se utilizar a luminária mais semelhante. Desta forma, a simulação do sistema de iluminação artificial foi realizada a partir da luminária de modelo CCN14-S2110, da linha industrial da fabricante Lumicenter Lighting. A luminária de sobrepor, com corpo em chapa de aço, pintada na cor branca microtexturizada, e possuindo um refletor, facetado em chapa de aço fosfatizada, apresenta as características e dimensões, conforme figura 13.

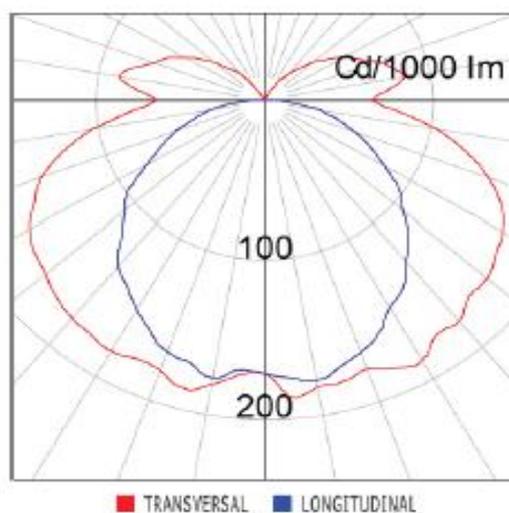
Figura 13 – Características da luminária utilizada



(fonte: adaptado de CATÁLOGO LUMICENTER, 2019)

A distribuição luminosa da luminária utilizada pode ser verificada através de sua curva fotométrica, figura 14.

Figura 14 – Curva fotométrica da luminária utilizada



(fonte: CATÁLOGO LUMICENTER, 2019)

Ao realizar a simulação do sistema de luz artificial, foi considerado, como cenário de iluminação, o modelo de céu sem luz do dia, ou seja, considerando o período noturno. O cálculo luminotécnico, decorrente da simulação realizada pelo software DIALux Evo indica,

conforme apresentado no Apêndice C, uma iluminância média de 314 lux para o ambiente analisado. Logo, em média o sistema está atendendo ao mínimo requerido pela norma, que é de 300 lux. No entanto, a variação de iluminância dentro da área é grande, chegando aos valores de 445 e 86,6 lux, valor máximo e mínimo, respectivamente. Desta forma, a área de maneira geral, apresenta um fator de uniformidade igual a 0,28, logo não atende a NBR ISO 8995 que estipula o valor de 0,7, como mínimo. Os valores máximos, conforme esperado, localizam-se nas regiões mais próximas às luminárias. Pode-se observar, ainda, que a área mais ao fundo da edificação apresenta, se comparado com a área mais próxima à fachada leste, maiores índices de iluminância, o que provavelmente se deve ao fato de as luminárias estarem mais distribuídas ao fundo do pavilhão. O sistema, ao todo, apresenta um consumo de energia de cerca de 2,88 kWh, considerando o consumo das lâmpadas e dos reatores utilizados pelas luminárias. Os resultados da simulação encontram-se no Apêndice C e são válidos para o plano de trabalho de 1 metro.

6.4 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NATURAL

A partir do modelo virtual, criado de acordo com as especificações do plano final de reforma do pavilhão, é possível, bem como para o sistema de iluminação artificial, verificar as condições de uso e características do sistema de iluminação natural. Para esta verificação foi considerado, apenas os elementos construtivos, que permitem contribuição da luz natural à iluminação do interior da edificação. Logo, não foi considerado o sistema de iluminação artificial, composto pelo conjunto de luminárias. Desta forma, foram considerados os elementos já descritos no item 5.2.3. Ou seja, quatro janelas localizadas na fachada norte do pavilhão e três janelas na fachada sul da edificação, que ainda conta com uma abertura circular. Há, ainda, uma porta localizada na fachada norte, de 2,5 metros de largura e 3,5 metros de altura, que acrescenta cerca de 8,75 m² à área de abertura lateral da edificação. Conforme previsto pela empresa, a porta deverá operar na posição aberta, durante todo o período de funcionamento da fábrica.

Na simulação do sistema de luz natural, foi considerado, como cenário, o modelo de céu parcialmente encoberto. Uma vez que o modelo céu claro corresponde a situação mais favorável e o modelo céu encoberto corresponde a situação mais desfavorável, do ponto de

vista da contribuição natural de luz, o tipo de céu adotado corresponde a um caso intermediário de condição de iluminamento.

Como há uma distribuição não uniforme da radiação solar sobre a edificação ao longo do ano, devido à geometria solar, foram realizadas sucessivas simulações, de forma a contemplar os diferentes períodos do ano. Adotou-se, como referência, quatro datas para as realizações das simulações, os dias 21 de dezembro e 21 de junho, respectivamente, solstício de verão e inverno. E, também, os dias 21 de março e 21 de setembro, que correspondem, respectivamente, aos equinócios de outono e primavera. Consideraram-se os seguintes horários para a realização das simulações: às 09:00, às 12:00, às 15:00, e às 18:00, desta forma obtendo-se uma distribuição que contemplasse os diferentes períodos ao longo do dia. Como o solstício de inverno não apresentou valores de iluminância significativos, para a faixa horária das 18h00, considerou-se, neste caso, uma faixa horária imediatamente anterior, sendo esta às 17h00. Todos os resultados da simulação encontram-se no Apêndice D e são válidos para o plano de trabalho de 1 metro.

Ao analisar o Apêndice D, pode-se observar que, para o caso estudado, em nenhuma das situações simuladas, a iluminância média em lux apresenta valores adequados aos determinados por norma. Verifica-se ainda, em todos os casos, baixos valores de uniformidade de iluminamento, devido, principalmente, ao fato da existência de assimetria na distribuição das aberturas da edificação. Observar-se, também, altos valores de iluminância, principalmente próximo às janelas e porta localizadas na fachada norte, e baixos valores em lux, na faixa central da fábrica. Outro ponto importante, que pode ser verificado através das simulações, é a evidente falta de proteções efetivas para as aberturas laterais da fachada norte, e, desta forma, haver incidência direta da luz solar no interior da edificação, o que decorre em possíveis focos de ofuscamento e, conseqüentemente, desconforto aos usuários.

7. SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PROPOSTOS

Neste capítulo serão apresentadas duas propostas de sistemas de iluminação natural e artificial, que de forma conjunta, objetivam melhorar o desempenho lumínico e diminuir o consumo energético da edificação estudada. O sistema de iluminação artificial proposto utiliza de lâmpadas LED em substituição às lâmpadas fluorescentes tubulares previstas no plano de reforma da edificação. Já o sistema de iluminação natural apresenta como alternativa a utilização de aberturas zenitais para o melhor aproveitamento da luz natural.

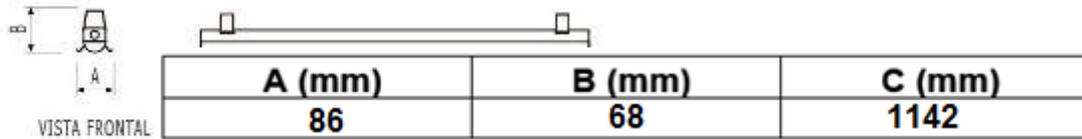
7.1 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL PROPOSTO

A proposta de substituição do sistema de iluminação artificial atualmente previsto pelo plano de reforma do pavilhão industrial, que faz uso de 12 luminárias, cada uma com duas lâmpadas, fluorescente tubular de 110 Watts, prevê a utilização de lâmpadas do tipo LED em detrimento às lâmpadas anteriormente propostas. Desta forma, projeta-se reduzir o consumo de energia elétrica através da redução da potência total consumida pelo conjunto de luminárias, uma vez que luminárias que utilizam lâmpadas do tipo LED apresentam um desempenho mais eficiente, resultando em um menor consumo energético para um mesmo desempenho lumínico.

A determinação deste novo sistema, ocorre a partir da escolha da luminária utilizada. Buscou-se utilizar uma luminária do tipo LED que apresentasse uma boa eficiência luminosa, ocasionando um menor consumo energético, e que não tivesse um preço de compra elevado. Após uma análise de mercado selecionou-se alguns modelos de diferentes fabricantes, e por fim optou-se pela utilização de uma luminária da marca Abalux, modelo LEDC85 – 5K. A luminária tem um consumo total de 56 W, e um fluxo luminoso igual a 6585 lm, apresentando uma eficiência de cerca de 116 lm/W. Com uma temperatura de cor igual a 5000K e IRC acima de 80, a luminária possui uma vida útil de 30.000 horas. O corpo em chapa de aço pintada com refletor também em chapa de aço e difusor de policarbonato pode ser instalado de forma suspensa ou sobreposta. Destaca-se na escolha da luminária, o fato de haver arquivo do tipo IES correspondente, de forma a propiciar a realização de simulações deste sistema de

forma mais completa e adequada. A figura 15 apresenta as características e dimensões da luminária adotada.

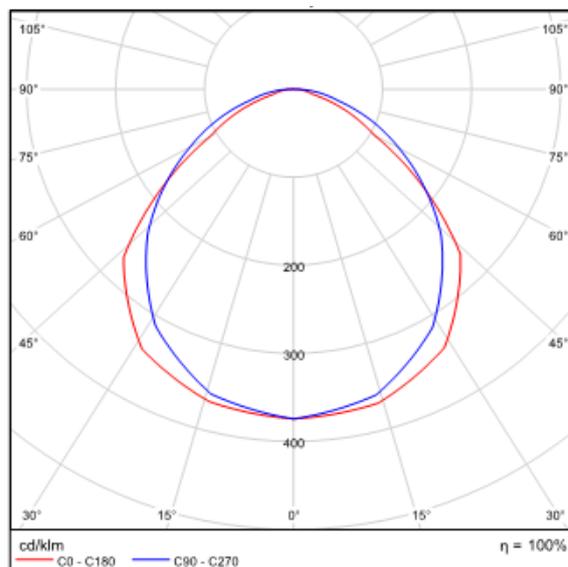
Figura 15 – Características da luminária utilizada



(fonte: adaptado de CATÁLOGO ABALUX, 2019)

A distribuição luminosa da luminária utilizada pode ser verificada através de sua curva fotométrica, figura 16.

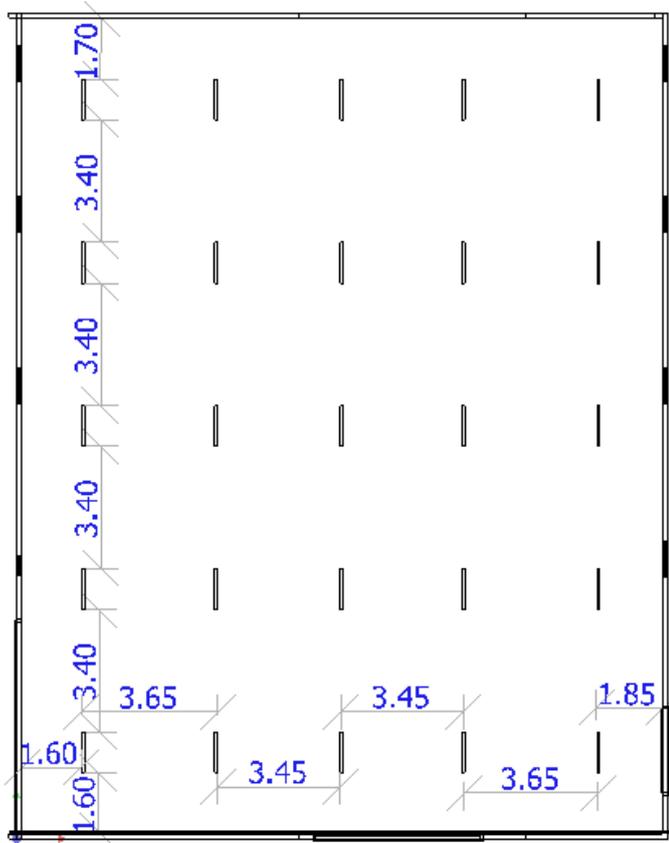
Figura 16 – Curva fotométrica da luminária utilizada



(fonte: CATÁLOGO ABALUX, 2019)

O sistema de iluminação projetado foi incorporado à modelagem da edificação. Este novo sistema conta com 25 luminárias, fixadas a 4,00 metros do nível do piso, distribuídas conforme apresenta a figura 17.

Figura 17 – Distribuição de luminárias



(fonte: elaborada pelo autor)

Para a realização da simulação, estabeleceu-se como área de entorno imediato todo perímetro interno da edificação considerando uma faixa de 1 metro de largura em direção ao centro do prédio, sendo assim, considera-se toda a região central do pavilhão como área de tarefa. Ao realizar a simulação do sistema de luz artificial foi considerado como cenário de iluminação o modelo de céu sem luz do dia, ou seja, considerando o período noturno. O cálculo luminotécnico decorrente da simulação realizada pelo software DIALux Evo indica, conforme apresentado no Apêndice E, uma iluminância média de 350 lux para o ambiente analisado. Logo, o sistema atende ao requerido pela norma que é de 300 lux para a área de tarefa e atende também aos 200 lux sugeridos para área de entorno imediato. Cabe salientar, que esse é um valor médio, logo é aceitável, alguns pontos com valores inferiores, uma vez que a média seja mantida, igual ou superior, ao requerido. Há uma boa uniformidade nos valores iluminância na área de tarefa, apresentando 407 e 269 lux, como valor máximo e mínimo, respectivamente. Desta forma, o coeficiente de uniformidade calculado é de 0,77 atendendo as recomendações da norma. Os valores máximos, conforme esperado, localizam-se nas regiões

mais próximas às luminárias. Pode-se, diferentemente do caso anterior, observar uma distribuição mais uniforme de iluminação em toda a área interna da edificação. O sistema ao todo apresenta um consumo de energético total de cerca de 1,4 kWh. Os resultados da simulação encontram-se no Apêndice E, e são válidos para o plano de trabalho de 1 metro.

7.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NATURAL PROPOSTO

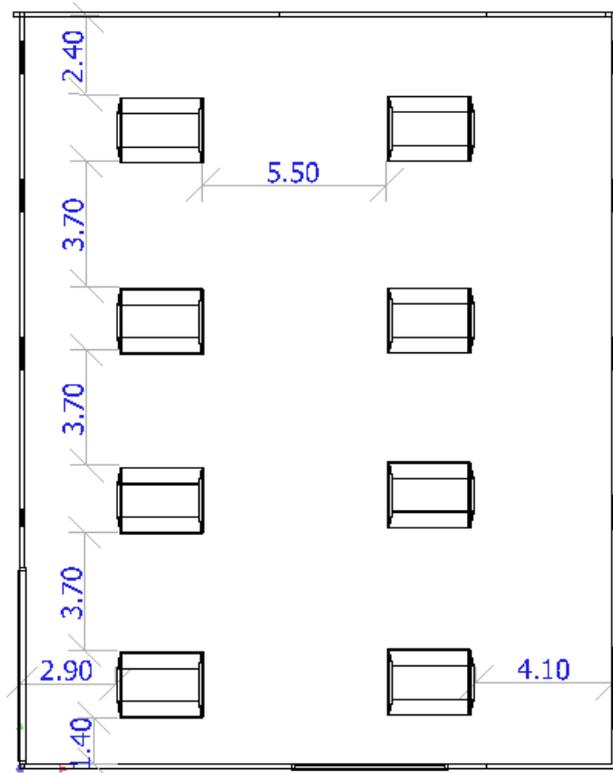
A partir da análise dos resultados presentes no Apêndice D, obtidos por meio de simulações do sistema de iluminação natural atual, buscou-se propor uma nova tipologia para o sistema lumínico natural, de modo, que fosse priorizado, além do aumento de incidência de luz natural ao interior do ambiente, a uniformidade da distribuição de iluminâncias. Sobretudo, na área considerada como área de tarefa, ou seja, a área que efetivamente haverá trabalhadores na maior parte do tempo. Assim, requer-se do sistema de iluminação uma uniformidade adequada, reduzindo-se a existência de possíveis focos de ofuscamento, o que é primordial para as boas condições de realização das atividades do trabalho.

Para a proposta de um novo sistema de iluminação natural, foi utilizado, para permitir uma maior contribuição de luz natural à edificação, dispositivos do tipo claraboia, que promovem o ganho de iluminância, a partir de aberturas zenitais em coberturas de edificações. Neste contexto, observa-se, que o sistema de iluminação zenital apresenta aspectos favoráveis e desfavoráveis em sua aplicação. Segundo Lamberts et al. (2004), a iluminação zenital apresenta vantagens em relação à iluminação lateral, como permitir uma iluminação com uma uniformidade muito maior que a obtida com janelas e, durante o período diurno, receber mais luz natural. Como desvantagem principal, apresenta dificuldade em proteger as aberturas da radiação solar indesejada. A recomendação é que aberturas zenitais não ultrapassem 10% da área do piso, para evitar possíveis problemas de desempenho térmico.

Por não haver disponibilidade de componentes nacionais para a modelagem através do *software* utilizado, utilizou-se para compor este novo sistema, o dispositivo tipo claraboia, da fabricante Lamilux, empresa alemã do setor de sistemas de controle de iluminação natural. O modelo utilizado neste estudo foi o LBB PC10, da linha CI System Continuous Rooflight B, que apresenta, segundo a empresa, ótimo isolamento térmico, com coeficientes baixos de transmissão térmica e conta com aprovação europeia. O elemento possui 2 metros de largura,

por 2,5 metros de comprimento, totalizando uma cerca de 5 m² de abertura zenital, que apresenta um coeficiente de transmitância luminosa igual a 70%. Optou-se, pela distribuição das claraboias em duas fileiras, uma em cada água do telhado, conforme está apresentado na figura 18, de modo que, não supera a taxa de 10% de aberturas zenitais, em relação à área do piso, conforme sugerido em estudos.

Figura 18 - Distribuição das claraboias



(fonte: elaborada pelo autor)

Para a realização simulações, estabeleceu-se, como área de entorno imediato, todo perímetro interno da edificação, considerando uma faixa de 1,0 metros de largura em direção ao centro do prédio. Sendo assim, considera-se toda a região central do pavilhão como área de tarefa, e toda a área marginal a esta, como área de entorno imediato. Desta forma, evita-se a região mais próxima às aberturas laterais, onde, por não haver elementos de proteção solar, apresenta altos valores de iluminância. Além disso, a área de entorno deverá ocorrer, segundo apurado com a empresa, e que é prática comum à fabricas deste tipo, a utilização dos espaços laterais para alocar insumos e ferramentas que sejam diretamente utilizados no processo de produção.

