



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB**  
**CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS - CEAR**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS – PPGER**



**CAMILA SALES NÓBREGA DE SANTANA**

**AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO PARA AMBIENTES EDUCACIONAIS  
VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ESTUDO DE CASO DA  
EDIFICAÇÃO DO CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E  
RENOVÁVEIS (CEAR/UFPB)**

JOÃO PESSOA - PB  
2018

**CAMILA SALES NÓBREGA DE SANTANA**

**AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO PARA AMBIENTES EDUCACIONAIS  
VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ESTUDO DE CASO DA  
EDIFICAÇÃO DO CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E  
RENOVÁVEIS (CEAR/UFPB)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Energias Alternativas e Renováveis.

Área de concentração: Meio ambiente, economia e aproveitamento energético.

Orientador: Prof. Dr. Marçal Rosas Florentino  
Lima Filho

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

S232a Santana, Camila Sales Nóbrega de.

AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO PARA AMBIENTES EDUCACIONAIS  
VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ESTUDO DE CASO DA  
EDIFICAÇÃO DO CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E  
RENOVÁVEIS (CEAR/UFPB) / Camila Sales Nóbrega de  
Santana. - João Pessoa, 2019.  
155 f.

Dissertação (Mestrado) -- UFPB/CEAR.

1. Eficiência Energética. Conforto Luminico. Consumo.  
I. Título

UFPB/BC

**CAMILA SALES NÓBREGA DE SANTANA**

**AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO PARA AMBIENTES EDUCACIONAIS  
VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ESTUDO DE CASO DA  
EDIFICAÇÃO DO CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E  
RENOVÁVEIS (CEAR/UFPB)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Energias Alternativas e Renováveis.

Aprovada em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2018.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Marçal Rosas Florentino Lima Filho (orientador)  
UFPB

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kelly Cristiane Gomes da Silva  
UFPB

---

Prof. Dr. Antônio Farias Leal  
Departamento de Engenharia de Materiais - UFPB

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Juliana Magna da Silva Costa Morais  
Departamento de Arquitetura - UFPB

JOÃO PESSOA - PB  
2018

Este trabalho é dedicado a todos aqueles que acreditam que o ensino é capaz de transformar vidas. Menciono meus pais, Jandir e Regina, por terem sido emissores de uma frase sempre tão presente em minha trajetória: “No espetáculo da vida tem sempre alguém torcendo pela sua vitória”, a qual alimentou e supriu todos os meus sonhos.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me agraciado com seu amor, concebendo-me a oportunidade de vir ao mundo, provida de uma alma capaz de viver, amar e aprender, honrando-me com fé, força e destreza para alcançar meus objetivos.

Aos meus amados pais, Jandir e Regina, que sempre foram, são e serão, na minha vida, símbolo de vitória, coragem, força, valor, amor infinito, humildade, dignidade, incentivo, orgulho, inteligência e dedicação. Sem vocês nada seria possível!

Aos meus avós paternos, José e Jandira (*in memoriam*), e avós maternos, Manoel e Noemi (*in memoriam*), que, mesmo por pouco tempo de convivência, deixaram lições valorosas da vida. Hoje, mesmo distantes, são anjos que potencializam, junto do meu Pai, a minha caminhada. Saudades eternas!

Ao professor e orientador Marçal Rosas, pela disponibilidade prestada e pelos valiosos conhecimentos responsáveis por este trabalho acontecer e prosperar.

A todos os professores do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, em especial Monica Carvalho, Flávia de Medeiros, Kleber Carneiro, Riuzuani Lopes, Marta Célia Dantas, Luiz Coelho, Márcio Souza e Raphael Abrahão, dos quais tive a honra de receber orientações práticas e teóricas valorosas no transcorrer da minha qualificação profissional.

Aos meus amigos de infância e colegas do mestrado, turma 2017.1, que vivenciaram ao meu lado momentos de alegrias, angústias, desafios e aflições. Jamais me esquecerei de quão especiais foram esses momentos ao lado de vocês.

A todas as pessoas, que direta ou indiretamente, colaboraram para a execução deste trabalho e que, mesmo não citadas nestas páginas, merecem minha sincera gratidão.

## RESUMO

Diante do cenário de desenvolvimento e sustentação do modelo de vida adotado nos dias atuais, o ambiente construído tem demandado um grande aporte de energia e forte consumo de materiais. Tal situação pode gerar, em situações extremas, desequilíbrios ambientais e a deterioração da qualidade de vida das populações, principalmente nos países em desenvolvimento. Visando verificar a disponibilidade de iluminação natural e os impactos no projeto de iluminação artificial, os quais podem levar a um consumo energético exacerbado, o presente estudo avaliou este desempenho com enfoque na autonomia da iluminação natural em salas de aulas do bloco do Centro de Energias Alternativas e Renováveis - CEAR, localizado na Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – Paraíba. Desenvolvido no ciclo entre o mês de Junho de 2017 e Março de 2018, o estudo consistiu na análise de cenários integrados à: (i) caracterização bioclimática e composição formal da edificação; (ii) aferição dos níveis de iluminação natural nos equinócios e solstícios, correlacionando-os com a quantidade de iluminância recomendada pela NBR 15:215-4:2005 para ambientes de ensino; (iii) simulação computacional nos programas *Sketchup* e *Dialux* dos equinócios e solstícios e (iv) avaliação geral do consumo energético com respeito à relação custo/benefício da quantidade de iluminação artificial necessária no interior das salas de aula. Os resultados indicam que a autonomia da luz natural foi alta durante grande parte do dia, no entanto foi insuficiente para atender as recomendações solicitadas dentro das salas de aula. Desta maneira, o presente estudo se propôs em apropriar-se de estratégias alternativas (bioclimáticas e artificiais) para viabilização técnica e eficiência energética. Como resultado da intervenção proposta, o impacto ocasionado no consumo energético foi suficiente para garantir a viabilidade operacional nas salas de aula, bem como para uma redução de cerca de 62,68% do total por mês da iluminação artificial e 38% de CO<sub>2</sub>-eq/ ano consumida no local.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética. Conforto Lumínico. Consumo Energético. Iluminação Natural.

