

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Edison Estivaleta Bilhalva Junior**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO:  
IMPACTO ECONÔMICO DO USO DE LÂMPADAS LED E  
PAINÉIS ZENITAIS**

Porto Alegre  
junho 2016

**EDISON ESTIVALETE BILHALVA JUNIOR**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO:  
IMPACTO ECONÔMICO DO USO DE LÂMPADAS LED E  
PAINÉIS ZENITAIS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento 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  
junho 2016

**EDISON ESTIVALETE BILHALVA JUNIOR**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO:  
IMPACTO ECONÔMICO DO USO DE LÂMPADAS LED E  
PAINÉIS ZENITAIS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 29 de junho de 2016

Prof. Miguel Aloysio Sattler  
PhD pela University of Sheffield  
Orientador

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Miguel Aloysio Sattler**  
PhD. pela University of Sheffield

**Prof. Luís Carlos Bonin**  
Ms. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Eugênia Aumond Kuhn**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Estivaleta e Miriam,  
pelo seu apoio e confiança.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Professor Sattler, orientador deste trabalho, pela paciência, ensinamentos e pela confiança. O seu tempo e disposição dedicados. As contribuições, sugestões e ideias foram importantes para o encaminhamento e conclusão deste trabalho. Os princípios de sustentabilidade devem sempre estar presentes em projetos de construção civil, e sua prática nos é incentivada muito por ele.

Aos meus pais, Edison Estivaleta Bilhalva e Miriam Acquolini Estivaleta Bilhalva, e meus irmãos. Sem eles não estaria hoje aqui, e por estarem incondicionalmente ao meu lado.

Ao Clairton e ao Emérton, que sugeriram o tema deste trabalho, forneceram dados e informações importantes para a conclusão do trabalho, pelos ensinamentos passados em relação ao *software*, além de todo conhecimento em iluminação transmitida durante meu período de estágio, e a amizade feita.

Agradeço à Escola de Engenharia, todos os professores, colegas e amigos que conheci durante a vida acadêmica, tenho certeza que todos foram importantes pelos ensinamentos e amizades que levarei comigo durante minha vida e carreira profissional.

Tudo vale a pena, se a alma não é pequena.

*Fernando Pessoa*

## RESUMO

A maioria dos projetos e construções no Brasil não levam em consideração o aproveitamento de luz solar e desempenho energético. Neste sentido, o objetivo do trabalho é analisar o impacto do uso de lâmpadas LED, com sensores de luz e dimerização automática, simultaneamente ao uso de painéis zenitais, na economia de energia de uma sala de aula em uma escola situada na cidade de Feliz, no Rio Grande do Sul. Foram analisados os resultados de consumo de energia da sala, em kWh (quilowatt-hora), com uso de iluminação artificial convencional (lâmpada tubular fluorescente T8), que foram comparados aos resultados obtidos com o uso do software DiaLux EVO 4.3, simulando-se utilização de lâmpadas LED, para o período de um ano. Adicionalmente, parâmetros variáveis, como o uso e não uso de painéis zenitais, adicionados aos dois quadros principais, com o intuito de aumentar a entrada de luz natural dentro da edificação. A contribuição da iluminação natural foi aferida através de modelagem em software específico (VELUX *Daylight Visualizer 3*). Foram calculadas as iluminâncias de acordo com as horas do dia, estações do ano e orientação solar da sala, para diferentes tipos de céu no padrão CIE. O cálculo da redução do consumo de energia das lâmpadas LED, foi feito através da análise de resultados sobre a contribuição da luz natural e necessidade de utilização das mesmas durante os períodos de incidência do sol. Por último, será avaliado o tempo de retorno para o valor investido em mão-de-obra, sistema (lâmpadas, luminárias, painéis e reatores) e manutenção, para ser avaliada a viabilidade de implantação da tecnologia. Como contribuição, este trabalho oferece uma opção para aumentar a eficiência energética das construções, e assim reduzir a demanda de energia da matriz energética brasileira.

Palavras-chave: LED, Dimerização, Painéis Zenitais, Iluminação Natural, Eficiência Energética.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho .....	19
Figura 2 – Iluminância, por classe de tarefas visuais.....	23
Figura 3 – Consumo de energia no uso final .....	39
Figura 4 – Módulo do procedimento do programa de eficiência energética.....	40
Figura 5 – Localização geográfica da cidade de Feliz .....	42
Figura 6 – Vista aérea da escola .....	44
Figura 7 – Curva fotométrica da luminária utilizada na sala de aula .....	47
Figura 8 – Localização das luminárias na sala de aula .....	48
Figura 9 – Carta solar da edificação escolar com transferidor alinhado com fachada Norte e Sul da sala de aula.....	50
Figura 10 – Modelos comparativos de simulação de luz natural.....	52
Figura 11 – Planta baixa da sala de aula com painéis zenitais.....	52
Figura 12 – Comparação entre iluminâncias sem e com painéis zenitais.....	53
Figura 13 – Curva IES da luminária Zinia .....	55
Figura 14 – Componentes do sistema de dimerização automática .....	56
Figura 15 – Modelo do corredor, ambiente interno e fachada da sala de aula, analisado no programa DiaLux Evo, comparado ao real .....	58
Figura 16 – Planta baixa da sala com novo posicionamento de luminárias .....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Refletância das principais superfícies da sala de aula.....	46
Tabela 2 – Estimativa de iluminâncias e potências – Sem painéis zenitais .....	62
Tabela 3 – Estimativa de iluminâncias e potências – Com painéis zenitais .....	63
Tabela 4 – Energia economizada por ano por lâmpada .....	65
Tabela 5 – Custos Iniciais .....	67
Tabela 6 – Custos de energia, custo evitado, vida útil e <i>paybacks</i> dos cenários.....	71

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Retorno do investimento por ano .....	72
---	----

## LISTA DE SIGLAS

Aneel – Agência Nacional de energia Elétrica

CIE – *Comission Internationale l'Éclairage*

IFRS – Instituto Federal Rio Grande do Sul

IPC – Índice de custos ao Consumidor

LED – *Light Emitting Diode*

M&V – Medição e verificação

NORIE – Núcleo Orientado de Inovação da Edificação

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

PEE – Programa de Eficiência Energética

PPGEC – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	16
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	16
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	16
<b>2.2.1 Objetivo Principal</b> .....	16
<b>2.2.2 Objetivos Secundários</b> .....	16
2.3 PRESSUPOSTO.....	17
2.4 PREMISA. ....	17
2.5 DELIMITAÇÕES.....	17
2.6 LIMITAÇÕES .....	17
2.7 DELINEAMENTO.....	18
<b>3 ILUMINAÇÃO</b> .....	21
3.1 CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO .....	22
<b>3.1.1 Fluxo Luminoso</b> .....	22
<b>3.1.2 Iluminância</b> .....	22
<b>3.1.3 Luminância</b> .....	23
<b>3.1.4 Ofuscamento</b> .....	24
<b>3.1.5 Fluxo Energético</b> .....	24
<b>3.1.6 Intensidade Luminosa</b> .....	25
<b>3.1.7 Eficiência Luminosa</b> .....	25
<b>3.1.8 Contraste</b> .....	26
<b>3.1.9 Índice de Reprodução de Cor</b> .....	26
<b>3.1.10 Temperatura de Cor</b> .....	26
3.2 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....	27
<b>3.2.1 Lâmpadas</b> .....	27
3.2.1.1 Lâmpadas Incandescentes.....	27
3.2.1.2 Lâmpadas Fluorescentes .....	28
3.2.1.3 Lâmpadas de Vapor de Mercúrio de Alta pressão.....	28
3.2.1.4 .Lâmpadas de Vapor Metálico.....	28
3.2.1.5 Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão.....	28
3.2.1.6 Lâmpadas LED.....	29
<b>3.2.2 Luminárias</b> .....	29
<b>3.2.3 Sistemas de Controle</b> .....	30

3.2.3.1 Sensor Fotoelétrico .....	30
3.2.3.2 <i>Dimmer</i> .....	31
3.2.3.3 Sensor de Presença.....	31
3.3 CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO NATURAL.....	31
<b>3.3.1 Luz Natural e Qualidade de Vida .</b> .....	32
<b>3.3.2 Iluminação Zenital</b> .....	33
<b>3.3.3 Luz do sol e do céu</b> .....	35
<b>3.3.4 Fator Luz do Dia (FLD)</b> .....	35
<b>3.3.5 Projetos Luminotécnicos</b> .....	36
3.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PROJETOS DE ILUMINAÇÃO.....	37
<b>3.4.1 Conservação de Energia</b> .....	38
<b>3.4.2 Implementação de Programas de Eficiência Energética</b> .....	39
<b>3.4.3 Viabilidade Econômica de Projetos</b> .....	40
<b>4 CARACTERIZAÇÃO DA ESCOLA</b> .....	42
4.1 ASPECTOS GEOGRÁFICOS.....	42
4.2 PROJETO DA EDIFICAÇÃO ESCOLAR.....	43
<b>4.2.1 Materiais e técnicas construtivas empregadas</b> .....	45
<b>4.2.2 Sistema de iluminação atual</b> .....	46
<b>5 SIMULAÇÃO DA LUZ NATURAL PARA A SALA DE AULA</b> .....	49
5.1 CARTA SOLAR.....	49
5.2 SOFTWARE VELUX <i>DAYLIGHT VISUALIZER 3</i> .....	50
5.3 PARÂMETROS DE ANÁLISE.....	51
5.4 RESULTADOS DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	53
<b>6 ANÁLISE DE SOLUÇÕES E PROPOSTAS DE PROJETO</b> .....	54
6.1 CENÁRIOS PROPOSTOS DE ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL.....	54
6.2 SOFTWARE DIALUX EVO 4.3.....	56
6.3 PROJETOS LUMINOTÉCNICOS.....	58
<b>6.3.1 Resultado da iluminação do cenário 1</b> .....	59
<b>6.3.2 Resultado da iluminação do cenário 2</b> .....	59
<b>6.3.3 Resultado da iluminação do cenário 3</b> .....	60
<b>6.3.4 Resultado da iluminação do cenário 4</b> .....	62
<b>7 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</b> .....	64
7.1 CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	64
7.2 ANÁLISE ECONÔMICA.....	66
<b>7.2.1 Investimentos Iniciais</b> .....	67

<b>7.2.2 Método de Cálculo do Payback.....</b>	<b>67</b>
7.2.2.1 Economia Anual dos Custos de Energia.....	68
7.2.2.2 Economia Anual de Manutenção.....	69
7.2.2.3 Retorno de investimento por ano do cenário.....	70
<b>8 CONCLUSÕES.....</b>	<b>73</b>
REFERÊNCIAS .....	75
APÊNDICE A.....	77
APÊNDICE B.....	82
APÊNDICE C.....	92
APÊNDICE D.....	97
APÊNDICE E.....	102



## 1 INTRODUÇÃO

A energia em forma de luz é extremamente relevante para a população, tanto em qualidade de vida quanto para a produtividade na sociedade. Antigamente, o uso da iluminação se limitava aos períodos de incidência do sol. Com a invenção do fogo e o domínio de tochas e lamparinas à base de cera o homem conseguiu iluminação à noite. O grande salto para o problema de iluminação deu-se com a invenção das lâmpadas incandescentes.

Desde a invenção das primeiras lâmpadas incandescentes, nas quais a energia em forma de calor é convertida em luz, com uma eficiência muito baixa, as diretrizes da iluminação passaram por uma série de transformações. A tendência mundial é o uso de lâmpadas com a maior eficácia luminosa possível, objetivando uma melhor iluminação com a menor potência, otimizando o uso de iluminação natural. Costa (2005, p. 1) afirma que “[...] o correto dimensionamento dos sistemas de iluminação e o uso adequado de seus equipamentos se tornam cada vez mais importantes, uma vez que o segmento de iluminação, em geral, corresponde a aproximadamente 17% do consumo total de energia elétrica no País.”.

A melhor tecnologia em lâmpadas encontrada atualmente no mercado é a LED (*Light Emitting Diode*), que são diodos emissores de luz, reduzindo em 50% o consumo energético comparado a de lâmpadas fluorescentes, e em até 80%, se comparado às lâmpadas incandescentes. Destaca-se a sua longa vida útil (podendo chegar a 100.000 horas) e alta eficiência luminosa (90 lm/W). Seu consumo pode ser regulado em sistemas que possuem dimerização, que consiste em variar a intensidade de luz manual ou automaticamente, quando há incidência de luz externa, onde não há necessidade de utilizar a sua potência máxima.

No quesito tocante à iluminação natural uma ótima alternativa para substituir luminárias durante os períodos de incidência de sol é usar a iluminação zenital, que ocorre através de aberturas localizadas nos tetos e coberturas da edificação. Segundo Phillips (2004, p. 23), os painéis zenitais permitem que a luz do dia entre através de uma abertura envidraçada no teto, a qual protege o interior de intempéries.

O uso conjunto de iluminação natural junto e lâmpadas pode reduzir o consumo energético a zero durante os períodos de maior incidência de sol. Neste contexto, o objetivo do trabalho é avaliar o impacto econômico da utilização de lâmpadas LED, junto de painéis zenitais.

Ao avaliar a redução de consumo de energia, deve-se verificar a viabilidade do investimento. Algumas entidades proporcionam e promovem programas de eficiência energética, como a Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica), que elaborou um manual de procedimentos, com sua descrição e detalhamento, para diversos sistemas consumidores de energia, que servem de base para sua verificação. A metodologia usada no presente trabalho será oriunda de cálculos de engenharia econômica e matemática financeira, aplicados no segmento da iluminação, apresentando ainda, o tempo de retorno do investimento através da economia de energia.

Foi avaliada uma sala de aula em uma escola na cidade de Feliz, que já foi objeto de estudos de outros pesquisadores e estudantes na área da sustentabilidade, na Engenharia Civil da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Este trabalho tratará de uma proposta para o seu projeto Luminotécnico, buscando aperfeiçoar a sua eficiência.

## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

A metodologia de pesquisa deste trabalho será empírica, com levantamento de dados e análise dos mesmos. As diretrizes para o desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão da pesquisa deste trabalho é: qual o tempo de retorno para um valor investido, e a sua conseqüente viabilidade econômica, para implementação de um projeto luminotécnico, que empregue o uso otimizado de lâmpadas LED e painéis zenitais, simultaneamente, comparativamente a outras propostas possíveis?

### **2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA**

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários, e são descritos a seguir.

#### **2.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal deste trabalho é a comparação entre os consumos de energia elétrica e a o tempo de retorno do investimento, entre diversas propostas, ao se fazer uso de lâmpadas LED e painéis zenitais, simultaneamente, voltado a uma sala de aula de uma escola da cidade de Feliz.

#### **2.2.2 Objetivos secundários**

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) análise da iluminação natural para a escola, por modelagem no programa “*VELUX Daylight Visualizer 3*”;
- b) análise dos projetos luminotécnicos elaborados para o estudo;

- c) determinação quantitativa da energia economizada através da simulação do uso de lâmpadas de LED com dimerização automática;
- d) apresentação da avaliação, do tempo de retorno de investimento e viabilidade econômica dos projetos luminotécnicos estudados.

## 2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que os resultados gerados pelos *softwares* VELUX *Daylight Visualizer* e DiaLux Evo, os cálculos de viabilidade econômica, a NBR 5413/1992 – Iluminância de Interiores e NBR ISO/CIE 8995 - Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1 são válidos para o estudo proposto.

## 2.4 PREMISSE

O trabalho tem por premissa que deve haver preocupação com o consumo de energia sem perda de desempenho lumínico da edificação, já que existem diversos tipos de lâmpadas disponíveis, assim como outros recursos para tal fim.

## 2.5 DELIMITAÇÕES

O estudo é delimitado à análise de uma sala de aula de uma escola, construída na cidade de Feliz, RS, e que conta com estudos preliminares na área de iluminação.

## 2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) os requisitos mínimos de iluminância para o ambiente da sala de aula da escola estudada;
- b) serão utilizados somente os seguintes softwares, de cálculo Luminotécnico:
  - programa VELUX *Daylight Visualizer* 3;
  - programa DiaLux Evo 4.3;
- c) os projetos lumínicos aferidos, com ou sem painéis zenitais. Contarão com os seguintes tipos de lâmpadas,
  - convencional (lâmpadas usada do tipo fluorescente T8);

- lâmpadas LED;
- lâmpadas LED com dimerização automática e sensores de luz.

## 2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na Figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

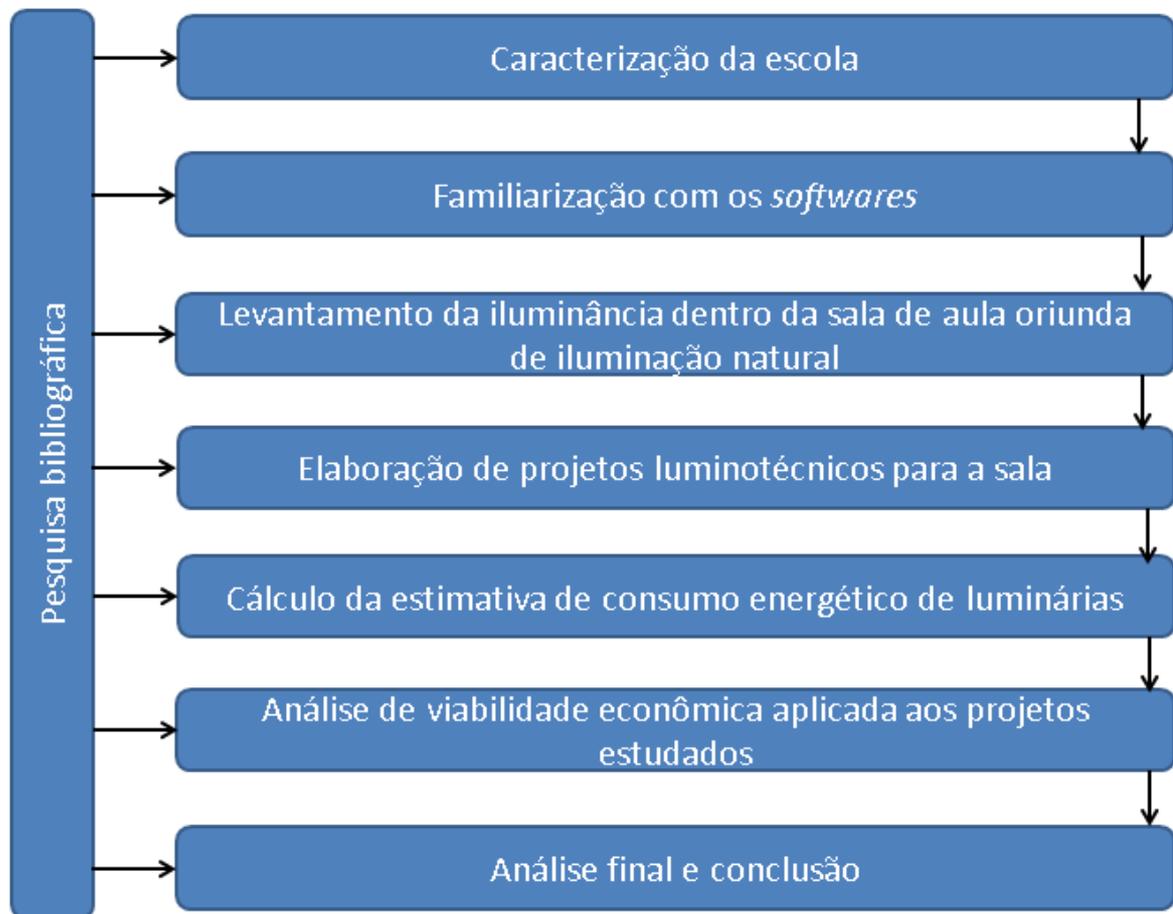
- a) pesquisa bibliográfica;
- b) caracterização da escola e da sala de aula objeto de estudo;
- c) familiarização com os softwares;
- d) identificação da iluminância, dentro da sala de aula, oriunda de iluminação natural;
- e) elaboração de projetos luminotécnicos para a sala de aula;
- f) cálculo da estimativa de consumo energético das luminárias;
- g) análise de viabilidade econômica dos projetos estudados;
- h) análise final e conclusão.

Na pesquisa bibliográfica, inicia-se o trabalho através da busca e aprofundamento na literatura técnica e científica dos temas pesquisados e abordados, tratando de iluminação, incluindo o uso de luminárias e iluminação natural, abrangendo a eficiência energética dos mesmos, e informações sobre métodos de definição de efficientização do uso de energia. O conteúdo destes capítulos servirá de embasamento teórico para a elaboração do presente trabalho, desde a caracterização da escola, até os resultados e conclusões.

Após a primeira parte, tem-se a **caracterização da escola e da sala de aula objeto de estudo**. Nesta fase será feita a análise do projeto arquitetônico da sala e das características da escola, visando à futura aferição de um projeto luminotécnico, com a otimização de locação de luminárias e de painéis zenitais.

A **familiarização com os softwares** faz parte da fase de aprofundamento de conhecimento sobre os softwares utilizados nesta pesquisa. Buscar-se-ão informações sobre seus potenciais, para fins de modelagem da escola. Os programas escolhidos foram: *VELUX Daylight Visualizer 3* e *DiaLux Evo 4.3*. Informações a seu respeito foram adquiridas através de leitura de trabalhos publicados e manuais dos fabricantes.

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho



(fonte: elaborado pelo autor)

Foi realizado o **levantamento da iluminância dentro da sala de aula**, com auxílio do programa VELUX *Daylight Visualizer* 3. O objetivo é avaliar a distribuição de luz natural no recinto, de acordo com a sua localização, ao longo das horas do dia e em diferentes períodos do ano. Recomendações devem ser atendidas para a sua iluminância segundo a NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) e NBR ISO/CIE 8995 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

A **elaboração de projetos luminotécnicos para a sala de aula** foi feita em software, após modelagem no software DIALux Evo 4.3. Com a modelagem da escola sendo um parâmetro fixo, dependente da escolha de luminárias e esquadrias, incluídos os painéis zenitais, torna-se possível ajustar o seu dimensionamento e fazer uma melhor comparação entre os sistemas.

Os resultados da iluminância no interior da sala de aula estudada e os dados técnicos do fabricante das lâmpadas em LED possibilita **estimar o consumo energético de luminárias**.

A estimativa permite calcular o quanto as lâmpadas consomem durante o seu período de uso, de modo à completar a luz natural, para atingir o nível de iluminância mínimo estabelecido por norma.

A **análise de viabilidade econômica das diversas alternativas de iluminação aplicada aos projetos estudados** foi feita com todos os resultados obtidos, aplicando os métodos de cálculo analisados e procedimentos para melhorar a eficiência energética. Por fim, a **análise final e conclusão**, é efetuada a partir da análise de resultados que busca responder a questão da pesquisa, e deste modo, calcular a economia de energia elétrica e a viabilidade econômica, para a implementação de um projeto luminotécnico que otimize o uso de simultâneo de lâmpadas LED com dimerização automática e painéis zenitais.

### 3 ILUMINAÇÃO

A iluminação interfere diretamente na percepção do homem sobre o ambiente, o que o torna um ser essencialmente visual. Antigamente, obtinha-se a luz com o fogo; nos tempos atuais, o ser humano se preocupa com o uso de luz, com o menor gasto de energia possível (COSTA, 2005, p. 16). Segundo Costa (2005, p. 17), “O usuário tem o direito de ter um sistema de iluminação adequado à sua necessidade e orientado para uma conservação energética.”. Para Lamberts et al. (2004, p. 57), para um bom nível de iluminação, deve buscar o conforto visual sobre o local de trabalho, não permitindo ofuscamento e estabelecendo uma boa definição de cores, com sombras e contrastes adequados.

As recentes crises no setor energético do Brasil nos estabelecem em um novo patamar na arquitetura da luz. A importância da luz natural e a redução de consumo de iluminação artificial serão de importância terminante, com mais entrada de luz natural nas edificações, através de melhor desempenho dos vidros em fachadas, e de lâmpadas com melhores eficiências energéticas (VIANNA, GONÇALVES, 2001, p. 3).

Uma boa iluminação é determinante para a saúde e qualidade de vida das pessoas, conforme descreve Costa (2005, p. 16), “A substituição da fadiga dos músculos pela máquina, acarreta a fadiga dos olhos e o homem começa a sistematizar de forma científica o estudo da iluminação.”.

A opinião de Steffy (2008, p. 1 tradução nossa) também dá importância à luz:

A luz tem efeitos diretos e indiretos sobre a saúde e bem-estar. Por exemplo, o ofuscamento pode resultar em má ergonomia (como as pessoas se adaptam para evitar o ofuscamento). A visibilidade de tarefas, e, portanto, a precisão e/ou a velocidade e/ou o volume de trabalho pode ser prejudicado com pouca iluminação. O projeto de iluminação deve abordar estes e outros problemas fisiológicos e psicológicos.

Vianna e Gonçalves (2001, p. 3) acrescentam que a luz, relacionada à habitabilidade, é fundamental para a satisfação do homem com o seu principal objetivo, e é parâmetro variável do conforto ambiental.

## 3.1 CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO

O conhecimento das grandezas e unidades empregadas em iluminação, como em qualquer ramo de conhecimento, é extremamente importante para seu dimensionamento e estudo. A seguir, com base em pesquisa bibliográfica, serão apresentados os principais conceitos e grandezas fotométricas, para iluminação natural e artificial, necessários na aferição de projetos de luminotécnica.

### 3.1.1 Fluxo Luminoso

Costa (2005, p. 197) caracteriza o fluxo luminoso 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.”. Para Vianna e Gonçalves (2001, p. 68), “[...] é um dado final de projeto, mais que um dado inicial. Determinado, também, pelo sistema de iluminação artificial adotado e pelo tipo de lâmpada, em função do nível de iluminância que desejamos obter em nosso projeto.”. De acordo com Moreira (1999, p. 17), o fluxo luminoso é a “[...] grandeza característica de um fluxo energético, exprimindo sua aptidão de produzir uma sensação luminosa no ser humano, através do estímulo da retina ocular [...]”. Sua unidade é o lúmen (lm).

### 3.1.2 Iluminância

Segundo a NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 1), a iluminância é 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.”. Sua unidade é o lux (lx), que representa um lúmen por metro quadrado.

Vianna e Gonçalves (2001, p. 74) explicam, que “como o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, a iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão.”. Deve-se examinar a iluminância média dos pontos em um ambiente, para a verificação se o local está de acordo com os limites necessários. A NBR 5413 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 2), classifica os níveis de iluminância por classe de tarefas visuais, de acordo com o tipo de atividade a ser exercido, como pode ser visto na

Figura 2, para níveis na medida do campo de trabalho, usando-se a referência de 75 centímetros acima do plano do piso.