Seguindo o padrão do utilizado para o sistema atual de iluminação, foi considerado, como cenário de iluminação, o modelo de céu médio; assim, considerando um céu em condições intermediárias de iluminamento. Foram mantidos os parâmetros aplicados nas simulações anteriores de iluminação natural, ou seja, uma vez que não há uma distribuição uniforme da radiação solar sobre a edificação ao longo do ano, devido à geometria solar, foram realizadas sucessivas simulações, de forma a contemplar os diferentes períodos do ano. Como referência, adotou-se as mesmas datas para as realizações das simulações, os dias 21 de dezembro e 21 de junho, respectivamente solstício de verão e de inverno. Assim, também, os dias 21 de março e 21 de setembro, que correspondem, respectivamente, aos equinócios de outono e primavera. Consideraram-se os seguintes horários para a realização das simulações: às 09:00, às 12:00, às 15:00, e às 18:00, desta forma obtendo-se uma distribuição que contemplasse os diferentes períodos ao longo do dia. Como o solstício de inverno não apresentou valores de iluminância significativos, para a faixa horária das 18h00, considerou-se, neste caso, uma faixa horária imediatamente anterior, sendo esta às 17h00. Todos os resultados da simulação encontram-se no Apêndice F e são válidos para o plano de trabalho de 1 metro do piso.

O apêndice F, apresenta os dados dos cálculos luminotécnicos, decorrentes das simulações, considerando o sistema de iluminação natural proposto. Verifica-se, a partir dos resultados, que, na maior parte dos cenários simulados, a iluminância média no interior da edificação apresenta-se superior ao valor mínimo normatizado. Os casos nos quais não é atingido o valor requerido, de 300 lux, correspondem ao solstício de inverno, nos horários das 9h00 e das 17h00, e aos equinócios de outono e primavera, no horário das 18h00. No caso considerado para o solstício de verão, os valores de iluminância, ao longo do dia, mostram-se satisfatórios, nunca abaixo de 300 lux, em média. Observa-se, que os valores mais altos de iluminância, ainda são verificados, na região próxima à porta, localizada na fachada norte. Reforça-se, a necessidade de proteções solares mais efetivas nessa região da edificação.

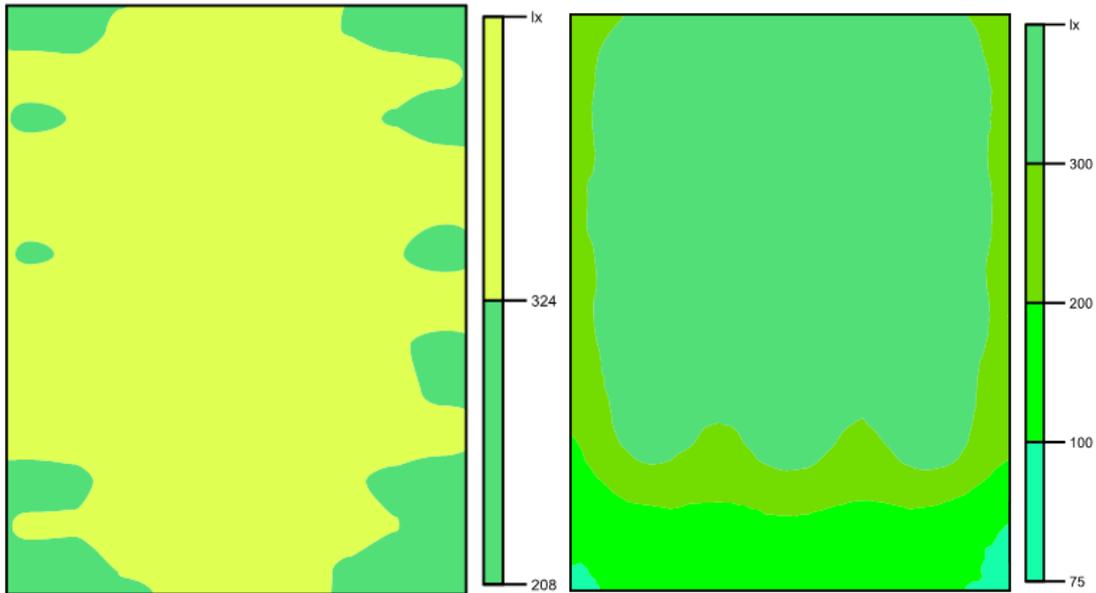
8. ANÁLISES DE RESULTADOS

No presente capítulo, são analisados, a partir dos resultados obtidos através de simulações, os sistemas lumínicos da edificação discutidos neste trabalho. Ao longo da pesquisa, foram apresentados, além dos sistemas de iluminação natural e artificial, presentes no plano de reforma da edificação, outros dois sistemas, com caráter de proposta de melhoria para sistemas existentes. A análise realizada neste trabalho será baseada nas condições de iluminamento, no que se refere aos valores de iluminância e sua uniformidade de distribuição, no ambiente interno da edificação. Além disso, será feita a análise da eficiência energética do pavilhão, apontando o desempenho energético dos sistemas. Por fim, será feita uma análise de viabilidade econômica de implantação dos sistemas propostos, caso estes apresentem-se como opções vantajosas em relação aos sistemas atualmente propostos.

8.1 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

A partir da análise dos resultados, obtidos através das simulações dos sistemas de iluminação artificial, apresentados nos Apêndices C e E, é possível verificar que as condições de iluminação são melhor desenvolvidas na proposta elaborada, utilizando luminária LED. A figura 19 apresenta os diagramas de cores falsas, para ambos os casos, o que permite visualizar a diferença das distribuições de iluminância, na área de trabalho da fábrica.

Figura 19 - Diagrama de cores falsas



(fonte: elaborada pelo autor)

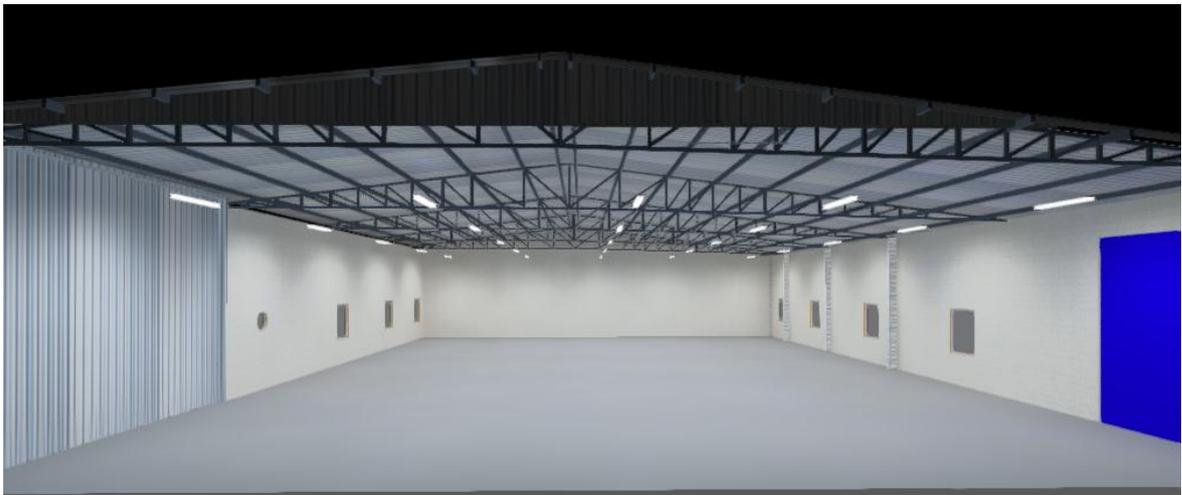
Pode-se observar, que o diagrama da esquerda, correspondente ao sistema de iluminação proposto, que utiliza luminárias LED, apresenta uma melhor uniformidade de distribuição de iluminâncias. Isto é validado através dos coeficientes de uniformidade, de cada um dos casos. Os coeficientes obtidos através das simulações, são 0,77, para o sistema proposto, e 0,28, para o sistema atual, que por sua vez não atende ao requerido pela norma NBR ISO/CIE 8995/2013. A norma requer ainda, que seja verificada, a iluminância média de 300 lux, para a área de tarefa no interior da edificação, o que é atendido em ambas as situações. As figuras 20 e 21 apresentam a renderização do ambiente interno da edificação, respectivamente, utilizando o sistema atual de iluminação, com luminárias de lâmpadas tubulares fluorescentes, assim como o sistema proposto, com luminárias LED.

Figura 20 - Renderização do ambiente interno – sistema atual



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 21 - Renderização do ambiente interno – sistema proposto



(fonte: elaborada pelo autor)

Nas figuras acima, observa-se a melhor distribuição de luz no ambiente quando utilizada a alternativa proposta para o sistema de iluminação. A uniformidade de iluminação do sistema proposto permite que os aspectos da iluminância, sobre o plano de trabalho, proporcionem ao trabalhador a acuidade e conforto visual necessários para a realização das atividades de trabalho. Verifica-se, na figura 20, que a região mais próxima à área frontal da edificação

apresenta más condições de distribuição de luz, podendo-se observar, claramente, a alteração do nível de luz da região frontal do pavilhão, em relação à região mais ao fundo do mesmo.

A partir do levantamento do consumo energético dos sistemas estudados, elaborou-se a tabela 1, que apresenta os dados de consumo de energia elétrica de cada sistema, dividindo-os por períodos utilização, diário, mensal e anual.

Tabela 1- Estimativa de consumo de energia elétrica

Consumo de energia elétrica (kWh)	SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	
	Sistema de iluminação atual	Sistema de iluminação proposto
Consumo por luminária	0,24	0,056
Consumo do conjunto	2,88	1,4
Consumo diário total	28,8	14
Consumo mensal total	633,6	308
Consumo anual total	7603,2	3696

(fonte: elaborada pelo autor)

Com base nos resultados acima, pode-se verificar que há uma grande redução do consumo energético, a partir da implementação do sistema proposto. Em termos de consumo mensal, com a utilização do sistema de iluminação com luminária LED, pode-se obter uma redução de cerca de 48,6%, no consumo de energia elétrica, o que corresponde a um total de 325,6 kWh economizados. Ao final do período de um ano, o consumo será reduzido de 7603,2 kWh, para 3696 kWh, totalizando uma redução anual igual a 3907,2 kWh. Os resultados foram obtidos para um período de utilização da fábrica igual a 10h, considerando uma jornada de trabalho das 8h00 às 18h00.

Segundo foi apurado com a empresa, atualmente o custo médio do kWh pago é de cerca de R\$ 0,7527. Desta forma, o custo anual de operação do sistema de iluminação atual, que é de R\$ 5722,93, será reduzido para o montante de R\$ 2781,98, o que representa uma economia anual de R\$ 2940,95. O resumo de custos dos dois sistemas é apresentado na tabela 2, abaixo.

Tabela 2 - Custos operacionais dos sistemas de iluminação

Custo de energia elétrica (R\$)	SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL		Redução - custo de operação (R\$)
	Sistema de iluminação atual	Sistema de iluminação proposto	
Custo por luminária	0,18	0,04	0,14
Custo do conjunto	2,17	1,05	1,11
Custo diário total	21,68	10,54	11,14
Custo mensal total	476,91	231,83	245,08
Custo anual total	5722,93	2781,98	2940,95

(fonte: elaborada pelo autor)

A tabela 3, apresenta um resumo dos custos de implantação do sistema de iluminação artificial proposto.

Tabela 3 - Custos de implantação do sistema proposto

SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL PROPOSTO	
Quantidade	25,00
Preço unitário (luminária + acessórios)	440,00
Mão de obra total	850,00
Custo total de implantação (R\$)	11850,00

(fonte: elaborada pelo autor)

Foi realizada, de forma simplificada, a análise do tempo de retorno do investimento financeiro na implantação do sistema de luminárias LED. A análise foi realizada comparando o sistema proposto com o sistema atual. Cabe salientar, neste ponto, que o sistema atual de iluminação, não atende ao coeficiente de uniformidade requerido pela norma NBR ISO/CIE 8995/2013. Pôde-se, a partir de simulação computacional, verificar que, para que o sistema atual atendesse ao requerido valor de 0,7, de coeficiente de uniformidade, deveria ser implantada mais uma fileira de três luminárias, localizando-as na parte frontal da edificação e alinhadas com a porta da fachada norte. Logo, o sistema teria um total de 15 luminárias, o que geraria um aumento proporcional no consumo energético, totalizando, neste caso, 3,6 kWh. O cenário utilizado para a avaliação neste trabalho, no entanto, será considerando o sistema atual, mesmo sem este estar em conformidade com a norma.

Para o cálculo do tempo de retorno de investimento, *payback*, utilizou-se a seguinte equação:

$$PB = I_{\text{inicial}} / E_{\text{período}} \quad (\text{equação 2})$$

Sendo:

PB = retorno de investimento (mês);

I_{inicial} = investimento inicial (R\$);

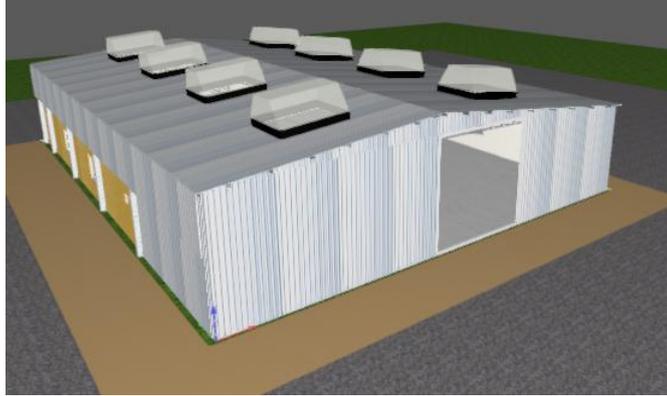
$E_{\text{período}}$ = economia mensal (R\$).

A partir da análise dos custos de operação de ambos os sistemas, apresentados na tabela 2, juntamente com as informações referentes ao custo de implantação do sistema proposto, verificado na tabela 3, obtém-se, através da equação 2, acima, como *payback* para o investimento inicial de R\$ 11.850,00, um período mínimo igual a 4,03 anos, o que corresponde a, aproximadamente, 49 meses, para que se obtenha o retorno financeiro do investimento inicial.

8.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NATURAL

Ao confrontar os resultados dos Apêndices D e F, referentes ao sistema atual de iluminação natural e ao sistema alternativo de iluminação natural, verifica-se que o conjunto de aberturas zenitais que foi proposto, e opera por meio de um sistema de claraboias, promove melhorias consideráveis nas condições de iluminamento no ambiente interno da fábrica. As figuras 22, 23 e 24 apresentam a modelagem da edificação com o sistema de claraboias implantado.

Figura 22 - Vista geral da edificação com sistema de claraboias



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 23 - Vista lateral da edificação com sistema de claraboias



(fonte: elaborada pelo autor)

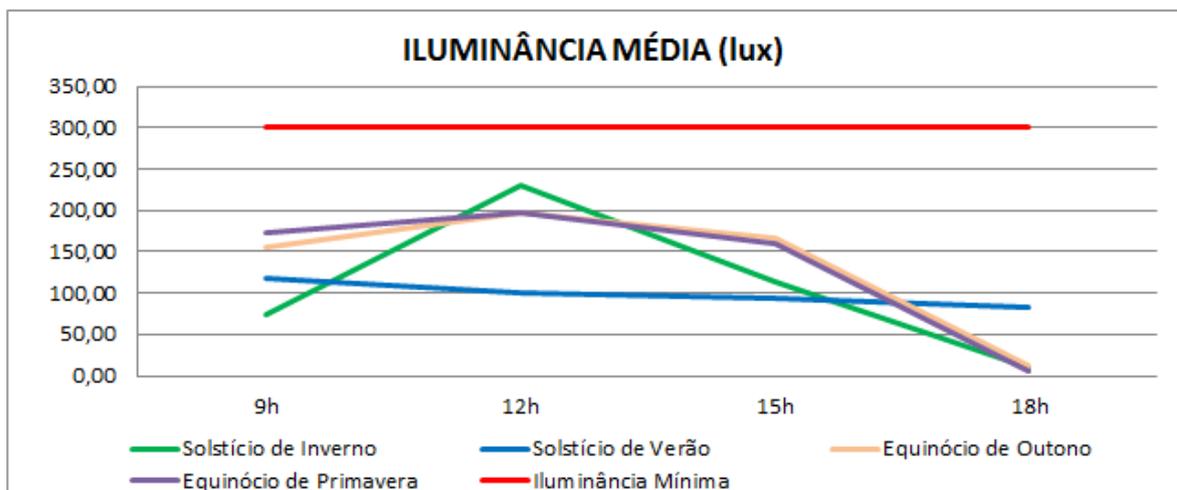
Figura 24 - Vista interna da edificação com sistema de claraboias



(fonte: elaborada pelo autor)

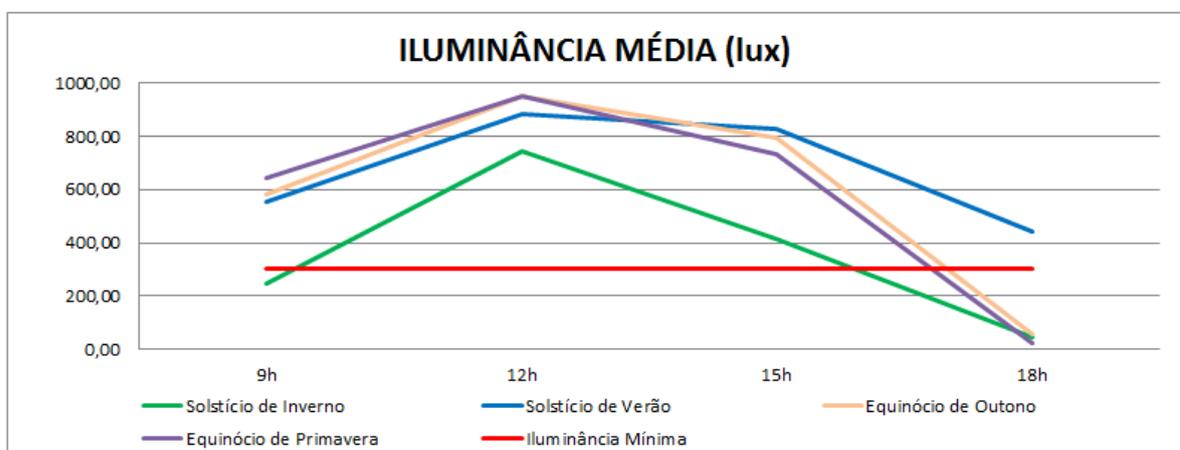
O sistema atual de iluminação natural, prevê, ao todo, uma área de abertura de cerca de 17,2 m². Já o sistema lumínico proposto, tem uma área de abertura de cerca de 57,2 m². Logo, há um aumento significativo, de 40 m², de área para entrada de luz natural. O desempenho de ambos sistemas, em relação às contribuições médias de iluminâncias para o interior da edificação, pode ser verificado por meio dos gráficos apresentados pela figura 25, para o sistema de iluminação atual, e pela figura 26, para o sistema de iluminação proposto.