## ABSTRACT

On the stage of development and support of the model adopted in the present day, the built environment has demanded a great amount of energy and materials consumption strong. Such a situation can generate, in extreme situations, environmental imbalances and deterioration in the quality of life of the people, especially in developing countries. In order to check the availability of natural lighting and impacts in the design of artificial lighting, which can lead to excessive power consumption, this study evaluated this performance with a focus on autonomy of natural lighting in meeting rooms block classes of alternative and renewable energy Center-DINE, located at the Federal University of Paraíba, João Pessoa – Paraíba. The study consisted in the analysis during the cycle of a year, June to March 2017 2018, integrated scenarios: (i) characterization and formal composition of building bioclimatic, (ii) gauging levels of natural lighting on the equinoxes and solstices correlating them with the amount of recommended illuminance by NBR 15:215-4:2005 for teaching environments, (iii) computer simulation in Shetchup programs and Dialux of the equinoxes and solstices and (iv) General review of the energy consumption with respect to cost/benefit ratio of the amount of artificial lighting needed inside the classrooms. The results indicate that the autonomy of natural light was high during most of the day, but it was insufficient to meet the recommendations requested within the classrooms. In this way, the present study proposed to appropriate alternative strategies (bioclimatic and artificial) for technical feasibility and energy efficiency. As a result of the proposed intervention, the impact on energy consumption was sufficient to ensure operational viability in classrooms, as well as a reduction of about 62.68% of the total of the artificial lighting and 38% de CO 2-eq/ year consumed on the spot per month.

**Keywords:** Energy Efficiency. Lumínico Comfort. Energy Consumption. Natural Lighting.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Relação entre as matrizes energéticas: hidroelétrica, nuclear, carvão, gás natural, petróleo e renováveis e suas respectivas explorações de consumo em termos do Balanço Energético Mundial ..	23
<b>Figura 2</b> - Percentual médio anual do consumo de energia elétrica no Brasil, com destaque ao setor público nos âmbitos federal, estadual e municipal.....	25
<b>Figura 3</b> - Luminância de uma superfície.....	33
<b>Figura 4</b> - Relação entre luminância e a área de superfície do observador .....	34
<b>Figura 5</b> - Emissão da fonte luminosa em uma determinada área – Iluminância.....	34
<b>Figura 6</b> - Fontes de luz natural que alcançam o edifício: a) Componente do Céu, b) Componente Refletida Externa (CRE) e c) Componente Refletida Interna (CRI) .....	44
<b>Figura 7</b> - Etapas da análise sobre iluminação do novo bloco de aulas do CEAR.....	52
<b>Figura 8</b> – Localização do bloco do CEAR/UFPB – Campus I. ....	53
<b>Figura 9</b> - Materiais de acabamento do novo bloco do CEAR.....	54
<b>Figura 10</b> - Planta baixa do primeiro pavimento do novo bloco do CEAR com a demarcação em vermelho das duas salas de aula (01 e 02) analisadas, cada uma com 72m <sup>2</sup> de área e abertura bilateral. Salas Noroeste/ Nordeste e Nordeste/ Sudeste. ....	54
<b>Figura 11</b> - Planta baixa do segundo pavimento do novo bloco do CEAR com a demarcação em laranja.....	55
<b>Figura 12</b> - Salas de aulas analisadas no novo bloco de aulas do CEAR com suas respectivas áreas e características morfológicas: a) Sala de aula 01, com 59,8 m <sup>2</sup> e sentido Nordeste; b) Sala de aula 02, com 59,8 m <sup>2</sup> e sentido Noroeste; c) Sala de aula 03, com 22,50 m e sentido Sudeste; d) Sala de aula 04, com 22,50 m <sup>2</sup> e sentido Sudoeste .....	55
<b>Figura 13</b> - Salas de aulas analisadas no novo bloco de aulas do CEAR com suas respectivas áreas e características morfológicas: a) Sala de aula 01, com 72 m <sup>2</sup> e sentido Nordeste; b) Sala de aula 02, com 72 m <sup>2</sup> e sentido Noroeste; c) Sala de aula 03, com 36 m <sup>2</sup> e sentido Sudeste; d) Sala de aula 04, com 36m <sup>2</sup> e sentido Sudoeste .....	56
<b>Figura 14</b> – Método ponto-a-ponto aplicado na Tipologia A de 72 m <sup>2</sup> : a) Sala 01; b) Sala 02. ....	57
<b>Figura 15</b> – Método ponto-a-ponto aplicado na Tipologia B de 36 m <sup>2</sup> : a) Salas 03; b) Sala 04. ....	58
<b>Figura 16</b> – Método ponto-a-ponto aplicado na Tipologia C de 36 m <sup>2</sup> : a) Sala; b) Sala 06. ....	58
<b>Figura 17</b> – Regiões Bioclimáticas segundo a classificação de Köppen.....	62
<b>Figura 18</b> – Carta solar da cidade de João Pessoa, latitude -7.11, pelo programa SOL-AR .....	63
<b>Figura 19</b> - Radiação solar média: direta, difusa e global, na cidade de João Pessoa.....	64
<b>Figura 20</b> - Modelo analítico em planta baixa do comportamento luminoso no OriginPro, correspondente à quantidade de lux em cada área das salas, com indicativo da data, horário e o norte geográfico.....	67
<b>Figura 21</b> - Modelo analítico em planta baixa do comportamento luminoso no OriginPro correspondente à localização da Sala 01 .....	67
<b>Figura 22</b> - Desempenho luminoso da Tipologia A - sala 01.....	69
<b>Figura 23</b> - Simulações no OriginPro com os gráficos de iluminância máxima no ciclo de solstício de verão, nas salas 01 e 02, às 14:00.....	74
<b>Figura 3124</b> - Simulações no OriginPro com os gráficos de iluminância no ciclo do equinócio de Março nas salas 03 e 04, às 8:00 horas.....	78
<b>Figura 25</b> - Modelo analítico em planta baixa do comportamento luminoso no OriginPro correspondente à localização da sala 06.....	83
<b>Figura 26</b> - Simulações no OriginPro com os gráficos de iluminância no ciclo solstício de inverno às 14:00 horas, nas salas 05 e 06 .....	85
<b>Figura 270</b> - Simulações no OriginPro com os gráficos de iluminância no ciclo do equinócio de Setembro e de Março às 8:00 horas, na sala 06.....	86
<b>Figura 28</b> – Corte esquemático do ângulo alfa em relação à janela e à altura solar.....	92