Figura 2 – Iluminância, por classe de tarefas visuais

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

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 2)

### 3.1.3 Luminância

Segundo Moreira (1999, p. 18), luminância é 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.”. Sua unidade é o candela por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

Ilustrando de forma prática, Costa (2005, p. 231), explica que “as partes sombreadas são aquelas que apresentam menor luminância, em oposição às outras, com maior iluminância.”. Vianna e Gonçalves (2001, p.71), afirmam que a diferença entre iluminância e luminância é que uma é luz incidente, não visível, e a outra é a luz refletida e visível, sendo a sensação de luminosidade de corrente da reflexão desses raios por uma superfície.

### **3.1.4 Ofuscamento**

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.” Os autores ainda citam que ele pode incidir de duas maneiras diversas: por contraste, onde a proporção entre as luminâncias de dois objetos dentro do campo de visão estejam em proporção maior que 10:1, ou por saturação, onde o olho é deslumbrado por luz em demasia e ocorre quando a luminância média do ambiente é igual ou maior que 25.000 cd/m<sup>2</sup>.

O ofuscamento pode ocorrer diretamente, pela visão direta da fonte de luz, ou indiretamente, por reflexão. Classifica-se em perturbador e inibidor, diferenciando-se pelo grau de perturbação que provoca consequência de contrastes excessivos de luminâncias. A existência de contrastes excessivos interfere impetuosamente no conforto visual, inclusive causando danos aos olhos muito rapidamente (VIANNA; GONÇALVES, 2001, p. 101).

### **3.1.5 Fluxo Energético**

Vianna e Gonçalves (2001, p. 67-68) dizem que o fluxo energético “é a potência transportada por todas as formas de radiação presentes no feixe energético, incluindo a luz visível, a infravermelha e a ultravioleta.”. Sua unidade é o Watt (W). Para estes autores, em uma aplicação prática, pode-se perceber que esse é um parâmetro importante, pois impacta no consumo de energia de construções. Está relacionado ao número total de lâmpadas que serão usadas na escolha do sistema artificial de iluminação. Moreira (1999, p. 11), de forma contrária, define esta unidade como fluxo radiante, afirmando que pode ser expresso por uma ou mais unidades de energia, como por exemplo, watt-hora (Wh), quilowatt-hora (kWh), joule (J), etc..

### 3.1.6 Intensidade Luminosa

A definição de intensidade luminosa, para Costa (2005, p. 205), é “como a relação entre o fluxo elementar  $d\phi$  e o respectivo ângulo sólido  $d\omega$ , na direção  $\alpha$  do eixo do feixe luminoso.”. Na definição de Vianna e Gonçalves (2001, p. 68), deve-se adotar “[...] um vetor para cada direção; o seu comprimento indica uma intensidade luminosa, sendo, portanto, o fluxo luminoso irradiado na direção de um determinado ponto.”. Sua unidade é o candela [cd].

Para Moreira (1999, p. 12), as fontes industriais de luz não possuem distribuição uniforme de intensidades luminosas, havendo três tipos de classificações, em relação às suas médias:

- a) intensidade luminosa-média horizontal: é a média dos valores da intensidade luminosa medida em todas as direções de um plano horizontal, passando pelo centro da fonte luminosa;
- b) intensidade média-esférica: é a média dos valores da intensidade luminosa, medida em todas as direções do espaço;
- c) fator de redução esférica: é o quociente da intensidade média esférica para a intensidade média horizontal.

### 3.1.7 Eficiência Luminosa

De acordo com Moreira (1999, p.17), “Eficiência luminosa ( $\eta$ ) de uma fonte luminosa, é a relação entre o fluxo luminoso total emitido pela fonte e a potência por ela absorvida.”, segundo a fórmula:

$$\eta = \phi / P$$

Sendo:

$\phi$  = o fluxo luminoso, em lúmen (lm);

P = o fluxo radiante ou potência absorvida, em watts (W);

$\eta$  = a eficiência luminosa, em lúmen/watts.

A aplicação da eficiência luminosa, segundo Vianna e Gonçalves (2001, p. 68), “[...] é muito útil, quando de análises econômicas e de consumo energético das instalações de iluminação artificial. Torna-se um parâmetro importante na comparação entre lâmpadas.”.

### **3.1.8 Contraste**

Para 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.”. A NBR 5461 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991) diz que, em sentido perceptivo, “é a avaliação da diferença de aspecto de duas ou mais partes do campo observado, justapostos no espaço de tempo.”, e em sentido psicofísico, que “é uma grandeza associada à diferença de luminosidade percebida, geralmente definida por uma fórmula, em que se consideram as luminâncias dos estímulos considerados.”.

### **3.1.9 Índice de Reprodução de Cor**

Índice de reprodução de cor, para Moreira (1999, p. 22), “[...] é a medida de correspondência entre a cor real de um objeto e sua aparência, diante de uma fonte de luz. Corresponde a um número abstrato, variando de 0 a 100 [...]”, permitindo aferir se as cores tem maior ou menor fidelidade, quando comparas à luz solar, em ordem crescente. Lâmpadas com IRC mais altos têm melhor fidelidade e precisão das cores.

### **3.1.10 Temperatura de Cor**

A temperatura de cor, constante em projetos luminotécnicos, é uma importante característica ligada a sua aplicação, pois expressa a aparência emitida pela fonte de luz. Moreira (1999, p. 20-21) explica que “é a grandeza que expressa a aparência de cor de uma luz. Sua unidade é o Kelvin (K). Quanto mais alta é a temperatura de cor, mais branca é a cor da luz.”. Cores mais quentes tendem ao vermelho e cores mais frias tendem ao azul. As temperaturas de lâmpadas variam de 2000 K até 6.100 K.

## 3.2 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Nas construções e mesmo na arquitetura, a principal fonte de luz sempre foi a natural. Com a descoberta da eletricidade e seu potencial, as edificações se tornaram cada vez mais condicionadas à utilização de luz artificial, principalmente após o advento de edifícios ou obras em que a luz natural não conseguia vencer alguns vãos ou entrar em cômodos internos. Nesse contexto, a luz artificial permitiu ao homem a comodidade de realizar tarefas à noite, tanto para lazer, como para qualquer outra atividade (LAMBERTS et al., 2004, p.232-233).

A iluminação artificial deve ser compreendida em sua interação com a iluminação natural, de modo a relacioná-los no projeto, tendo em vista as características de lâmpadas e luminárias e a atividade a ser executada (VIANNA; GONÇALVES, 2001, p. 189). Serão vistos, nos próximos itens, os principais tipos de lâmpadas usados atualmente, tipos de luminárias e principais sistemas de controle de iluminação.

### 3.2.1 Lâmpadas

Desde a invenção, no século XIX, das primeiras lâmpadas viáveis comercialmente, foram criados os mais diversos tipos, para diversas aplicações. Lamberts et al. (2004, p. 233), classificam as lâmpadas elétricas em dois tipos básicos: por irradiação por efeito térmico, que são as lâmpadas incandescentes; e por descarga com gases e vapores, que são as lâmpadas fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio, etc. Hoje em dia existem, ainda, diversos tipos de lâmpadas que foram aprimoradas e viabilizadas comercialmente não citadas pelo autor, mostrando que são tecnologias bem recentes. A seguir, serão comentados os principais tipos de lâmpadas.

#### 3.2.1.1 Lâmpadas incandescentes

A lâmpada incandescente transforma energia elétrica em energia luminosa e térmica, sendo o primeiro aparelho prático que permitiu utilizar eletricidade na iluminação. Segundo Vianna e Gonçalves (2001, p. 207) emitem luminosidade através do aquecimento de um filamento de tungstênio, num processo de passagem da corrente elétrica por ele. A reprodução chega bem

próxima a 100%. Aproximadamente 10% da energia consumida é transformada em luz, tornando-se um dos piores tipos, no quesito de eficiência energética.

#### 3.2.1.2 Lâmpadas Fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes, como descreve Moreira (1999, p. 84) “São lâmpadas de descarga a baixa pressão, podendo ter cátodos quentes ou cátodos frios. [...] procura-se obter o máximo de radiação ultravioleta (253,7 nm), que será transformada em luz visível, pela camada que recobre internamente o bulbo.”.

Vianna e Gonçalves (2001, p. 208), classificam as lâmpadas fluorescentes em dois tipos: tubulares, que são de alta eficiência e longa durabilidade, viabilizadas em áreas comerciais e industriais; e compactas, de grande economia, vida útil mais longa que a anterior, podendo precisar de reator eletrônico, dependendo do modelo.

#### 3.2.1.3 Lâmpadas de Vapor de Mercúrio de Alta Pressão

A lâmpada de mercúrio de alta pressão, segundo Vianna e Gonçalves (2001, p. 58), “[possui] radiação de energia na região visível do espectro nos comprimentos de onda de amarelo, verde e azul.”. Tem eficácia luminosa de 55 lm/W e tem seu principal uso na indústria e iluminação pública.

#### 3.2.1.4 Lâmpadas de Vapor Metálico

A lâmpada de vapor metálico é mais eficaz e reproduz melhor as cores que as de vapor de mercúrio. Tem eficácia de 70 a 90 lm/W, precisa de um ignitor para iniciar seu funcionamento e seu principal uso é em iluminação de estádios e ginásios de esporte, uso público e estacionamentos (VIANNA; GONÇALVES, 2001, p. 208).

#### 3.2.1.5 Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão

Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, segundo o PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (2011, p. 25) “são lâmpadas com altíssima eficiência energética, até 130 lm/W, longa durabilidade e, conseqüentemente, tem longos intervalos para reposição.”. O mesmo autor também afirma que são “amplamente utilizadas na iluminação externa, avenidas, auto-estradas, viadutos, complexos viários, etc., têm seu uso

ampliado para áreas industriais, siderúrgicas e ainda para locais específicos, como aeroportos, estaleiros, portos, ferrovias, pátios e estacionamentos.”.

### 3.2.1.6 Lâmpadas LED

As lâmpadas LED são um exemplo de iluminação sustentável, pois possui benefícios como alta durabilidade, design moderno, baixo consumo energético e não emitem calor. Segundo Lamberts et al. (2004, p. 239):

Os LEDs são diodos emissores de luz, usados até hoje como mini lâmpadas sinalizadoras em equipamentos de som, computadores, etc. Recentemente, com a descoberta da técnica para emitir luz com maior abundância e com a emissão de luz branca, 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. Para substituir a lâmpada tradicional incandescente de 60 W, um elemento de led pode consumir muito pouca energia, da ordem de apenas 1 W.

Do ponto de vista do PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (2011, p. 26), “os LED’s estão sendo utilizados em semáforos de trânsito, na iluminação interna de automóveis e em outros equipamentos de sinalização. Já existem iniciativas de utilização em iluminação pública.”. Atualmente, as lâmpadas LED tem ganhado um espaço maior devido à redução de seu preço, porém, ainda não tem espaço representativo na indústria brasileira. A tendência é sua expansão devido à crise energética brasileira e o alto preço da energia elétrica.

## 3.2.2 Luminárias

Luminária é o aparelho de iluminação que permite regular, filtrar, ou modificar a distribuição da luz, otimizando o sistema. Para Lamberts et al. (2004, p. 241), uma parte da luz emitida pela lâmpada é absorvida pela luminária, enquanto o restante é emitido para o espaço. Segundo Vianna e Gonçalves (2001, p. 209), as luminárias devem atender alguns requisitos básicos:

- a) proporcionar suporte e conexão elétrica à lâmpada ou lâmpadas;
- b) controlar e distribuir a luz da lâmpada;
- c) ter um bom rendimento luminoso;

- d) manter a temperatura de operação da lâmpada dentro dos limites estabelecidos;
- e) facilitar a instalação e conservação;
- f) ter uma aparência agradável;
- g) ser economicamente viável;
- h) proteger a lâmpada e equipamento elétrico contra a umidade e demais agentes atmosféricos.

De acordo com Lamberts et al. (2004, p. 160), “a distribuição de luminárias deve ser feita de forma a complementar a luz natural disponível.”. Ao contrário do que ocorre com frequência em projetos, não é o correto dimensionar que apenas um interruptor ligue todas as luminárias. Por exemplo, em ambientes escolares, não seria a melhor forma de economizar energia, uma vez que, às vezes, deseja-se ligar apenas as luminárias perto do quadro, dependendo do tipo de técnica utilizada (retroprojetores, por exemplo). Outra forma de utilizar o acendimento das luminárias seria acompanhar a luz do sol, aproveitando-se o máximo de sua luz.

### **3.2.3 Sistemas de Controle**

Sistemas de controle constam de equipamentos que ligam, desligam e controlam o nível de iluminâncias dos ambientes, de forma a usar da melhor forma possível, enquanto há luz natural disponível, de modo a deixar a luz artificial desligada. De acordo com Lamberts et al. (2004, p. 243):

A função de um sistema de controle de luz é fornecer a quantidade adequada de luz onde e quando ela é necessária, enquanto minimiza o consumo de energia elétrica. O controle da luz elétrica pode ser feito através de vários dispositivos. A distribuição racional dos circuitos permitirá acionamentos independentes das luminárias, proporcionando a redução do consumo de energia. O controle pode ser ainda automático, através de sensores de ocupação, sistemas de controle fotoelétrico e sistemas de programação de tempo.

#### **3.2.3.1 Sensor Fotoelétrico**

Um sensor fotoelétrico é um componente eletrônico que responde eletricamente às variações de intensidade de luz que incide sobre ele, por meio de um feixe de luz. Funciona por um emissor de luz e um receptor. De acordo com Lamberts et al. (2004, p. 161), é associado a um painel de controle do tipo liga/desliga. Pode causar alguns distúrbios visuais aos usuários, devido ao nível de iluminação que sofre alterações bruscas.

### 3.2.3.2 Dimmer

*Dimmers*, na definição de Lamberts et al. (2004, p. 161) “[...] são pequenos aparelhos utilizados para criar um efeito mais suave na transição entre níveis de iluminação diferentes, como quando se acende ou se apaga uma luminária.”. A ideia é variar a intensidade luminosa da lâmpada gradativamente.

### 3.2.3.3 Sensor de Presença

Este tipo de sensor capta a presença de movimento através da reflexão de raios de luz infravermelha, isto quando houver algo em seu raio de detecção. Na definição de Lamberts et al. (2004, p. 161):

Os sensores de presença (ou de ocupação) usam, tanto radiação infravermelha quanto vibrações ultra-sônicas (como nos alarmes de automóveis) para “sentir” a presença das pessoas. Com isso, evitam que ambientes vazios permaneçam com as lâmpadas acesas e ainda facilitam que as mesmas sejam acionadas quando necessário, automaticamente. São extremamente úteis em edifícios residenciais, nas áreas de circulação, pois acionam a iluminação artificial automaticamente quando alguém passa pelas escadas ou corredores. Se associados a um temporizador ou *dimmer*, fazem as lâmpadas apagarem suavemente, após um tempo pré-determinado.

## 3.3 CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO NATURAL

A luz natural é um presente da natureza. À medida que o homem civilizado instrui-se de formas de iluminação artificial, vai aprendendo a apreciar esta luz e seus benefícios. Tem-se uma ideia de que o homem se adaptou às luzes do seu habitat natural, e que luzes artificiais ocasionam uma condição desfavorável (HOPKINSON et al., 1966, p. 9). A definição de luz natural segundo a NBR ISO CIE 8995 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 9) é que ela “[...] pode fornecer parte ou toda a iluminação para a execução de tarefas visuais.”.

Há abundância de luz natural no Brasil, que se situa entre as latitudes de 0° e 32° Sul, onde os valores de iluminância podem ultrapassar 70.000 lux ao meio dia no inverno e 100.000 lux no mesmo horário do verão, que potencializa o sol como fonte de luz, excedendo as quantidades de luz requeridas para quase todas as tarefas. (VIANNA e GONÇALVES, 2001, p. 15-16).

A luz natural está disponível durante grande parte do dia, mas seu uso é limitado pelas horas de incidência do sol. De acordo com a NBR ISO CIE 8995 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 9):

A luz natural varia em nível e composição espectral com o tempo e, por esta razão, a iluminação de um ambiente interno sofre variações. A luz natural pode criar uma modelagem e uma distribuição de luminância específica devido ao seu fluxo quase horizontal, proveniente das janelas laterais. A luz natural pode também ser fornecida por aberturas zenitais e outros elementos de fenestração.

Segundo Roriz (2008, p. 1), a luz natural emitida pelo Sol se classifica em direta, quando chega através de raios solares, e indireta (ou luz natural difusa), quando é proveniente da reflexão pela atmosfera ou superfícies próximas do observador. O mesmo autor classifica ainda, em lateral (janelas), ou zenital (aberturas no teto).

### **3.3.1 Luz Natural e Qualidade de Vida**

O corpo humano tende a ser ativado pela iluminação natural. A luz estimula o cérebro, que avisa o resto do corpo que é hora de acelerar as atividades vitais. Costa (2005, p. 67) descreve os espectros solares de luz:

No início dos tempos, a forma de luz utilizada pela natureza humana foi de origem solar, compreendendo aí todos os tons sucessivos da radiação, começando com tons de avermelhados na aurora, que sucessivamente vão passando por tons laranja, amarelos e azuis, até atingir a luz branca durante o dia; no entardecer o fenômeno se inverte, atingindo no crepúsculo, o tom avermelhado até a escuridão. O homem então usava o fogo, como forma de iluminação artificial. Assim, durante o dia o homem adapta-se a esta variação cromática e à noite, com uma iluminação intensamente amarelo alaranjada. Isto significa que, durante séculos, o homem enxerga com base na iluminação incandescente, seja de dia, seja de noite.

A sensibilidade da retina do olho humano não varia apenas com diferenças de luminosidade, mas estudos do processo de adaptação provam que varia, também, com diferentes comprimentos de onda da radiação da luz. Como as radiações ultravioleta e infravermelha não são visíveis a olho nu, a observação das cores pode não ser instantânea e trazer efeitos para o corpo, partindo da variação da sensibilidade da retina (COSTA, 2005, p. 48).

De acordo com Lamberts et al. (2004, p. 151), “A luz natural é considerada mais desejável que a artificial em salas comerciais e escritórios, pois o contato com o exterior ajuda a aliviar a tensão normalmente associada a este tipo de atividade e serve como estímulo ambiental.”.

Por isso, construir soluções arquitetônicas que proporcionem melhor aproveitamento da iluminação natural é procedimento fundamental. Costa (2005, p. 42) afirma que o sistema de iluminação afeta o comportamento humano, quanto aos aspectos físicos, fisiológicos e psíquicos.

Ao longo dos últimos 40 anos, tem havido muitos rumores sobre luz e saúde. Na verdade, a luz afeta a saúde profundamente. No entanto, muitos produtos e estudos expõe a distribuição de potência espectral (a composição do comprimento de onda) da luz como alterando significativamente o comportamento fisiológico e o desempenho. Parte disso resulta de estudos de iluminação natural, comparada à luz elétrica, que pode ser visto como inadequado, pela intensidade e distribuição espectral da luz elétrica não poder coincidir com os da luz do dia (STEFFY, 2008, p. 127).

Existe um termo em inglês para problemas de falta de luz natural no cotidiano das pessoas, que se chama Transtorno Afetivo Sazonal, traduzida de *Seasonal affective Disorder*. Este transtorno é um tipo de depressão, onde os usuários apresentam perda de energia, problemas de sono e dificuldades de concentração. Sua causa dá-se pela falta de exposição ao sol, principalmente por aqueles que vivem em regiões de grandes latitudes ou que trabalham muito tempo com iluminação artificial. A melhor hipótese aceita é que, embora o corpo tenha ritmos diários naturais, eles não são inteiramente precisos, e dependem da intensidade de luz solar para fornecer sinais de ajuste.

Outro fator que pode acarretar incômodo é o desconforto térmico causado pela radiação da luz natural que entra na edificação. Possibilitar a sua entrada excessiva no espaço pode causar este incômodo para os usuários da edificação. Existem diversos tipos de soluções para evitar este problema, como a utilização de brises ou varandas, ou, até mesmo um estudo de ventilação na etapa do projeto da construção. Para Lamberts et. al. (2004, p. 41), o conforto térmico é a satisfação de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa.

### **3.3.2 Iluminação Zenital**

Segundo a NBR 15215-1, da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005, p. 3), iluminação zenital é “a porção de luz natural produzida pela luz que entra através dos fechamentos superiores dos espaços internos.”, ou seja, é uma estratégia de entrada de

iluminação do sol no ambiente, através de aberturas criadas no plano da cobertura ou teto de uma edificação, oferecendo maior uniformidade e iluminância média sobre o plano de trabalho. Existem diversas vantagens e desvantagens para o seu uso em construções. Para Lamberts et al. (2004, p. 158), as vantagens em relação à iluminação lateral é que permite uma iluminação muito mais uniforme que a obtida com janelas e, durante o dia permite receber muito mais luz natural. Sua principal desvantagem é a dificuldade de proteger as aberturas da radiação solar indesejada. A recomendação é que as aberturas não sejam superiores à 10% da área do piso, para evitar causar problemas térmicos.

De acordo com Vianna e Gonçalves (2001, p. 171), obtém-se “maiores níveis de iluminância sobre o plano de trabalho, devido ao fato de que, em geral, a iluminação zenital conta com o dobro de área iluminante de céu, em relação às aberturas laterais.”. O mesmo autor também afirma que este tipo de iluminação foi muito utilizado durante a história da arquitetura, principalmente como instrumento de criação e valorização do espaço, com função de circulação, estar, lazer e cultura.

Lamberts et al. (2004, p. 159), classificam a iluminação zenital como originária de distintos fatores:

- a) domos: são construídas através de coberturas envidraçadas no telhado;
- b) poços de luz: são recursos bastante eficientes para captar e levar a luz natural a ambientes sem contato direto com o exterior;
- c) iluminação natural direcionada com espelhos: um sistema de espelhos que captura a luz solar e a direciona para o interior do edifício, onde é espalhada;
- d) fibras óticas: usa uma técnica de reflexão total interna, que é muito mais eficiente.
- e) pisos transparentes: transmitem a luz natural para ambientes localizados no subsolo.

De modo disjunto, Vianna e Gonçalves (2001, p. 174), classificam os painéis zenitais de outra forma:

- a) sheds (com superfícies iluminantes a 90° e inclinadas);
- b) lanternins (com superfícies iluminantes a 90° e inclinadas);
- c) teto de dupla inclinação;
- d) domus, claraboias ou cúpulas.

Uma característica que deve ser analisada é em relação à manutenção dos painéis, pois devido à sua localização, a tendência é o maior acúmulo de pó e sujeira, já que seu acesso é dificultado.

### 3.3.3 Luz do sol e do céu

A direção da radiação de raios solares e da luz direta é indicada pelo seu azimute, que é a posição da edificação em relação ao eixo Norte verdadeiro ou geográfico, e pela altura do sol em relação à linha do horizonte, definido pela latitude e longitude do lugar. As variações do sol ao longo do dia e do ano podem ser analisadas pelos diagramas solares (VIANNA e GONÇALVES, 2001, p. 15). Lamberts et al. (2004, p. 31) afirmam que, apesar da radiação solar direta ser muitas vezes considerada indesejável para iluminação pela sua componente térmica, ela também introduz menos calor por lúmen que a maioria das lâmpadas.

Para a avaliação da luz do céu, Tavares (2007, p. 21) afirma que a quantificação da luz foi estabelecida para três tipos de céu, segundo a CIE (*Comission Internationale de l'Éclairage*):

- 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.

### 3.3.4 Fator Luz do Dia (FLD)

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.”. A tendência é o uso deste fator para determinar se a luz é suficiente para os ocupantes realizarem suas atividades.

Hopkinson et al. (1966, p. 29) ainda conclui que uma vantagem apresentada pelo cálculo do FLD é o conceito de adaptação visual do brilho, que é função da luminância real observada e do brilho de todos os elementos do ambiente, devendo o coeficiente não se alterar apenas em

função da luminância, e sim da apreciação visual. Segundo o mesmo autor, o cálculo é feito através da equação abaixo:

$$E_i = (FLD/100) * E_e$$

Sendo:

$E_i$  = quantidade de iluminamento interno, em lux;

FLD = fator luz do dia;

$E_e$  = quantidade de iluminamento externo, em lux.

### 3.3.5 Projetos Luminotécnicos

Na definição de Costa (2005, p. 34), a “luminotécnica é a ciência de utilizar a luz natural, bem como de produzir e utilizar a luz natural, otimizando quantidade, qualidade, economia e adequação à finalidade da visão.”. Para Moreira (1999, p. 111), deve-se buscar, na aferição de projetos:

- a) boas condições de visibilidade;
- b) boa reprodução das cores;
- c) economia de energia elétrica;
- d) facilidade e menores custos de manutenção;
- e) preço inicial compatível;
- f) utilizar iluminação local de reforço;
- g) combinar iluminação natural com artificial.

Costa (2005, p. 32) ainda afirma sobre luminotécnica:

O estudo de um sistema de iluminação exige que seja realizada uma análise pormenorizada quanto às necessidades da tarefa visual, podendo não significar maior consumo energético. Lâmpadas fluorescentes, por exemplo, produzem mais luz sob determinadas condições de temperatura e posicionamento; ambientes com ar condicionado permitem que se faça uma adequação entre luz e climatização. Em outras situações são empregadas lâmpadas de luz mista na horizontal, o que resulta numa deficiência luminosa, com o mesmo consumo energético. São aspectos como estes que trouxeram uma revalorização nos projetos de iluminação. Exige, entretanto, que exista uma atualização permanente com as fontes existentes no mercado nacional e internacional.

Para aproveitar o máximo da iluminação natural do entorno, devem ser feitos estudos no início do projeto de arquitetura, a fim de se obterem dados como clima da região; quantidade de luz; orientação solar; quantidade de horas de luz por dia; entre outros. Moreira (1999, p. 111) afirma que, para o dimensionamento de um projeto de iluminação, existem valores que dependem de diversas variáveis, como idade da pessoa, tipo de trabalho ou a duração dele.

O sombreamento excessivo da edificação pode prejudicar o desempenho térmico e iluminação. A orientação da construção deve maximizar a exposição ao sol. Uma tática para aumentar o recebimento de luz é aumentar esquadrias, eliminando peitoris e liberando o pé-direito. Diante disto, Vianna e Gonçalves (2001, p. 7) concluem que, a iluminação natural de edifícios possui o clima, a percepção e exigências humanas e funcionais, e o edifício como síntese de variáveis de projeto.

Vianna e Gonçalves (2001, p. 8) afirmam que “o uso de luz natural em combinação com a artificial, em edifícios não residenciais pode alcançar, mediante a garantia do controle eficiente do sistema e a especificação de suas instalações, economias de 30% a 70%.”. Ainda sobre projetos, de acordo com Lamberts et al. (2004, p. 151), a luz do sol deve ser melhor explorada pelos projetistas, mas deve-se tomar cuidado com o conforto térmico e acústico da edificação.