Figura 25 - Contribuição de iluminância média do sistema atual



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 26 - Contribuição de iluminância média do sistema proposto

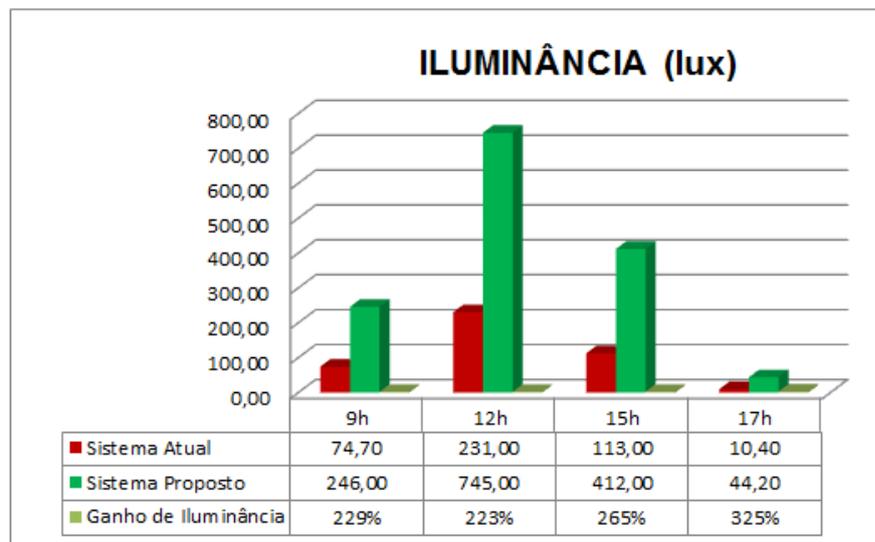


(fonte: elaborada pelo autor)

Em todos os cenários simulados, para as diferentes épocas ao longo do ano, o sistema proposto se apresenta mais eficiente, à medida que permite maior incidência de luz natural no interior da edificação. Pode-se observar, através das figuras 25 e 26, que, na maior parte do tempo, a iluminância média promovida pelo sistema lumínico alternativo atende ao valor mínimo previsto pela norma, que é de 300 lux. Já o sistema atualmente previsto no plano de reforma da edificação não atende em nenhuma das situações estudadas, ao referido valor mínimo de iluminância média.

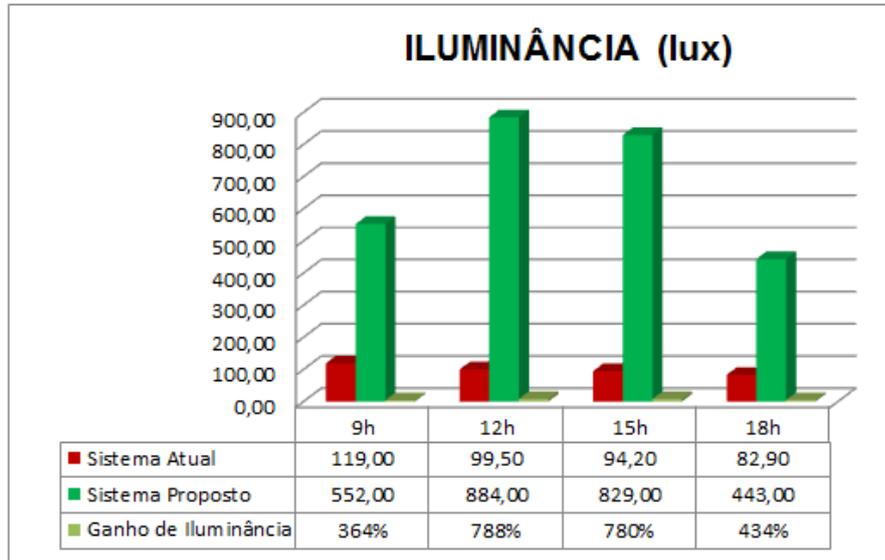
As figuras 27 e 28, para os solstícios de inverno e de verão, respectivamente, apresentam os valores médios de iluminância obtidos ao longo do período de um dia, bem como a projeção de ganho de iluminância média, que decorre da utilização do sistema de iluminação natural alternativo.

Figura 27 - Gráfico comparativo de valores de iluminância – solstício de inverno



(fonte: elaborada pelo autor)

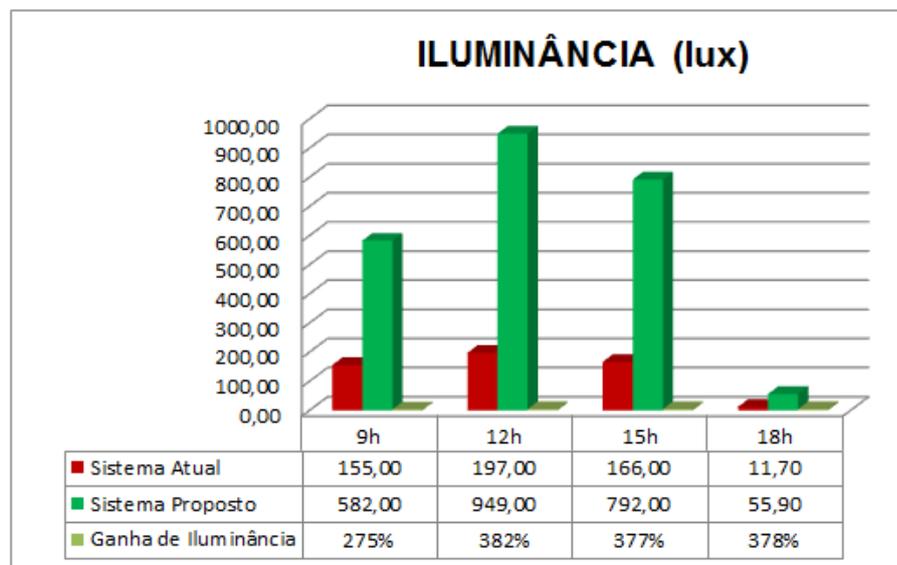
Figura 28 - Gráfico comparativo de valores de iluminância – solstício de verão



(fonte: elaborada pelo autor)

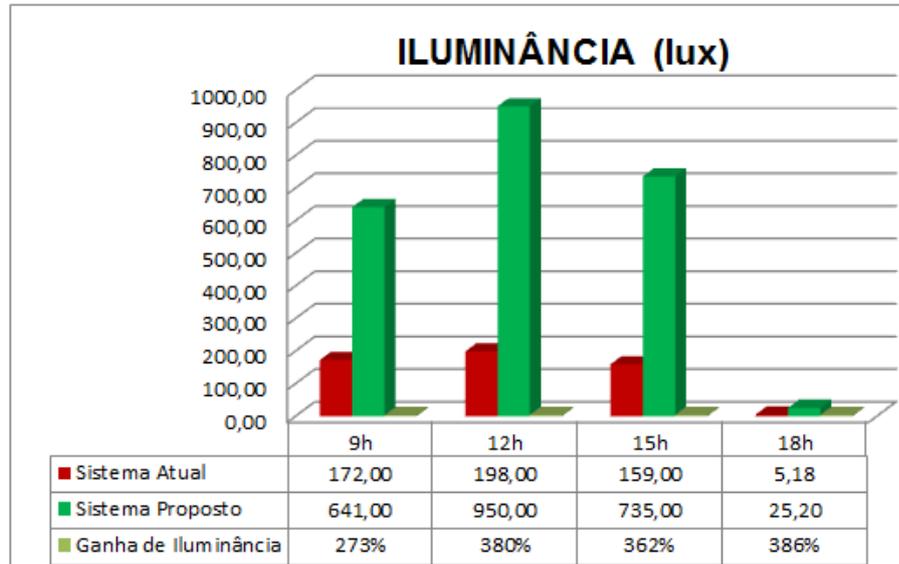
As figuras 29 e 30 apresentam os valores de iluminância média para os equinócios de outono e de primavera, respectivamente.

Figura 29 - Gráfico comparativo de valores de iluminância – equinócio de outono



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 30 - Gráfico comparativo de valores de iluminância – equinócio de primavera



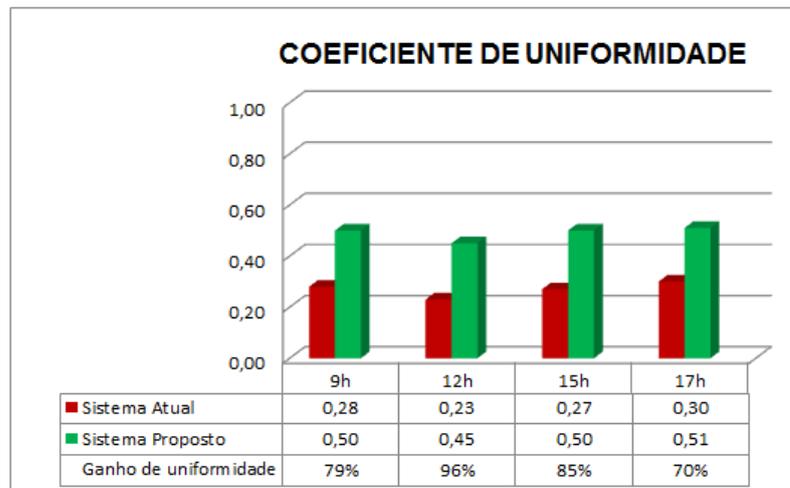
(fonte: elaborada pelo autor)

Pode-se observar, para todos os cenários, que, apesar de haver uma variação nos valores médios de iluminância ao longo do ano, seus níveis respeitam um mesmo padrão de comportamento no decorrer do dia. Neste sentido, nota-se que há um crescimento dos índices de iluminância média no período inicial da manhã, até o horário inicial da tarde, e, a partir desta faixa horária, inicia-se um decréscimo nos valores médios, até alcançar os índices mais baixos, próximos ao final de tarde e início da noite. A maior iluminância média, para o sistema proposto, é verificada no equinócio de primavera às 12h00, apresentando um valor médio de 950 lux. Já, para a situação atual de iluminação, a maior iluminância média ocorre no solstício de inverno, também às 12h00, sendo verificado um valor médio de 231 lux, um valor aproximadamente 4 vezes menor. O pior cenário, para ambos os casos, é verificado no equinócio de primavera, onde se obtém 5,18 lux de iluminância média, para o sistema atual de iluminação natural, e 25,2 lux, para o sistema lumínico proposto.

Em relação ao ganho médio de iluminância ao longo do ano, o maior valor de ganho encontra-se no período do solstício de verão, apresentando um valor médio igual a 592%. O solstício de inverno apresenta o menor valor médio de ganho em lux, de cerca de 260%. Mesmo assim representa uma elevada contribuição no ganho de luz natural, considerando o sistema proposto. Os ganhos de iluminância no interior do pavilhão têm relação direta com o aumento da área de aberturas da edificação, bem como de sua distribuição.

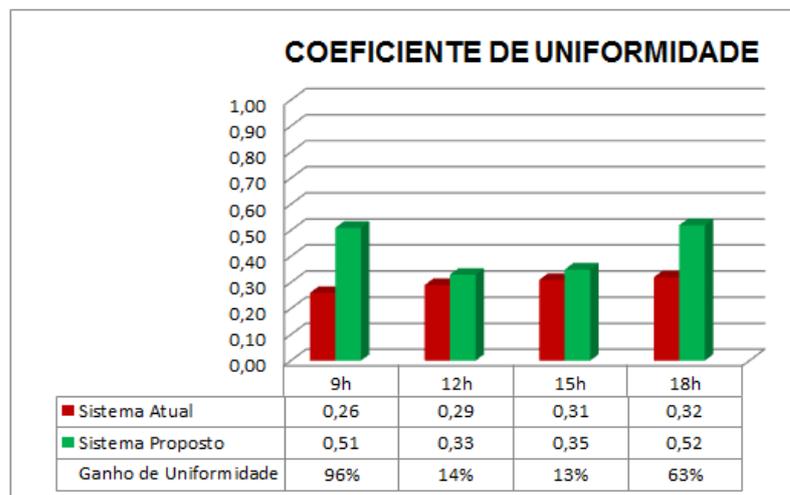
O sistema de claraboias possibilita, além de um aumento na entrada de luz natural no prédio, também um espalhamento de iluminâncias mais uniforme. Desta forma verifica-se coeficientes de uniformidade superiores ao sistema atual, também em todos os cenários estudados. As figuras 31 e 32 apresentam os coeficientes de uniformidade, para os solstícios de inverno e de verão, respectivamente.

Figura 31 - Gráfico comparativo de uniformidade – solstício de inverno



(fonte: elaborada pelo autor)

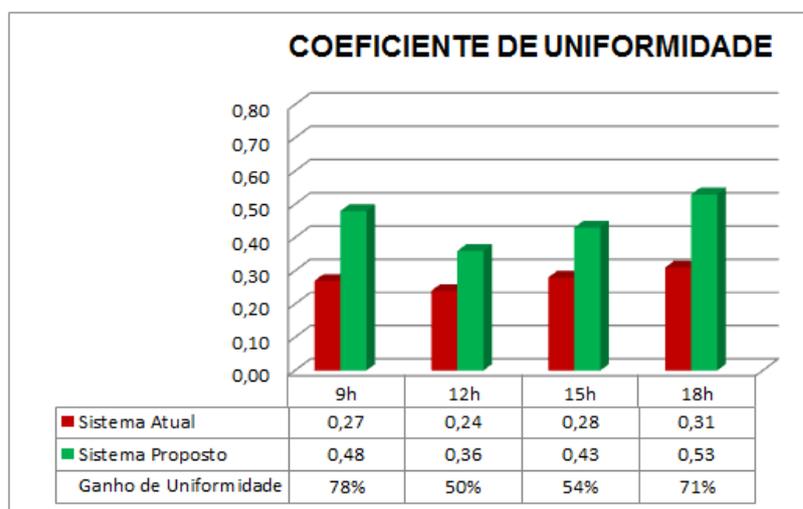
Figura 32 - Gráfico comparativo de uniformidade – solstício de verão



(fonte: elaborada pelo autor)

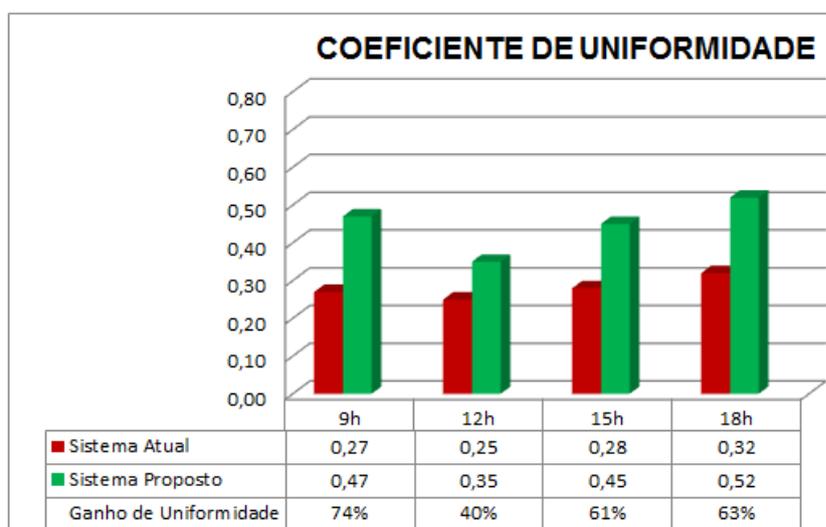
Os coeficientes de uniformidade, para os equinócios de outono e primavera, respectivamente, são apresentados nas figuras 33 e 34.

Figura 33 - Gráfico comparativo de uniformidade – equinócio de outono



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 34 - Gráfico comparativo de uniformidade – equinócio de primavera



(fonte: elaborada pelo autor)

Pode-se observar, que a distribuição da iluminação na edificação tem uma considerável melhora, apresentando ganhos de uniformidade de até 96%. A maior média percentual de ganho no coeficiente de uniformidade é encontrada no período do solstício de inverno, chegando a um valor médio de 82% de ganho ao longo do dia. Já o caso menos favorável, é observado no solstício de verão, com ganho médio de 46% no coeficiente de uniformidade. O valor máximo de uniformidade alcançado foi verificado no período do equinócio de outono, quando houve uma melhora de 0,31 para 0,53 no coeficiente de uniformidade. Esses elevados percentuais de ganho na distribuição das iluminâncias no interior da edificação são devidos ao fato de a edificação experimentar, por meio do sistema de claraboias proposto, uma área maior e melhor distribuída de aberturas. Assim, o ganho de luz ocorre de maneira mais uniforme no interior da edificação, diferentemente do que ocorre com o sistema atual de iluminação, onde a maior fonte de entrada de luz é a fachada norte, por comportar uma área maior de abertura lateral, o que torna o ganho de luz para este caso, não uniforme.

Além de apresentar resultados quantitativos melhores, o sistema proposto de iluminação natural apresenta, também, melhores resultados qualitativos. Porém, a qualidade da distribuição de iluminâncias, verificado por meio do coeficiente de uniformidade, não atende ao requerido por norma. A NBR ISO/CIE 8995/2013 determina, que o coeficiente de uniformidade, para áreas consideradas como área de trabalho, não pode ser inferior a 0,7. Como os valores de coeficiente de uniformidade obtidos, para os cenários estudados não atendem ao valor mínimo especificado, o sistema de claraboias, tal como previsto na proposta, apresenta-se insuficiente, à medida que quando se considera apenas a iluminação natural na edificação, as condições de conforto lumínico não são atendidas em sua totalidade. Nestes casos deverá ser mantido o uso dos equipamentos de iluminação artificial. Neste sentido, não se faz possível uma avaliação de viabilidade econômica de implantação do sistema de claraboias proposto, apesar da evidente melhora dos aspectos lumínicos no ambiente da fábrica.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fica clara, neste trabalho, a importância que os estudos luminotécnicos têm, no contexto do desempenho das edificações, independente do tipo e utilização a que estas sejam destinadas. A necessidade de projetos elaborados, não apenas para atender requisitos normativos, mas também que busquem promover aspectos de eficiência energética e sustentabilidade, é latente. O mercado, entendendo isso, apresenta uma vasta gama de produtos destinados ao setor de iluminação, tanto no âmbito de sistemas de iluminação artificial, quanto no âmbito de sistemas de iluminação natural. Além disso, ganham destaque ferramentas computacionais, como o *software* DIALux Evo, da empresa alemã DIAL, que permite antever cenários de iluminação, de modo a auxiliar o projetista luminotécnico na tomada de decisão, quando da elaboração de projetos de iluminação.