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Quantitativo total de edificações públicas brasileiras .....	25
<b>Tabela 2</b> - Modelos de prateleiras de luz com variações de tamanhos, altura, angulação e materiais de acabamento.....	27
<b>Tabela 3</b> - Valores de iluminância de algumas fontes luminosas.....	36
<b>Tabela 4</b> - Caracterização das lâmpadas vapor de mercúrio, vapor de sódio e iodeto metálico de acordo com custo da lâmpada e luminária, resistência ao uso, cor da luz, reprodução das cores, eficiência luminosa, vida útil e luminância .....	40
<b>Tabela 5</b> - Tipos de aberturas laterais.....	41
<b>Tabela 6</b> - Iluminância por classe de tarefas visuais .....	44
<b>Tabela 7</b> - Tarifa cobrada nos meses de Junho de 2017, Setembro 2017, Dezembro 2017 e Março 2018 no Estado da Paraíba .....	46
<b>Tabela 8</b> - Comparativo entre a UFPB, UFBA, UFRN, UFPE, UFMA e UFA sobre área aproximada, consumo energético (kW/ h) e consumo R\$. .....	47
<b>Tabela 9</b> - Coeficiente de Reflexão .....	56
<b>Tabela 10</b> - Céu diante das classificações climáticas <i>in loco</i> .....	59
<b>Tabela 11</b> – Posição solar mediante as datas aferidas <i>in loco</i> e simuladas via DIALux .....	65
<b>Tabela 12</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do solstício de inverno.....	72
<b>Tabela 13</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do equinócio de Setembro e Março .....	73
<b>Tabela 14</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do solstício de verão .....	74
<b>Tabela 15</b> - Níveis de iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do equinócio de Março .....	78
<b>Tabela 16</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do solstício de inverno.....	80
<b>Tabela 17</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do solstício de inverno.....	87
<b>Tabela 18</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do equinócio de Setembro e Março .....	87
<b>Tabela 19</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do solstício de verão .....	88
<b>Tabela 20</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 20 de Março de 2018.....	90
<b>Tabela 21</b> – Resumo dos níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 21 de Junho de 2017.....	91
<b>Tabela 22</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 23 de Setembro de 2017.....	91
<b>Tabela 23</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 21 de Dezembro de 2017 .....	92
<b>Tabela 24</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 20 de Março de 2018.....	98
<b>Tabela 25</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 21 de Junho de 2018.....	99
<b>Tabela 26</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 23 de Setembro de 2017.....	99
<b>Tabela 27</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 21 de Dezembro de 2017 .....	100
<b>Tabela 28</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 20 de Março de 2018, na Tipologia C .....	106