De grande importância na Luminotécnica, existe a curva isolux, que segundo Moreira (1999, p. 18), é a “linha traçada em um plano, referida a um sistema de coordenadas apropriado, ligando pontos de uma superfície, que têm iluminância igual.”. O diagrama de isolux, ou curva de distribuição, é um conjunto de várias curvas isolux e é usado em programas de projetos luminotécnicos. Para cada luminária, há uma curva isolux relacionada a ela.

### 3.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PROJETOS DE ILUMINAÇÃO

Eficiência energética é definida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Se trata da otimização no consumo de energia e seu uso racional. Nos setores da arquitetura e construção civil, “é um atributo inerente à edificação, representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários, com baixo consumo de energia.” (LAMBERTS et al., 2004, p. 5). Lamberts et al. (2004, p. 5) ainda afirmam que “um edifício é mais eficiente energeticamente que outro, quando proporciona as mesmas condições ambientais, com menor consumo de energia.”.

Lamberts et al. (2004, p. 17) afirmam que os setores residencial, comercial e público concentram a parte mais significativa da atuação do projetista, em aumentar a eficiência energética nas edificações. A eficiência das edificações é um trabalho sensível e complexo, visto que, por exemplo, se num projeto aumenta-se a entrada de luz natural, irá aumentar a entrada de radiação, e conseqüentemente haverá aumento do consumo de refrigeração.

### **3.4.1 Conservação de Energia**

A primeira crise mundial do petróleo aconteceu no período econômico chamado de “milagre brasileiro”, no ano de 1973. O cenário mudou, ao ponto de que os preços principais destes insumos eram determinados pelos principais países exportadores, ao invés de o ser pelas companhias distribuidoras de petróleo. Tal acontecimento obrigou a sociedade a rever sua matriz energética, buscando novas formas de energia. No Brasil, foram desenvolvidas novas políticas energéticas, como a substituição da gasolina pelo álcool, procura de novos poços de petróleo, construção de novas usinas hidrelétricas e nucleares (MOREIRA, 1999, p. 181). A tendência se tornou poupar recursos energéticos e usar fontes alternativas de energia.

Na iluminação, a conservação de energia não deixa de ser importante. Segundo Moreira (1999, p. 181), “o consumo de energia elétrica tem papel de destaque em todas as atividades humanas. Os custos e aspectos ecológicos que envolvem a geração, transmissão, distribuição e utilização desses energéticos fazem com que ele se configure como um parâmetro fundamental de planejamento.”.

Costa (2005, p. 91) acredita que existem dois segmentos onde deve ser realizado um esforço muito grande de conscientização, quanto à economia de energia elétrica em iluminação: o comercial e o residencial. Porém, o mesmo autor ainda afirma que, no setor industrial, não deixa de ser importante economizar, pois há uma grande competitividade, e a globalização da economia exige menores custos, acarretando na competição pelos mínimos centavos e tornando factível a competição entre mercados.

Na Figura 3, pode-se perceber a percentagem do uso da iluminação nos diferentes usos finais do setor.

Figura 3 – Consumo de energia no uso final

DESTINO	COMERCIAL	INDUSTRIAL	RESIDENCIAL
Aquecimento	15%	24%	26%
Refrigeração	22%	4%	31%
Força-motriz	15%	55%	18%
Iluminação	48%	7%	25%
Outros		10%	
TOTAL	100%	100%	100%

(fonte: COSTA, 2005, p. 92)

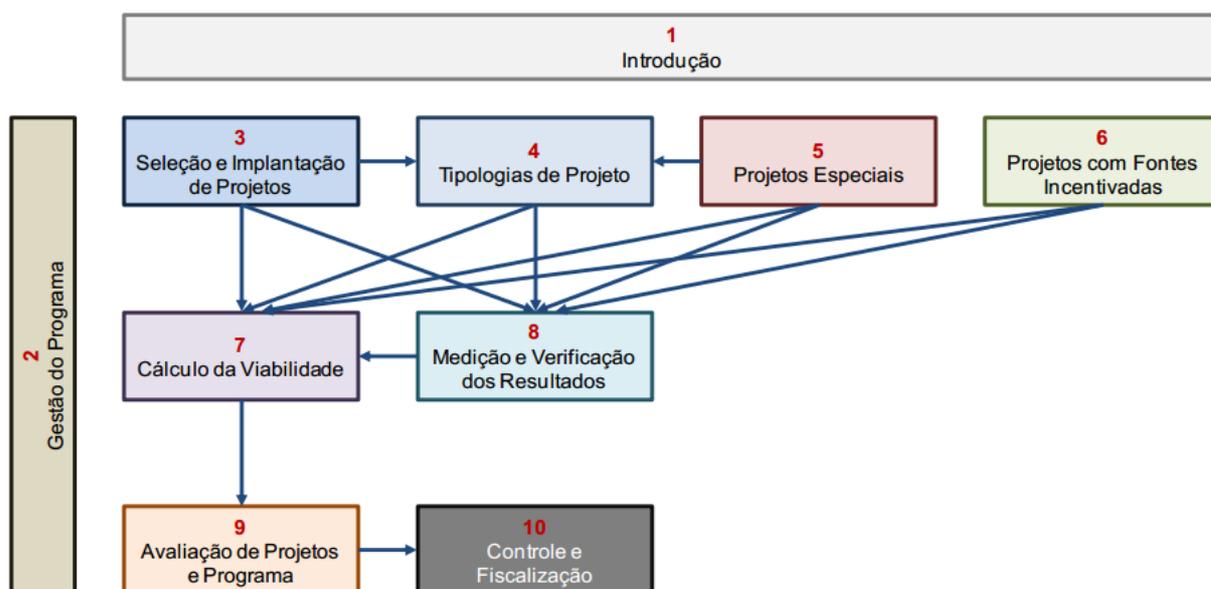
O ideal em edificações com muita iluminação natural, sem a devida proteção, é a radiação solar direta, causando um aquecimento no interior da edificação. Deve haver um balanço entre a quantidade de luz e ventilação natural, para diminuir a necessidade do uso de ar condicionado. Do ponto de vista de MASCARÓ e MASCARÓ (1992, p. 13), o Brasil tem uma das abóbadas celestes mais luminosas do mundo, que dispensa a iluminação artificial de construções bem projetadas, ao mesmo tempo em que a diferença entre as temperaturas de conforto e o ambiente externo é pequena, tornando o clima favorável do ponto de vista energético.

### 3.4.2 Implementação de Programas de Eficiência Energética

Define-se como PROPEE (Procedimento do Programa de Eficiência Energética) a estrutura e a forma de apresentação dos projetos, os critérios de avaliação e de fiscalização e os tipos de projetos que podem ser realizados com recursos do PEE. Apresentam-se, também, os procedimentos para contabilização dos custos e apropriação dos investimentos realizados (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2013, p. 8).

O PROPEE é composto de 10 módulos, que contemplam os diversos aspectos de projetos e do programa PEE, com múltiplas interligações entre eles, sendo as principais indicadas na Figura 4 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2013, p. 9).

Figura 4 – Módulo do procedimento do programa de eficiência energética



(fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2013, p. 9)

Para projetos luminotécnicos, a avaliação que deve ser feita é baseada em um pré-diagnóstico energético, que consiste em uma avaliação preliminar do potencial de consumo de energia do local a ser estudado. Faz-se uma estimativa dos investimentos em iluminação e, após uma série de cálculos, tem-se um valor do diagnóstico para implementação do projeto.

A metodologia de cálculo e viabilidade econômica se baseia na relação custo benefício (RCB) que ele proporciona. Segundo AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2013, p. 4), o “benefício considerado é a valoração da energia economizada e da redução da demanda de ponta, durante a vida útil do projeto para o sistema elétrico”. Como critério chave de avaliação, o mesmo autor ainda afirma que “o benefício apurado com a valoração da energia e da demanda reduzidas ao custo unitário marginal de expansão do sistema deve ser, no mínimo, 25% maior que o custo do projeto”, o que significa que a relação custo benefício deve ser igual ou inferior a 0,8.

### 3.4.3 Viabilidade Econômica de Projetos

Para Casarotto Filho (2000, p. 13), “o desempenho de uma classe de investimentos pode ser medido em termos monetários e, neste caso, utilizam-se técnicas de engenharia econômica, fundamentadas na ciência chamada matemática financeira”.

O processo de análise de investimentos e viabilidade econômica aborda um amplo conhecimento, que abrange matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão e estratégia empresarial. O estudo deve ser realizado sempre que um novo projeto esteja em fase de avaliação, e pode ser com investimentos, substituição de equipamentos, projetos industriais, entre outros. O maior benefício da análise é a visualização, através de projeções e números, o real potencial do retorno do investimento, para a decisão de continuidade ou não, na escolha entre múltiplas alternativas.

## 4 CARACTERIZAÇÃO DA ESCOLA

Nos próximos tópicos serão abordados assuntos referentes à caracterização da sala de aula e da escola objeto de estudo na cidade de Feliz. Serão utilizados dados reais para elaboração de um diagnóstico de sua eficiência energética, a fim de tornar este trabalho interessante e válido. Situando-a geograficamente, e analisando suas características, essa parte do trabalho serve de ferramenta para futura análise lumínica natural e artificial da sala de aula.

### 4.1 ASPECTOS GEOGRÁFICOS

O município de Feliz situa-se na mesorregião metropolitana de Porto Alegre, e microrregião de Montenegro, a, aproximadamente, 80 km de distância da capital e 45 km da região da Serra (Caxias do Sul). Faz parte do Vale do Caí, na Encosta Inferior Nordeste do Estado. Seus principais acessos são pelas rodovias RS-122, pelo lado oeste, e RS 452, pelo lado leste como se pode ver na Figura 5. A rodovia nacional mais próxima para acesso à cidade é a BR-116.

Figura 5 – Localização geográfica da cidade de Feliz



(fonte: adaptado de Google Maps)

A área total do município é de 96,232 km<sup>2</sup>, dividida em zona urbana e rural, para uma população de 12.359 habitantes, resultando numa densidade de 128,43 habitantes por quilômetro quadrado. A altitude média é de 120 metros e o clima predominante é o subtropical temperado. Limita-se, ao Norte, com os municípios de Alto Feliz e Vale Real; ao Sul com São Sebastião do Caí e São José do Hortêncio; à leste, com Nova Petrópolis e Linha Nova e, à Oeste, com Bom Princípio. O relevo é composto, basicamente, por vales, morros e planícies. O sistema hidrográfico é formado pelo rio Caí e seus principais afluentes (PREFEITURA MUNICIPAL DE FELIZ, 2016).

Ainda segundo a PREFEITURA MUNICIPAL DE FELIZ (2016), as temperaturas oscilam entre 5°C e 39°C, com uma média de 20°C. A economia da região baseia-se na produção de calçados e agricultura, na qual o município é considerado o maior produtor de morangos do estado. A produção local é constituída de agricultura (35,19%), indústria (34,67%), e comércio e serviços (30,15%), de acordo com o ano base de 2013.

## 4.2 PROJETO DA EDIFICAÇÃO ESCOLAR

A edificação escolar estudada é hoje ocupada pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Campus Avançado de Feliz, e encontra-se na parte sudeste da cidade, às margens do Rio Caí. Segundo Krum (2011, p. 59), “a ideia da construção da escola nasceu da necessidade de suprir a carência de mão-de-obra qualificada na região do Vale do Caí”. A mesma autora ainda cita, que, entre os propósitos da escola era almejado, através da educação, inserir os alunos no mercado de trabalho, contribuir na sua formação e estimular o empreendedorismo, contribuindo, desta forma, para o desenvolvimento crítico e social dos profissionais como cidadãos.

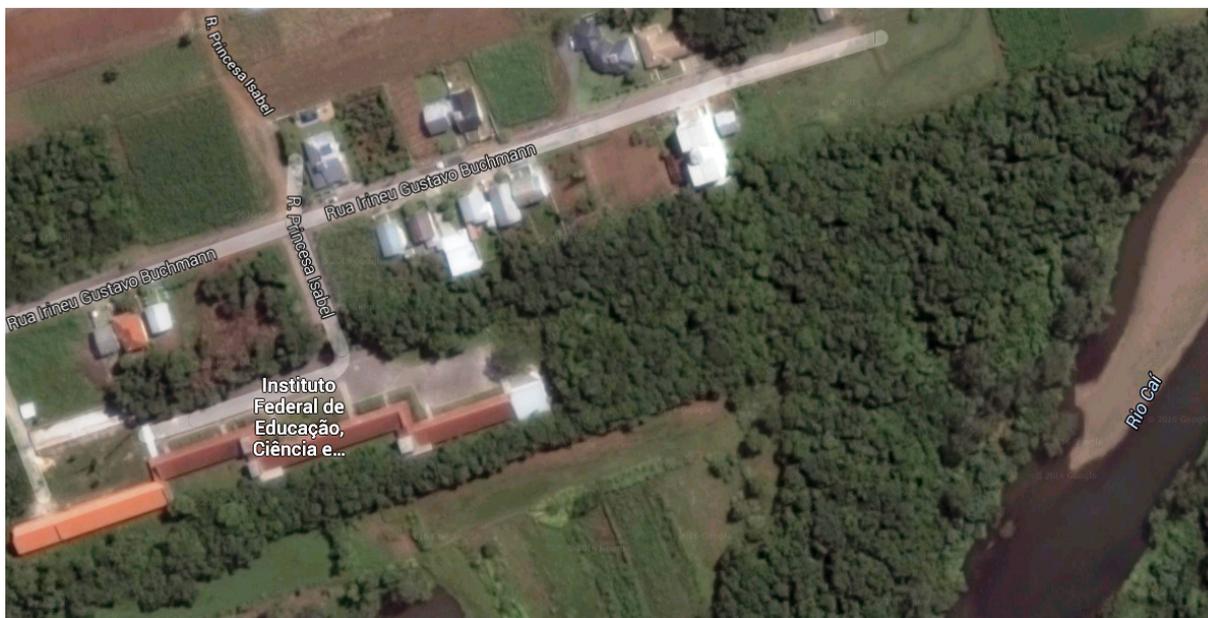
O Grupo de pesquisa em Edificações e Comunidades Sustentáveis, do Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE), do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), tem estudado esta escola, em particular, desde 2002, em uma parceria entre o Instituto, devido à experiência e conhecimento do Grupo em projetos que proporcionem a sustentabilidade na construção. No ano de 2007, houve a inauguração oficial da Escola, ainda que todo o projeto não tenha sido todo executado até o presente. Segundo Silva (2009, p. 76), o projeto arquitetônico executivo inseriu a visão pedagógica e contou com três alicerces principais: a educação ambiental, a arquitetura sustentável e respeito ao meio ambiente.

Num terreno de 62.000 m<sup>2</sup>, com 75 metros de largura e 825 metros de comprimento, a área escolar localiza-se no limite sudeste da malha urbana do município, com latitude 29°27'20''S e longitude 51°17'34''O. O acesso principal à escola dá-se pela Rua Princesa Isabel, havendo mais dois acessos secundários.

Seus materiais e métodos construtivos foram escolhidos de forma a, dentro das possíveis formas de obtenção, causar o menor impacto ambiental na região e na execução foram empregadas, estratégias sustentáveis e bioclimáticas. O formato da edificação, suas esquadrias e posicionamento solar foram propositalmente alocados para usufruir da melhor iluminação

natural de acordo com o azimute e altura solar. A vista aérea da escola é mostrada a seguir, na Figura 6. Pode-se notar que grande parte da área é coberta por vegetação nativa.

Figura 6 – Vista aérea da escola



(fonte: Google Maps adaptado)

A sala de aula estudada situa-se no centro do bloco “D”, junto às demais salas de aula, entre três blocos numerados de “C” a “E”. O bloco “C”, à esquerda, abrange a área administrativa e biblioteca, e o bloco “E”, os laboratórios.

Após levantamento de dados na sala de aula da escola, foram obtidos alguns dados de funcionamento do ambiente. A dimensão da sala é de 9,08 metros por 6,07 metros (medidas internas), com a parede medindo 25 cm de espessura e possuindo 54,81 m<sup>2</sup> de área útil. O pé-direito varia de 2,55 metros até 4,58 metros, em suas fachadas sul e norte, respectivamente. As esquadrias adotadas são todas basculantes, havendo oito na fachada sul e oito na fachada norte, ambas a uma altura de 0,76 metros da altura do piso. Na fachada norte ainda existem 8 basculantes a uma altura de 3,53 metros, logo acima de uma prateleira de luz, de dimensões 9,0 x 0,80 x 0,08 metros.

Nas práticas construtivas empregadas, Krum (2011, p. 62), em entrevista com o arquiteto projetista da escola, afirma que:

“A disposição dos blocos com esquadrias nas fachadas norte e sul, além de favorecer a ventilação cruzada, possibilitou que fossem mais exploradas as questões relativas à

iluminação. Um exemplo disto é a existência da prateleira de luz, junto às janelas superiores da edificação, que, além de estas janelas serem responsáveis pela exaustão do ar quente, foram projetadas de forma a incrementar a luminosidade natural no interior da edificação.”

O acesso à sala de aula é feito por um corredor coberto, com um vão de 1,50 metros, ao longo da fachada Norte, que além de ligar os blocos entre si, protege a fachada contra a radiação solar direta. O funcionamento da escola é de oito horas diárias.

#### **4.2.1 Materiais e técnicas construtivas empregadas**

Durante a etapa de concepção e construção do projeto da edificação, a escola procurou utilizar materiais e técnicas regionais, buscando um baixo impacto ambiental, e que tais materiais fossem culturalmente aceitos, não tóxicos, reciclados ou potencialmente reutilizáveis. Simultaneamente a esta prática, as tecnologias utilizadas buscaram otimizar o conforto ambiental, como o uso de iluminação e ventilação naturais, aproveitamento de água da chuva e reflorestamento do local com espécies florais nativas, já a partir do projeto arquitetônico (SILVA, 2009, p. 79).

As paredes externas e pilares dos corredores são compostos de alvenaria portante dupla, de tijolos maciços. A fachada externa é aparente, polida e com pintura hidrofugante. As faces internas possuem revestimento em argamassa e são pintadas com tinta PVA, de cor amarela. Nas paredes divisórias, a alvenaria também é portante, porém, de tijolos simples. O piso externo é composto de tijolos maciços, no mesmo padrão do restante da fachada, dispostos em módulos do tipo “escamas de peixe”. O telhado é em telhas cerâmicas, de duas águas desencontradas, sendo uma maior, de 18° de declividade, cobrindo as salas de aula, voltada para o Sul, e uma menor, cobrindo o corredor de entrada das salas de aulas, também com 18° de declividade, e voltado para o Norte (BOCCHESI, 2011, p. 40-43).

De acordo com análise de Krum (2011, p. 66), “Para a estrutura de sustentação dos telhados foi utilizada madeira de reflorestamento (*Eucaliptus saligna*)”, que é bastante utilizada para estruturas, por ter durabilidade natural e é resistente ao fogo, além de ser de fabricação local.

No ambiente da sala analisada, o piso interno é de placas cerâmicas, de dimensão 40x40 cm, com soleiras de basalto serrado. As janelas são do tipo basculante, de madeira de eucalipto, oriunda de reflorestamento. Possui vidro simples, com três milímetros de espessura e espera

para um segundo vidro externo. A porta de entrada é em madeira semi-oca, de eucalipto de reflorestamento, e o forro é de placas de fibra mineral, acompanhando o caimento do telhado, havendo uma camada intermediária entre os forros e as telhas, de chapas de alumínio reutilizado (KRUM, 2011, p. 64-65).

Na parede interna voltada para o oeste, está localizado o quadro usado pelos professores para lecionar as aulas, de cor branca, superfície lisa e brilhante. A prateleira de luz fica abaixo das oito janelas basculantes mais altas, na face norte. Todas as paredes possuem uma faixa decorativa de tijolos aparentes, com exceção da parede voltada para o lado oeste. Na Tabela 1, podem-se ver as refletâncias aproximadas das superfícies dos principais componentes da sala de aula. Mais detalhes arquitetônicos encontram-se no Apêndice A.

Tabela 1 – Refletância das principais superfícies da sala de aula

<b>Superfície</b>	<b>Material/Cor</b>	<b>Coefficiente de reflexão</b>
Teto	Placa de fibra mineral branca	80%
Parede	Pintura amarela claro	70%
Piso	Cerâmica cinza escuro	25%
Prateleira de luz	Madeira com pintura branca	50%
Classes	Fórmica branca com alto brilho	95%
Quadro	Fórmica branca com alto brilho	95%

(fonte:Tregenza e Loe, 1998)

#### **4.2.2 Sistema de iluminação atual**

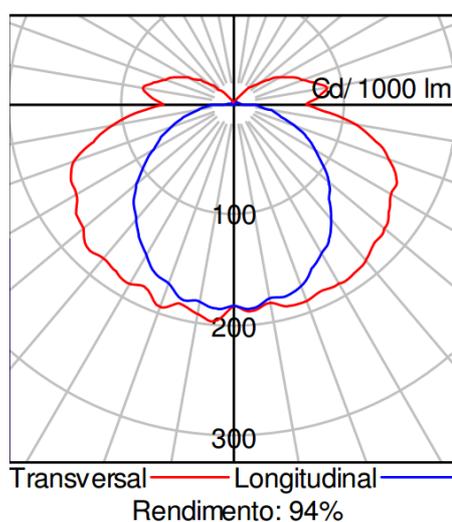
Em estudo anterior (BOCCHESI, 2011), foi realizado o levantamento do tipo e localização das lâmpadas e luminárias presentes na sala de aula estudada. Conforme visto no capítulo de revisão bibliográfica, cada espaço físico requer iluminâncias mínimas de acordo com a atividade a ser realizada. A iluminância mínima requerida para uma sala de ambiente escolar é de 500 lux. Este valor corresponde ao mínimo para exercer a atividade de leitura, no plano de trabalho, ou seja, a uma altura de 75 centímetros a partir do nível do piso.

De acordo com Krum (2011, p. 63), o sistema de iluminação artificial foi projetado por um engenheiro eletricista, para atender os níveis de iluminância mínimos exigidos por norma, além da utilização de lâmpadas que ofereciam, na época, desempenho superior à média do que o mercado dispunha no momento.

No sentido de complementar a iluminação natural, o sistema de iluminação artificial atualmente em uso é composto por 24 lâmpadas tubulares fluorescentes do tipo T8 de 40 watts, da marca Osram, com intensidade luminosa de 2.500 lumens. Existem duas lâmpadas para cada luminária, totalizando 12 luminárias, que são suspensas a partir do teto, ficando a uma altura de 2,5 metros. As lâmpadas, usualmente, ficam ligadas durante todo o período de utilização da sala, existindo três circuitos de acionamentos independentes. Na Figura 8, podem-se notar os circuitos de luminárias, divididos por cores diferentes.

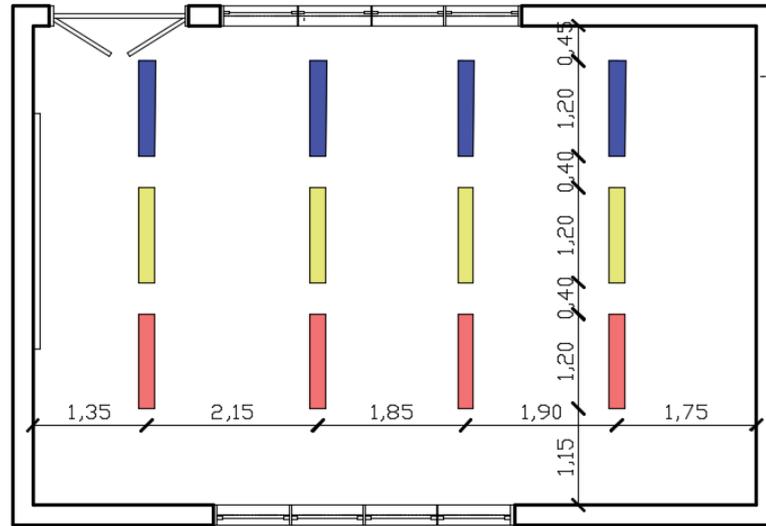
A luminária é composta, basicamente, pelo receptáculo da lâmpada e não possui nenhum tipo de difusor, refletor ou lente. A distribuição do fluxo luminoso é direta, conforme a curva fotométrica mostrada na Figura 7. A temperatura de cor é 6.100 Kelvin, o índice de reprodução de cores é em torno de 70 a 79, tem como equipamento auxiliar o reator eletrônico, o consumo total das lâmpadas mais o reator são 78 W/h, o seu rendimento é 94% e o fluxo luminoso total descontado a perda do rendimento da luminária é 4.700 lúmens, e da lâmpada 2.500 lúmens (KRUM, 2011, p. 90).

Figura 7 – Curva fotométrica da luminária utilizada na sala de aula



(fonte: KRUM, 2011)

Figura 8 – Localização das luminárias na sala de aula



PLANTA LUMINÁRIAS

- CIRCUITO 1
- CIRCUITO 2
- CIRCUITO 3

(fonte: elaborado pelo autor)

## 5 SIMULAÇÃO DA LUZ NATURAL PARA A SALA DE AULA

Em toda a edificação deve haver entrada de luz natural. Os ganhos com a entrada de luz solar vão desde a economia de luz, gerada pela redução do consumo de energia com iluminação artificial, até benefícios para o bem-estar dos ocupantes. O presente capítulo visa abordar a análise da carta solar para a edificação escolar estudada, e seu desempenho lumínico, por modelagem no software *VELUX Daylight Visualizer 3*.

### 5.1 CARTA SOLAR

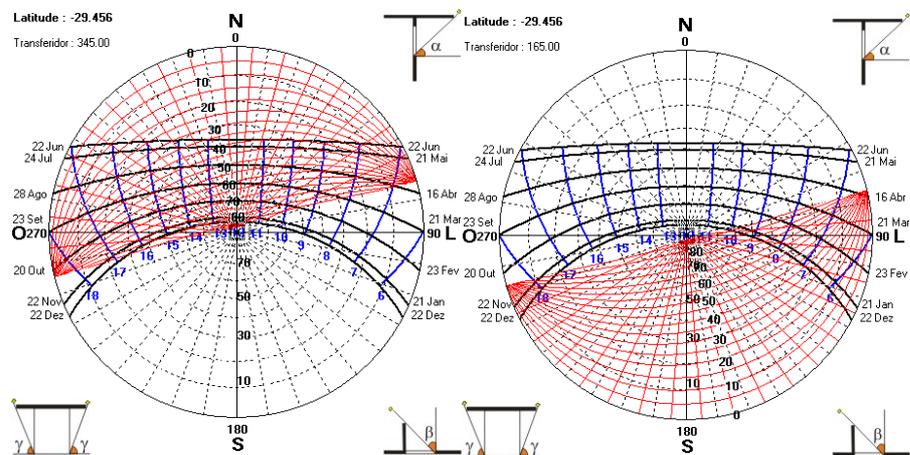
A carta solar é um recurso de projeto de iluminação que informa sobre a altura e azimute solar. Segundo Lamberts et al. (2004, p. 72), no movimento de translação da Terra, ela “[...] percorre sua trajetória elíptica em um plano inclinado de  $27^{\circ} 27'$ , em relação ao plano do Equador. Este ângulo também caracteriza a posição dos trópicos (latitude). Tais ângulos, característico da inclinação do eixo da Terra em seu movimento no plano da eclíptica, faz com que os dois hemisférios terrestres recebam quantidades distintas de sol durante o ano”.