Este trabalho buscou, a partir de modelagens e simulações computacionais com o uso o *software* DIALux Evo, versão 8.1, realizar um estudo de caracterização e otimização dos sistemas de iluminação artificial e natural de um pavilhão industrial, que abriga uma indústria termoplástica. Pôde-se, a partir dos resultados obtidos nas simulações, realizar uma caracterização dos sistemas atuais da edificação e, a partir disso, verificar que tais sistemas se encontram deficientes. Além de não haver uma integração adequada entre os dois sistemas, de forma individualizada, ambos também apresentam condições não adequadas de uso. O sistema de iluminação artificial, composto por 24 lâmpadas fluorescentes tubulares, apresenta alto consumo energético e não atende aos parâmetros requeridos pela norma NBR ISO/CIE 8995/2013. Logo, não promove condições adequadas para o ambiente de trabalho. O sistema de iluminação natural é limitado, apresentando apenas aberturas laterais, sendo que estas estão dispostas de forma assimétrica, ocasionando grande variação dos índices de iluminância no interior da edificação, assim também não oferecendo boas condições a um ambiente de trabalho. Além disso, é visível a necessidade de proteção solar na fachada norte, visto que são excedidos, de forma acentuada, os valores de iluminância adequados, em certos períodos do dia.

As propostas realizadas no decorrer deste trabalho apresentam benefícios claros em diversos aspectos analisados. Verifica-se, com base nos resultados obtidos e apresentados, que o

sistema de iluminação artificial proposto promove melhorias nas condições de iluminamento da edificação, atendendo aos requisitos especificados na norma NBR ISO/CIE 8995/2013, como iluminância média e coeficiente de uniformidade adequado. Estes parâmetros são atendidos por meio de um sistema que apresenta um consumo energético menor, se comparado ao sistema atual, reduzindo quase na metade o consumo de energia elétrica do sistema, o que decorre em uma redução do custo operacional em cerca de 48%. Além disso, possui equipamentos de vida útil superior, que os torna mais sustentável. A análise de viabilidade econômica, apesar do investimento inicial de implantação ser significativo, apresenta uma solução financeiramente viável, com um *payback* de cerca de 49 meses, o que é adequado sob o ponto de vista de investimento no setor industrial, mesmo que de pequeno porte.

A análise via *software*, torna evidente os ganhos proporcionados pelos sistemas de iluminação artificial, se comparado à análise de sistemas lumínicos naturais. Isso se deve ao fato, de haver um reduzido número de empresas atuantes no setor de controle de luz natural zenital, que ofertem a possibilidade de seus produtos serem modelados em *softwares* aplicáveis a esta área. Nesse sentido, a proposta de um sistema de iluminação natural ficou limitada à disponibilidade de poucos elementos de iluminação zenital. Contudo, a partir das análises dos resultados obtidos ao longo do estudo, pôde-se verificar, que a utilização de elementos de iluminação zenital promove, de forma considerável, um melhor desempenho lumínico no ambiente estudado. Apesar do sistema proposto não poder ser utilizado de forma isolada, os elementos de iluminação zenital garantem melhores condições de luz natural no ambiente interno da fábrica, aumentando os valores de iluminância e melhorando a homogeneidade de distribuição da luz. Ressalta-se neste sentido, a grande importância de estudos luminotécnicos referentes à iluminação natural zenital. Nota-se, ainda, que apesar de o mercado nacional de iluminação zenital apresentar diversas empresas no setor, nenhuma empresa brasileira possui produtos disponíveis para a realização de simulações computacionais. Assim, o mercado ainda necessita de evolução neste sentido, de forma a subsidiar o projetista nos estudos lumínicos.

Outro aspecto que requer atenção é o sistema de proteção solar. A deficiência da edificação, no tocante à falta proteção solar na fachada norte, determina um grande impacto na uniformidade da luz natural no ambiente. Neste sentido, poderia ser previsto a implantação de algum sistema de proteção solar, para a fachada norte da edificação.

Sugere-se, para estudos futuros, a análise conjunta entre desempenho lumínico e térmico em edificações, já que este último, apesar de não abordado neste trabalho, é de grande importância na avaliação de desempenho energético das edificações. Sugere-se ainda, estudos em que sejam confrontados os resultados de simulações computacionais com resultados obtidos mediante a medições *in loco*, o que permitiria, desta forma, verificar a confiabilidade dos resultados obtidos via *software*.

REFERÊNCIAS

ABALUX. Catálogo de lâmpadas e luminárias. Disponível em: < <http://abalux.com.br>>. Acesso em 11 maio 2019.

AMORIM, C.N.D. **Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte I. Estratégias de projeto para uma arquitetura sustentável.** In: Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, Brasília, 2002.

AMORIM, C.N.D. **Diagrama Morfológico Parte I – Instrumento de análise e projeto ambiental com uso da luz natural.** In: Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, Brasília, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413:** iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR ISO/CIE 8995:** Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15215-1:** Iluminação natural. Parte 1: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15215-2:** Iluminação natural. Parte 1: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15215-4:** Iluminação natural. Parte 4: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 5461:** Iluminação. Rio de Janeiro, 1991.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. **Daylighting in Architecture. A European Reference Book.** James and James Editors, London, 1993.

BARBOSA, C.V.T. **Percepção da Iluminação no Espaço da Arquitetura: Preferências Humanas em Ambientes de Trabalho.** Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo, 2010.

BOCCHESI, Mariano Fernandes. **Projeto luminotécnico em escola no município de Feliz: otimização do aproveitamento de luz natural.** 2011. 89 f. Trabalho de diplomação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

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

DIDONÉ E. L.; PEREIRA, F.O.R. **Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações.** ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais.** Porto Alegre: v. 10, n.4, 139-154, out./dez. 2010.

GARROCHO, J.S. **Luz Natural e Projeto de Arquitetura:** Estratégias para Iluminação Zenital em Centros de Compras. Brasília, 2005. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e

Urbanismo). Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Brasília, 2005.

GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Influência das características reflexivas da luminária e da refletância das paredes na potência instalada em sistemas de iluminação**. VII ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Florianópolis, SC, 1998.

GRANJA, I.C.D. **Práticas de Iluminação Atraves de Metodos Naturais e Artificiais Aplicados ao Design de Interiores: Uma Abordagem Sustentavel**. Lisboa, 2012. Dissertação (Mestrado em Design de Equipamento). Universidade de Lisboa. Programa de Pós-Graduação em Design, Lisboa, 2012.

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE J. **Iluminação natural**. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkain, 1966.

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

LAMILUX. Catálogo de produtos. Disponível em: < <http://lamilux.com>>. Acesso em 02 junho 2019.

LAM, W.MC. **Sunlight as Formgivers for Architecture**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

LUMICENTER. Catálogo de lâmpadas e luminárias. Disponível em: < <http://lumicenteriluminacao.com.br>>. Acesso em 04 maio 2019.

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

PROCEL. **Manual de Iluminação**. 2011.

SCARAZZATO, P. S.; SILVA, R. R. **Disponibilidade de Luz Natural (DLN) versão 2.06**, São Paulo, 1995.

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

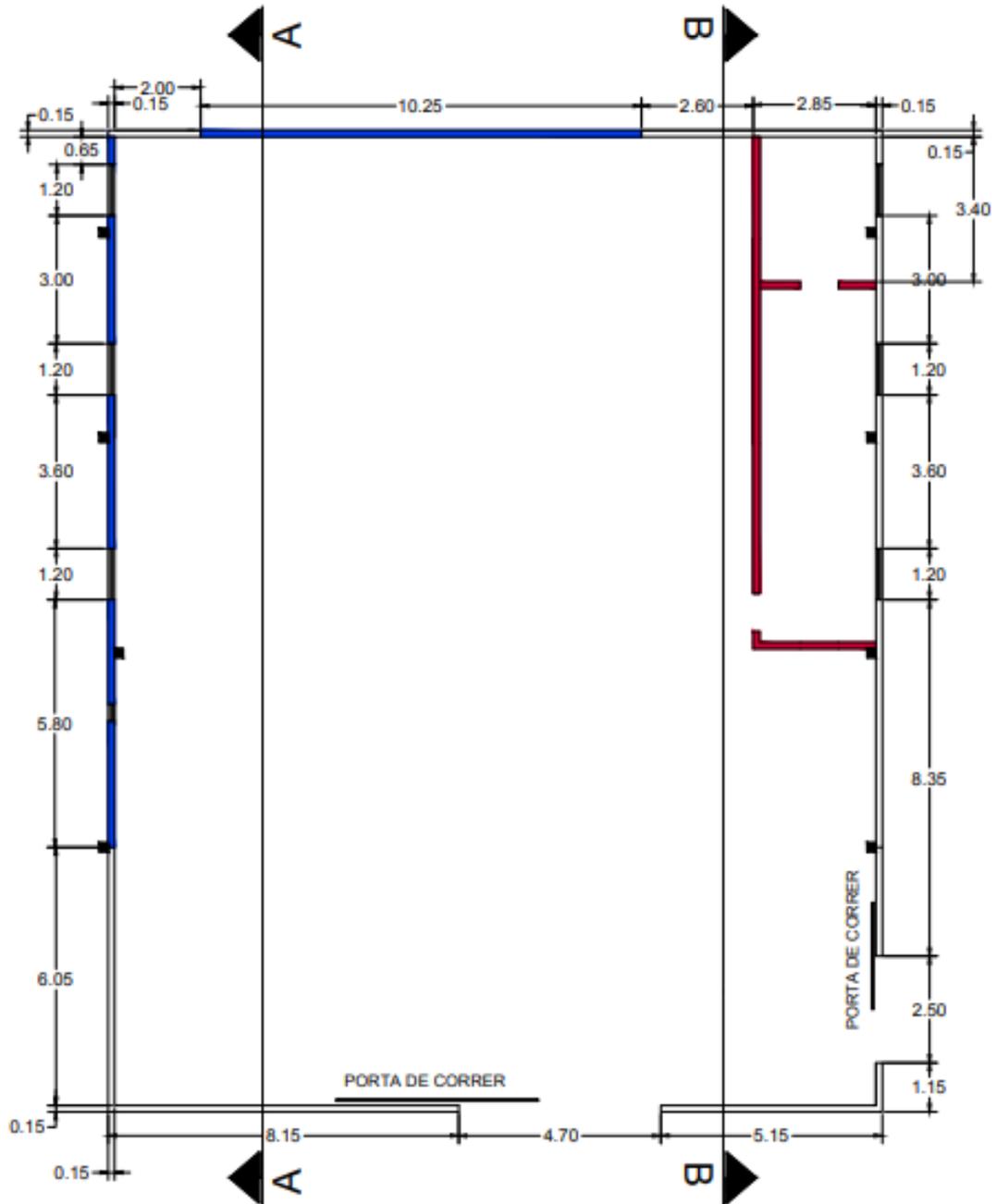
SOUZA, M. B. **Potencialidade de aproveitamento da luz Natural através da utilização de Sistemas automáticos de controle para Economia de energia elétrica**. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2003.

TAVARES, S.G. **Simulação computacional para o projeto de iluminação e arquitetura**. 2007. 169 f. dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em arquitetura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TOLEDO B.G. **Integração de Iluminação Natural e Artificial: Metodos e Guia Pratico para Projeto Luminotecnico**. Brasilia, 2008. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Brasília, 2008.

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

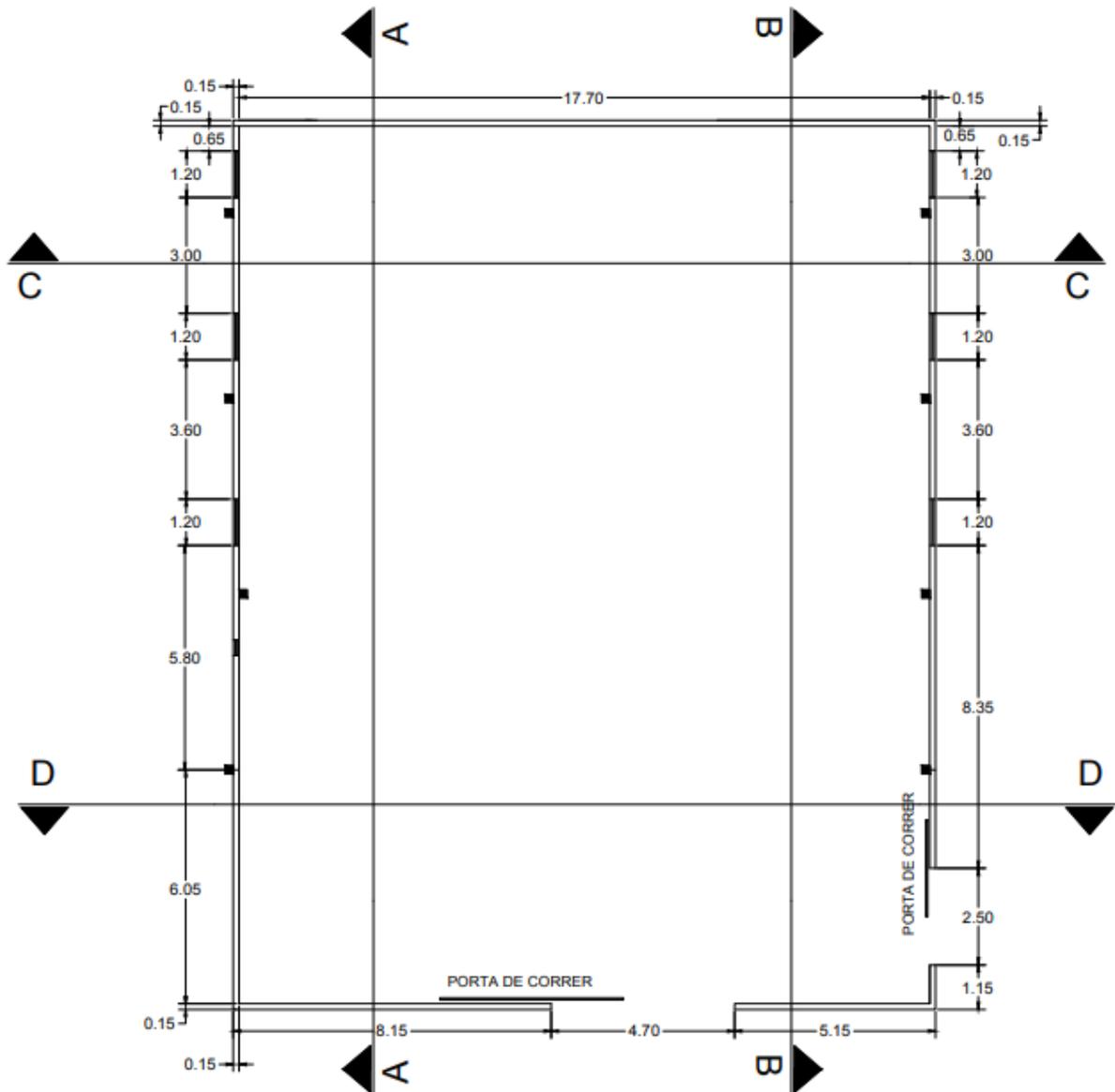
APÊNDICE A – Plantas, cortes e detalhes arquitetônicos da edificação