<b>Tabela 29</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 21 de Junho de 2018, na Tipologia C.....	107
<b>Tabela 30</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 23 de Setembro de 2017, na Tipologia C.....	108
<b>Tabela 31</b> – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 21 de Dezembro de 2017, na Tipologia C .....	108
<b>Tabela 32</b> - Relação entre os níveis de reflectância atual das salas 01, 02, 03, 04, 05 e 06 com a NBR ISO 8995-1:2013 .....	115
<b>Tabela 33</b> - Relação entre as áreas das aberturas e a área da sala compatibilizadas com recomendações do Código de Obras PMJP, FUNDESCOLA e RTQ-C .....	116
<b>Tabela 34</b> - Caracterização do consumo R\$/mês por sala na Tipologia A - Junho de 2018, considerando os parâmetros estáticos propostos.....	117
<b>Tabela 35</b> - Caracterização do consumo R\$/mês por sala na Tipologia B - Junho de 2018, considerando os parâmetros estáticos propostos .....	117
<b>Tabela 36</b> - Caracterização do consumo R\$/mês por sala na Tipologia C - Junho de 2018, considerando os parâmetros estáticos propostos.....	117
<b>Tabela 37</b> - Caracterização do consumo mensal por sala de aula Tipologia A - Junho de 2018, considerando os parâmetros estáticos padrão da UFPB.....	118
<b>Tabela 38</b> - Caracterização do consumo mensal por sala de aula Tipologia B - Junho de 2018, considerando os parâmetros estáticos padrão da UFPB.....	118
<b>Tabela 39</b> - Comparativo entre consumo do sistema de uso padrão da UFPB, o proposto sem dimerização e o com dimerização, para cada sala de aula Tipologia A - Junho de 2018 .....	119
<b>Tabela 40</b> – Fatores de emissão de gases de efeito estufa (GEE) para as tecnologias de geração de eletricidade para cada kWh por dia por habitação .....	120
<b>Tabela 41</b> - Pegadas de carbono associadas ao sistema de uso padrão da UFPB e o proposto para todas as tipologias.....	120

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANEEL** – Agência Nacional de Energia Elétrica
- ALN** – Autonomia da Luz Natural
- CC** – Componente de Céu
- CEAR** – Centro de Energias Alternativas e Renováveis
- CIE** – Comissão Internacional de Iluminação
- EEE** – Eficiência Energética em Edificações
- EFL** – Educational Facilities Laboratories
- ETENE** – Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste
- FLD** – Fator de Luz do Dia
- IASPI** – Iluminação Artificial Suplementar para Interiores
- IESNA** – Illuminating Engineering Society of North America
- INMETRO** – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
- INU** – Iluminância Natural Útil
- IRC** – Índice de Reprodução das Cores
- LABEEE/ UFSC** – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina
- Lm** – Lúmens Unidade de Medida
- K** – Kelvin (unidade de medida de temperatura de cor)
- MME** – Ministério de Minas e Energia
- PBE** – Programa Brasileiro de Etiquetagem
- PBE Edifica** – Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações
- PROCEL** – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
- PROCEL EPP** – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica Eficiência Energética nos Prédios Públicos
- PROINFA** – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
- RTQ-C** – Regulamento Técnico de Qualidade Comercial de Serviços Públicos
- W** – Unidade de Medida de Potência Elétrica
- UFPB** – Universidade Federal da Paraíba
- UHE** – Usinas hidrelétricas

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
1.1 Considerações Iniciais .....	17
1.2 Contexto Geral.....	19
1.3 Objetivos.....	20
1.3.1 Objetivo geral .....	20
1.3.2 Objetivos específicos.....	20
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	22
2.1 Considerações Gerais sobre Energia .....	22
2.1.1 Consumo energético: panorama geral do Brasil.....	23
2.1.2 Consumo energético: panorama geral do Nordeste brasileiro.....	24
2.1.3 Consumo energético: panorama geral no setor público brasileiro .....	25
2.2 Considerações sobre Eficiência Energética em Edificações .....	26
2.2.1 Estratégia bioclimática na iluminação natural.....	26
2.2.2 Certificações e selos verdes .....	28
2.2.2.1 BREEAM .....	28
2.2.2.2 LEED .....	29
2.2.2.3 AQUA.....	29
2.2.2.4 PROCEL.....	30
2.2.2.5 PROCEL Edifica .....	30
2.3 Considerações sobre Iluminação .....	31
2.3.1 Estudo da percepção .....	31
2.3.2 Estudo da luz .....	32
2.3.3 Fatores humanos .....	35
2.3.3.1 Fadiga visual.....	35
2.3.3.2 Ofuscamento.....	36
2.3.4 Luz natural .....	36
2.3.4.1 Fator de luz natural (FLD).....	37
2.3.4.2 Autonomia da luz natural (ALN) .....	38
2.3.4.3 Iluminância natural útil (INU).....	38
2.3.4.4 Componente Celeste (CC).....	38
2.3.5 Tipos de fontes artificiais .....	38
2.3.6 Luminárias .....	40
2.3.7 Integração entre os sistemas: luz natural e artificial.....	41
2.3.8 Normas .....	42
2.3.9 Consumo energético .....	46
2.3.10 Software para análise de iluminação via simulação computacional.....	47