Com o intuito de avaliar a incidência solar sobre a edificação escolar durante o ano, decidiu-se usar o programa Analysis SOL-AR 6.2, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, da Universidade Federal de Santa Catarina.

O programa permite, através de gráficos, a obtenção da carta solar para uma latitude específica, auxiliando no projeto de proteções solares, por meio da visualização gráfica dos ângulos de projeção desejados sobre um transferidor de ângulos, que pode ser plotado para qualquer ângulo de orientação (LABEE, 2016). O software também informa sobre a temperatura e ocorrência de ventos, incluindo sua velocidade média, o que não foi possível dispor para a cidade, sendo Porto Alegre a cidade mais próxima com dados disponíveis.

Para a utilização do software, são necessários dados de entrada como a latitude do local e ângulos das proteções horizontais e verticais. Os resultados do programa são analisados pelos gráficos gerados no programa, como se ilustra na Figura 9.

Figura 9 – Carta solar da edificação escolar com transferidor solar alinhado com fachada Norte e Sul da sala de aula



(fonte: elaborado pelo autor)

Pode-se observar na figura acima, que a linha base do transferidor solar está à 345°, em relação à face Norte da sala de aula. A análise destas figuras nos permite dizer, por exemplo, que no solstício de verão (ponto de máxima altura solar), a fachada Norte receberá sol das 11 horas às 17h.

## 5.2 SOFTWARE *VELUX DAYLIGHT VISUALIZER 3*

O *VELUX Daylight Visualizer* é uma ferramenta de simulação profissional para análise de condições de iluminação natural em edificações. O objetivo dos desenvolvedores ao criá-lo é promover o uso da luz do dia em construções e ajudar os profissionais do ramo, prevendo e documentando os níveis de luz natural e aparência dos espaços antes da construção, ainda em fase de projeto.

Um diferencial deste programa em relação aos existentes programas do tipo “CAD”, comumente usados, é que ele permite simular e quantificar os níveis de luz do dia no interior do ambiente, influenciando o projetista a tomar decisões baseadas no desempenho lumínico de seu projeto arquitetônico.

A criação e desenvolvimento do software resultaram de uma parceria da Luxion, empresa com sede nos Estados Unidos e Dinamarca, especializada de tecnologia na prestação e simulação de iluminação baseados em computador, através da tecnologia de renderização,

espalhamento de luz, algoritmos de transporte leves, e simulação espectral, com o Grupo VELUX, que é uma organização de vendas e desenvolvimento de janelas de sótão.

### 5.3 PARÂMETROS DE ANÁLISE

Para avaliar a entrada de luz na sala de aula, deve-se atentar para a exigência mínima de iluminância, que segundo a NBR ISO/CIE 8995 (2013), para salas de leitura e quadro negro, requer uma média de 500 lux, com um índice limite de ofuscamento unificado ( $UGR_L$ ) máximo de 19 e índice de reprodução de cor mínimo ( $R_a$ ) de 80. Nas observações, recomenda-se que em salas de leitura a iluminação seja controlável, e deva haver prevenção de reflexões especulares em quadros negros. Com a caracterização da sala de aula da escola tendo sido efetivada, e com os indicadores de desempenho conhecidos estabelecem-se os parâmetros de análise, podendo ser variáveis ou não.

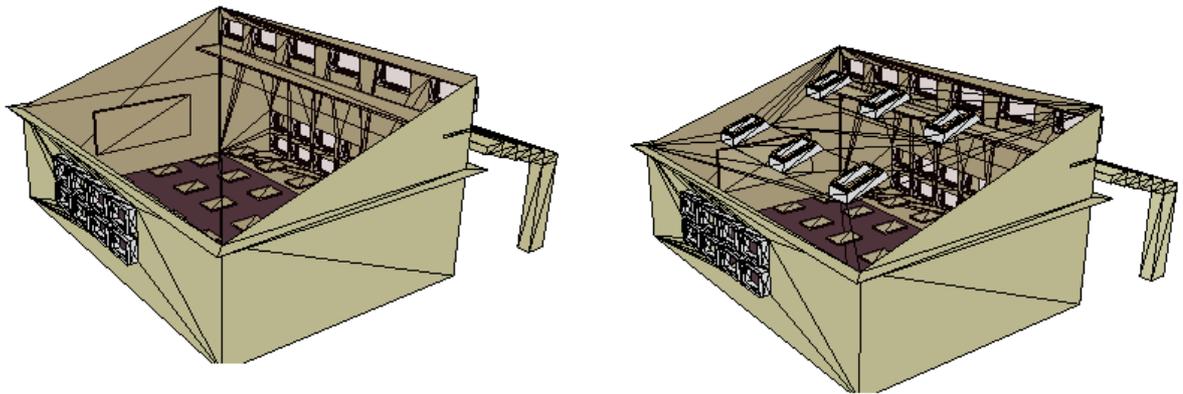
Todas as simulações foram feitas para a cidade de Feliz, onde está localizada a escola, com latitude de  $-29^{\circ}27'$  e longitude de  $-51^{\circ}17'$ . Os tipos de céu utilizados na verificação foram o **céu tipo 1**, encoberto, de gradação alta, aproximando-se do céu encoberto CIE tradicional, **céu tipo 7**, sendo este parcialmente nublado, com gradação moderada, e **céu tipo 12**, sendo este um céu sem nuvens, padrão CIE clássico, com baixa turbidez. Os três tipos de céu foram escolhidos por representar em: uma situação menos favorável; uma intermediária e uma mais favorável em relação à iluminação natural disponível.

Foi considerado o período das 8h às 16h, segundo a hora legal, para os períodos de solstício de verão e inverno, e equinócio de outono, para a simulação de iluminação natural. Esse período foi escolhido, pois se sabe ser este o período em que a sala de aula é utilizada, com as luminárias ligadas 8 horas por dia, e ser essa a faixa de horário que melhor pode se valer da iluminação natural.

Foram elaborados dois modelos, para uso comparativo: o primeiro modelo avalia a entrada de iluminação natural dentro da sala de aula como ela se encontra hoje, com dois conjuntos de janelas, um em cada parede lateral e um, sobre a prateleira de luz. O segundo modelo, que permite avaliar os efeitos de uma abertura zenital na iluminação do ambiente, será composto por seis painéis prismáticos, projetados de maneira a ocupar linearmente o telhado da sala de aula, orientados na direção do caimento das telhas. Os modelos estão ilustrados na Figura 10.

As medições disponíveis para este estudo foram os dias possíveis com datas próximas ao solstício de verão (22 de dezembro) e de inverno (21 de junho), além de uma data próxima do equinócio de outono (18 de março). Os solstícios indicam a ocorrência dos dias mais curtos (inverno) e mais longos (verão) do ano, enquanto nos equinócios, os dias e as noites possuem a mesma duração.

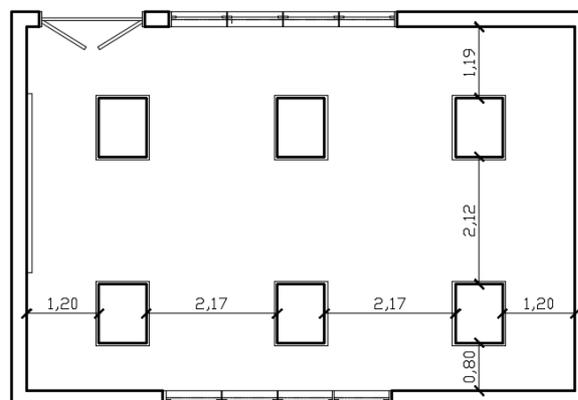
Figura 10 – Modelos comparativos de simulação de luz natural.



(fonte: elaborado pelo autor)

As refletâncias das superfícies para simulação utilizadas no programa foram as mesmas já citadas na caracterização da sala de aula da escola. A refletância é importante para saber o quanto da radiação é refletido sobre diferentes superfícies. A planta baixa que inclui os painéis zenitais pode ser vista na Figura 11.

Figura 11 – Planta baixa da sala de aula com painéis zenitais



PLANTA PAINÉIS ZENITAIS

(fonte: elaborado pelo autor).

## 5.4 RESULTADOS DA ILUMINAÇÃO NATURAL

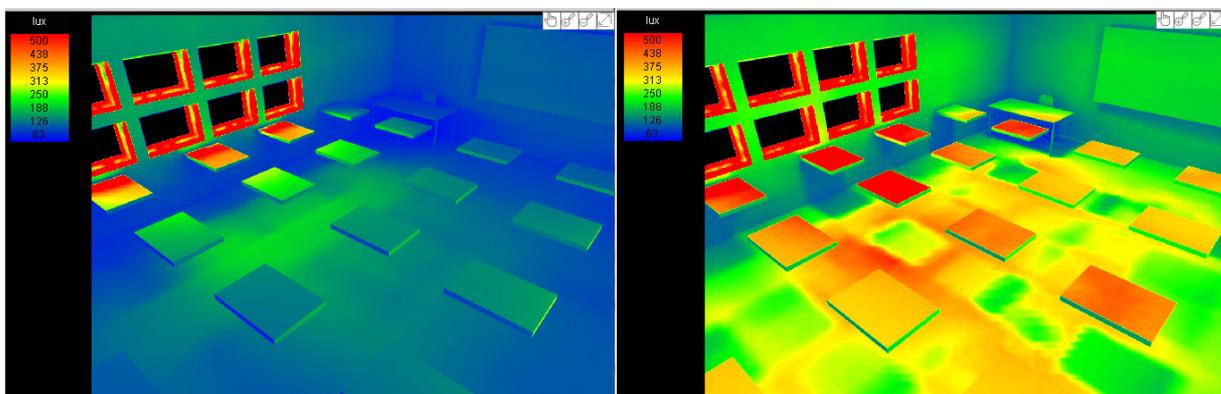
Após as fases iniciais de familiarização com o software, e modelagem no programa, a partir das características da sala de aula, foi efetuada a análise do desempenho luminoso a partir de gráficos das respectivas iluminâncias, com e sem painéis zenitais.

Nas datas possíveis de avaliação no programa (21 de junho, 21 de dezembro e 21 de março), consideraram-se os horários seguintes: às 08:00, às 10:00, às 12:00, e às 14:00, para os três tipos de céu (1, 7 e 12). Todos os resultados encontram-se no Apêndice B, e são válidos para o plano de trabalho, de 0,75 metros altura.

Pela análise do respectivo apêndice, pode-se perceber que o aumento da iluminância da sala, na condição de uso dos painéis zenitais. A concentração de luz natural, que antes era apenas perto das janelas, tornou-se mais homogênea, estendendo-se praticamente por todo ambiente, ainda que a maior concentração tenha ficado perto de janela Sul. Isto justifica-se pois o telhado é em uma água, e alguns painéis ficam a uma menor altura da parede Sul, consequentemente, entrando mais luz natural nesse setor. Nota-se também concentrações de maior luz natural bem abaixo dos seis painéis, no formato dos mesmos.

Para fins comparativos, na Figura 12 abaixo, se têm a comparação de duas imagens da sala, ambas no verão, para o tipo de céu 7, no mesmo horário, uma sem, e outra com os painéis zenitais, apenas com a luz natural entrando no ambiente.

Figura 12 – Comparação entre iluminâncias sem e com painéis zenitais



(fonte: elaborado pelo autor).

## 6 ANÁLISE DE SOLUÇÕES E PROPOSTAS DE PROJETO

Para tornar o trabalho mais didático, foram feitas quatro propostas de projetos para a sala de aula, objeto de estudo, mudando parâmetros que interferem na entrada de luz natural, artificial, custos de implantação e custo de energia elétrica. A proposta desta parte do trabalho é apresentar e descrever os cenários que serão avaliados tecnicamente e financeiramente.

### 6.1 CENÁRIOS PROPOSTOS DE ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL

A seguir, serão descritos os cenários propostos de iluminação natural e artificial para o ambiente da sala de aula, que será parâmetro para a modelagem no programa de iluminação artificial destes sistemas mais eficientes e futuras comparações entre eles.

**O Cenário 1 – Sistema lumínico atual:** é o mesmo já descrito na caracterização da sala de aula da escola estudada.

**O Cenário 2 – Sistema com lâmpadas LED:** é composto por 24 lâmpadas LED, tipo tubular T8 de 1.200 mm, Branco Frio, com uma potência de 11 W e 2.000 lúmens por lâmpada, e 43, 6 W e 4.364 lúmens por luminária (duas lâmpadas, reator mais luminária), 95 lm/w de eficiência luminosa, temperatura de cor de 3.000 Kelvins, índice de reprodução de cores maior que 80, ângulo de abertura de 125° e durabilidade de 35.000 horas.

Segundo a fabricante, possui corpo plástico e dissipador de alumínio interno que garante a dissipação térmica dos LED's, aumentando a durabilidade do produto e maior resistência mecânica.

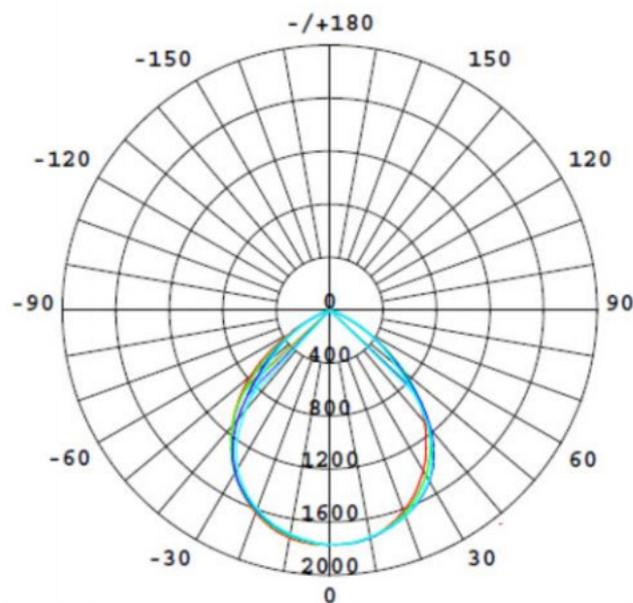
**O Cenário 3 – Sistema com lâmpadas LED, com dimerização automática:** é composto por um sistema de luminárias de sobrepor Zínia, da fabricante Intral. A utilização de uma nova iluminação foi baseada na tecnologia de LED's, por tratar-se de uma inovação que tem apresentado alta eficiência luminosa e crescimento de novos produtos no mercado.

Segundo o catálogo da Intral, a luminária é construída em chapa de aço tratada e pintada pelo sistema eletrostático em pó híbrido branco, refletor parabólico em alumínio anodizado brilhante de alta refletância, alta pureza 99,85% e difusor em acrílico leitoso. Os módulos de

LED são do tipo Mdaledis, de altíssima qualidade, a fim de assegurar uma instalação livre de manutenção e com baixa depreciação de fluxo luminoso, driver de corrente de alta eficiência e confiabilidade, para assegurar o funcionamento livre de manutenção por toda sua vida útil, que é de aproximadamente 50.000 horas de operação.

A luminária Zínia não aquece o ambiente, pois não emite infravermelho; não emite ultravioleta; permite altíssimo número de acendimentos (mais de um milhão), permite uso com sensores de luz; é construído sem a presença de mercúrio; manutenção do fluxo luminoso dos módulos de LED de 70% (L70), para uma expectativa de vida de 65.000 horas, e cromaticidade especificada conforme ANSI C78.877. Na Figura 13, pode-se ver sua curva IES.

Figura 13– Curva IES da luminária Zínia



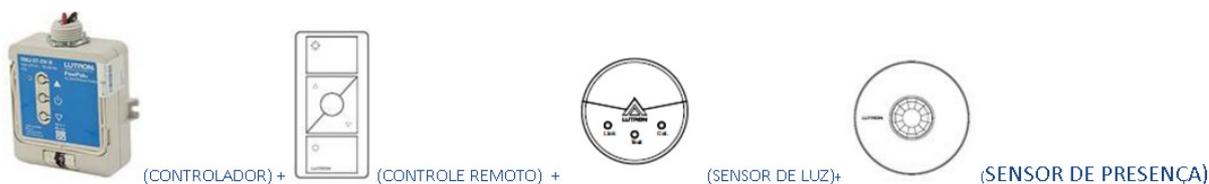
(fonte: INTRAL, 2016)

A potência total do driver, reator mais o LED é de 42,2 watts, o fluxo luminoso é de 3.282 lúmens; o fator de potência é de 0,99; a temperatura de cor, 3.000 Kelvins; a eficácia luminosa é de 75 lm/W e dispões de 14 aletas.

O sistema de dimerização automática com sensores de luz é composto pelo controlador integrador dos circuitos de iluminação da marca Lutron; um controle remoto para regular manual ou automaticamente a intensidade luminosa das lâmpadas; um sensor de luz e um sensor de presença, conforme a Figura 14. O sensor de luz deve ser alocado em um local onde

haja a incidência de luz natural, sem obstruções, para uma regulagem melhor de sua intensidade. Todos os componentes são fornecidos pela Lutron, empresa que atua no ramo de controle de iluminação.

Figura 14 – Componentes do sistema de dimerização automática



(fonte: elaborado pelo autor)

Por fim, o **Cenário 4 – Sistema com lâmpadas LED com dimerização automática e painéis zenitais**: é composto exatamente pelo cenário 3, mais os painéis no telhado.

Os painéis prismáticos são fabricados pela VELUX, e foram os mesmos acrescentados ao estudo de iluminação natural deste trabalho. A janela é do tipo de telhado com rufo; fixa; de vidro duplo; dimensões 78 x 97,8 centímetros e dispostos em duas fileiras de três painéis.

As janelas utilizam um sistema chamado ThermoTechnology, que visa um isolamento térmico maior, através de um vidro duplo, com tecnologia de bloqueio de calor. Seu objetivo é o ganho solar sem a entrada de radiação, proporcionando um adequado equilíbrio térmico. Possui transmitância térmica de 1,3, ganho solar de 0,64 e isolamento sonoro de 35 dB. (VELUX, 2016).

## 6.2 SOFTWARE DIALUX Ee VO

Para desenvolver projetos de luminotécnica, sempre houve uma necessidade muito grande de um programa computacional que pudesse auxiliar nos cálculos de iluminação. Antigamente, os cálculos eram feitos à mão, levando muito tempo para serem feitos e o resultado podia não se aproximar das medições que fossem realizadas *in loco*, posteriormente. Neste contexto, surgiu o DiaLux, e após, o DiaLux EVO, para suprir esta necessidade. O software teve grande aceitação, pois anteriormente os softwares de iluminação artificial eram produzidos pelos fornecedores de lâmpadas, havendo a possibilidade de uso apenas para seus produtos.

Conforme cita Lamberts et al. (2004, p. 167):

O DIALux pode modelar o ambiente luminoso a ser analisado ou importar e exportar arquivos para qualquer programa CAD em formatos 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 pelos parâmetros necessários e guiam o usuário pelo processo de projeto luminotécnico.

O DiaLux, versão 1.2, surgiu no ano de 1994, com um diferencial, pois ele não é produzido por nenhum fabricante de lâmpadas. A Dial, empresa especializada em iluminação, foi contratada na Europa por um grupo de fabricantes para o desenvolvimento do software. Hoje, encontra-se na versão EVO 6.0, com 191 empresas parceiras, que contratam seus serviços para a futura criação de um catálogo eletrônico, através de um *plug-in*. Atualmente, apenas as empresas brasileiras LUMICENTER e a LUMINI possuem o *plug-in* do DiaLux, além das empresas estrangeiras com fábricas ou escritórios no Brasil, o que dificulta o uso do programa no país. Hoje, estima-se que 575 mil usuários façam uso do software em todo mundo, estando seus principais usuários localizados na Europa. Na América do Sul, são 80 mil usuários, e no Brasil, pouco mais de 20 mil.

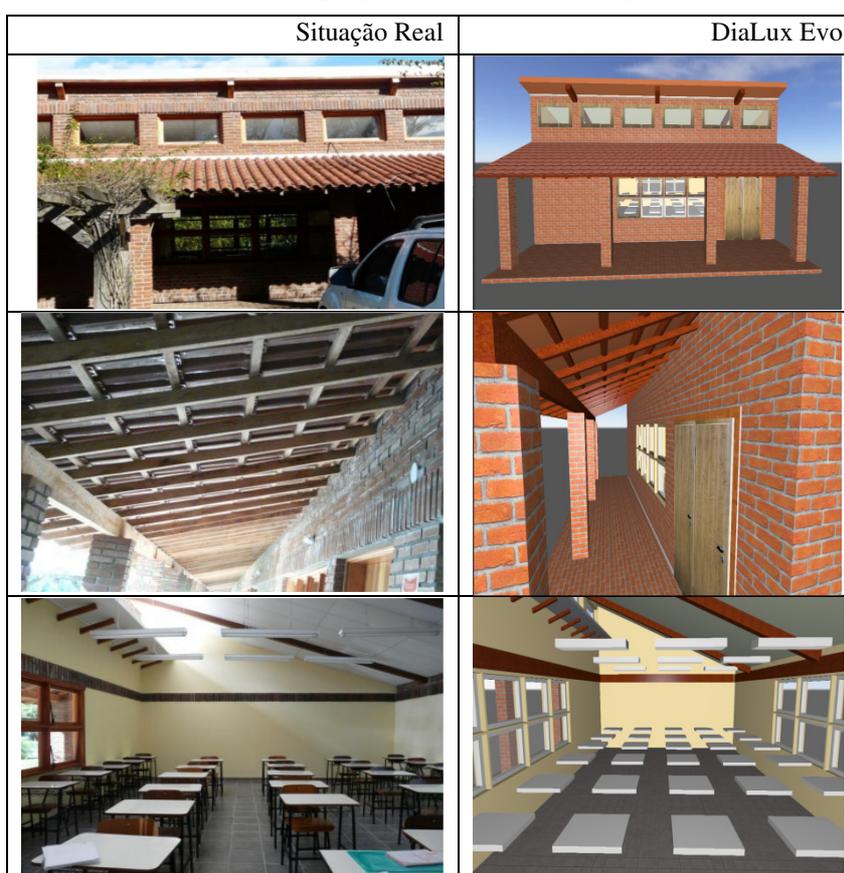
O DiaLux admite modelagem de projetos de edificações em cada ambiente, tanto interno quanto externo, com suas características (refletâncias, objetos, móveis, janelas), suas dimensões (pé-direito, largura, comprimento), e opera a partir das curvas IES das lâmpadas cadastradas pelos respectivos *plug-ins*, que é a curva fotométrica digital.

A curva IES é em formato padrão de arquivo digital, desenvolvida para simular o comportamento no ambiente virtual, da mesma forma que no físico de acordo com as curvas fotométricas das luminárias e o fluxo luminoso da lâmpada, para estabelecer o nível de iluminamento do ambiente e as curvas isolux, além de outros dados luminotécnicos. Para Vianna e Gonçalves (2001, p. 210), a intensidade luminosa está relacionada a determinada direção e ângulo sólido, e a curva IES consegue, de forma eficiente, mostrar como as intensidades se distribuem nas diferentes direções. A partir da intensidade, pode-se determinar o fluxo luminoso em uma determinada direção, o nível de iluminância num determinado ponto e a luminância de uma superfície qualquer.

### 6.3 PROJETOS LUMINOTÉCNICOS

Nesta parte do trabalho foram modelados os projetos luminotécnicos no programa DiaLux EVO, e foram gerados os respectivos resultados, de acordo com as dimensões do ambiente, horário de funcionamento das lâmpadas, refletâncias das superfícies, sistemas de iluminação e curvas IES das luminárias. O fator de perda de luz fixa foi fixado em 0,8 metros, e a superfície de trabalho em 0,75 metros, por uma malha que se estende por toda área interna da sala de aula. Para todos os cenários será considerado que as luminárias permaneçam acesas durante oito horas por dia, 22 dias por mês, típicos de edificações de uso comercial, sendo ligadas às 08:00 e desligadas às 16:00.

Figura 15 – Modelo do corredor, ambiente interno e fachada da sala de aula analisado no programa DiaLux Evo, comparado ao real



(fonte: BOCHESE, 2011 e elaborado pelo autor)

Na Figura 15, aparece o trecho do bloco da sala de aula da escola modelado no programa, comparado ao real.

### **6.3.1 Resultado da iluminação do cenário 1**

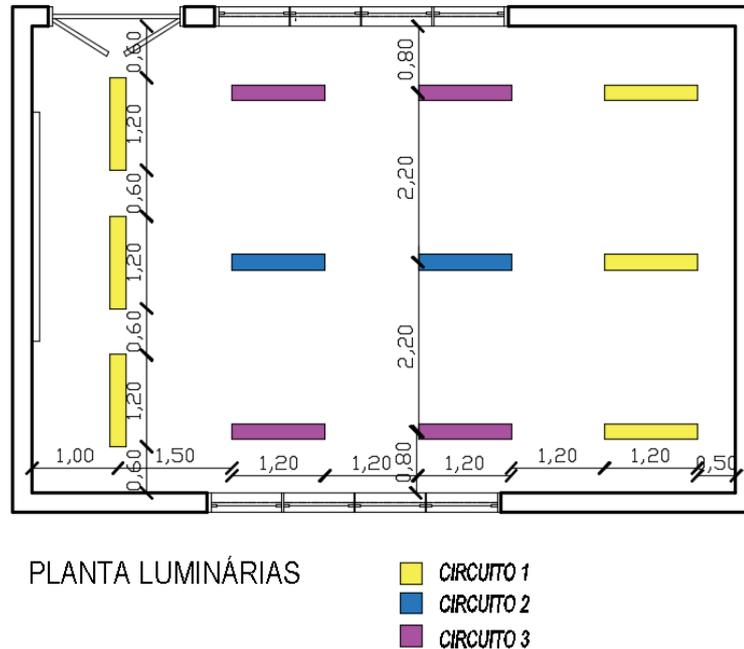
O cálculo luminotécnico do cenário 1 foi feito pelo software DiaLux EVO, utilizando-se a luz artificial apenas como parâmetro de análise. Não foi encontrado nenhum arquivo de lâmpada para o tipo de luminária na escola; então, optou-se por usar o mesmo tipo (fluorescente tubular) de outro fornecedor, com as mesmas características. A iluminância média da sala de aula é 481 lux, um pouco inferior ao requerido pela NBR ISO/CIE 8995, com máxima de 590 lux e mínima de 228 lux. Todos os resultados de iluminação artificial encontram-se no Apêndice C.