■ A DEMOLIR

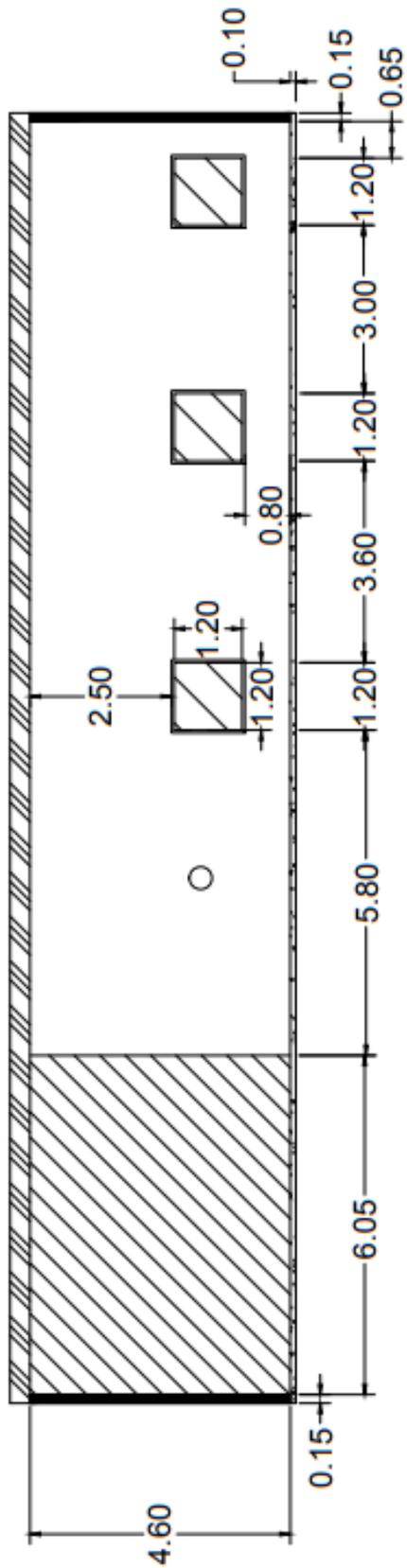
■ A CONTRUIR

PLANTA BAIXA DE MODIFICAÇÕES MEDIDAS EM METROS

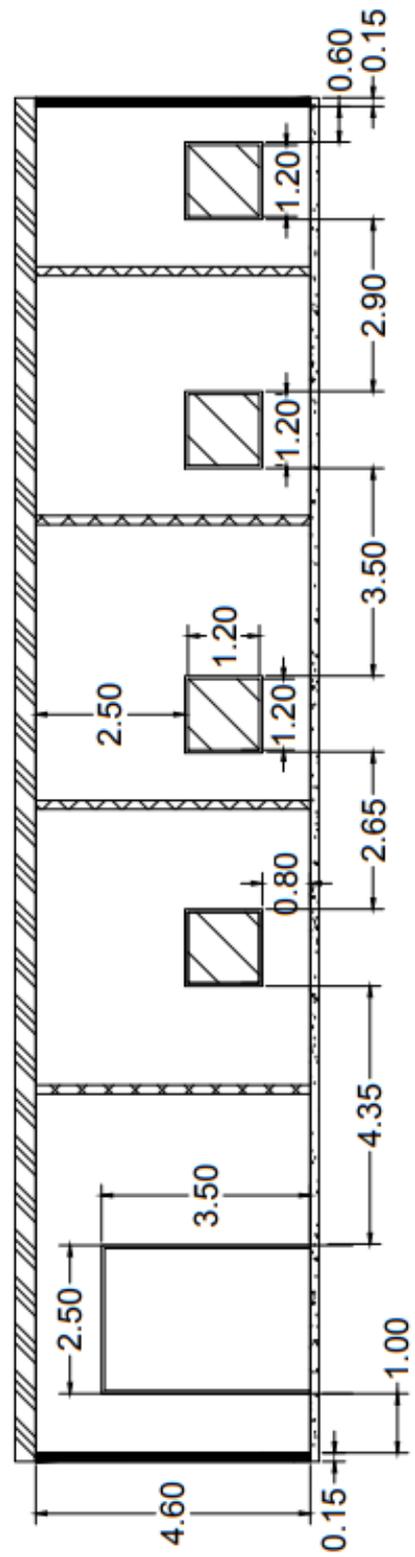


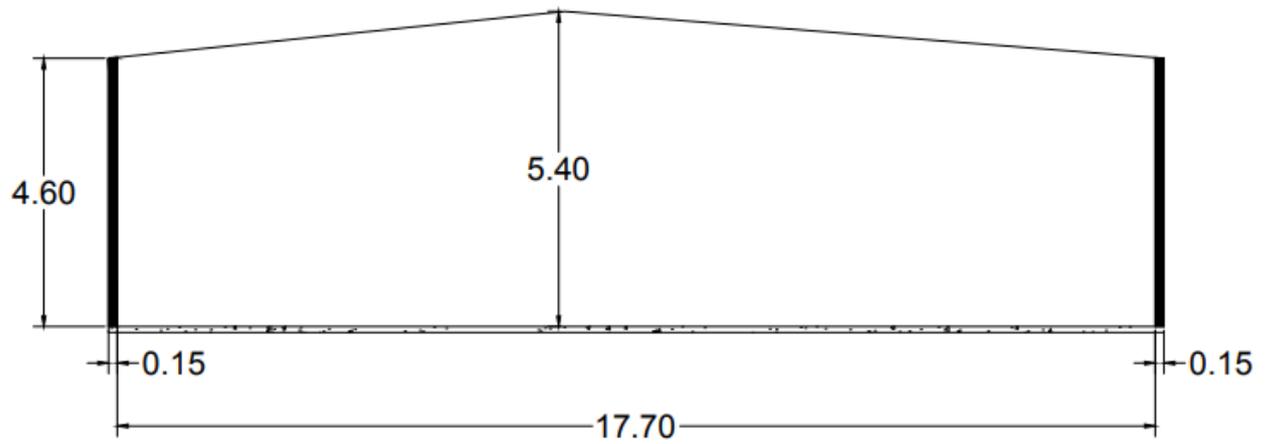
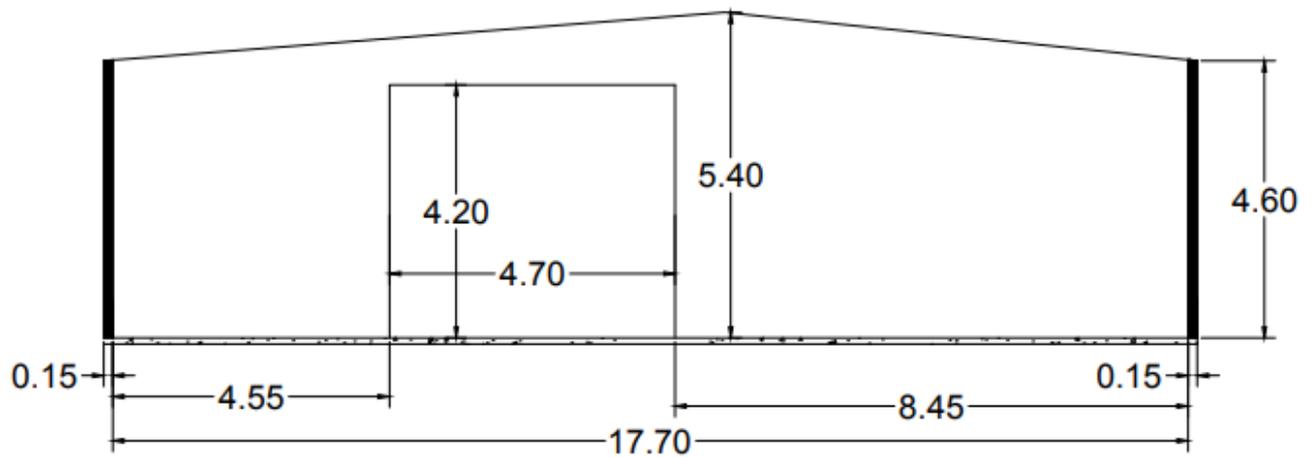
**PLANTA BAIXA MODIFICADA
MEDIDAS EM METROS**

CORTE AA



CORTE BB



CORTE CC**CORTE DD**

APÊNDICE B – Acervo fotográfico do estado atual da edificação

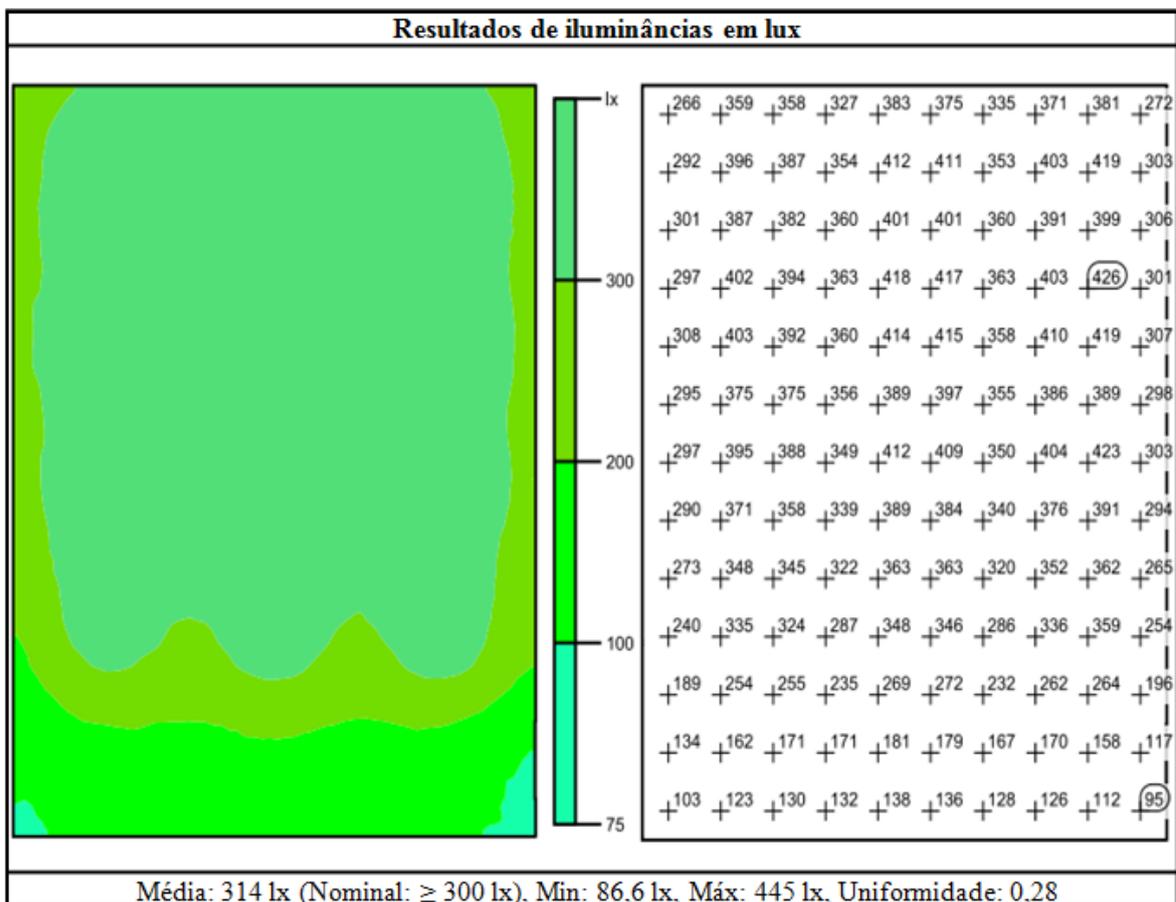




APÊNDICE C – Resultados gerados pelo DIALux evo 8.1 – estado atual do sistema de iluminação artificial

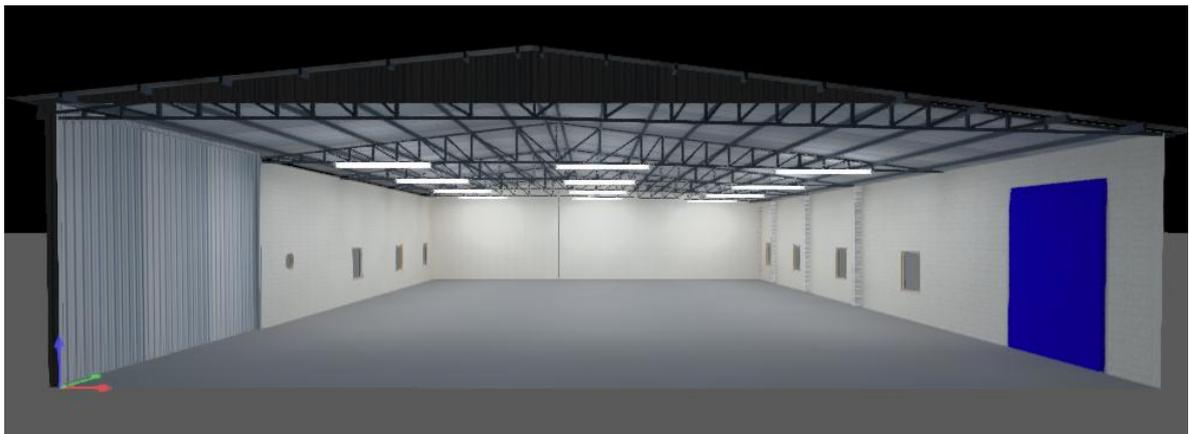
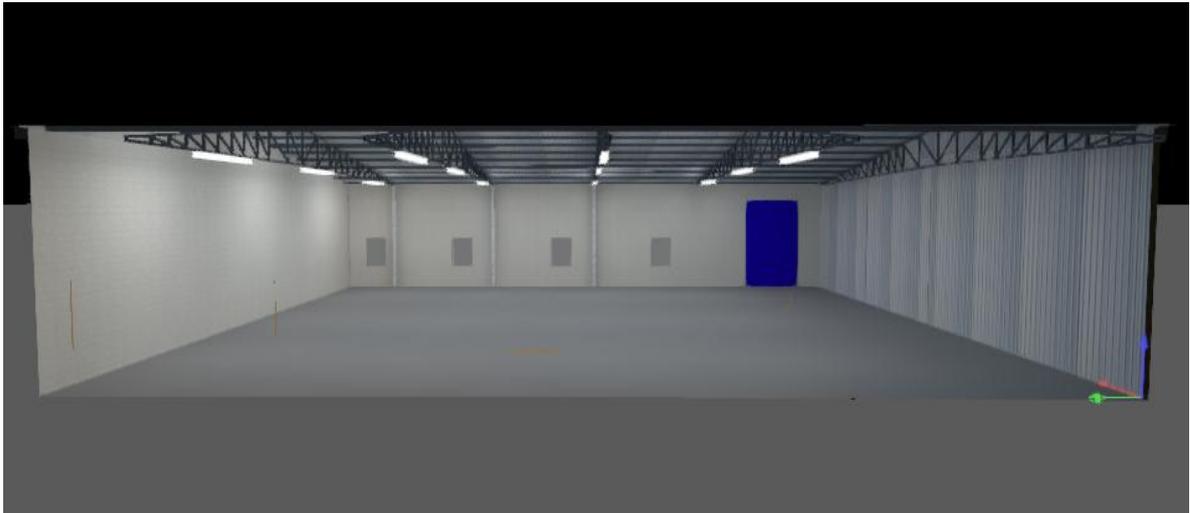
Quantidade	Luminária (Emissão luminosa)		
1	Lumicenter Lighting Group - CCN14-S2110 Emissão luminosa 1 Equipagem: 2xFluorescente Tubular HO 110W Grau de actuação operacional: 90.28% Fluxo luminoso de lâmpada: 16600 lm Fluxo luminoso da luminária: 14987 lm Potência: 220.0 W Rendimento luminoso: 68.1 lm/W Indicações colorimétricas 2xFluorescente Tubular HO 110W: CCT 5250 K, CRI 100	É favor escolher uma imagem de luminária em nosso catálogo de luminárias.	

Fluxo luminoso total das lâmpadas: 199200 lm, Fluxo luminoso total das luminárias: 179844 lm, Potência total: 2640.0 W, Rendimento luminoso: 68.1 lm/W