2.3.10.1 Interface .....	47
2.4 Pesquisas Atuais .....	48
3.1 Caracterização .....	52
3.2 Coletas in loco .....	57
3.3 Simulação .....	59
3.4 Análises do Consumo Energético.....	61
4.1 Caracterizações Bioclimáticas: Iluminação Natural.....	62
4.2 Coleta.....	66
4.2.1 Tipologia A (72 m <sup>2</sup> ): Salas 01 e 02 .....	67
Sala 01 .....	67
Sala 02 .....	69
4.2.1 Tipologia B (36 m <sup>2</sup> ): Salas 03 e 04.....	75
Sala 03 .....	75
Sala 04 .....	76
4.2.3 Tipologia C (36 m <sup>2</sup> ): Salas 05 e 06.....	80
Sala 05 .....	80
Sala 06 .....	82
4.3 Simulação .....	89
4.2.1 Tipologia A (72 m <sup>2</sup> ): Salas 01 e 02 .....	89
4.2.1.1 Parâmetro dinâmico.....	89
4.2.1.2 Proposta .....	95
4.2.2 Tipologia B (36 m <sup>2</sup> ): Salas 03 e 04.....	97
4.2.2.1 Parâmetro dinâmico.....	97
4.2.3 Tipologia C (36 m <sup>2</sup> ): Salas 05 e 06.....	105
4.2.2.1 Parâmetro dinâmico.....	106
4.2.2.2 Proposta .....	112
4.5 Controles do ofuscamento .....	114
4.6 Eficiência X Economia.....	116
4.7 Impactos x Meio Ambiente .....	119
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>122</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>125</b>
APÊNDICE G: Prancha 01 - Coleta e Proposta dos pontos de luz - Tipologia A .....	154
APÊNDICE H: Prancha 02 - Coleta e Proposta dos pontos de luz - Tipologia A .....	155
APÊNDICE I: Prancha 03 - Coleta e Proposta dos pontos de luz - Tipologia B .....	156
APÊNDICE J: Prancha 04 - Coleta e Proposta dos pontos de luz - Tipologia C.....	157

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Iniciais

Atualmente, a energia elétrica é indispensável para promover o desenvolvimento socioeconômico da sociedade e, mesmo assim, uma parcela considerável da população mundial ainda é atendida de forma muito precária. Isto se deve, entre outros fatores, à ausência de tecnologia de geração nos mais diversos vetores energéticos, como também à escassez de elementos que proporcionem a utilização eficiente de recursos naturais. Paralelamente a isso, o aumento dos níveis de qualidade de vida requer mais demanda por conforto, implicando um maior consumo energético. Na esteira desta problematização, Altoé *et. al.* (2017) ressaltam que muitos países vêm encontrando desafios para poder suprir as crescentes necessidades energéticas de sua população.

Lamberts *et. al.* (2014) alertam que, devido ao modelo de desenvolvimento econômico adotado entre 1975 e 2000, houve um aumento de 250% do consumo de fontes não renováveis. Tal incremento foi proveniente da rápida industrialização que, em paralelo, agregou impactos populacionais sobre o meio ambiente e sobre os serviços energéticos residenciais, institucionais, industriais e comerciais. Apesar desse contexto, existe simultaneamente a necessidade de promover o uso racional da energia, como também de otimizá-la, a fim de diminuir a necessidade de sua utilização, quando possível.

Atualmente, com a tendência de crescimento da consciência ambiental da população, discussões a respeito de sustentabilidade e uso racional de energia são fomentadas. No âmbito das questões ecológicas, o uso da luz natural em edificações ganha cada vez mais espaço na arquitetura dos ambientes construídos. As necessidades relacionadas aos espaços construídos e seus aspectos ambientais fornecem caminhos orientados aos recursos naturais, como a luz solar, proveniente da radiação solar, utilizada de forma direta ou difusa (AMORIM, 2007).

Viana *et. al.* (2010) alegam que, no Brasil, a irradiação solar diária média anual é de 1.500 a 2.400 kWh/m<sup>2</sup>/ano enquanto que, no país líder na produção de energia solar mundial, a Alemanha, é de 900 a 1250 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Diante deste exemplo contraditório, devido à abundância de recursos renováveis e sua reduzida parcela de exploração, Cantor (2017) destaca a criação da Resolução Normativa n° 482/2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015), como uma solução para incentivar os pequenos produtores de energia renovável (hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada) a gerarem

excedente à rede pública, obtendo, assim, uma redução no valor a ser pago na conta de energia.

Em consonância com essa realidade, surgiram no país leis, decretos e programas de conservação de energia em relação às edificações. Pode-se entender essas iniciativas como uma resposta à necessidade e ao amadurecimento da preservação do meio ambiente, a exemplo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Já para a identificação de oportunidades tecnológicas e de soluções inovadoras aplicáveis a programas e projetos de eficiência energética, o PROCEL criou o subprograma Eficiência Energética nos Prédios Públicos (PROCEL EPP). Vale salientar que a Eletrobrás teve sua participação direta na divulgação e expansão dos conceitos de eficiência energética em edificações, através da promoção da Lei de Eficiência Energética nº 10.295/2001 (BRASIL, 2001) e coordenação técnica do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica) e a Secretaria Técnica de Edificações do Grupo de Trabalho em Edificações do Ministério de Minas e Energia (MME).

De maneira geral, para que qualquer nação seja referência na disseminação do desenvolvimento econômico, Roméro (2012) estabelece uma relação importante entre eficiência energética e a adequação ambiental com a utilização de novas tecnologias e materiais aplicados na construção civil. Focando no recorte brasileiro, Heywood (2015) afirma que mais de 20% da energia consumida em edificações públicas é usada para iluminação artificial e que, apropriando-se do uso de estratégias de iluminação natural associadas à artificial, pode-se acarretar uma redução significativa no balanço energético total.