### **6.3.2 Resultado da iluminação do cenário 2**

De acordo com Bocchese (2011, p. 78), o atual sistema lumínico apresenta má distribuição das luminárias, estando às mesmas posicionadas assimetricamente, sendo causa da variação de iluminâncias entre diferentes partes da sala da aula. Partindo desse pressuposto, foi proposto um novo projeto de lâmpadas, usado no Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) de Mariano Bocchese, em 2011, aferido para manter uma maior uniformidade de iluminância no recinto, com a possibilidade de aproveitamento da luz natural. Optou-se por usar a mesma disposição proposta por Bocchese para os novos projetos dos cenários propostos.

Foram definidos para o sistema de iluminação três circuitos, independentes entre si, conforme disposição na Figura 16. O objetivo de usar três circuitos distintos foi influenciar zonas com iluminâncias e Fator Luz do Dia diferentes. .

Figura 16 – Planta baixa com novo posicionamento das luminárias



(fonte: elaborado pelo autor)

Os resultados apenas para iluminação artificial, gerados por Dialux Evo, encontram-se no Apêndice D. A iluminância média do ambiente no plano de trabalho 508 lux, com máxima de 866 lux e mínima de 233 lux.

### 6.3.3 Resultado da iluminação do cenário 3

O resultado da iluminação artificial considerando apenas a iluminação artificial das lâmpadas LED Zinia encontra-se no apêndice E. A iluminância média do plano de trabalho gerada pelo programa é 601 lux, com máximas de 862 e mínima 235 lux.

O cálculo da quantidade de iluminação necessária se baseou no acoplamento do sensor de luz e presença na parte inferior central do quadro da sala. Esta escolha deveu-se ao fato de que as faces internas da sala de aula que não tem janelas, recebem os menores valores da luz solar durante o dia e ano, e todo o quadro branco deve receber pelo menos 500 lux, de acordo com a NBR ISO/CIE 8995 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Então, colocar o sensor neste local propiciará, por parte das lâmpadas, níveis de iluminância iguais ou mais altos do que o necessário para todo o ambiente. A luminária deverá ficar ligada durante as 8 horas por dia, pois apenas a entrada de luz natural não fornece a sua quantidade necessária por norma.

O valor da potência utilizada pela lâmpada LED dimerizável é baseado em um método empírico. Sabendo a quantidade de iluminância tem no ponto onde está localizado o sensor de luz, a quantidade de watts requerida para a luminária funcionar será proporcional à iluminância emitida pela luminária, que se soma à luz natural para alcançar o mínimo requerido por norma (500 lux).

Na tabela 2, encontram-se os valores de iluminação natural e artificial ao longo do dia, em lux, e a potência da luminária Zinia, necessária para proporcionar a luz artificial no ponto do quadro onde fica o sensor de luz, para os céus estudados nos solstícios e equinócios. As iluminâncias de luz natural incidiram na faixa entre 13 e 128 lux, valores muito abaixo do mínimo requerido por norma.

Tabela 2 – Estimativa de iluminâncias e potências – Sem painéis zenitais

<b>Estimativa Iluminâncias e Dimerização - Quadro - Sem zenitais</b>									
<b>Solstício de inverno</b>									
	Céu 1			Céu 7			Céu 12		
	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)
8h	13	487	41,10	20,4	479,6	40,48	32,5	467,5	39,46
10h	31,2	468,8	39,57	47,7	452,3	38,17	73,3	426,7	36,01
12h	36,8	463,2	39,09	64	436	36,80	110,3	389,7	32,89
14h	30,3	469,7	39,64	63,2	436,8	36,87	127,8	372,2	31,41
<b>Equinócio de Outono</b>									
	Céu 1			Céu 7			Céu 12		
	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)
8h	30,3	469,7	39,64	37,9	462,1	39,00	60,6	439,4	37,09
10h	45,6	454,4	38,35	59,4	440,6	37,19	91,4	408,6	34,49
12h	55,2	444,8	37,54	67,6	432,4	36,49	108,6	391,4	33,03
14h	50,7	449,3	37,92	64,4	435,6	36,76	101	399	33,68
<b>Solstício de Verão</b>									
	Céu 1			Céu 7			Céu 12		
	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)
8h	36,1	463,9	39,15	46,2	453,8	38,30	67,1	432,9	36,54
10h	54,6	445,4	37,59	60,1	439,9	37,13	90,3	409,7	34,58
12h	61,3	438,7	37,03	65,9	434,1	36,64	100,5	399,5	33,72
14h	55	445	37,56	61,7	438,3	36,99	103,4	396,6	33,47

(fonte: elaborado pelo autor)

### 6.3.4 Resultado da iluminação do cenário 4

Na tabela 3, encontram-se os valores de iluminação natural e artificial ao longo de um dia, na sala estudada com a presença dos painéis zenitais. Percebe-se que a luz natural nos pontos analisados aumentou consideravelmente. As iluminâncias ficaram entre 30 e 192 lux, abaixo que o mínimo requerido por norma. Os baixos níveis de iluminância devem-se ao fato de parte central inferior do quadro não estar próxima aos principais locais de entrada de luz natural (perto das janelas e do teto). As iluminâncias de luz natural incidiram na faixa entre 30 e 181 lux, valores muito abaixo do mínimo requerido por norma.

Percebe-se que aumentou a incidência de luz natural no ponto estudado, mas ainda assim, são níveis baixos de iluminância, não se podendo apagar as lâmpadas durante o período avaliado, resultando em uma consequente economia menor de energia.

Tabela 3 - Estimativa de iluminâncias e potências – Com painéis zenitais

<b>Estimativa Iluminâncias e Dimerização - Quadro - Com zenitais</b>									
<b>Solstício de inverno</b>									
	Céu 1			Céu 7			Céu 12		
	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)
<b>08:00</b>	30	470	39,67	34,7	465,3	39,27	46,1	453,9	38,31
<b>10:00</b>	71,3	428,7	36,18	84,1	415,9	35,10	110,7	389,3	32,86
<b>12:00</b>	83,2	416,8	35,18	120,3	379,7	32,05	168,7	331,3	27,96
<b>14:00</b>	70,6	429,4	36,24	113,5	386,5	32,62	163,9	336,1	28,37
<b>Equinócio de Outono</b>									
	Céu 1			Céu 7			Céu 12		
	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)
<b>08:00</b>	67,3	432,7	36,52	67,8	432,2	36,48	87,6	412,4	34,81
<b>10:00</b>	110,5	389,5	32,87	112,5	387,5	32,71	143,5	356,5	30,09
<b>12:00</b>	126,8	373,2	31,50	144,8	355,2	29,98	180,5	319,5	26,97
<b>14:00</b>	110,2	389,8	32,90	139	361	30,47	177,5	322,5	27,22
<b>Solstício de Verão</b>									
	Céu 1			Céu 7			Céu 12		
	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)	Velux (lux)	Luminária (lux)	Lum. (W)
<b>08:00</b>	80	420	35,45	78,2	421,8	35,60	97,8	402,2	33,95
<b>10:00</b>	119,6	380,4	32,11	113,8	386,2	32,60	139,5	360,5	30,43
<b>12:00</b>	123,4	376,6	31,79	141,7	358,3	30,24	167,6	332,4	28,05
<b>14:00</b>	120,9	379,1	32,00	151,3	348,7	29,43	192,9	307,1	25,92

(fonte: elaborado pelo autor)

## 7 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Neste capítulo são analisadas conjuntamente as propostas previamente apresentadas neste trabalho, a fim de ser feita uma comparação entre elas e determinar a mais vantajosa, segundo cálculos de eficiência energética e viabilidade econômica.

A análise de eficiência energética da edificação passa por uma série de etapas, que serão descritas a seguir, com o intuito de verificar sistemas ineficientes e corrigir os problemas, visando um menor consumo de energia, segundo as etapas descritas a seguir:

- a) Descrever e detalhar o projeto existente, a partir de levantamento de dados, análise dos dados e estudo de soluções, para ser possível diagnosticá-los.
- b) Adaptar os níveis de iluminância no ambiente e agregar sistemas de iluminação mais eficientes, visando à economia de energia elétrica.
- c) Apontar resultados previstos de acordo com a solução escolhida.
- d) Aplicação da ação escolhida, buscando beneficiar o público alvo do projeto, que, no caso, são os alunos, funcionários e demais pessoas ligadas à escola.
- e) Verificação in loco das medidas aplicadas.

Neste trabalho será feita a análise apenas até o item C, para as soluções previstas. A opção de troca para os sistemas propostos será de responsabilidade da direção da escola e não será objeto de estudo no momento. Sabendo que nos outros itens foram analisados as caracterizações e projetos, esta parte terá finalidade do fechamento da pesquisa, que analisará os consumos de energia elétrica e viabilidade econômica.

### 7.1 CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Nesta parte é feita uma estimativa de demanda e consumo com as alternativas mais eficientes energeticamente. Para a verificação do cálculo do consumo de energia mensal, para a sala no atual período, e nas soluções propostas de projeto, foi contabilizado o número de luminárias e lâmpadas, bem como suas especificações.

Em uma primeira análise, são comparados os valores de Energia Economizada. Para a avaliação dos consumos nos cenários sem dimerização automática das lâmpadas LED, foi utilizada a equação abaixo, para definição do consumo, em kWh (quilowatts hora):

$$\text{Consumo de energia mensal} = [W \cdot h \cdot d] / 1000$$

Sendo:

W = potência total da iluminação;

h = horas de iluminação por dia;

d = dias de utilização por mês.

Para os cenários em que havia necessidade de dimerização das lâmpadas a partir dos sensores de luz, foram usados os valores calculados nas estimativas de potência usada pela luminária nos solstícios e equinócios, para o tipo de céu 7. Segundo Vianna e Gonçalves (2004), a condição de céu para o dia típico de projeto de Porto Alegre é parcialmente nublado. Adotou-se essa condição também para a escola situada em Feliz, justificando a escolha do tipo de céu 7. Na Tabela 4, estão os valores de energia consumida e economizada, no período de um ano.

Tabela 4 – Energia economizada por ano por lâmpada

Descrição das luminárias	Quantidade	Potência Unit.(W)	Potência Total (W)	Consumo Potência/ano (kWh)	Energia Economizada/ano (kWh)
Lâmpada Fluorescente Tubular Osram	24	40	960	2027,52	-
Lâmpada Tubular LED T8	12	43,6	523,2	1105,00	922,52
Lâmpada LED Zínia sem zenitais	12	42,2	506,4	845,18	1182,34
Lâmpada LED Zínia com zenitais	12	42,2	506,4	740,84	1286,68

(fonte: elaborado pelo autor)

Observa-se que a partir do Cenário 2, com lâmpadas tubulares LED, o consumo pode diminuir 45,5 % por ano, e chegar até 63,5%, porcentagens significativas se tratando de energia despendida. Estes valores consideram apenas a energia diretamente empregada para

iluminação, podendo haver economias adicionais de uso do ar condicionado, devido à redução de calor liberado pelo sistema de iluminação.

## 7.2 ANÁLISE ECONÔMICA

No momento em que precisamos avaliar a possibilidade de implantação de um projeto, deve-se fazer um estudo cauteloso da parte econômica e financeira, tendo em vista sua viabilidade perante os métodos construtivos empregados, materiais e manutenção adequada, e a partir disso, fazer uma tomada de decisão do que seja mais adequado, baseada em cálculos e dados.

Para o caso específico de lâmpadas e luminárias, o cálculo de viabilidade pode ser feito no modo de “*retrofit*”, que é um termo usado em engenharia para indicar a troca de algum equipamento que é considerado ultrapassado ou fora de norma, por um novo. Este procedimento de troca é muito usado quando se trata de ambientes industriais, substituindo-se, muitas vezes, motores, refrigeradores, iluminação, entre outros. Na grande maioria dos casos, como o novo equipamento é mais eficiente energeticamente, haverá uma diminuição do consumo de energia. O grande empecilho dos investimentos começa pelo fato de os investidores não conhecerem a tecnologia empregada e haver certo temor na compra de uma nova tecnologia. Outro problema é o alto investimento inicial, já que os novos produtos entrantes no mercado têm um preço elevado, em relação àqueles que já são consolidados. A melhor forma de perceber o verdadeiro custo-benefício é através da análise do quanto de economia se terá com energia e ver se o investimento é coerente em relação a isso.

É importante salientar que a análise econômica tratará apenas da rentabilidade do investimento, com valores em moeda. No caso da instalação de melhores lâmpadas na escola, haverá repercussões não ponderáveis, como a melhoria da qualidade de vida dos alunos ou de proporcionar um melhor ambiente de leitura. Estes critérios devem ser analisados à parte e são de tanta importância quanto aos critérios financeiros. A análise global dos investimentos deve considerar outros valores não quantificáveis que não serão considerados neste trabalho, e, sim, apenas a parte econômica, tomando por pressuposto que as novas luminárias e painéis zenitais melhorarão o desempenho lumínico.

### 7.2.1 Investimentos Iniciais

A compra de um sistema de iluminação compreende uma série de custos, começando pela sua instalação. A instalação inclui o material, e é composta pelos reatores, luminárias, lâmpadas, suportes, fios, cabos, tubulações, perfilados e sistemas adicionais, como os de automação, além da mão de obra. Os custos de investimentos iniciais e de manutenção para cada cenário analisado encontram-se na Tabela 5, e foram baseados em orçamentos enviados por fornecedores.

Tabela 5 - Custos iniciais

Dados	Tipos de Sistema de Iluminação			
	Cenário 1 Atual	Cenário 2 Tubular LED	Cenário 3 LED Zínia sem zenitais	Cenário 4 LED Zínia com zenitais
Quantidade Luminárias	-	12,00	12,00	12,00
Quantidade Lâmpadas	-	24,00	-	-
Preço Luminárias	-	130,00	430,00	430,00
Preço Lâmpadas	-	83,00	-	-
Mão-de-Obra Inicial	-	700,00	1.500,00	4.500,00
Sistema de Controle	-	-	5.700,00	5.700,00
Painéis Zenitais	-	-	-	32.568,00
<b>CUSTO TOTAL INICIAL</b>	-	<b>4.252,00</b>	<b>12.360,00</b>	<b>47.928,00</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

Nota-se que os preços dos diferentes cenários variam bastante. Isto se deve ao fato dos sistemas empregados serem de alto custo inicial, com tecnologias atuais e benéficas para a construção. Partindo-se do pressuposto que 60 alunos usam a sala diariamente (30 pela manhã e 30 à tarde), pode-se calcular o custo por aluno, que é 70,87 reais para o cenário 2, 206 reais para o cenário 3 e 798,8 reais para o cenário 4.

### 7.2.2 Método de Cálculo do *Payback*

De acordo com Casarotto Filho (2000, p. 122), o “*Pay-Back Time*”, também chamado de Tempo de Recuperação do Capital Investido, é um método não exato, no qual se mede o tempo necessário para que o somatório das parcelas anuais ou mensais seja igual ao

investimento inicial. Neste cálculo não é considerado o passado; ou seja, a partir dos investimentos presentes e futuros ocorrem todas as análises.

#### 7.2.2.1. Economia anual dos custos de energia

Para fins de comparação, foi medido o Custo Evitado por ano em energia elétrica, em kWh/ano, como principal quantitativo, obtido pelos dados de consumo das luminárias. O ideal seria comparar estes resultados à verificação após o sistema instalado, por medições in loco. O custo evitado dá-se pela diferença entre os custos energéticos dos sistemas propostos, e o custo atual.

Para calcular o valor do consumo de energia elétrica, na moeda local, em reais, multiplica-se o resultado final do consumo, em um ano, pela tarifa da companhia de distribuição de energia elétrica. Para o sistema atual, usa-se o consumo existente. Para os sistemas propostos, usa-se o consumo baseado na quantidade proposta de luminárias dos projetos. As equações do Custo Energético, por ano, são descritas nas equações abaixo.

Custos de consumo de energia elétrica por mês = consumo de energia mensal\*taxa de serviço público

$$CE_n = CE_{n-1} + CE_1 * (1 + VEE/100)$$

Sendo:

$CE_n$  = o custo energético, no ano n, em reais;

$CE_1$  = o custo energético do sistema proposto, no ano 1, em reais;

VEE = Variação da energia elétrica, em %;

O valor que a escola paga em energia elétrica foi estabelecido como sendo 0,80937216 reais por kWh, baseado em informações passadas pela diretoria de administração e planejamento do Campus Feliz, da IFRS (Instituto Federal Rio Grande do Sul), para o consumo do mês de abril de 2016, na bandeira verde. O sistema de bandeiras foi instituído pela Aneel, e é divulgado mensalmente, com base em informações do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico). A bandeira tarifária pode divergir para diferentes regiões do país.

### 7.2.2.2. Economia anual de manutenção

A manutenção é composta pela troca do capacitor, do reator e da lâmpada, e calcular seus custos é essencial para prever gastos, manter o padrão de qualidade do produto e não interromper processos. Para Martins e Laugeni (2005), existem quatro tipos de manutenção: corretiva, preventiva, preditiva e produtiva total. Neste trabalho, é usada a preventiva, que antecipa a ocorrência de um problema através da troca das lâmpadas, no período recomendado pelo fornecedor. O custo evitado com manutenção por ano pode ser obtido pela equação abaixo:

$$CEMP_1 = CMSA_1 / VUSA$$

Sendo:

$CEMP_1$  = o custo evitado de manutenção do sistema proposto por ano, no ano 1, em reais;

$CMSA_1$  = o custo de manutenção do sistema atual, em reais;

$VUSA$  = vida útil do sistema atual, em anos;

A vida útil das lâmpadas foi definida de acordo com dados fornecidos pelos fabricantes nos seus catálogos técnicos. Como os projetos comparam equipamentos com durabilidades diferentes, o investimento deve ser visto de forma anualizada; ou seja, o somatório dos investimentos deve ser comparado ao próprio tempo de vida.

A economia anual com manutenção, que só aplica-se aos sistemas novos propostos, pode ser obtido pela equação seguinte:

$$EAM_n = EAM_{n-1} + CMSA_1 * (1+I)$$

Sendo:

$EAM_n$  = a economia anual de manutenção, no ano n, em reais;

$EAM_{n-1}$  = o custo de manutenção do sistema atual, no ano n-1, a partir do ano 2, em reais;

$CEMP_1$  = o custo evitado de manutenção do sistema proposto, no ano 1, em reais;

$I$  = taxa de inflação prevista;

A taxa de inflação prevista refere-se à inflação brasileira, baseada no IPC (Índice de Preços ao Consumidor). Nos respectivos cálculos, a inflação foi fixada em 9,5%. Segundo Casarotto Filho (2000, p. 80), a inflação é a perda do poder aquisitivo da moeda. O IPC reflete a evolução dos preços de um conjunto de produtos e serviços padrão, que as famílias no Brasil adquirem para consumo.

### 7.2.2.3. Retorno de investimento por ano do sistema

Por fim, analisou-se o tempo de recuperação de valor investido, que foi calculado, para os diferentes cenários propostos, pelo tempo necessário pra recuperar o capital inicial através da economia do valor pago em energia e manutenção. Na equação abaixo, tem-se a fórmula para o cálculo final do *payback*. para cada ano analisado.

$$\text{Payback}_n = (\text{EAM}_n + \text{CE}_n) - (\text{RTMA}_n + \text{RE} + \text{II})$$

Sendo:

$\text{Payback}_n$  = o retorno de investimento, por ano, do sistema proposto, em reais;

$\text{EAM}_n$  = a economia anual de manutenção, no ano n, em reais;

$\text{CE}_n$  = o custo evitado em energia, por ano, ano n, em reais;

$\text{RTMA}_n$  = Resultados da taxa mínima de atratividade, no ano n, em reais;

RE = Reinvestimento na troca do material inicial, em reais;

II = investimento inicial, em reais;

O investimento inicial é o custo dos produtos, equipamentos e mão de obra para a instalação do sistema proposto. O reinvestimento é o valor de substituição das lâmpadas novas do sistema no fim de sua vida útil.

Na análise de uma proposta de investimento, considera-se a possibilidade de se estar ganhando retornos pela aplicação do mesmo dinheiro em outras aplicações. A nova proposta deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes usuais e de pouco risco. Esta é a TMA (Taxa Mínima de Atratividade). Segundo Casarotto Filho (2000, p. 109), atribui-se à TMA a rentabilidade da taxa da caderneta de poupança, para pessoas físicas, a taxa de remuneração de títulos bancários de curto prazo, como os CDB's, para investimentos de curto prazo de empresas; a média ponderada dos rendimentos das contas de capital de giro, para investimentos de médio prazo; e pode ser uma meta estratégica,

relacionada com o patrimônio líquido, e política de distribuição de dividendos, para investimentos de longo prazo. A TMA estratégica foi considerada 10%, ao ano, para todos os cálculos utilizados neste trabalho. Na equação seguinte, vê-se como se calcula os resultados da taxa mínima de atratividade, por ano.

$$RTMA_n = (TMA+1)*RTMA_{n-1}$$

Sendo:

$RTMA_n$  = Resultados da taxa mínima de atratividade, no ano n, em reais;

TMA = Taxa mínima de atratividade;

Na Tabela 6, tem-se a comparação dos custos de energia, custo evitado, vida útil e *paybacks* dos sistemas de iluminação.

Tabela 6 – custos de energia, custo evitado, vida útil e *paybacks* dos cenários

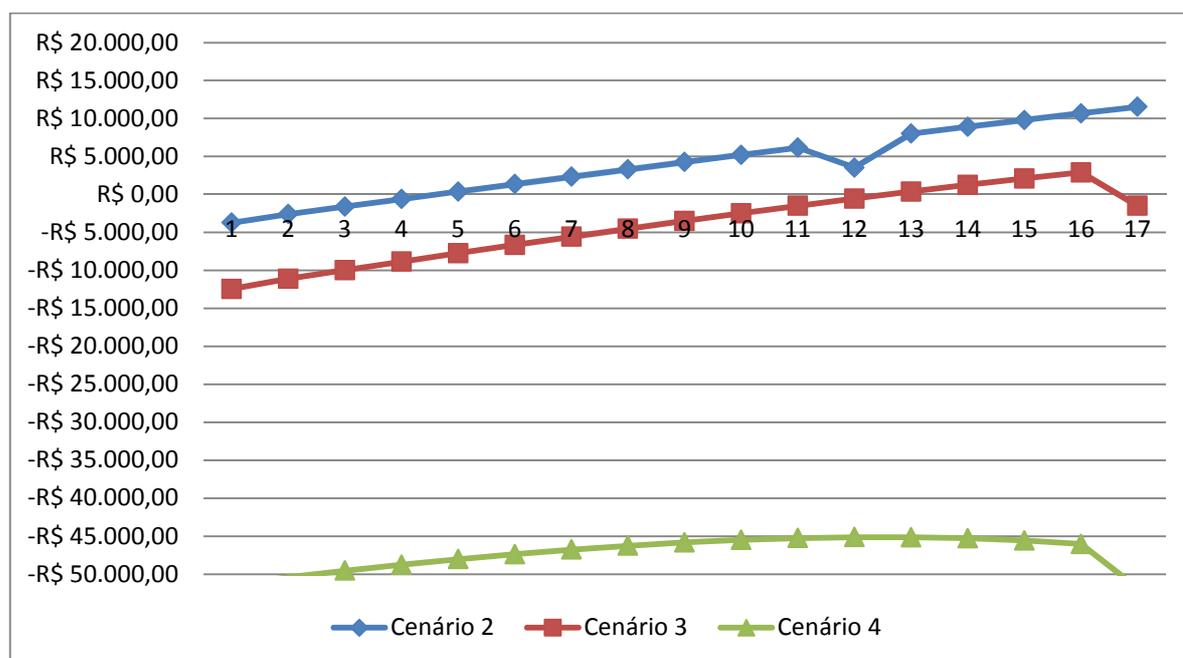
Dados	Tipos de Sistema de Iluminação			
	Cenário 1 Atual	Cenário 2 Tubular LED	Cenário 3 LED Zínia sem zenitais	Cenário 4 LED Zínia com zenitais
Custo Inicial	-	4.252,00	12.360,00	47.928,00
Custo Manutenção	908,40	3.552,00	5.160,00	5.160,00
Consumo Energético/ano (kWh)	2.027,52	1.105,00	845,18	740,84
Custo energia/ano	1.641,02	894,35	684,06	599,62
Custo Evitado	-	746,66	956,95	1.041,40
Vida Útil lâmpadas (horas)	13.000	35.000	50.000	50.000
Vida Útil lâmpadas (anos)	4,51	12,15	17,36	17,36
Economia Anual de Manutenção	-	201,25	201,25	201,25
Payback (anos)		4,49	10,67	38,57

(fonte: elaborado pelo autor)

Os valores da tabela acima mostram que o melhor custo-benefício é o do cenário 2, pois tem um período de retorno menor que os demais e é relativamente baixo. O *payback* do cenário 3 é aceitável, dado a durabilidade das luminárias, e o cenário 4 é inviável, economicamente, quando se objetiva algum retorno de investimento. A entrada de painéis zenitais no cenário aumentou em quase quatro vezes o seu custo inicial, encarecendo o custo global de implantação.

O Gráfico 1 mostra os retornos de investimento, ao longo dos anos, para os três cenários propostos. Nota-se que o maior retorno é do cenário 1, que ao fim de 17 anos tem uma economia de 11.542,46 reais, o cenário 2 tem um retorno neste mesmo período de 2.906,61 reais e o cenário 4 não apresenta retorno do investimento inicial no período analisado.

Gráfico 1 – Retorno do investimento por ano



(fonte: elaborado pelo autor)

## 8. CONCLUSÕES

A recente preocupação com gastos em eficiência energética mostra-se válida, visto que os equipamentos e sistemas são grandes consumidores de energia elétrica nos mais diversos locais, como em escolas, em indústrias, residências e outros locais. Todas as propostas de melhorias energéticas dos sistemas de iluminação apresentadas anteriormente contemplam melhorias em termos de equipamentos, demanda, e consumo de energia elétrica. A adequação do nível de iluminamento atendeu aos quesitos correspondentes aferidos na NBR ISO/CIE 8995 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

O cenário 2, apenas com lâmpadas tubulares de LED e mudança do posicionamento das luminárias, mostrou-se uma solução financeiramente mais viável, visto seu baixo período de retorno, e considerável economia de energia. Os outros sistemas, com dimerização, sensores de luz e painéis zenitais, também diminuiriam ainda mais o consumo de energia, porém são sistemas ainda novos no mercado e, portanto, vendidos a preços muito elevados, dificultando a implantação, em função de seus custos iniciais.