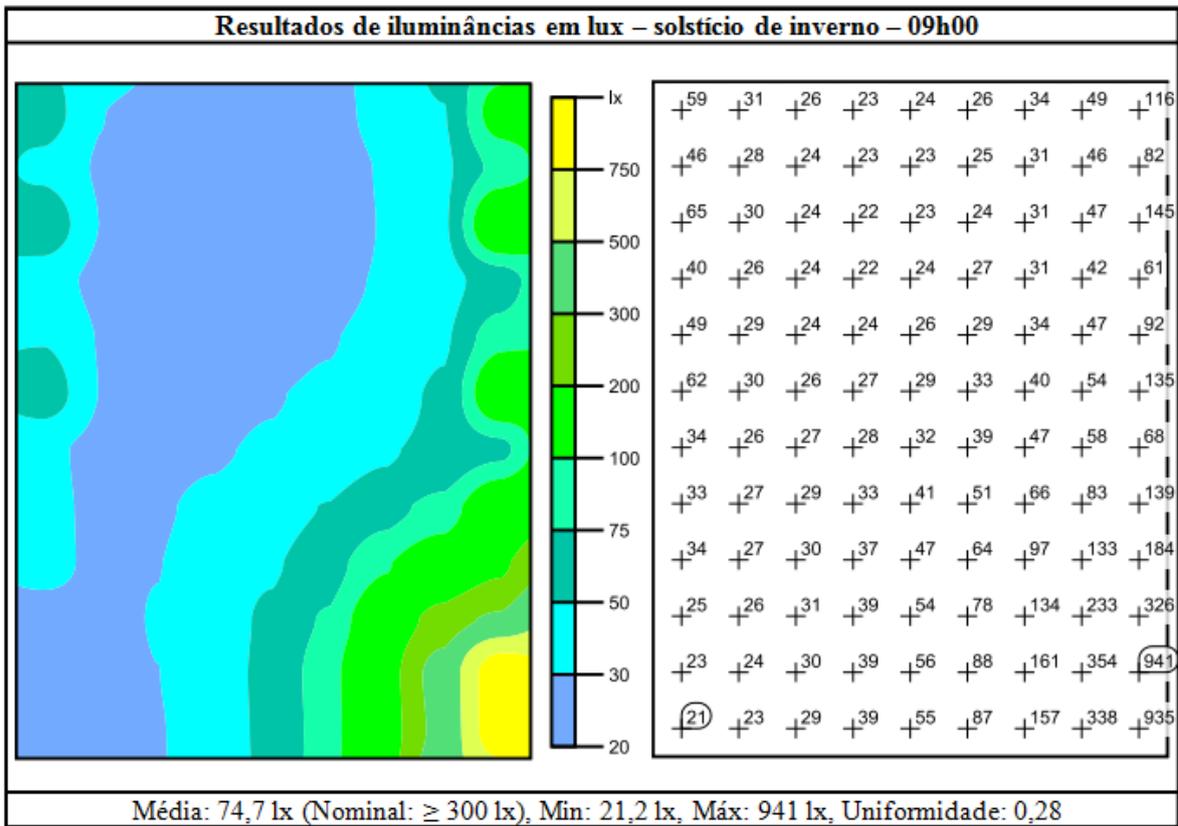


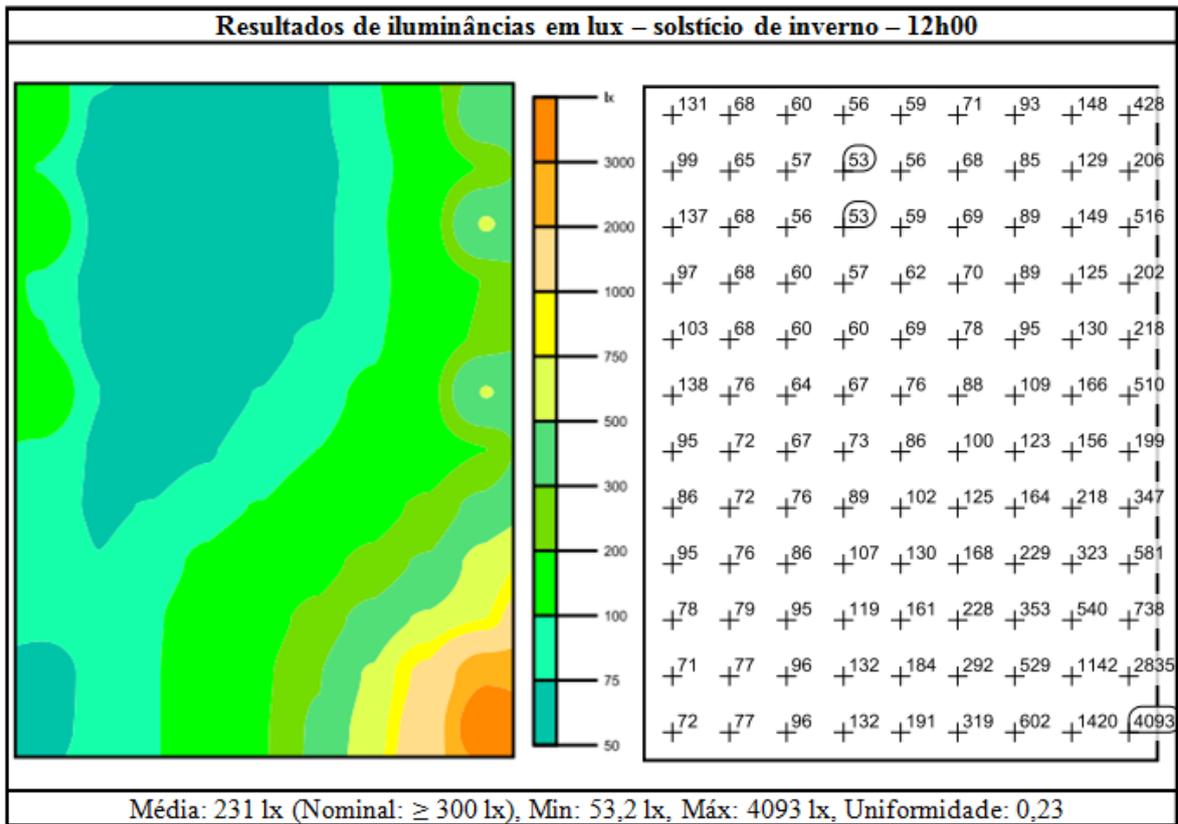


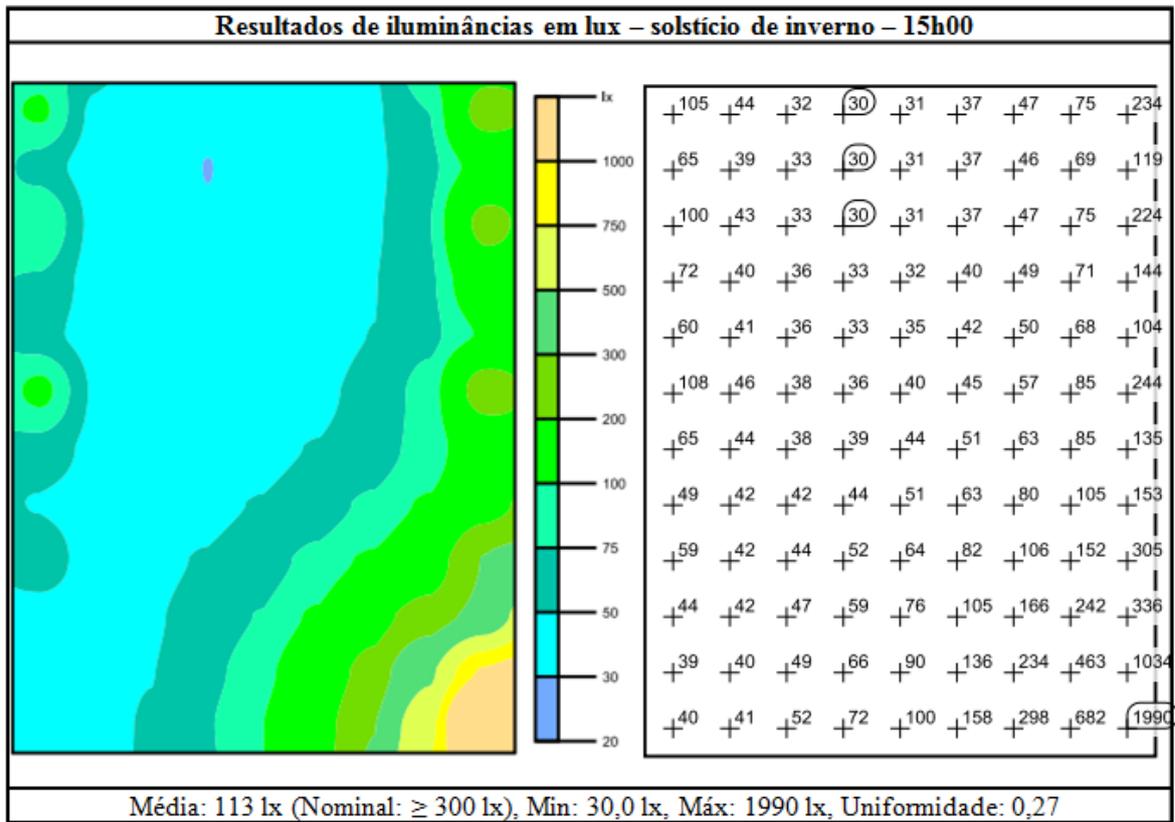


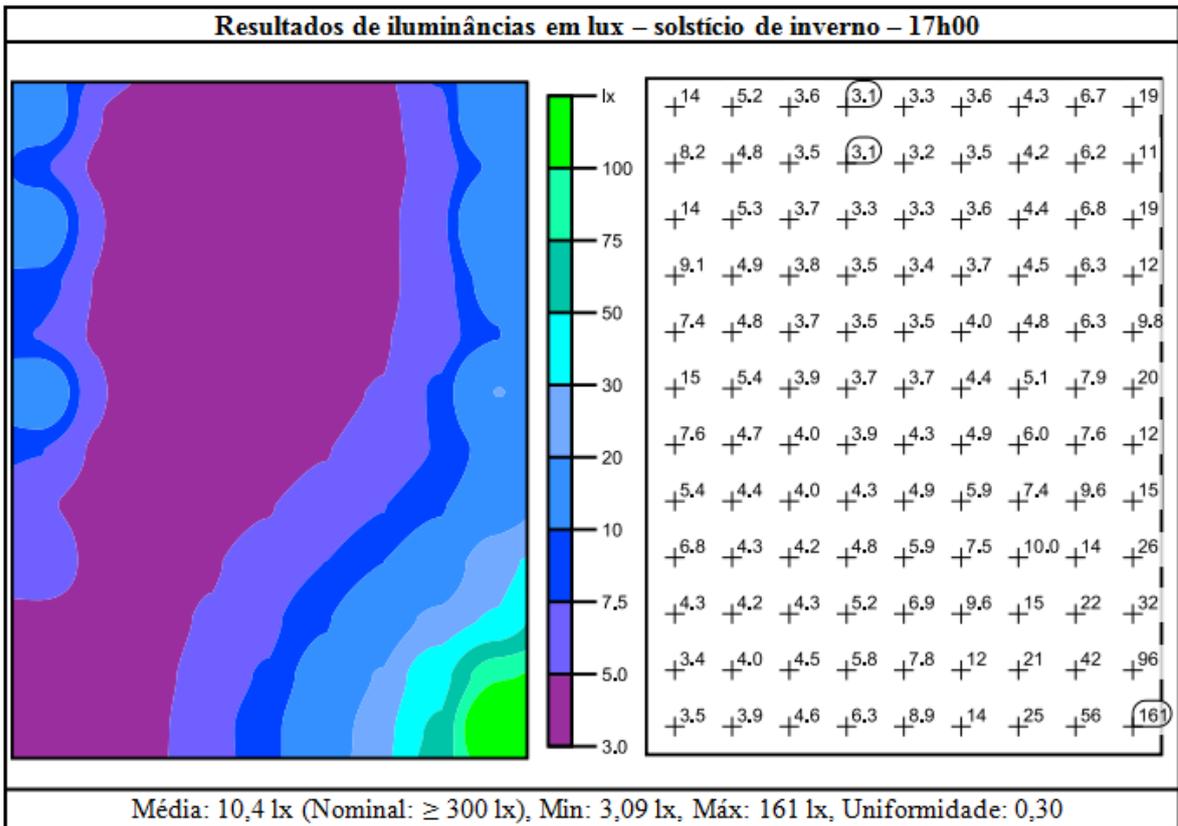


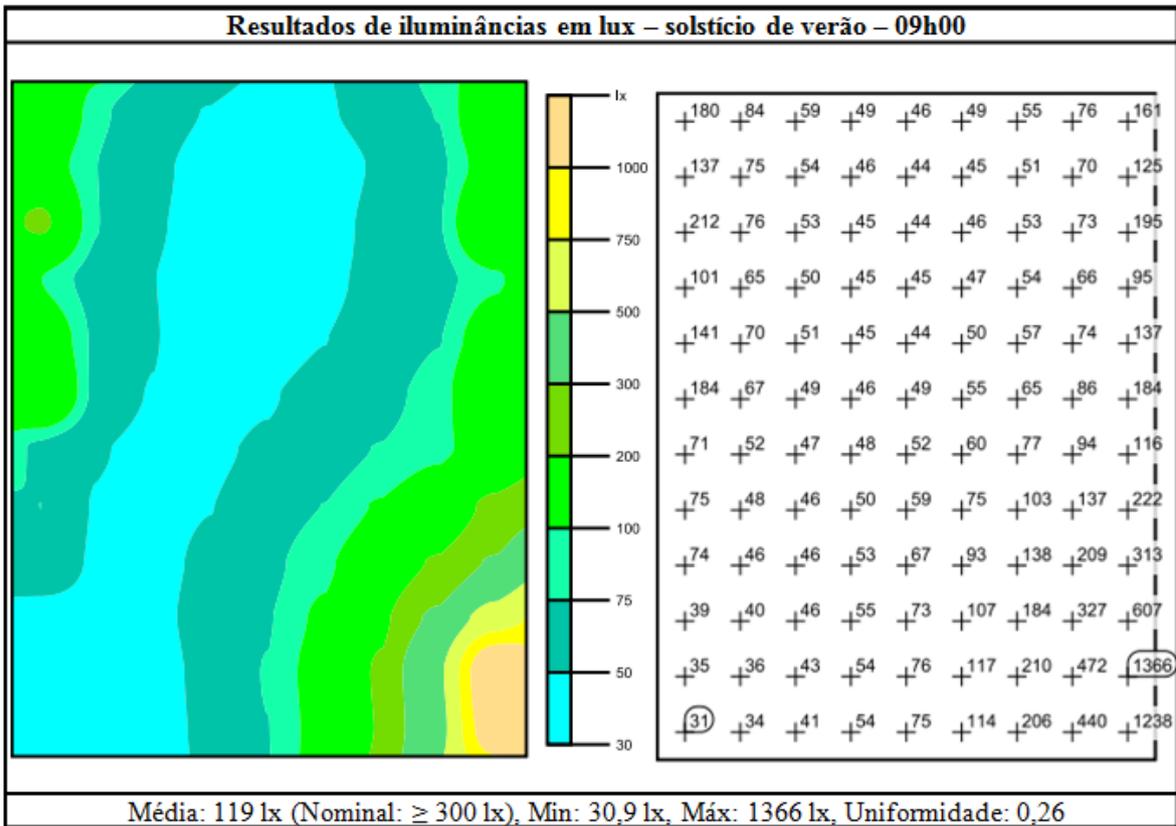
APÊNDICE D – Resultados gerados pelo DIALux evo 8.1 – estado atual do sistema de iluminação natural