Werthein (2010) alegou que, no Brasil, o ensino público tem sido alvo de muitas discussões pela falta de qualidade do espaço físico e por isso afetar diretamente no desempenho acadêmico. Para o autor, a organização EFL (*Educational Facilities Laboratories*) considera que a tipologia educacional deve ser avaliada pela qualidade do ar, iluminação, temperatura, umidade, ventilação e acústica das salas de aula, sendo necessário que haja uma atuação multidisciplinar entre o espaço físico e a qualidade de ensino para melhorias nos índices de atuação dos alunos.

Em relação às tarefas visuais, torna-se relevante discutir e compreender aspectos arquitetônicos, assim como características climáticas que afetam diretamente na adoção de estratégias passivas do comportamento energético. As normas *Illuminating Engineering Society of North America* (IESNA, 2000) e a NBR ISO 8995-1 (ABNT, 2013) recomendam analisar dois parâmetros de desempenho: nível de iluminância e ausência de ofuscamento. A IESNA (2000) complementa que a quantidade de luz também se associa aos níveis de



refletâncias dos materiais para espaços internos e, em relação ao conforto visual, para evitar o ofuscamento, a mesma recomenda que a luminosidade da tarefa deva ser cinco vezes maior a qualquer plano visto diretamente.

Nos quesitos implantação e orientação, a inserção da edificação influencia no maior aproveitamento da luz natural. Para Lamberts *et. al.* (2014), as melhores orientações para a iluminação natural no Brasil são direção norte, devido à incidência solar direta, e sul, por conta da constância da luz no quesito qualidade de temperatura de cor, sendo a leste e a oeste desfavoráveis, pois recebem luz solar direta com maior intensidade.

Porém, Albuquerque e Amorim (2012) advertem para a dificuldade em analisar o comportamento da luz natural e sua influência em ambientes internos, devido às variações diárias e sazonais. Em virtude disto, foi criada uma base de dados em radiação solar anual para cada local específico, o quais são oriundos de arquivos climáticos: o fator de Autonomia da Luz Natural (ALN). A medida é definida em porcentagem de horas ocupadas no ambiente e o valor que a luminância atinge no plano de trabalho, de acordo com a atividade. Vale ressaltar que mesmo com essa base de dados, Viana e Gonçalves (2001) advertem que existem poucas edificações que conseguem responder aos problemas de iluminação apenas com o uso da luz natural, sendo a profundidade do ambiente um dos fatores que influenciam. Deste modo, a luz artificial deve ser complementar ao estudo da natural, de forma que sejam alcançados valores de luminância coerentes para cada tipo de atividade.

Diante deste contexto, ratifica-se a importância do suporte luminotécnico aos ambientes educacionais nos quesitos fisiológicos, ajustáveis em níveis de projeto, como fadiga e ofuscamento, regulamentos técnicos de edifícios públicos, eficiência energética por meio de uma utilização de parâmetros que possibilitem maior autonomia da luz natural, sistemas de iluminação artificial e formas de acionamentos que causem menos transtornos no consumo energético da edificação.

## **1.2 Contexto Geral**

O novo bloco do Centro de Energias Alternativas e Renováveis (CEAR) localiza-se na Universidade Federal da Paraíba. O recorte da pesquisa delimita-se nas salas de aulas do referido bloco, situadas no primeiro e segundo pavimentos, por compreendê-las como o espaço de maior permanência do aluno.

Sendo assim, avaliou-se o desempenho luminoso com enfoque na autonomia da iluminação natural nas datas dos solstícios e dos equinócios, tanto por coletas *in loco* quanto por simulações computacionais no período de Junho de 2017 a Março de 2018.

Assim, compreende-se a importância do presente estudo como uma forma de garantir o uso racional de fontes renováveis em edificações públicas de ensino, para garantir uma qualidade luminosa correlacionada à eficiência energética, com os custos do consumo e a segurança do investimento financeiro aplicados às estratégias bioclimáticas.

### **1.3 Objetivos**

#### 1.3.1 Objetivo geral

Analisar e caracterizar o desempenho da iluminação natural via coleta e simulação, propondo identificar fatores que contribuam, ou não, para a eficiência energética e para o conforto luminoso do projeto arquitetônico do novo bloco de aulas do CEAR da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – Paraíba.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar os fatores que possam contribuir ou interferir no desempenho da luz natural dentro das salas de aulas, nos cenários dos solstícios e equinócios;
- Avaliar o efeito de cada parâmetro dos aspectos qualitativos e quantitativos da luz natural, fato do dia, iluminância e aspectos formais para o conforto luminoso no bloco de aulas do CEAR;
- Simular quatro cenários correspondentes aos solstícios e equinócios de acordo com a quantidade de luz natural, fator de luz do dia, iluminância e aspectos formais do novo bloco de aulas do CEAR;
- Coletar *in loco* as aferições dos solstícios e equinócios da luz natural e equipará-las com a simulação computacional via DIALux;
- Promover a eficiência energética da edificação pela otimização da energia solar passiva, a partir do zoneamento da disponibilidade da luz natural no interior dos ambientes;

- Comparar o potencial de eficiência energética e custos, a partir da relação entre a disponibilidade da luz natural no interior dos ambientes e os equipamentos propostos para espaços educacionais públicos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a pesquisa em questão, houve uma revisão literária subdividida em 03 grandes tópicos: energia, eficiência energética em edificações e iluminação. Posteriormente, o capítulo abordou pesquisas relevantes sobre a temática em questão.