Há benefícios não quantificáveis inerentes ao processo, como a melhora do desempenho escolar. Uma sala melhor iluminada exige menos da visão. A presença de luz natural também se reflete em qualidade de vida, sendo, porém, de difícil quantificação.

A partir dos dados resultantes das simulações realizadas, pode-se observar que as aberturas zenitais garantem iluminâncias satisfatórias para o ambiente estudado, ainda que não possa ser usada somente a luz natural, durante seu período de uso. Os painéis garantiram uma presença maior de luz dentro do ambiente em relação ao estado atual, com maior abrangência e homogeneidade, apesar de o seu custo, hoje, no Brasil ser um empecilho real e ser um motivo para impopularidade do sistema.

A iluminação artificial com dimerização e sensores de presença pode não ser o melhor meio de verificação da luz natural que entra no ambiente, uma vez que um ponto pode não representar adequadamente toda a iluminância da sala de aula.

Portanto, pode-se afirmar que os projetos que contemplem a efficientização da luz natural e artificial contribuem para diminuir o consumo elétrico, no setor energético brasileiro, o que é essencial ao desenvolvimento econômico do país. Existem soluções, economicamente viáveis,

dependendo do sistema empregado. No caso deste trabalho, em específico, verifica-se a existência de alternativas, que poderiam ajudar a melhorar o ambiente escolar, e com isto, possibilitar melhoria do desempenho dos alunos.

Como sugestão de estudos posteriores, sugere-se aprofundar a avaliação do conforto térmico em edificações com uso de painéis zenitais, pois os efeitos do tipo de abertura para ganhos de calor e radiação não foram levados em consideração. É importante também, o estudo e avaliação de painéis prismáticos, no intuito de difundir as luzes ingressam nos ambientes, já que com o uso de painéis só é possível iluminar áreas imediatamente abaixo das aberturas. Assim, poderá se aumentar sua amplitude de alcance das linhas de luz, como já existem hoje no mercado, embora não normatizados e sem respectivos estudos ao seu respeito.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos do programa de eficiência energética – PROPEE**. 2013.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 5461**: Iluminação. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **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.

BOCCHESE, 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.

CASAROTTO FILHO, Nelson. **Análise de investimento: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

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

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

INTRAL. Catálogo de lâmpadas e luminárias. Disponível em: < <http://intral.com.br>>. Acesso em 15 março 2016.

KRUM, Christiane Cunha. **Desempenho lumínico em edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: um estudo de caso**. 2011, 181 f. dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

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

MARTINS, Petrônio G; LAUGENI, Fernando P.. **Administração da Produção**. São Paulo: Saraiva, 2 ed. 2005.

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios: relatório de pesquisa**. 2. ed. Porto Alegre: Sagra, 1992.

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

PHILLIPS, Derek. **Daylighting**: natural light in architecture. 1. ed. Oxford. Architectural Press, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FELIZ. Disponível em:  
<<http://www.feliz.rs.gov.br/municipio>>. Acesso em: 4 maio 2016.

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

RORIZ, Maurício. Arquitetura Bioclimática. Módulo 1b: Iluminação Natural em Edificações. II fórum pró-sustentabilidade. Feevale. Novo Hamburgo. 2008.

SILVA, Maria da Luz P. **Análise de dois empreendimentos educacionais construídos segundo princípios de sustentabilidade, no estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SOL-AR. Versão 6.2: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina, 2016. Disponível em  
<<http://www.labee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

STEFFY, Gary. **Architectural Lighting Design**. Hoboken, New jersey. John Wiley and Sons. 3 ed. 2008.

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.

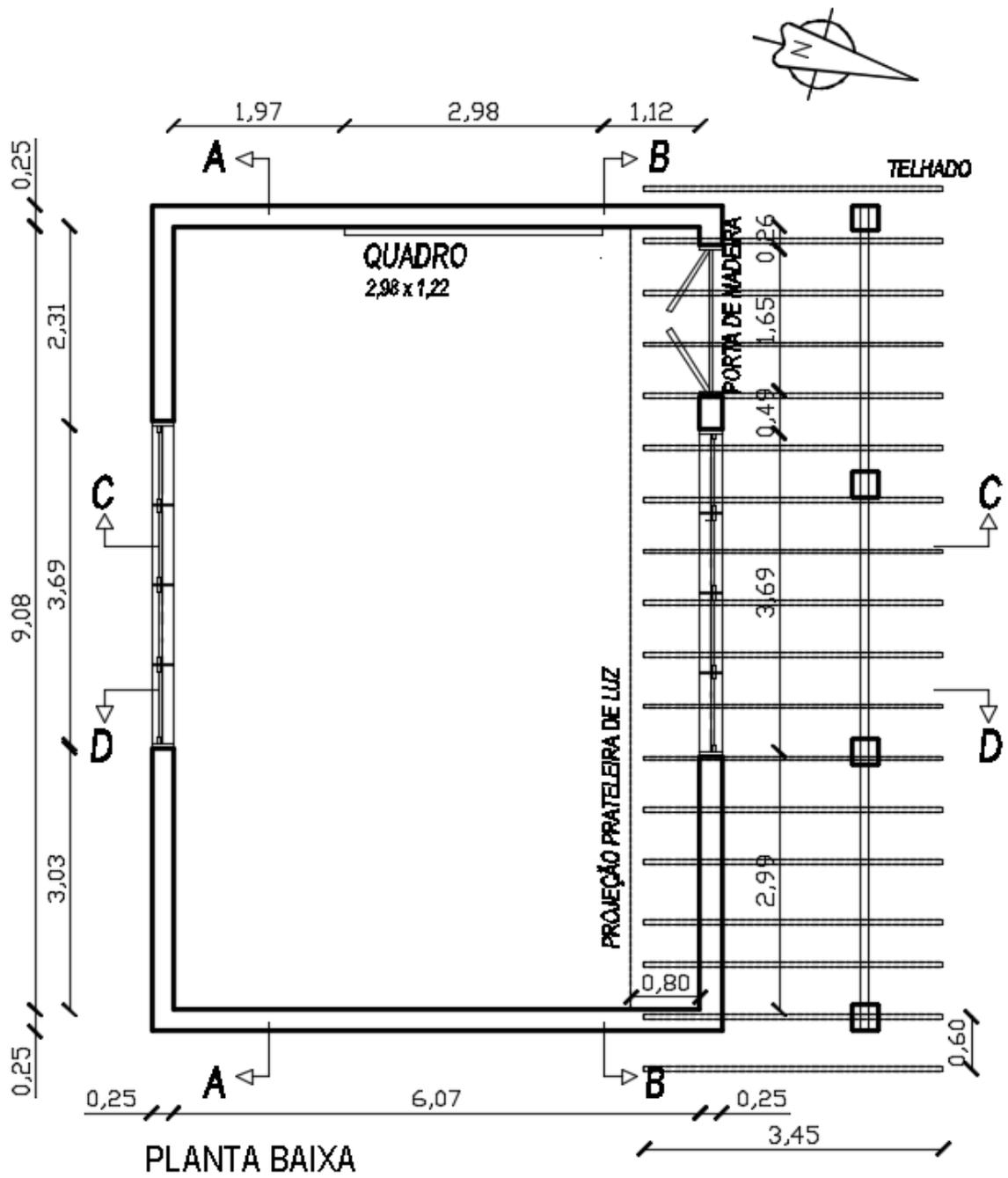
TREGENZA, P.; LOE, D.. **The Design of Lighting**. London: Spon Press. 1998.

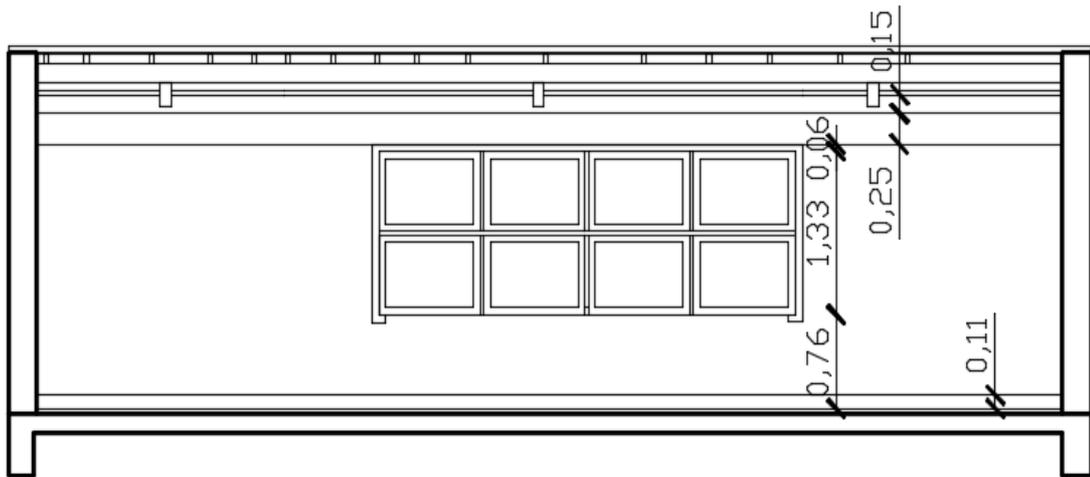
VIANNA, N. S.; GONÇALVES J. C. S. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Virtus, 2001.

VELUX. **Tabela de preços**. Portugal. 2016. Disponível em  
<<http://www.velux.pt/~media/marketing/pt/catalogos/velux%20tabela%20de%20precos%20-%20abril%202016.pdf>>. Acesso em 15 mai 2016.

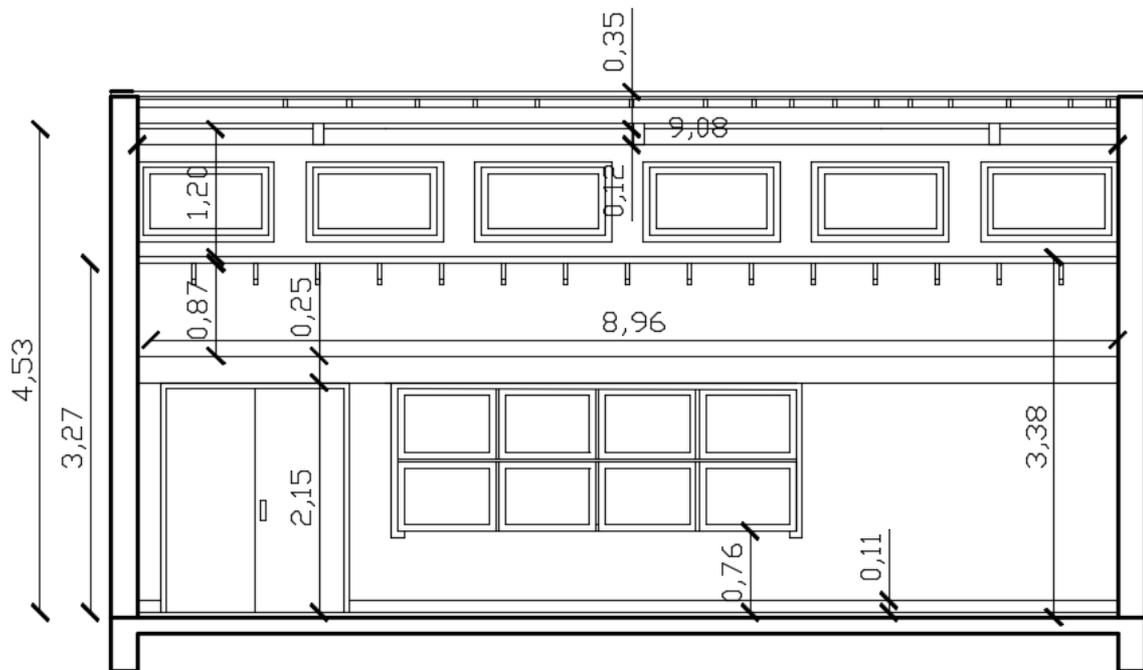
## **APÊNDICE A**

**Planta baixa, cortes e detalhes arquitetônicos da sala de aula.**

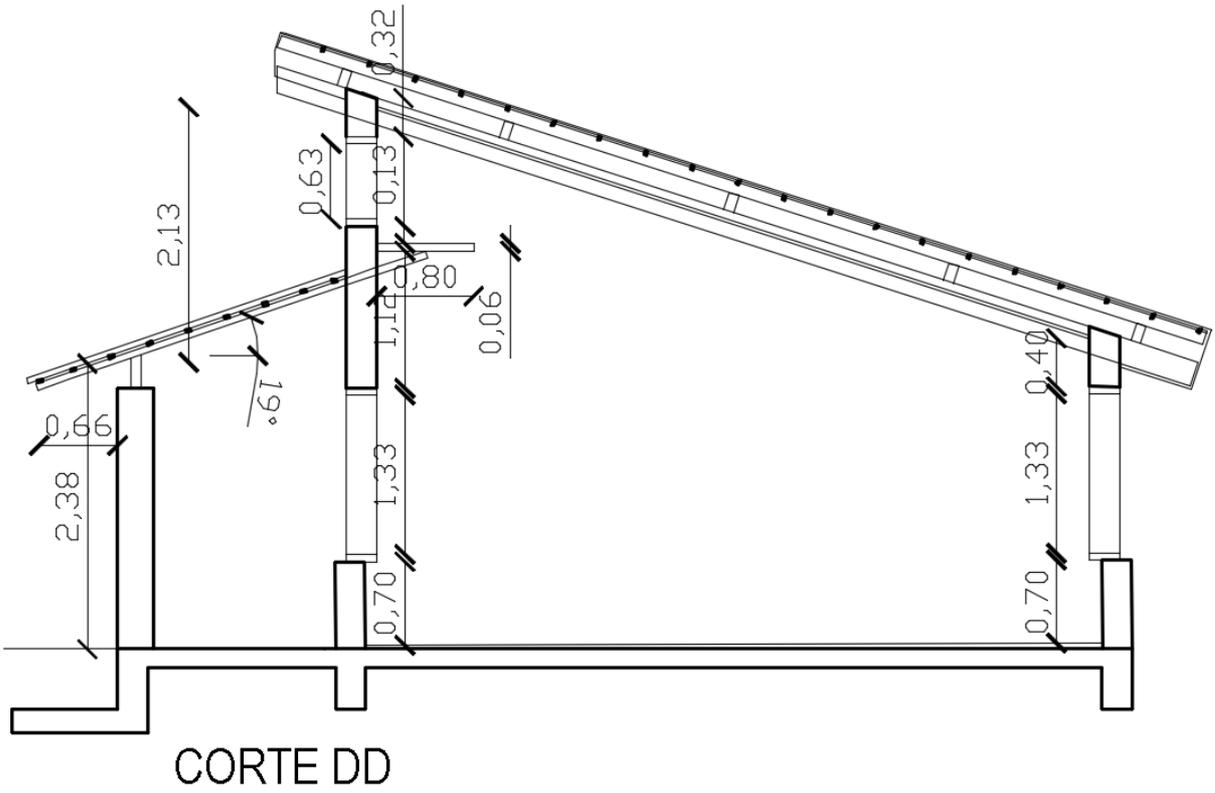
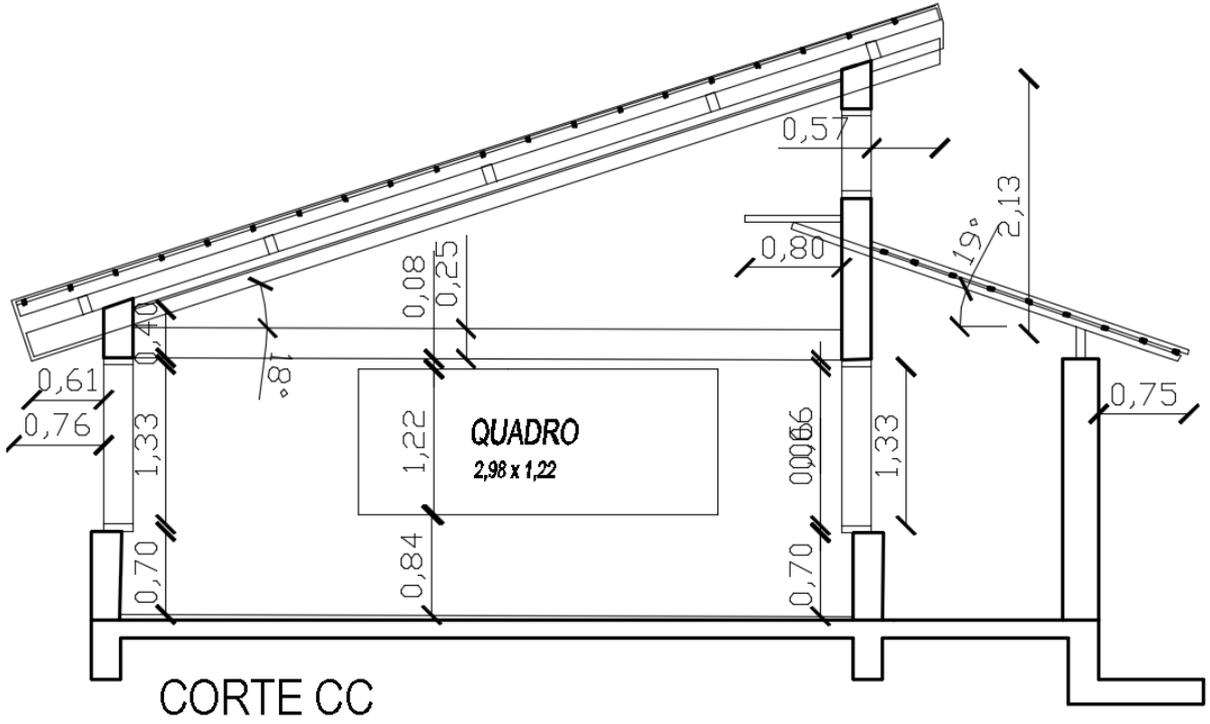