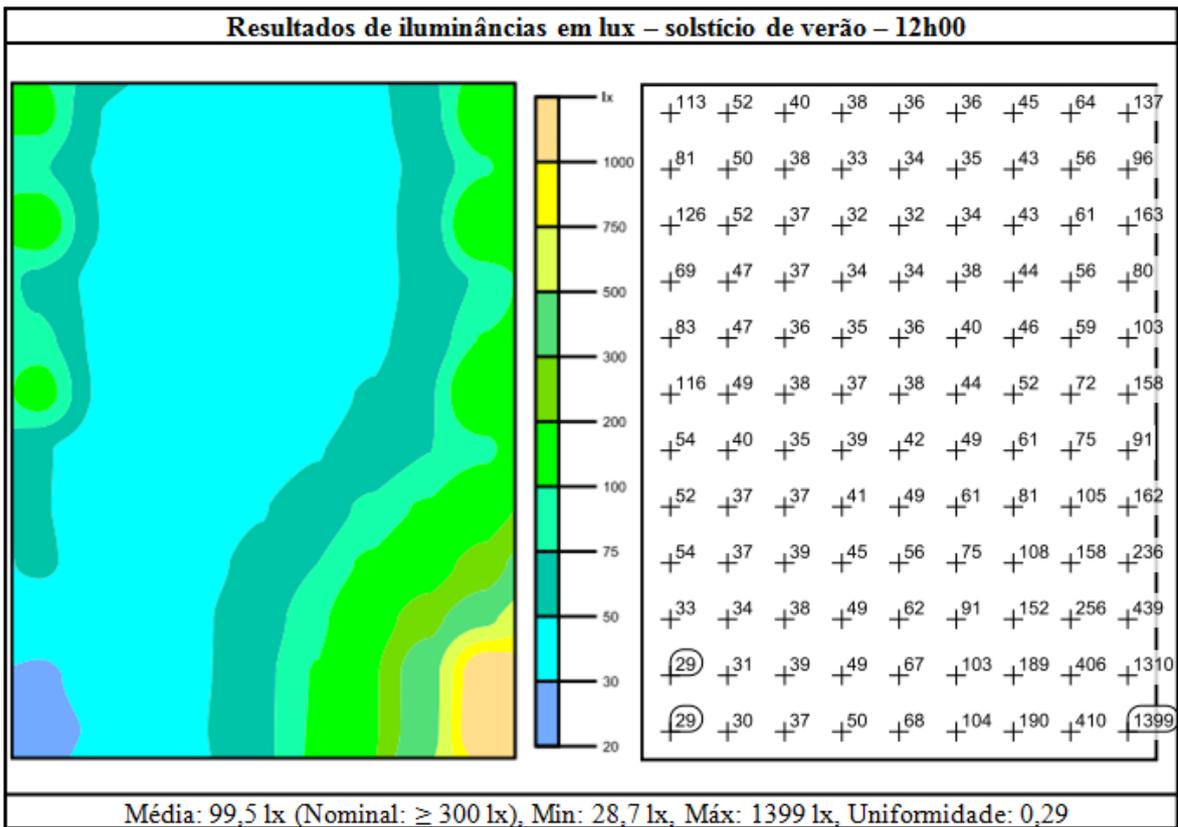


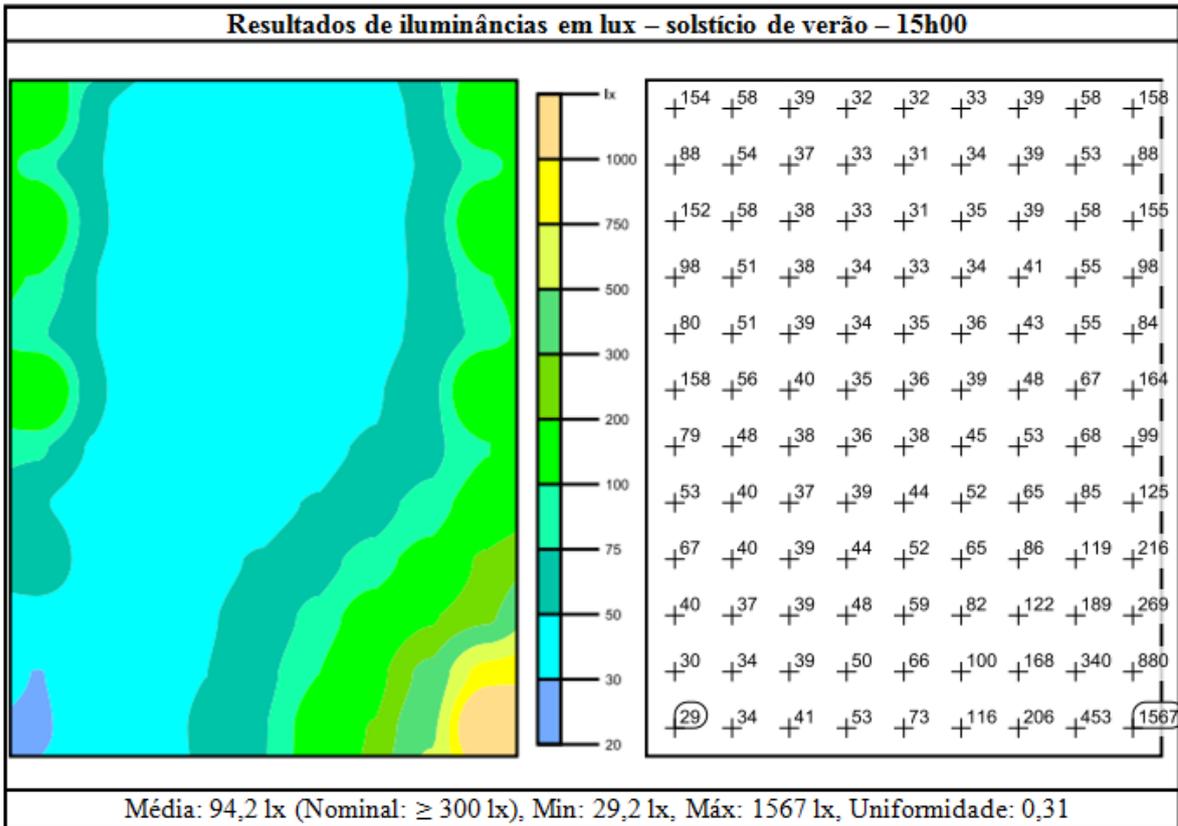


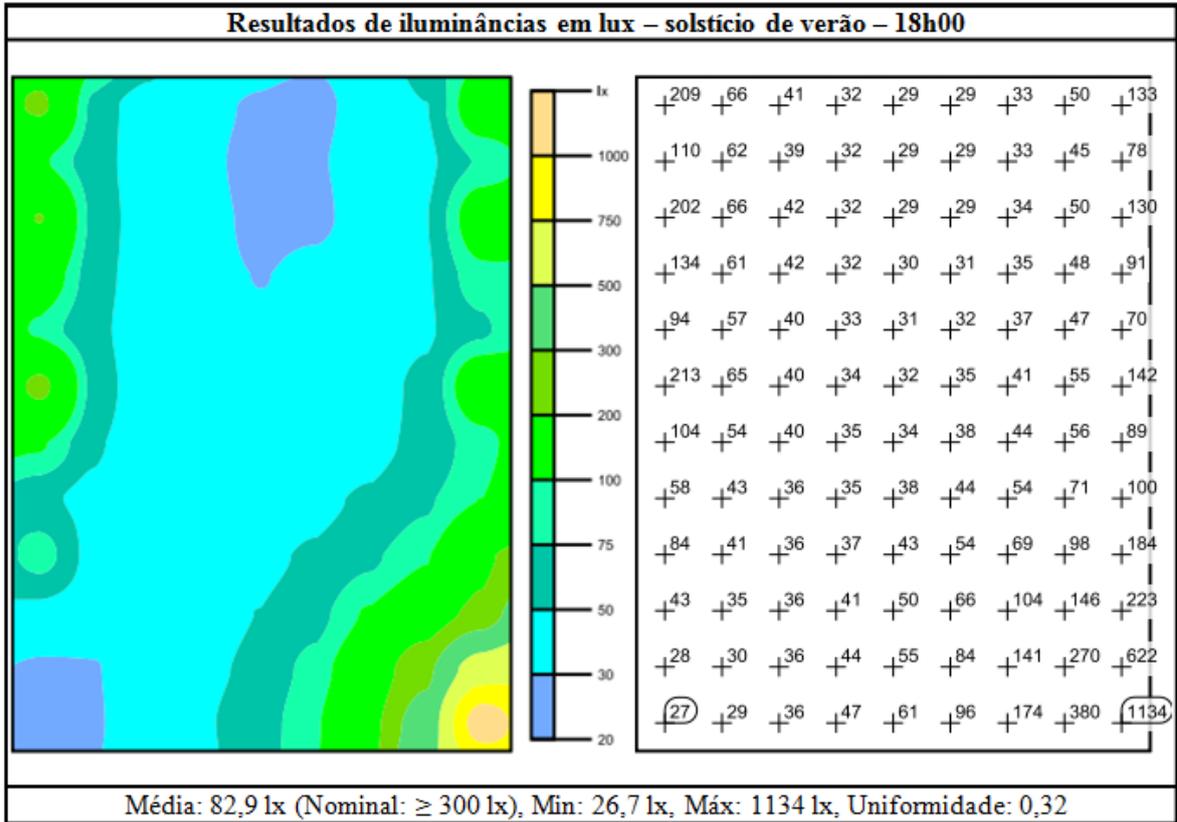


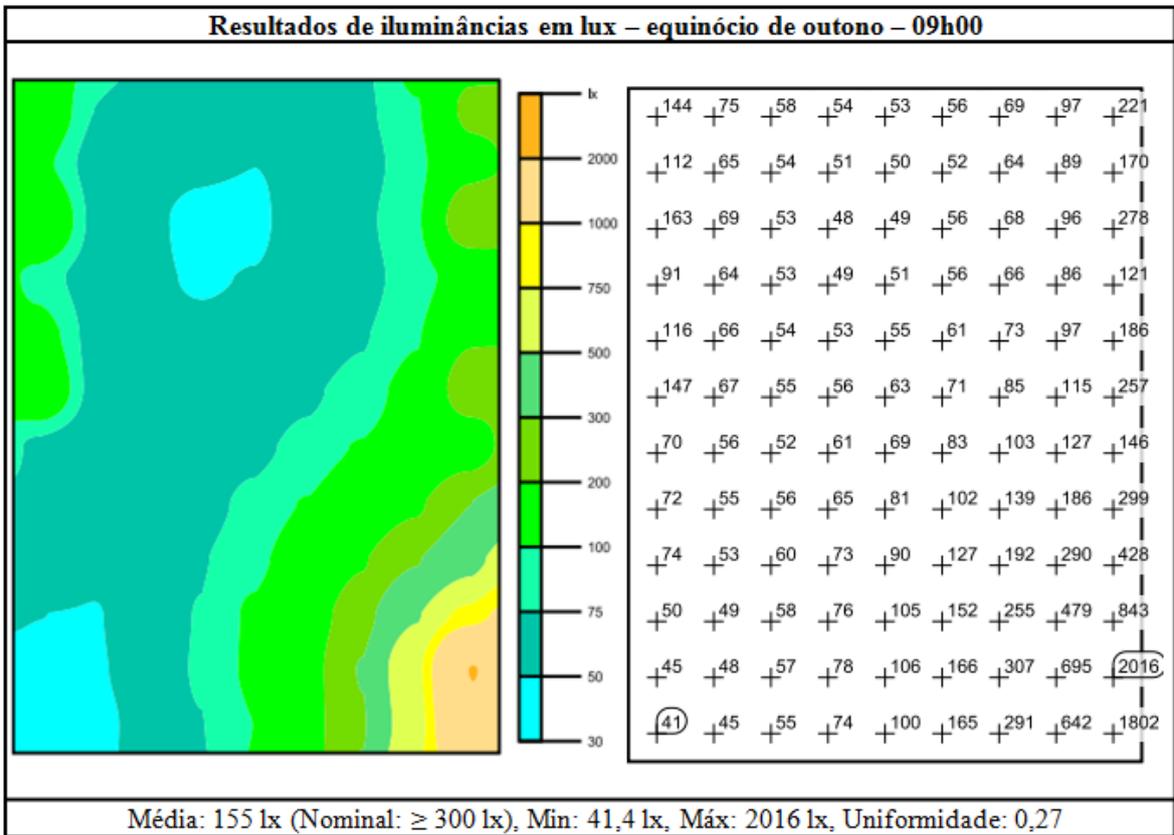


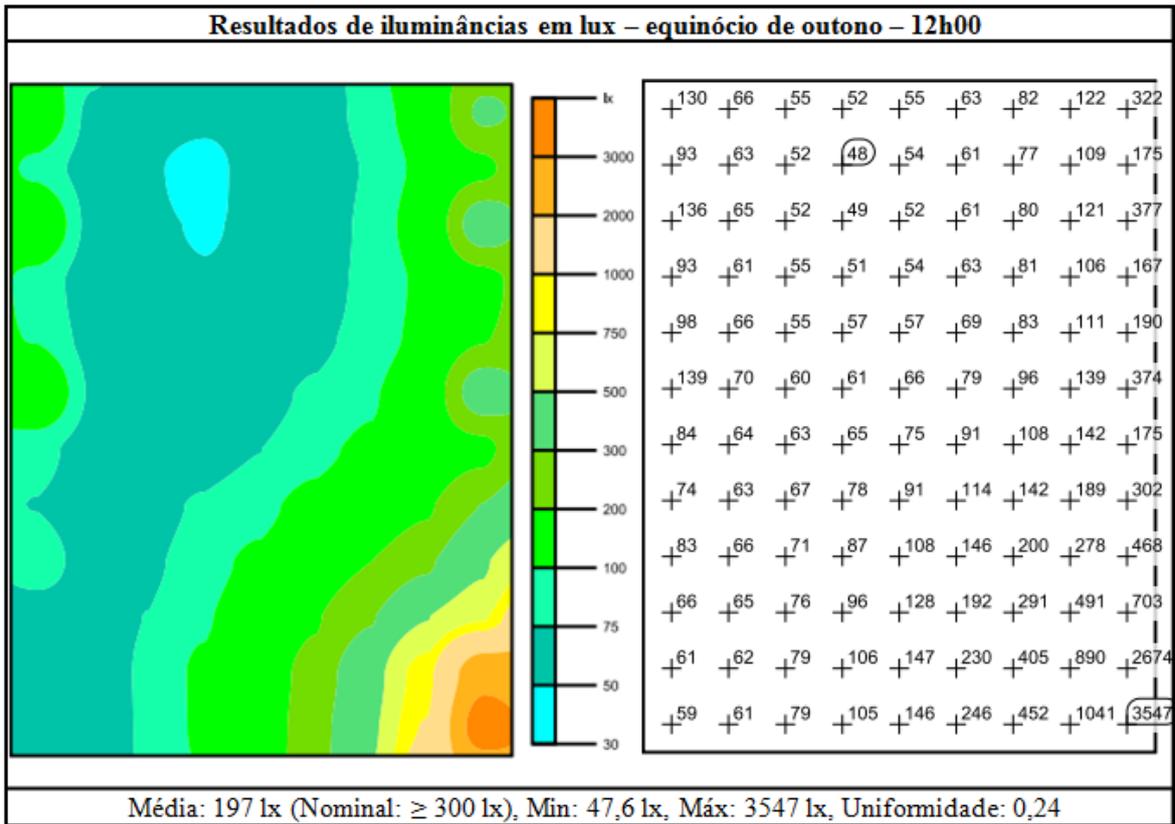


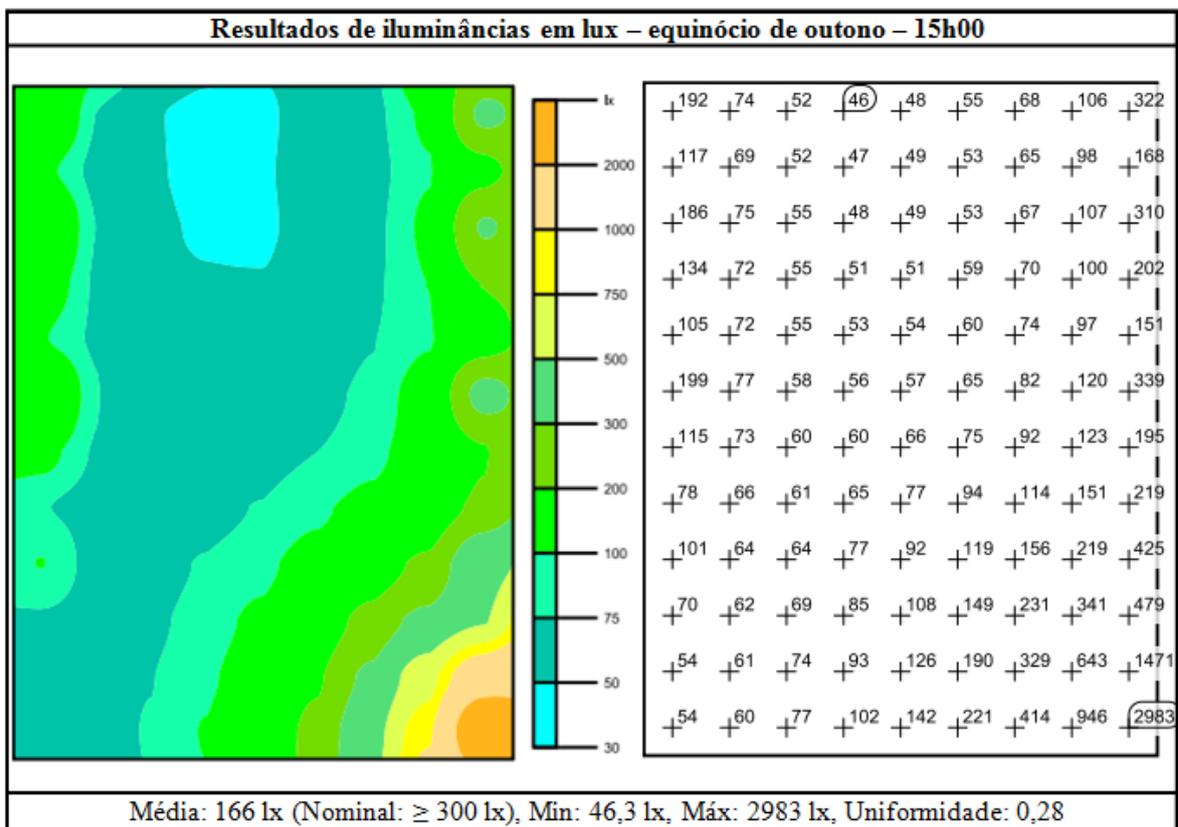


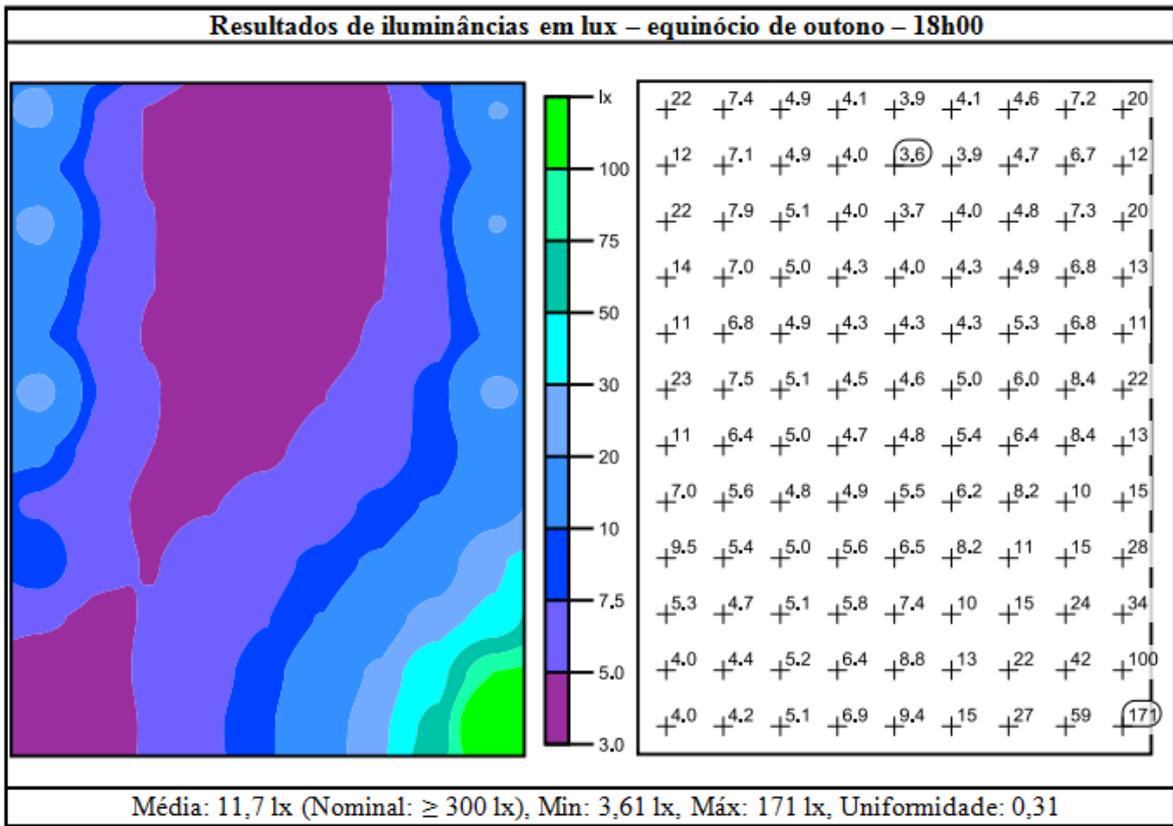


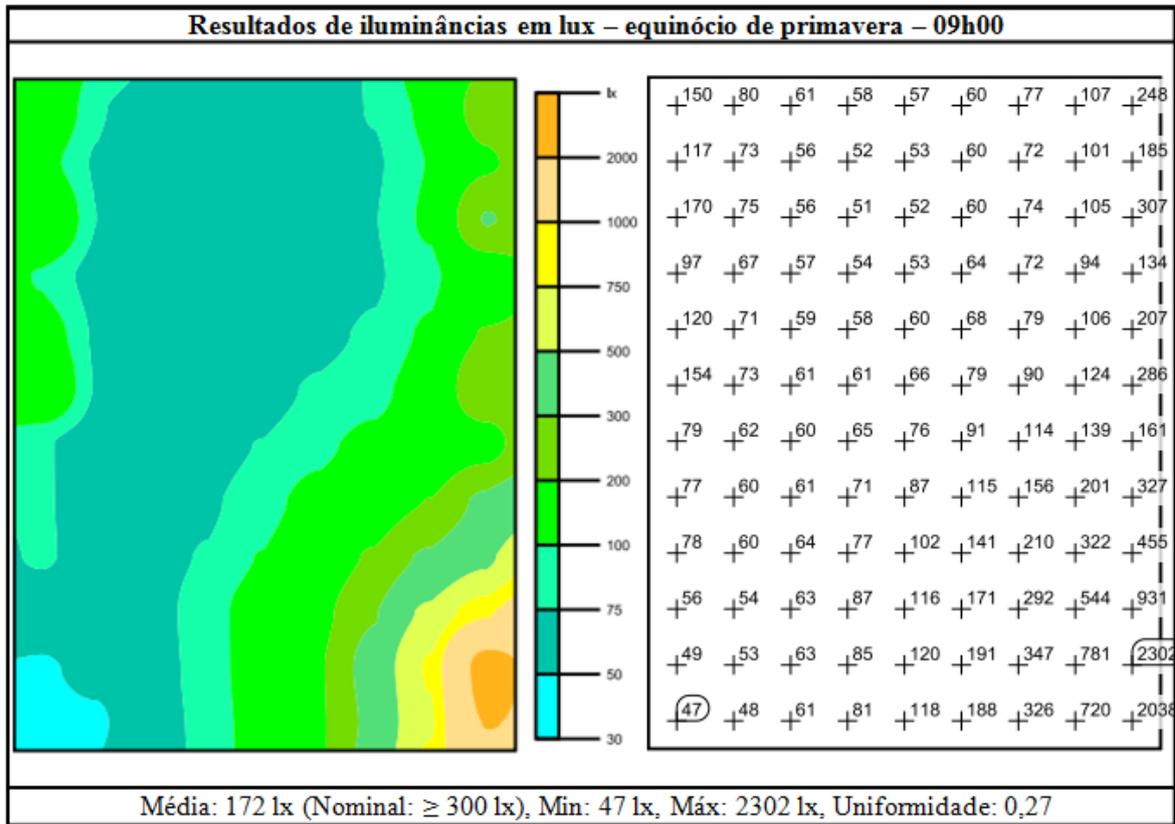


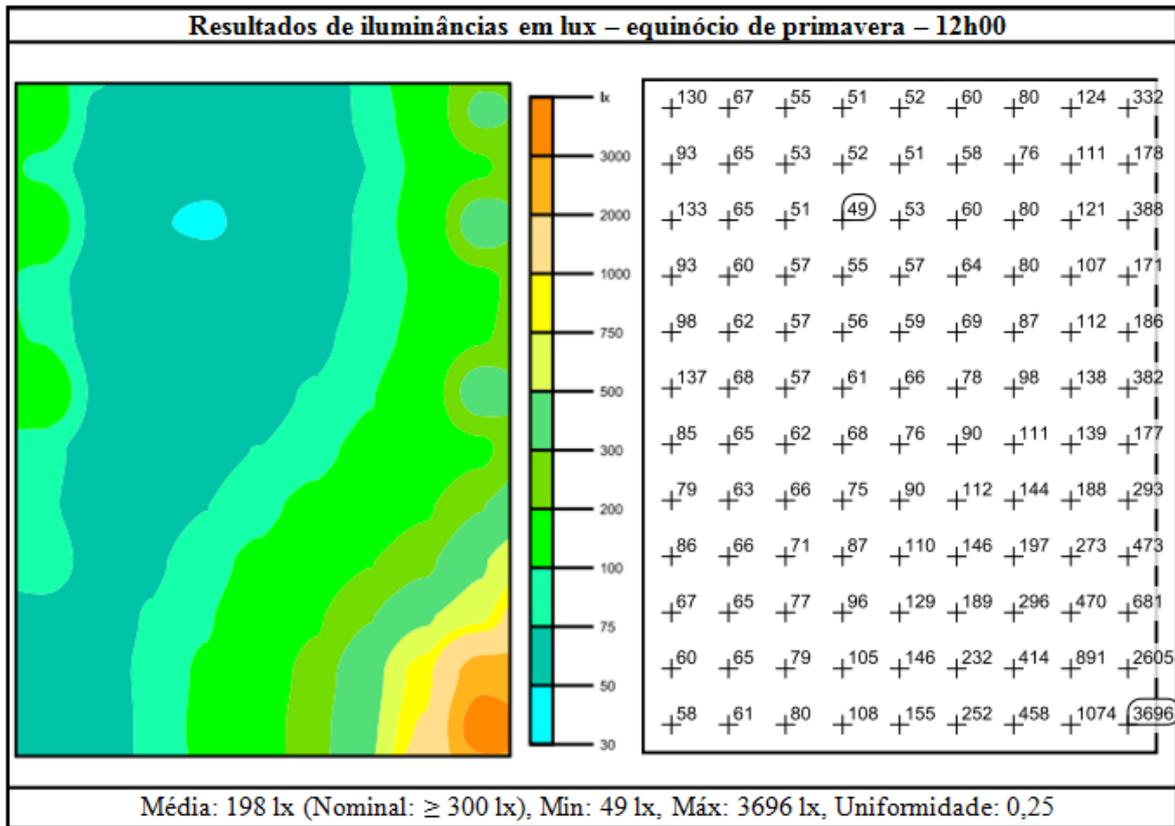


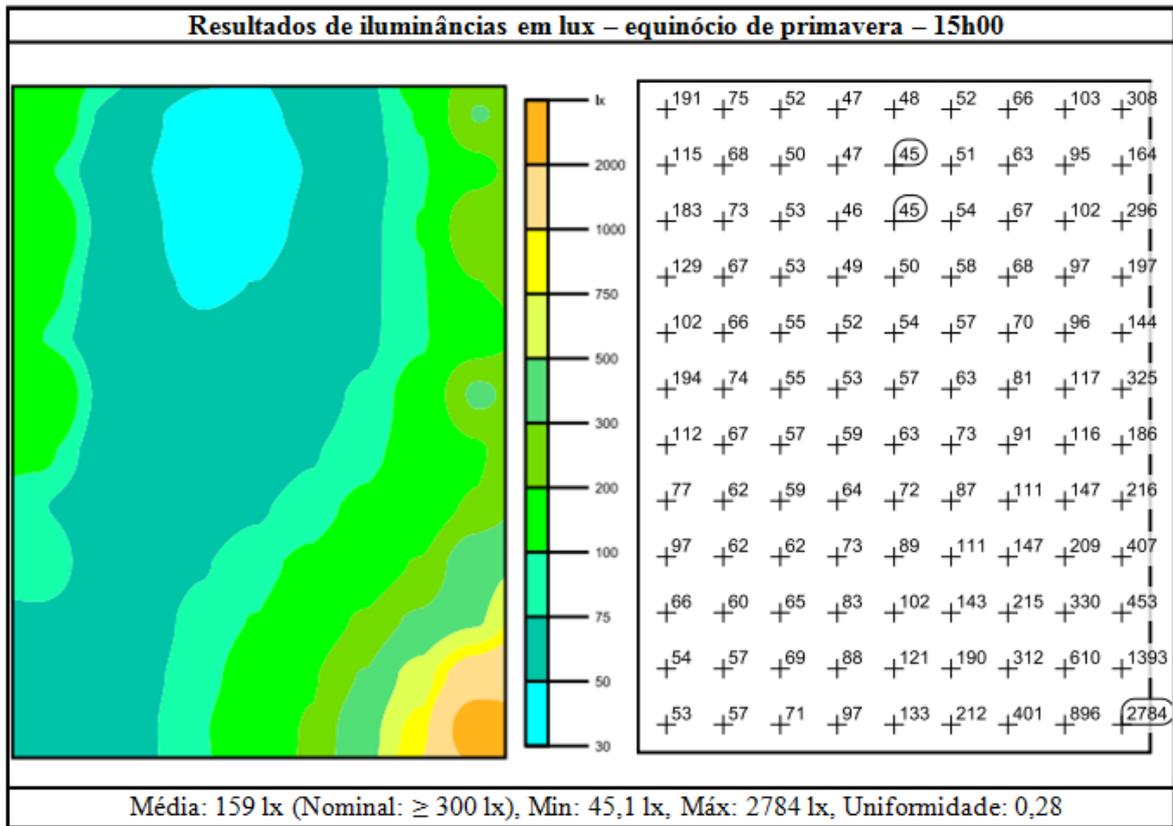


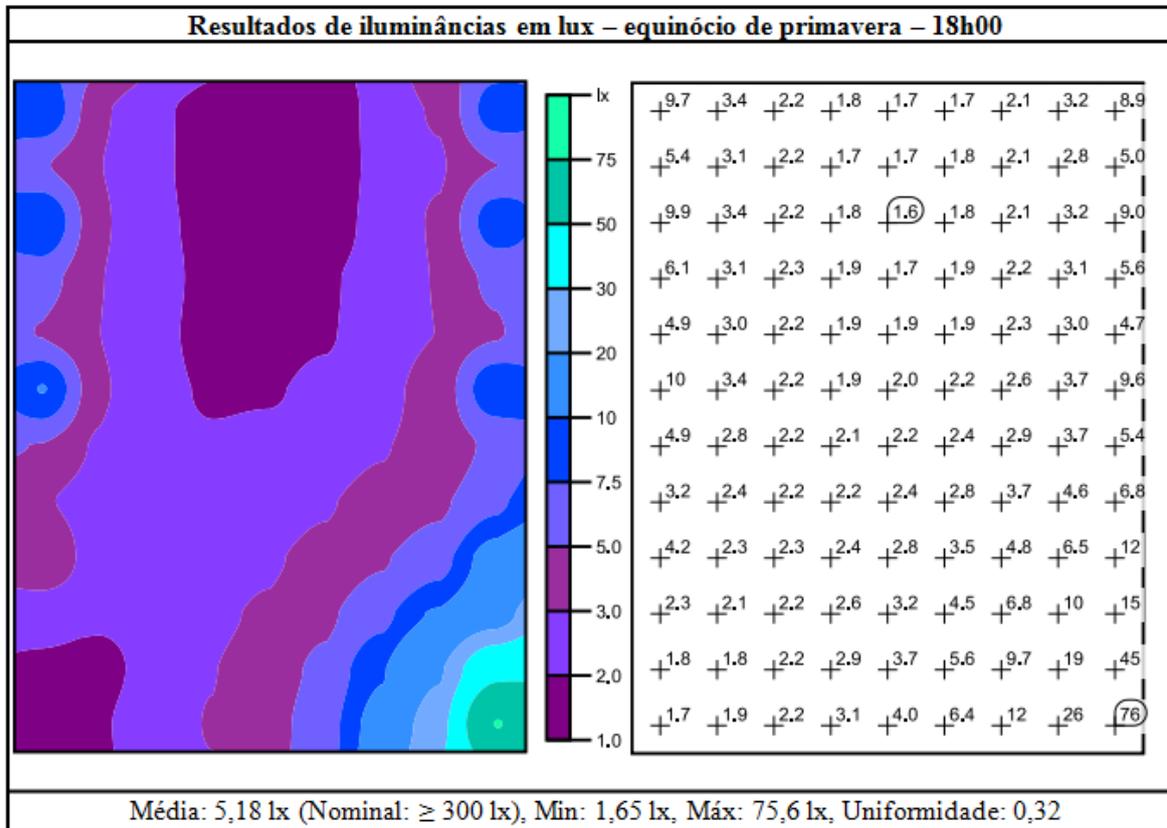








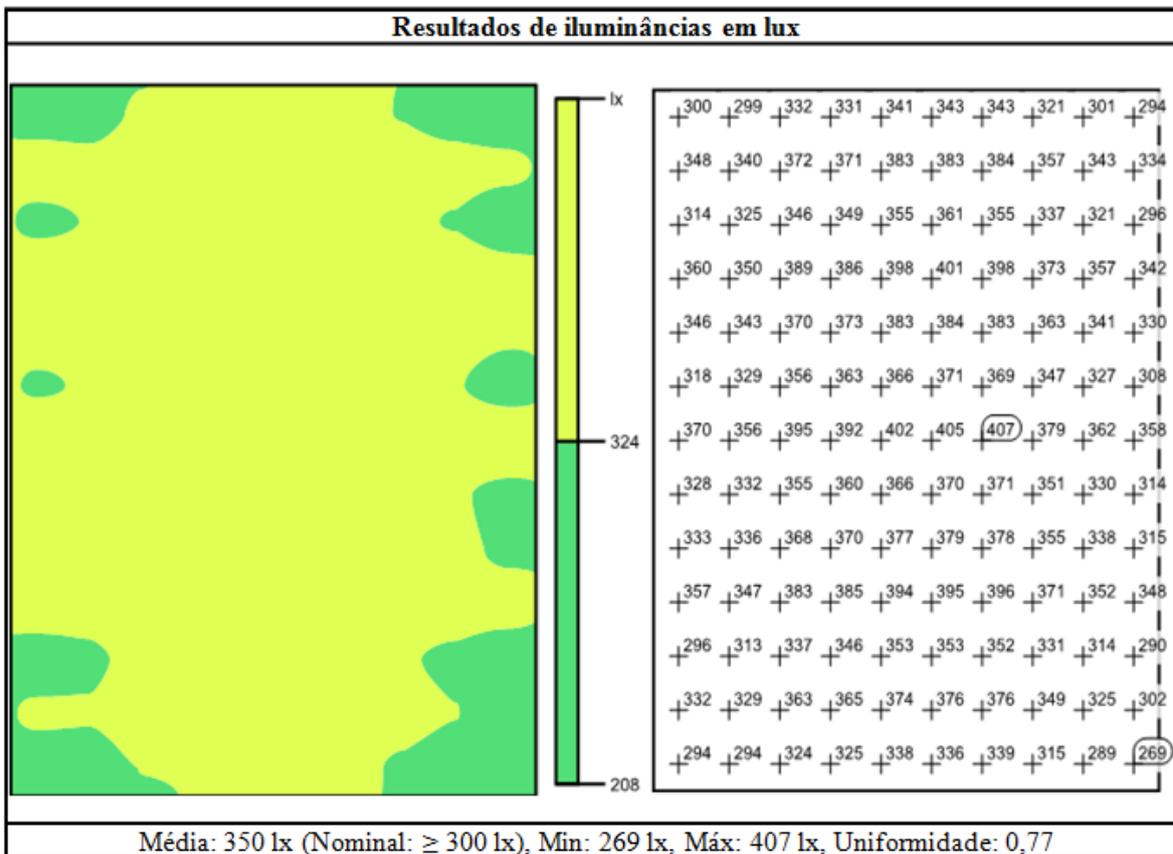




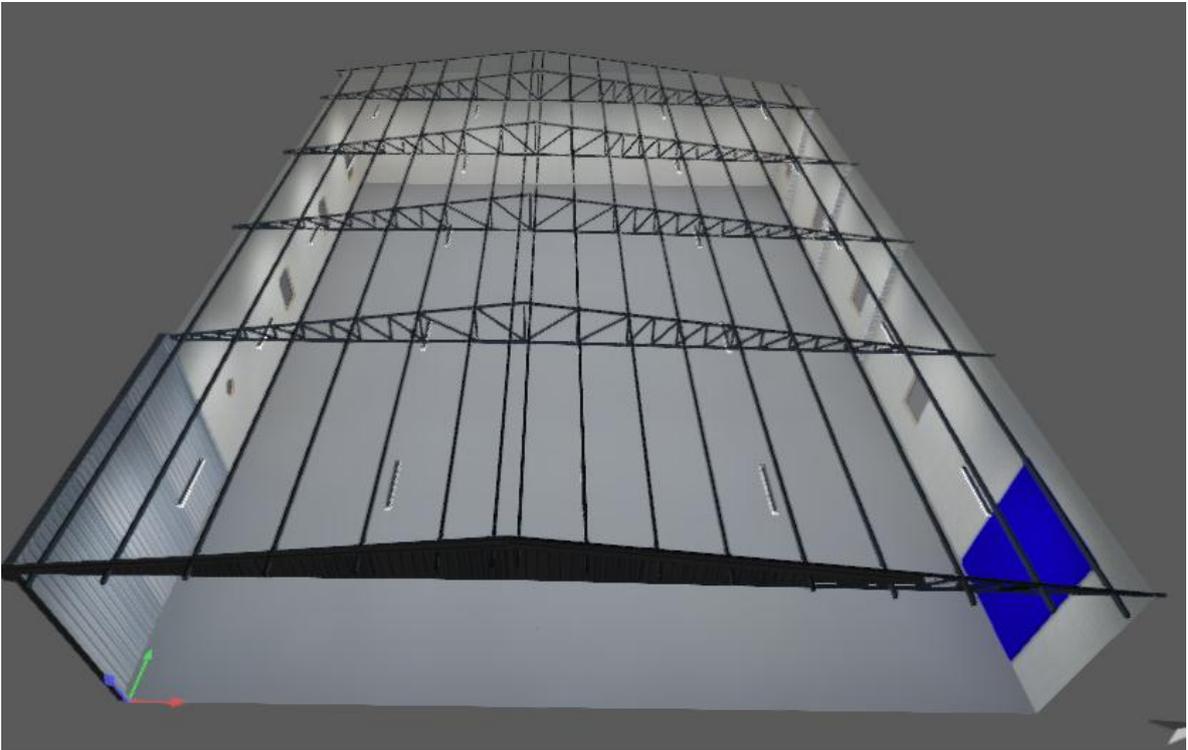
APÊNDICE E – Resultados gerados pelo DIALux evo 8.1 – proposta de sistema de iluminação artificial

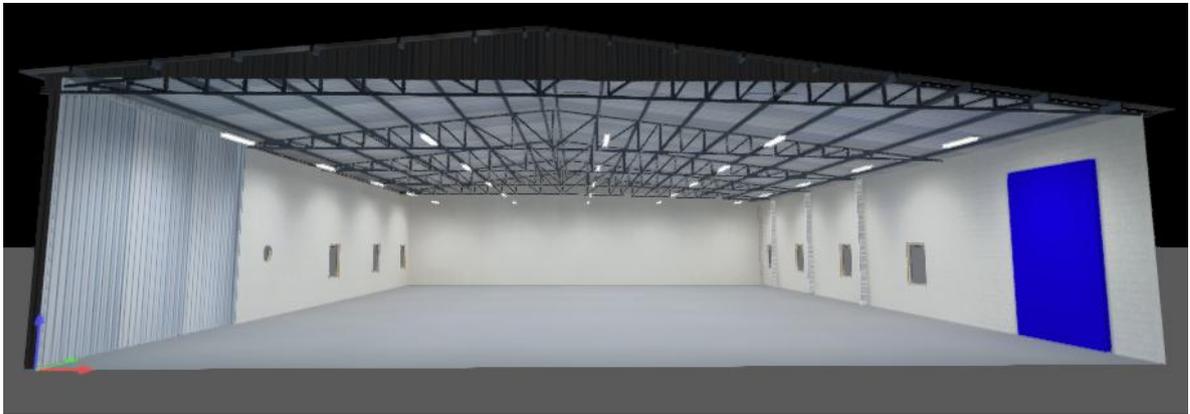