### 2.1 Considerações Gerais sobre Energia

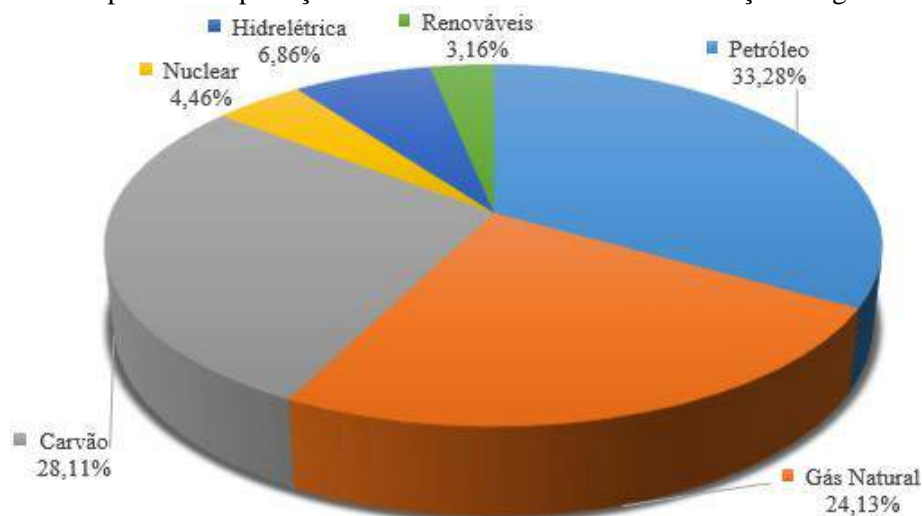
Desde o início da Revolução Industrial, século XIX, uma das principais atividades econômicas dos países se tornou a produção e o uso de energia. Com o passar dos anos, o cenário do consumo de energia aumentou cada vez mais, sendo justificado por Moreira (2017) o uso em grande escala de combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo e o gás.

Neste âmbito, a questão da emissão de gases poluentes torna-se cada vez mais evidente por ser responsável pelo aquecimento local, regional e global, ocasionando, em paralelo, uma preocupação cada vez maior dos países aderirem ao uso de fontes alternativas e renováveis (GOLDEMBERG, 2011).

Morais (2017) relata que a União Europeia aderiu à meta alvo de que as energias renováveis devem representar, até 2030, 30% da quantidade total de energia consumida. Apesar de tais dados serem traduzidos em instalações, por exemplo, de parques eólicos, sistemas fotovoltaicos, usinas termoelétricas e hidrelétricas para geração de energia elétrica, a atenção aos custos e impactos ambientais devem ser fatores importantes antes de sua efetivação. Em contrapartida, Moreira (2017) afirma que, mesmo diante das dificuldades financeiras e aceitações sociais para a instalação, países como China e Alemanha têm alcançado destaques internacionais no quesito energias renováveis, pelos incentivos às estratégias governamentais sobre matrizes energéticas mais “limpas”.

Apesar de todos os incentivos governamentais, leis e decretos para a ampliação do uso de fontes renováveis, Soares (2017) traz o atual panorama internacional sobre a matriz energética e suas respectivas fontes de exploração, conforme apresentado na Figura 1:

**Figura 1** – Relação entre as matrizes energéticas: hidrelétrica, nuclear, carvão, gás natural, petróleo e renováveis e suas respectivas explorações de consumo em termos do Balanço Energético Mundial



Fonte: Soares (2017).

Através da Figura 1, observa-se que no cenário internacional a apropriação dos recursos renováveis ainda é muito restrita, predominando os de origem fóssil, responsáveis pela polêmica acerca do aquecimento global.

### 2.1.1 Consumo energético: panorama geral do Brasil

O cenário brasileiro, de acordo com Moraes (2017), é caracterizado pelo vasto potencial na produção de combustíveis fósseis, onde prevalece o uso dos derivados do petróleo, como o óleo diesel, usado nos transportes, assim como o etanol e, mais recentemente, o biodiesel. Entretanto, mesmo com o uso de tais combustíveis, a matriz energética brasileira pode ser caracterizada de forma heterogênea da maioria dos países em virtude do uso escasso de fontes renováveis.

Moreira (2017) considera que apesar do país apresentar uma vasta quantidade de recursos renováveis, o que ocorre é a forma equivocada de distribuição, uma vez que sua exploração se concentra ainda nos grandes centros urbanos. Logo, prioriza-se cada vez mais a necessidade de expansão e diversificação da matriz energética nacional, que incentivem o crescimento da utilização das energias renováveis no Brasil, para o atendimento da demanda crescente e cumprimento de metas no cenário internacional.

Dados de 2017 do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESESB/CEPEL ressaltam o Brasil com um potencial de 143 GW de energia eólica e um

dos maiores índices de irradiação dos raios solares para geração de energia fotovoltaica. Em complemento, Morais (2017) destaca que as usinas hidrelétricas representam 62,8% da potência instalada e as termelétricas correspondem a 28,2% da eletricidade instalada na matriz elétrica nacional.

Neste íterim, o Ministério de Minas e Energias criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) em 2002, cujo objetivo, segundo a ANEEL (2017), é aumentar a participação de fontes alternativas renováveis (pequenas centrais hidrelétricas, usinas eólicas e empreendimentos termelétricos a biomassa) na geração de energia elétrica, priorizando os empreendedores que não tenham vínculos societários com concessionárias de geração, transmissão ou distribuição.