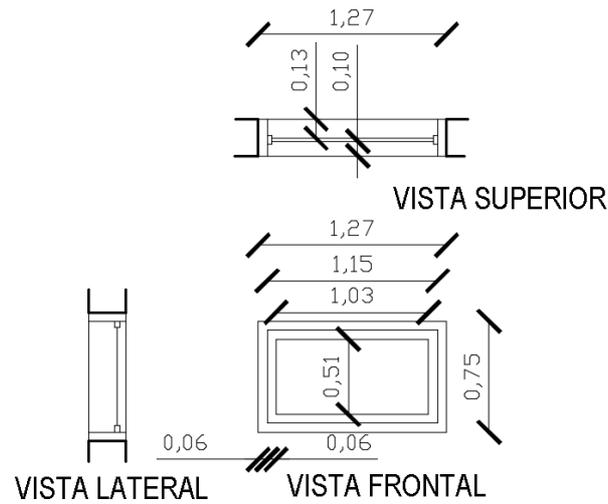


CORTE AA



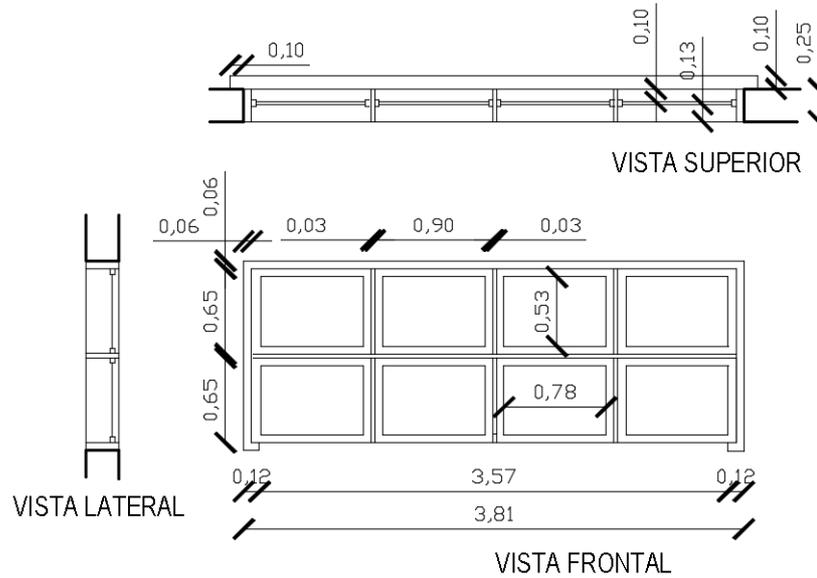
CORTE BB





## Janelas Basculares Superiores

DETALHE

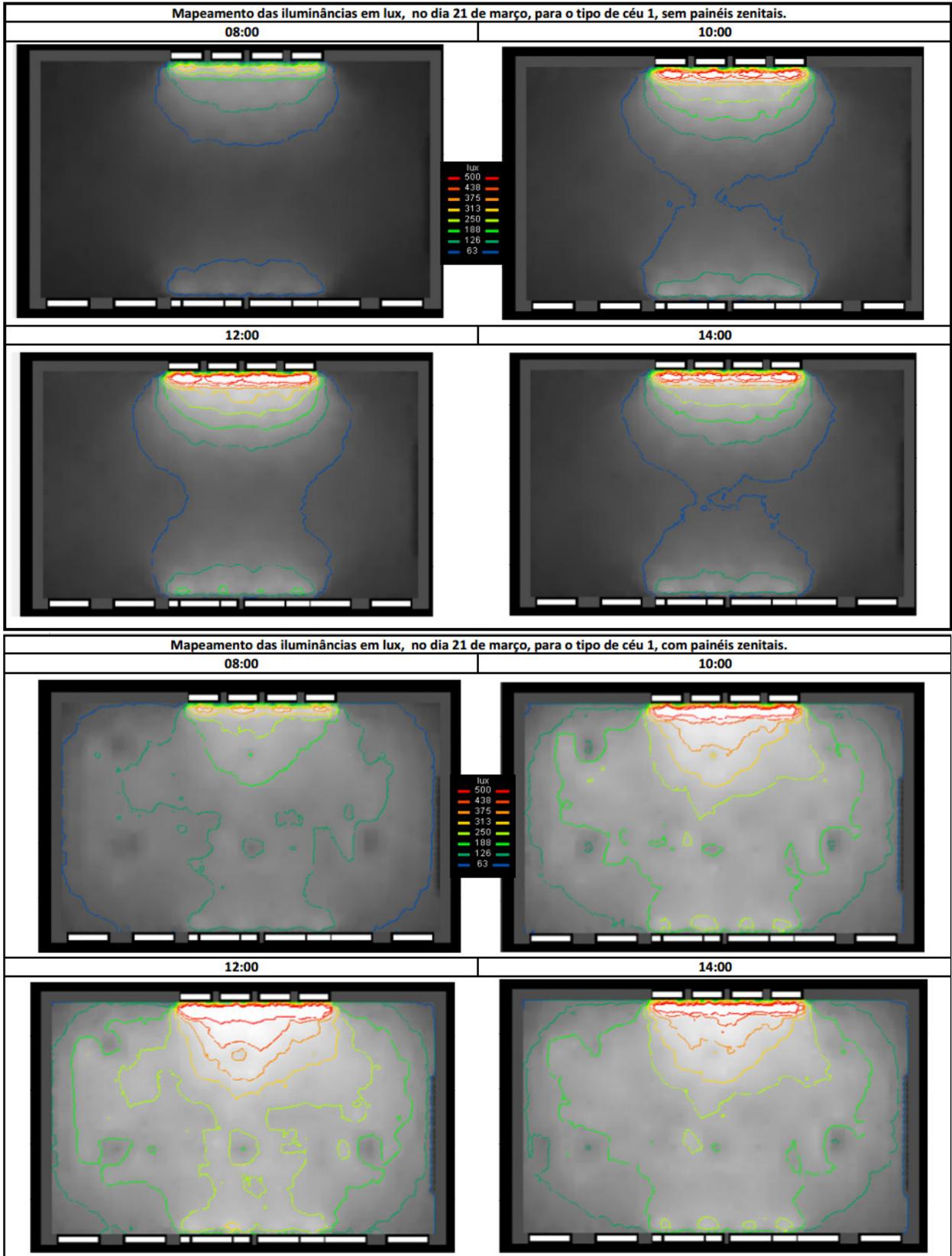


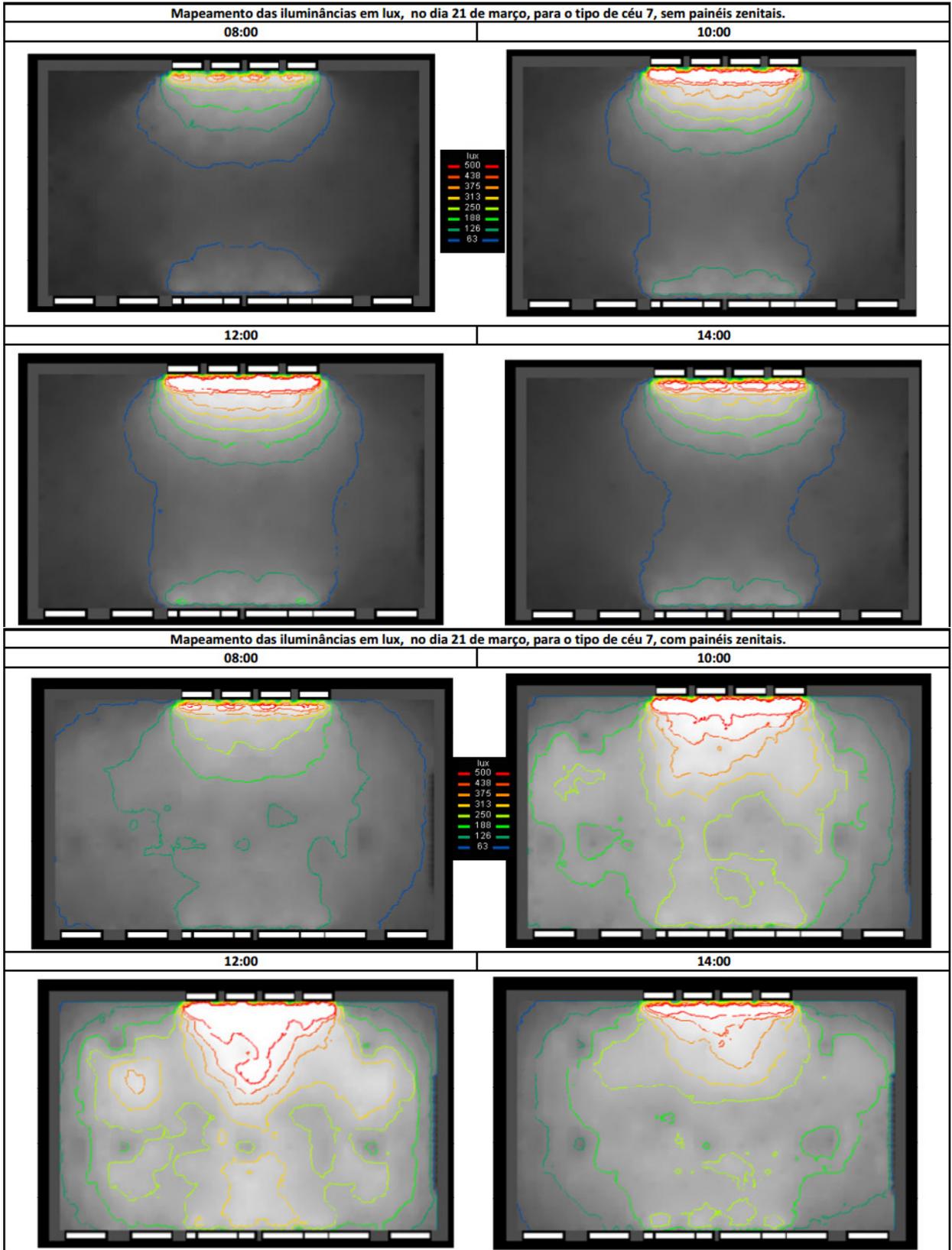
## Janelas Basculares Inferiores

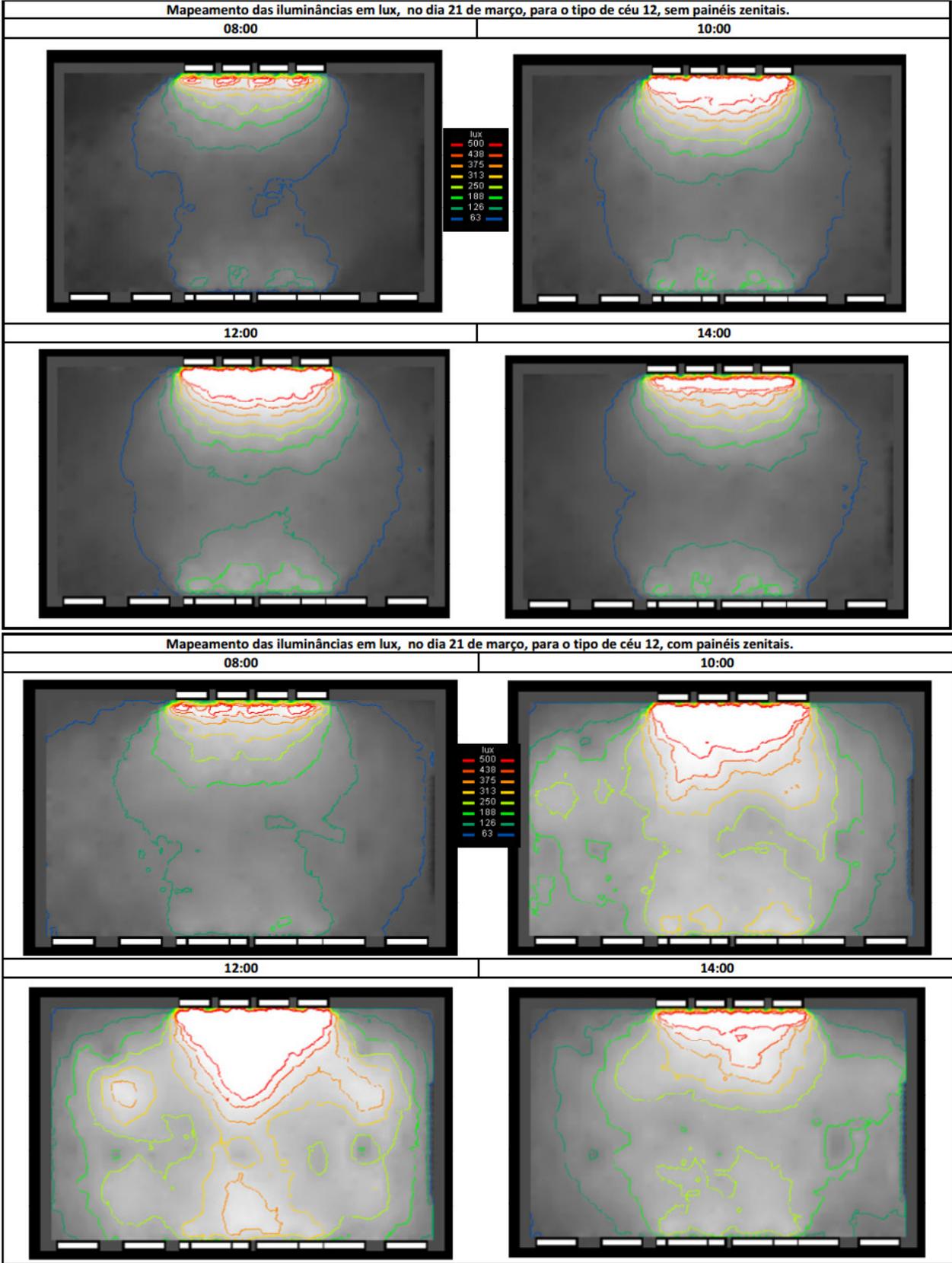
DETALHE

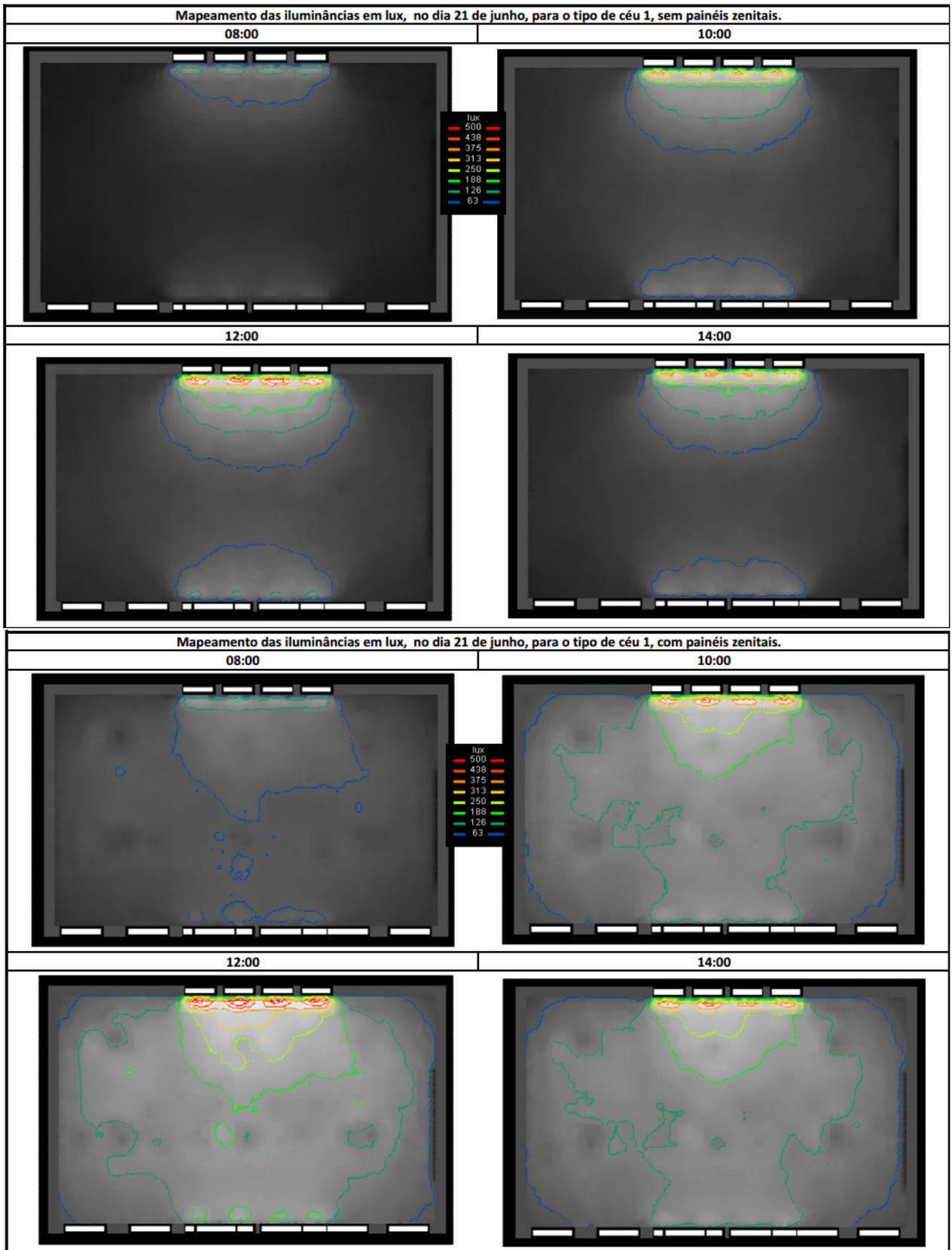
## **APÊNDICE B**

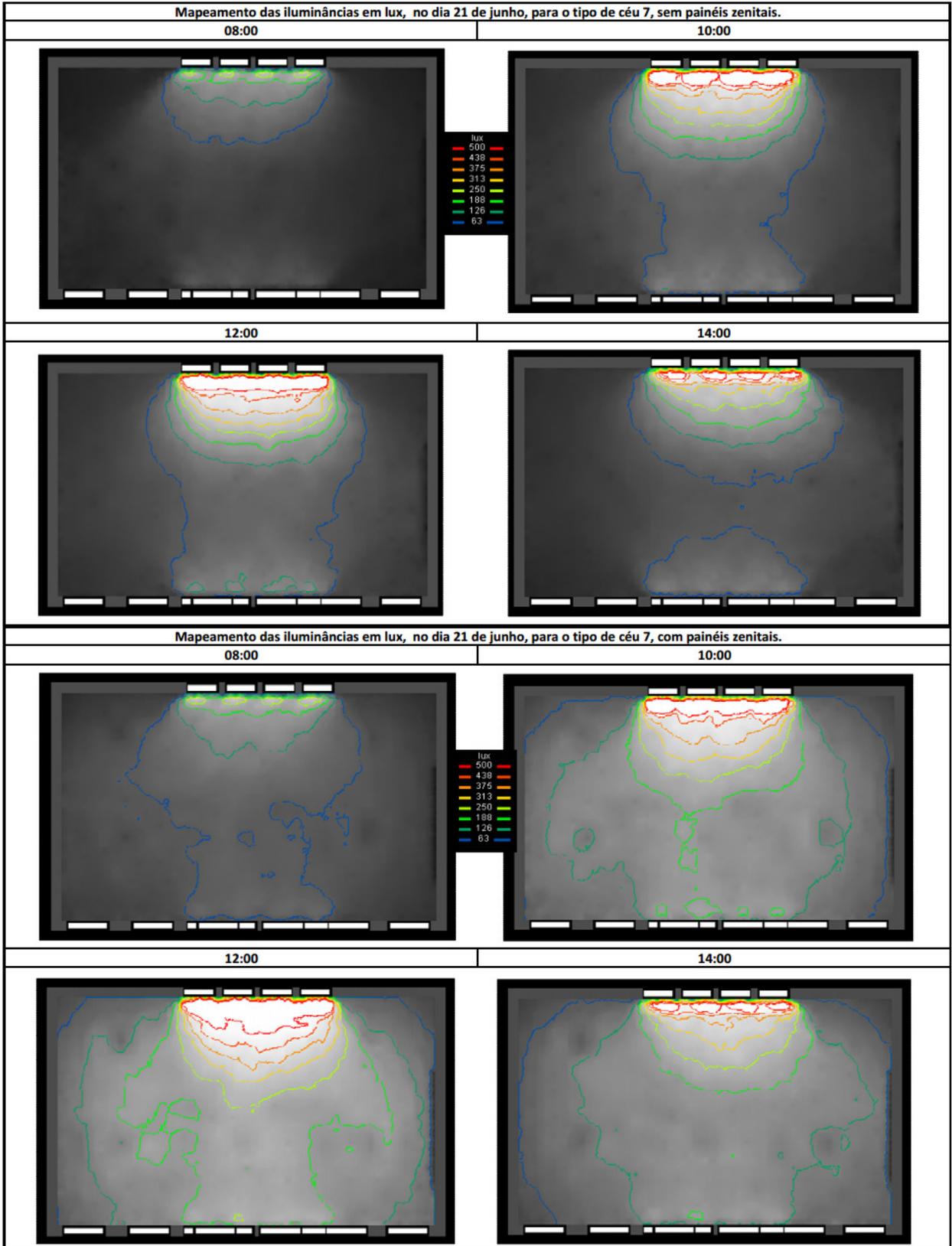
**Mapeamento das iluminâncias da sala de aula, com e sem painéis zenitais.**

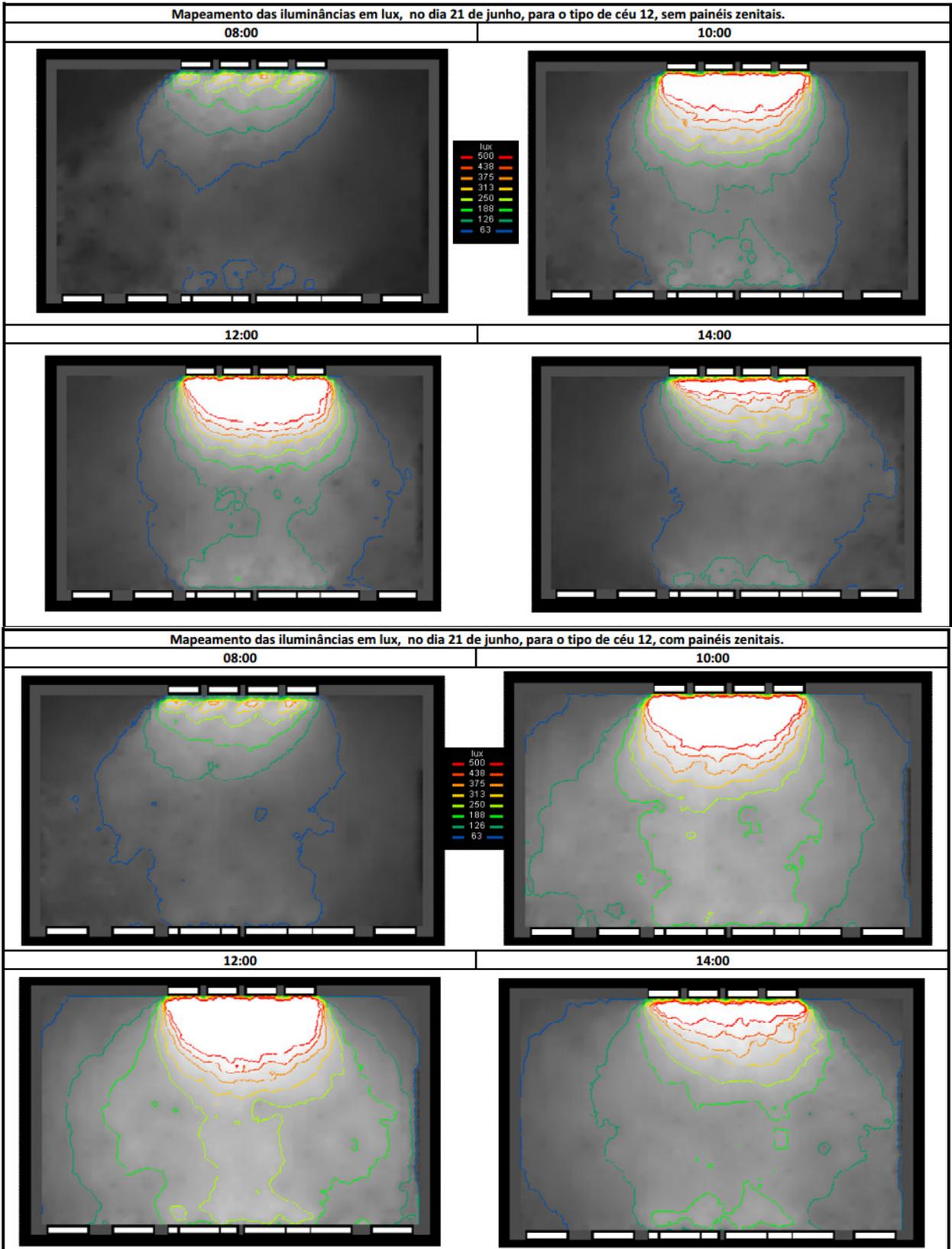


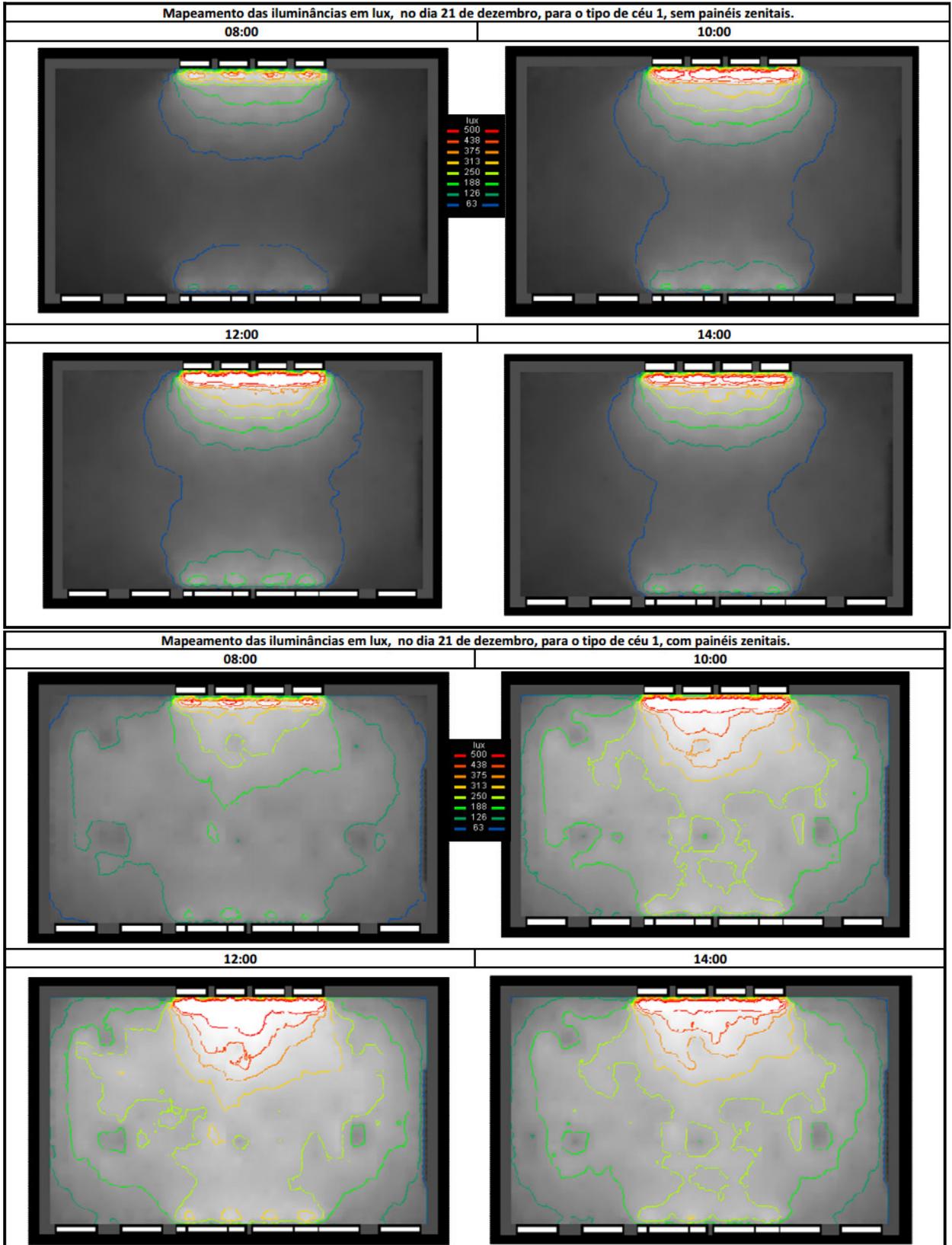


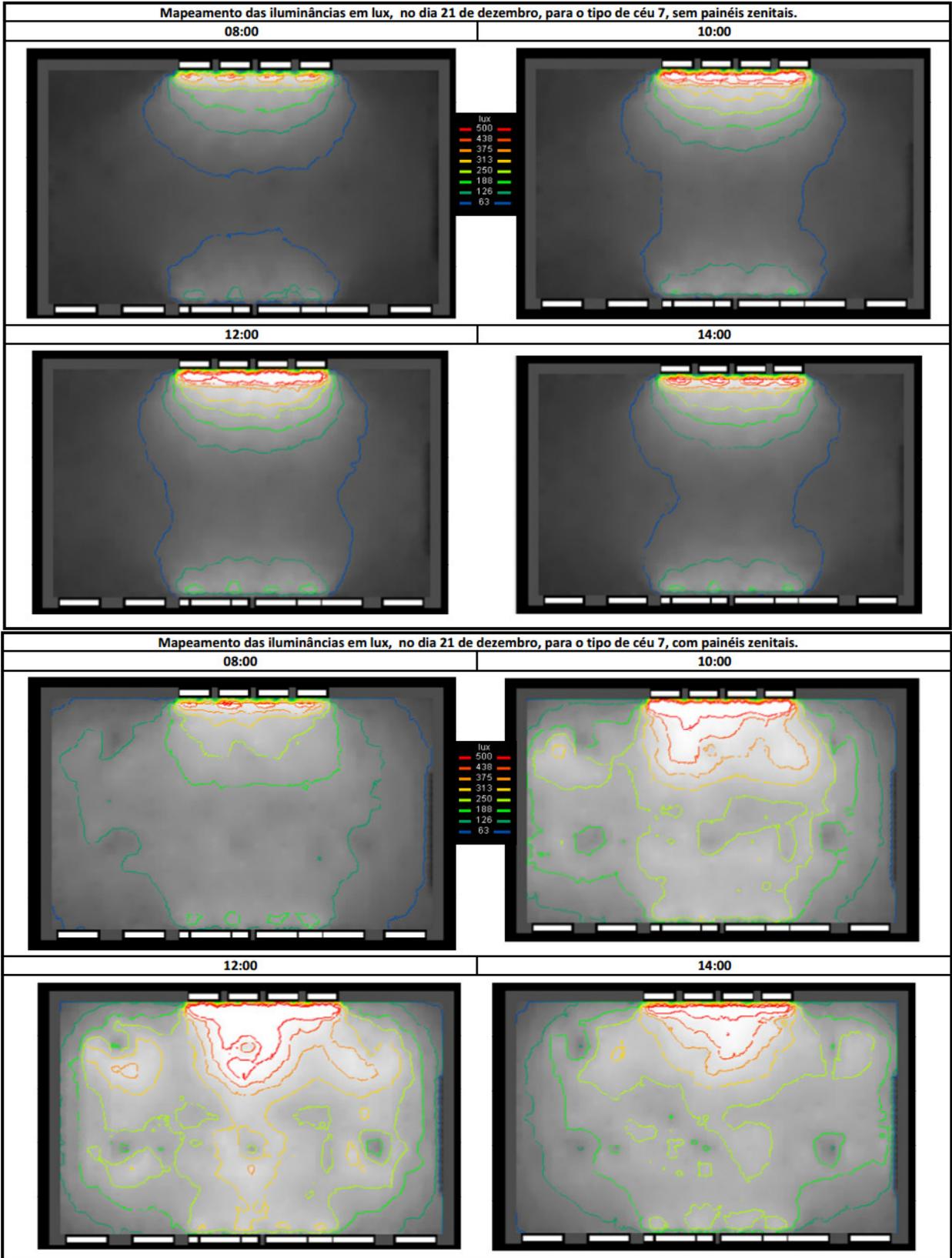


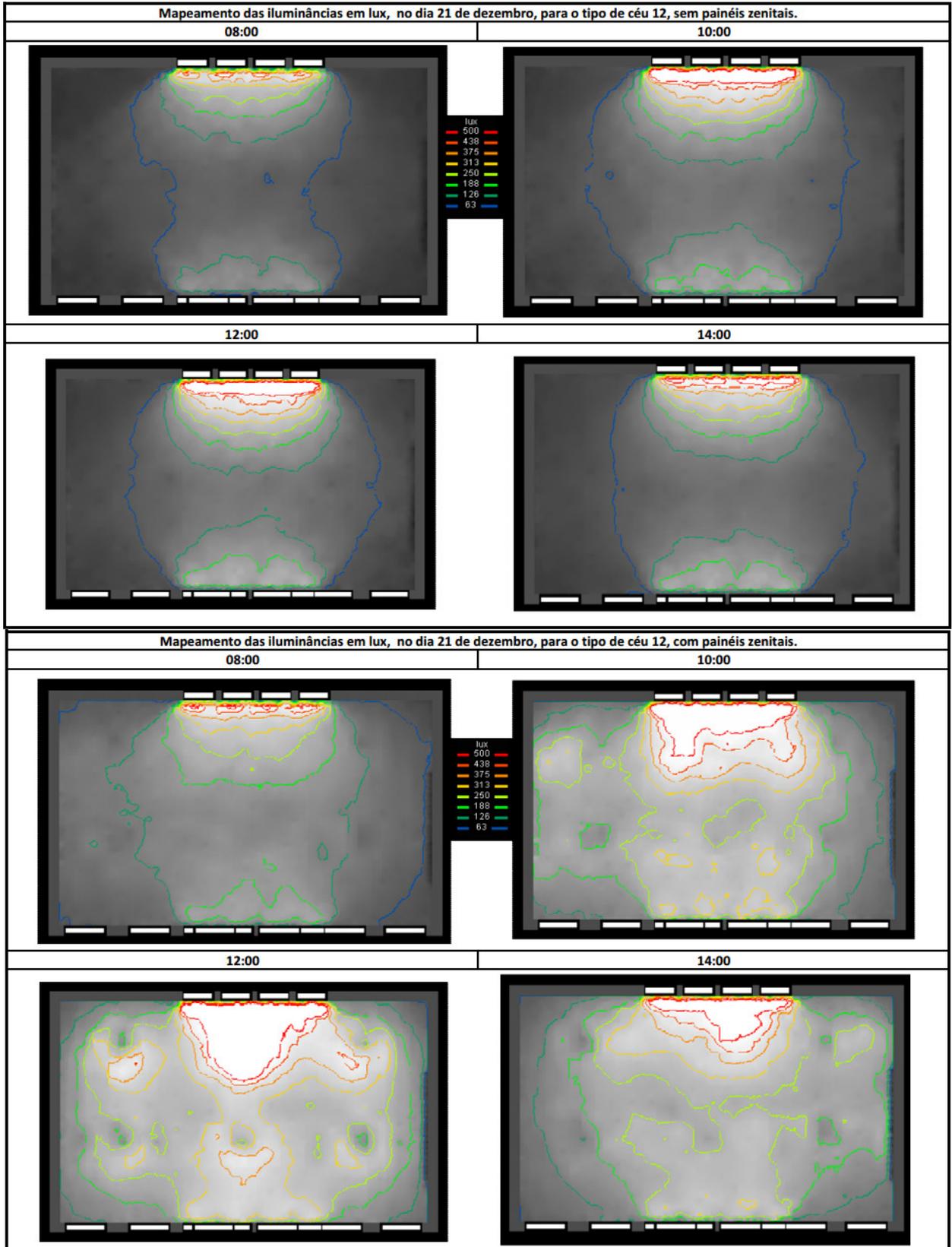












## **APÊNDICE C**

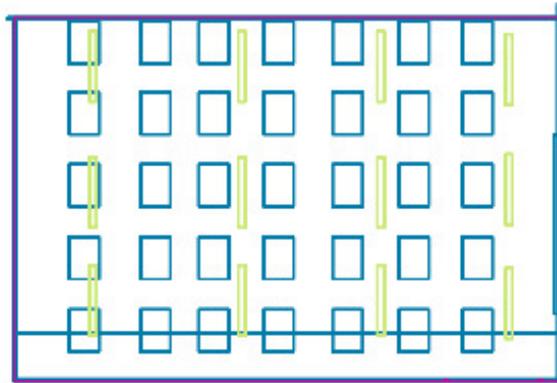
### **Resultados gerados pelo DiaLux EVO 4.3 para o Cenário 1.**

Escola de Feliz Iluminação Atual

19/01/2016

DIALux

Site 1 / Building 1 / Storey 1 / Sala de aula - Feliz / Room summary

**Sala de aula - Feliz**

Height of room: 4.530 m, Reflection factors: Ceiling 79.6%, Walls 72.9%, Floor 25.0%, Maintenance factor: 0.80

**Workplane**

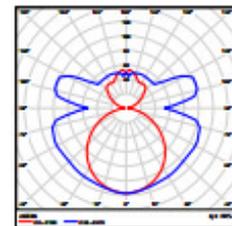
Surface	Result	Mean (target)	Min	Max	Min/Average	Min/max
1 Workplane 1	Perpendicular illuminance [lx] Height of working plane: 0.750 m, Wall zone: 0.000 m	481 (500)	228	590	0.47	0.39

No. Quantity

1 12

Philips Lighting TMW076 2x36W +ZMW076 PT TL-D/840 HFP  
 Light output ratio: 79.98%  
 Lamp luminous flux: 5000 lm  
 Luminaire luminous flux: 3999 lm  
 Power: 80.0 W  
 Light yield: 50.0 lm/W  
 Colour temperature: 6100 K  
 Colour rendering index: 100

See our luminaire catalog for an image of the luminaire.