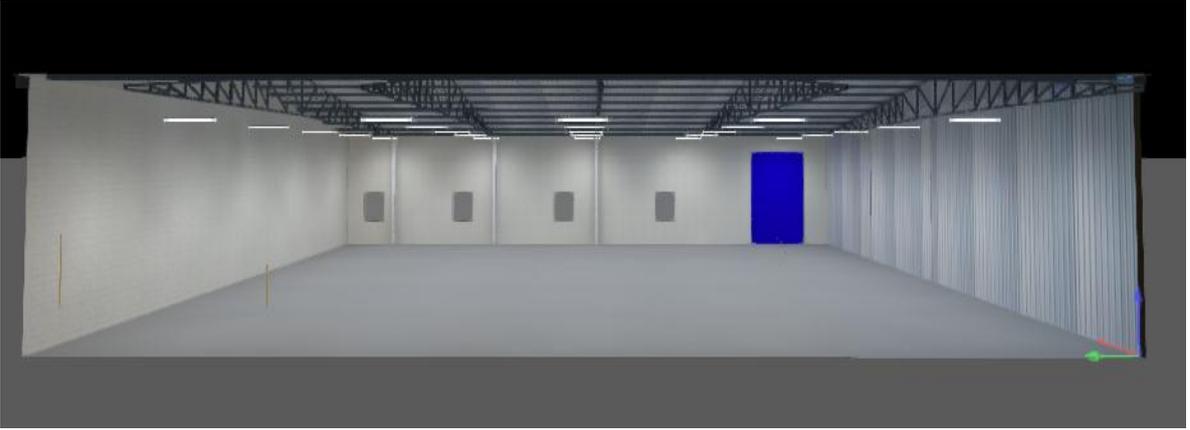
Quantidade	Luminária (Emissão luminosa)		
25	ABALUX - LEDC85-5K Emissão luminosa 1 Equipagem: 1x Grau de actuação operacional: 99.64% Fluxo luminoso de lâmpada: 6585 lm Fluxo luminoso da luminária: 6561 lm Potência: 56.0 W Rendimento luminoso: 117.2 lm/W Indicações colorimétricas 1x: CCT 5000 K, CRI 100	É favor escolher uma imagem de luminária em nosso catálogo de luminárias.	

Fluxo luminoso total das lâmpadas: 164625 lm, Fluxo luminoso total das luminárias: 164025 lm, Potência total: 1400.0 W, Rendimento luminoso: 117.2 lm/W









APÊNDICE F – Resultados gerados pelo DIALux evo 8.1 – proposta de sistema de iluminação natural