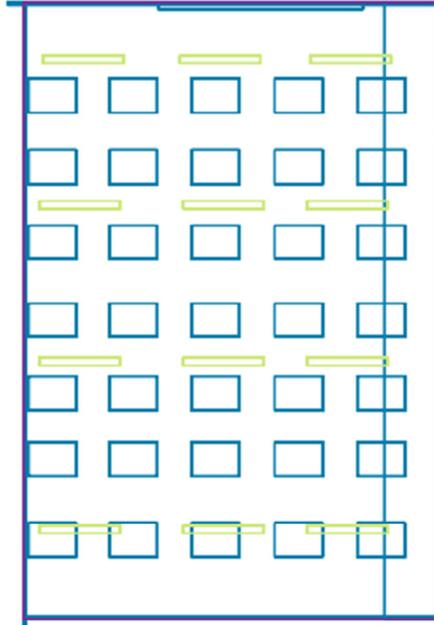


Total lamp luminous flux: 60000 lm, Total luminaire luminous flux: 47988 lm, Total Load: 960.0 W, Light yield: 50.0 lm/W

Lighting power density: 17.42 W/m<sup>2</sup> = 3.62 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Ground area 55.12 m<sup>2</sup>)

Consumption: 1650 - 2650 kWh/a of maximum 1950 kWh/a

## Workplane 1



Height of working plane: 0.750 m , Wall zone: 0.000 m

Result	Mean (target)	Min	Max	Min/Average	Min/Max
Perpendicular illuminance [lx]	481 (500)	228	590	0.47	0.39
Height of working plane: 0.750 m, Wall zone: 0.000 m					

Profile: Offices, Writing, typewriting, reading, data processing

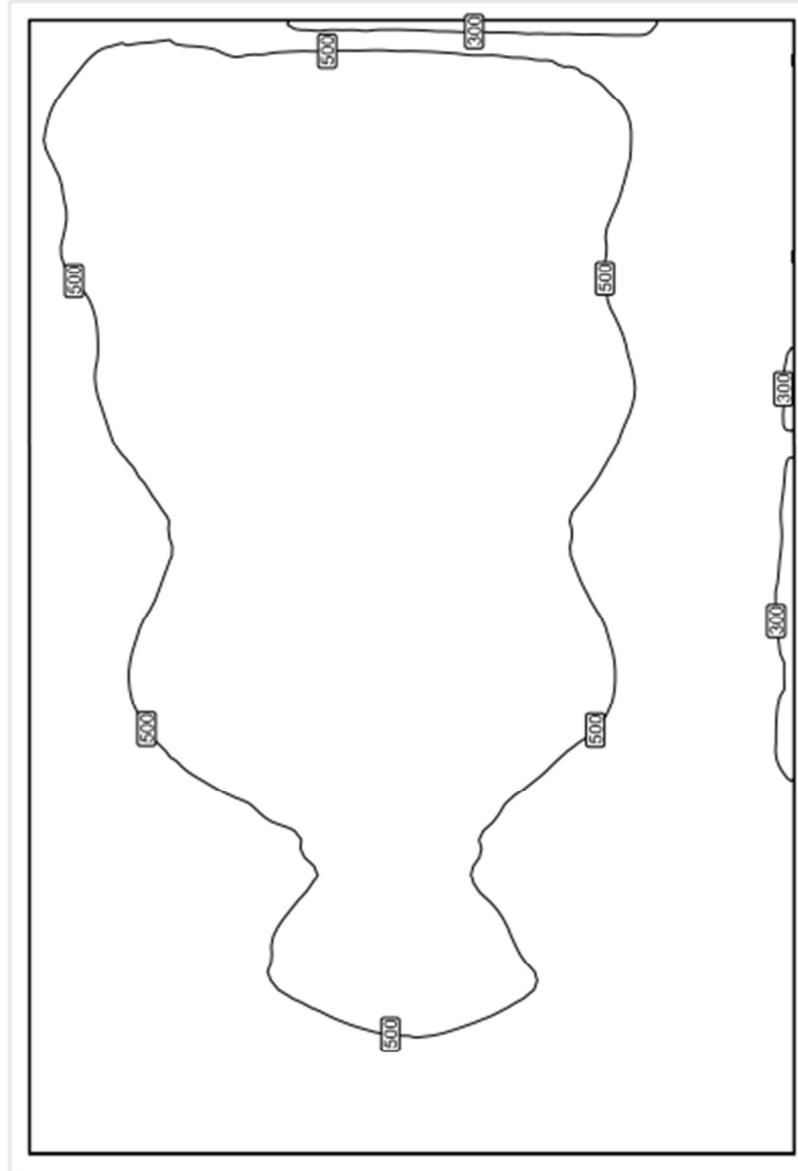
# DIALux

Escola de Feliz Iluminação Atual

19/01/2016

Sala 1 / Building 1 / Storey 1 / Sala de aula - Feliz / Workplane 1 / Isofines / Perpendicular Illuminance (adaptive)

## Workplane 1



Scale: 1 : 50

### Perpendicular Illuminance (Surface)

Mean (actual): 481 lx, Min: 228 lx, Max: 590 lx, Min/Average: 0.47, Min/Max: 0.39

Height of working plane: 0.750 m, Wall zone: 0.000 m

# DIALux

Escola de Feliz Iluminação Atual

19/01/2016

Site 1 / Building 1 / Storey 1 / Sala de aula - Feliz / Workplane 1 / Value chart / Perpendicular illuminance (adaptive)

## Workplane 1

+415	+473	+455	+440	+453	+434	+470	+494	+516	+506
+441	+499	+485	+504	+520	+508	+546	+549	+553	+525
+443	+505	+498	+520	+537	+530	+560	+559	+561	+546
+452	+524	+509	+531	+554	+540	+576	+566	+576	+557
+435	+502	+489	+513	+534	+518	+547	+537	+545	+525
+406	+469	+451	+467	+484	+466	+497	+486	+494	+472
+347	+384	+380	+353	+352	+344	+364	+387	+379	+356

Scale: 1 : 75

### Perpendicular illuminance (Surface)

Mean (actual): 481 lx, Min: 228 lx, Max: 590 lx, Min/Average: 0.47, Min/Max: 0.39  
Height of working plane: 0.750 m, Wall zone: 0.000 m

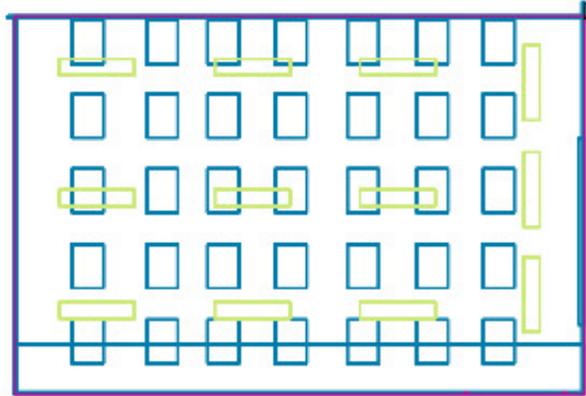
## **APÊNDICE D**

**Resultados gerados pelo DiaLux EVO 4.3 para o Cenário 2.**

Escola de Feliz iluminação Tubular Led 15/05/2016

DIALux

Site 1 / Building 1 / Storey 1 / Sala de aula - Feliz / Room summary

**Sala de aula - Feliz**

Height of room: 4.530 m, Reflection factors: Ceiling 79.6%, Walls 72.9%, Floor 25.0%, Maintenance factor: 0.80

**Workplane**

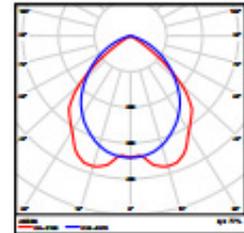
Surface	Result	Mean (target)	Min	Max	Min/Average	Min/Max
1 Workplane 1	Perpendicular illuminance [lx] Height of working plane: 0.750 m, Wall zone: 0.000 m	608 (500)	233	866	0.38	0.27

No. Quantity

1 12

Intral 05386 05386 RS-802-8A com 2x 09198 BL-  
108 21W 25/03/2015  
Light output ratio: 77.18%  
Lamp luminous flux: 4364 lm  
Luminaire luminous flux: 3368 lm  
Power: 43.6 W  
Light yield: 77.2 lm/W  
Colour temperature: 3000 K  
Colour rendering index: 100

See our luminaire catalog for an image of the luminaire.

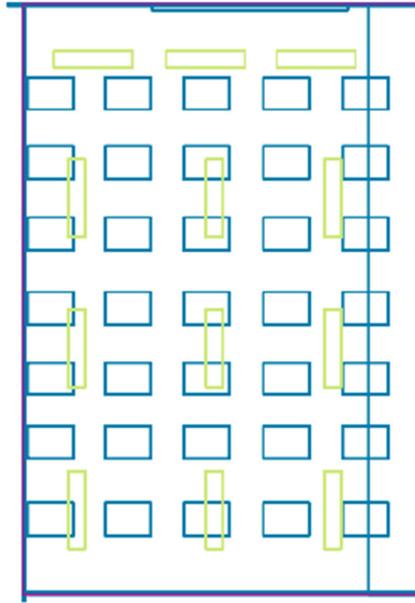


Total lamp luminous flux: 52368 lm, Total luminaire luminous flux: 40416 lm, Total Load: 523.2 W, Light yield: 77.2 lm/W

Lighting power density: 9.49 W/m<sup>2</sup> = 1.56 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Ground area 55.12 m<sup>2</sup>)

Consumption: 900 - 1450 kWh/a of maximum 1950 kWh/a

## Workplane 1



Height of working plane: 0.750 m , Wall zone: 0.000 m

Result	Mean (target)	Min	Max	Min/Average	Min/Max
Perpendicular illuminance [lx]	608 (500)	233	866	0.38	0.27
Height of working plane: 0.750 m, Wall zone: 0.000 m					

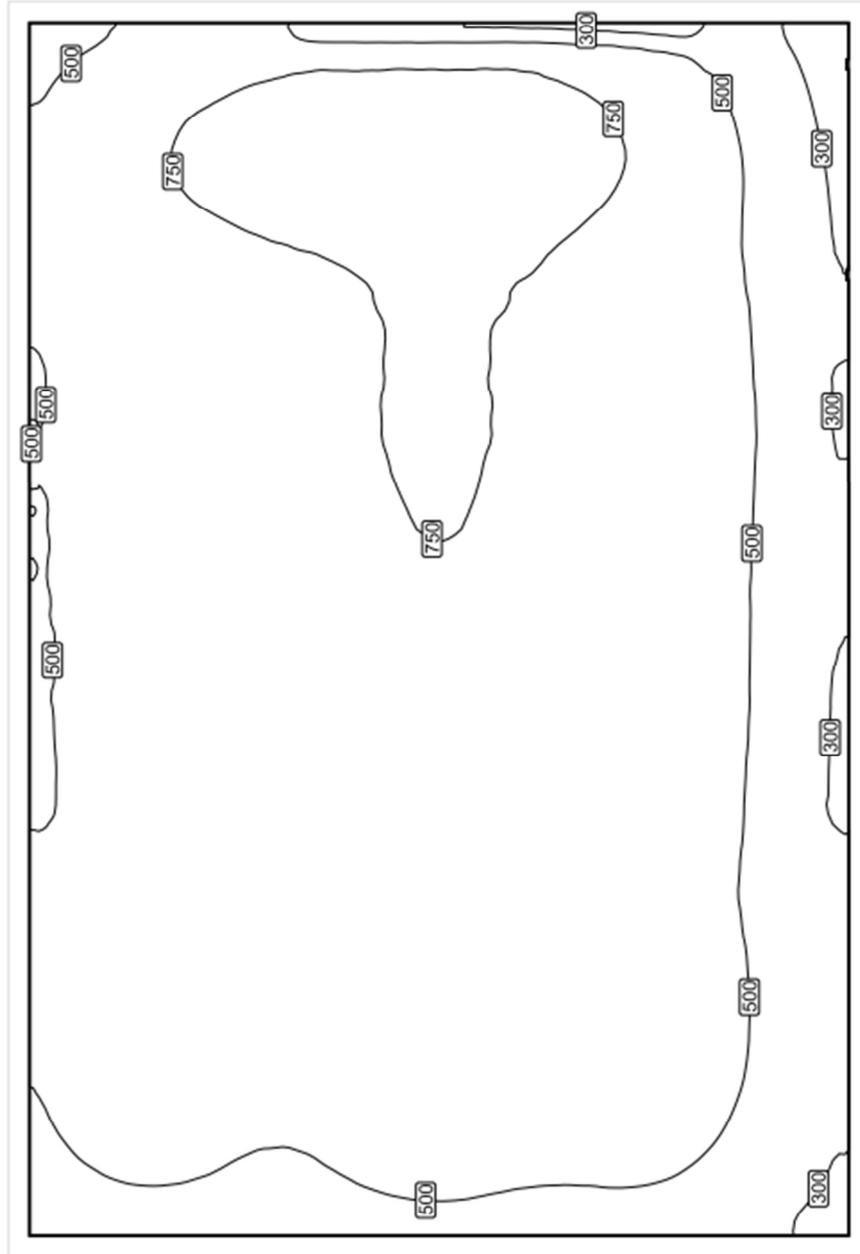
Profile: Offices, Writing, typewriting, reading, data processing

# DIALux

Escola de Feliz Iluminação Tubular Led 15/05/2016

Site 1 / Building 1 / Storey 1 / Sala de aula - Feliz / Workplane 1 / Isolines / Perpendicular Illuminance (adaptive)

## Workplane 1



Scale: 1 : 50

### Perpendicular illuminance (Surface)

Mean (actual): 608 lx, Min: 233 lx, Max: 866 lx, Min/average: 0.38, Min/max: 0.27  
Height of working plane: 0.750 m, Wall zone: 0.000 m

# DIALux

Escola de Feliz iluminação Tubular Led 15/05/2016

Site 1 / Building 1 / Storey 1 / Sala de aula - Feliz / Workplane 1 / Value chart / Perpendicular illuminance (adaptive)

## Workplane 1

+482	+614	+588	+568	+577	+576	+610	+611	+617	+552
+497	+621	+615	+621	+642	+658	+684	+686	+756	+697
+487	+589	+606	+610	+632	+665	+673	+702	+816	+778
+550	+690	+677	+697	+732	+743	+778	+770	+824	+785
+516	+629	+639	+648	+676	+700	+712	+716	+798	+756
+494	+635	+608	+627	+658	+653	+683	+647	+647	+582
+341	+410	+420	+387	+391	+403	+405	+415	+384	+328

Scale: 1 : 75

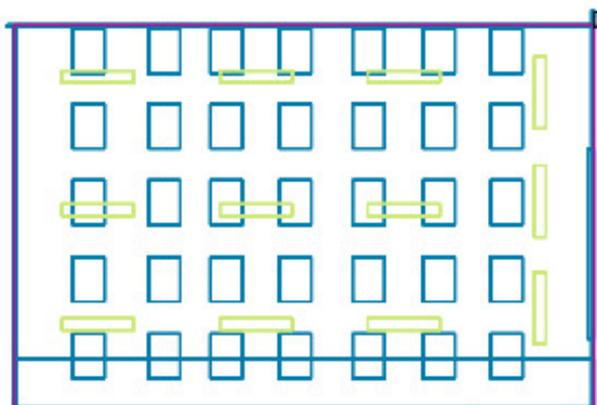
### Perpendicular illuminance (Surface)

Mean (actual): 608 lx, Min: 233 lx, Max: 866 lx, Min/average: 0.38, Min/max: 0.27  
Height of working plane: 0.750 m, Wall zone: 0.000 m

## **APÊNDICE E**

**Resultados gerados pelo DiaLux EVO 4.3 para a iluminação artificial da sala de aula com luminárias LED Zinia.**

## Sala de aula - Feliz



Height of room: 4.530 m, Reflection factors: Ceiling 79.6%, Walls 72.9%, Floor 25.0%, Maintenance factor: 0.80

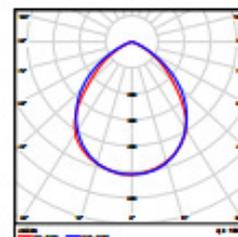
## Workplane

Surface	Result	Mean (target)	Min	Max	Min/average	Min/max
1 Workplane 1	Perpendicular illuminance [lx] Height of working plane: 0.750 m, Wall zone: 0.000 m	601 (500)	235	862	0.39	0.27

## No. Quantity

1	12	Intral 09871 09872 09883 09877 09878 09886 ZINIA LED 09871 09872 09883 09877 09878 09886 17/09/2015 Light output ratio: 100.05% Lamp luminous flux: 3282 lm Luminaire luminous flux: 3284 lm Power: 42.2 W Light yield: 77.8 lm/W Colour temperature: 3000 K Colour rendering index: 100
---	----	---

See our luminaire catalog for an image of the luminaire.

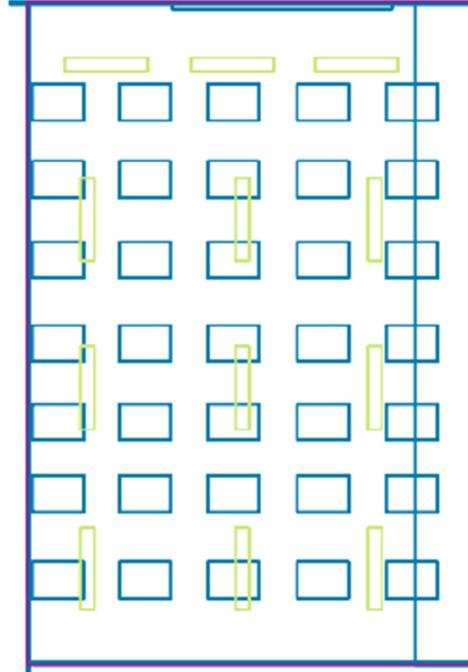


Total lamp luminous flux: 39384 lm, Total luminaire luminous flux: 39408 lm, Total Load: 506.4 W, Light yield: 77.8 lm/W

Lighting power density: 9.19 W/m<sup>2</sup> = 1.53 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Ground area 55.12 m<sup>2</sup>)

Consumption: 900 - 1400 kWh/a of maximum 1950 kWh/a

## Workplane 1



Height of working plane: 0.750 m , Wall zone: 0.000 m

Result	Mean (target)	Min	Max	Min/average	Min/max
Perpendicular illuminance [lx]	601 (500)	235	862	0.39	0.27
Height of working plane: 0.750 m, Wall zone: 0.000 m					

Profile: Offices, Writing, typewriting, reading, data processing

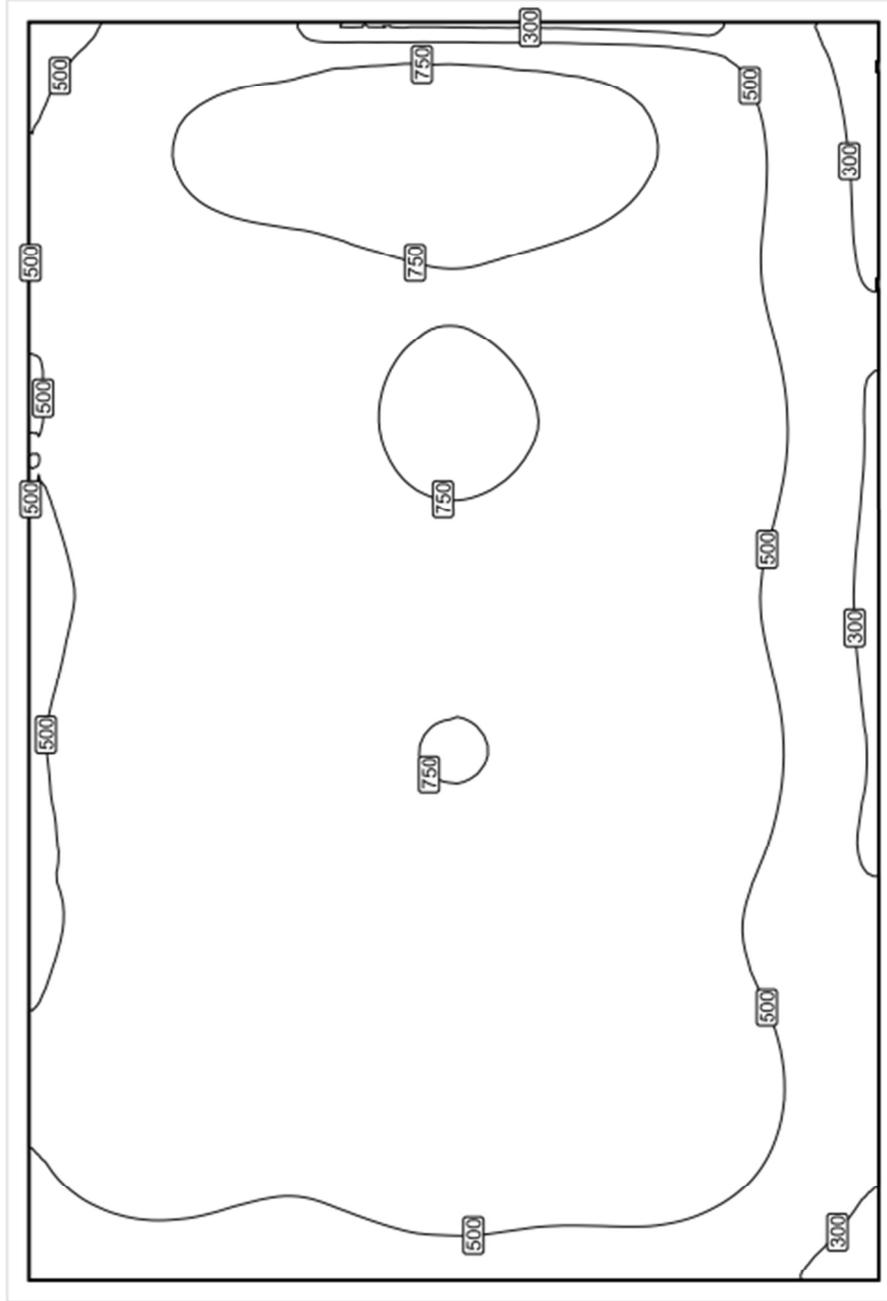
# DIALux

Escola de Feliz iluminação LED Zinha

15/05/2016

Site 1 / Building 1 / Storey 1 / Sala de aula - Feliz / Workplane 1 / Isolines / Perpendicular illuminance (adaptive)

## Workplane 1



Scale: 1 : 50

### Perpendicular illuminance (Surface)

Mean (actual): 601 lx, Min: 235 lx, Max: 862 lx, Min/Average: 0.39, Min/Max: 0.27  
Height of working plane: 0.750 m, Wall zone: 0.000 m

# DIALux

Escola de Feliz iluminação LED Zínia

15/05/2016

Site 1 / Building 1 / Storey 1 / Sala de aula - Feliz / Workplane 1 / Value chart / Perpendicular illuminance (adaptive)

## Workplane 1

468	632	542	559	583	523	609	595	601	564
485	647	571	620	655	600	690	678	748	721
480	620	566	612	647	605	678	685	792	784
539	722	623	686	748	674	785	753	805	804
515	668	601	654	700	649	726	710	782	770
486	667	566	623	670	601	695	645	649	621
334	426	389	386	398	370	407	405	370	336

Scale: 1 : 75

### Perpendicular illuminance (Surface)

Mean (actual): 601 lx, Min: 235 lx, Max: 862 lx, Min/average: 0.39, Min/max: 0.27  
Height of working plane: 0.750 m, Wall zone: 0.000 m