Sendo assim, é importante atentar-se que cada vez mais o Brasil dispõe de políticas públicas, como instrumentos de créditos, compatíveis com os projetos que auxiliam a impulsionar novas tecnologias limpas, como a solar.

### 2.1.2 Consumo energético: panorama geral do Nordeste brasileiro

O panorama energético da região Nordeste apresenta cada vez mais destaque, conforme dados do Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste (ETENE, 2017), devido ao aproveitamento de potencialidades em fontes eólicas – por dispor de ventos mais favoráveis do que em outras regiões à instalação de aerogeradores, energia solar e biomassa.

Tratando-se com ênfase a energia solar, para Pereira *et al.* (2006), a região do semiárido nordestino encontra-se dentre as áreas do Brasil que proporcionam os melhores parâmetros técnicos de insolação. Conseqüentemente, torna-a, conforme o ETENE (2018, p. 08), “candidata receber investimentos em projetos de geração de energia elétrica a partir da fonte solar, a exemplo do que já se observa para a fonte eólica”. Isto se justifica pela grande intensidade da radiação solar e por ser a maior média diária de luminosidade existente CRESESB/CEPEL (2017).

Morais (2017) destaca que, há alguns anos, as energias renováveis tinham um custo maior que as convencionais, porém o interesse comercial e os diversos incentivos (normas e decretos, por exemplo) tornaram os custos semelhantes. Dados oriundos da Folha de Pernambuco (2012) relataram que o Estado de Pernambuco decretou a lei estadual 14.606 para uma isenção fiscal de 5% sobre o ICMS – imposto sobre circulação de mercadorias e serviços para empresas que utilizassem as fontes eólicas e solares. Já no Estado da Paraíba, divulgou a Lei nº 10.720 (PARAÍBA, 2016b), responsável por instituir a política estadual de

incentivo à geração e aproveitamento de energia solar e eólica; bem como a Lei nº 10.718 (PARAÍBA, 2016a), que dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de sistemas de captação de energia solar na construção de novos prédios, centros comerciais e condomínios residenciais.

### 2.1.3 Consumo energético: panorama geral no setor público brasileiro

No Brasil, estimam-se, segundo Oliveira (2013), 508.519 edificações públicas distribuídas nas três esferas de governo, em setores como: educação, administração pública e saúde, conforme a Tabela 1 abaixo:

**Tabela 1** - Quantitativo total de edificações públicas brasileiras

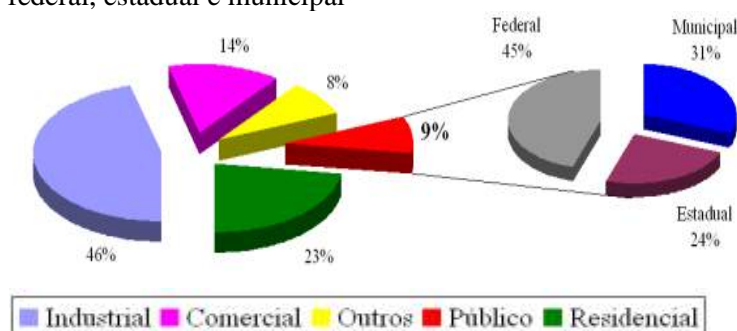
Setor	Federal	Estadual	Municipal	Total Geral
Instituição de Ensino	8.341	133.240	126.744	268.325
Estabelecimento de saúde	3.320	6.398	64.236	73.954
Administração pública	36.526	41.316	88.398	166.240
<b>Total</b>	<b>48.187</b>	<b>180.954</b>	<b>279.378</b>	<b>508.519</b>

Fonte: Oliveira (2013).

Nota-se que, nesse quantitativo, destacam-se cerca de 268.325 instituições de ensino, sendo as edificações estaduais em maior quantidade (133.240 edificações), seguidas de 47% na esfera municipal (126.744 edificações) e 3% na esfera federal (8.341 edificações).

De acordo com as informações de Ben (2001-2011 *apud* OLIVEIRA, 2013), o consumo final de eletricidade do setor público equivale a uma média de 32 TWh, correspondentes a 9% do consumo de energia elétrica brasileiro (ver Figura 2).

**Figura 2** - Percentual médio anual do consumo de energia elétrica no Brasil, com destaque ao setor público nos âmbitos federal, estadual e municipal



Fonte: Ben (2001-2011 *apud* OLIVEIRA, 2013).

Observa-se ainda que, dentre os 9%, 45% são referentes à esfera federal, que correspondem a 14 TWh; 31%, à esfera municipal, equivalente a 10 TWh e 24%, à esfera estadual, com 8 TWh.. É importante evidenciar que dentre os 9 %, que representam o consumo energético do setor público brasileiro, Ben (2001-2011 *apud* OLIVEIRA, 2013) complementa que as edificações públicas consomem uma parcela de 3,2% desse percentual, e os 5,8% são referentes a outros setores (por exemplo, iluminação pública).

Dentro do contexto abordado, compreende-se como fundamental o aparato energético das fontes de energias renováveis no âmbito internacional, assim como um maior uso delas no Brasil. Mais especificamente, é imprescindível o estudo em edifícios públicos da região Nordeste, fator que justifica a investigação da luz natural em salas de aulas e seus possíveis impactos no cenário educacional na UFPB.

## **2.2 Considerações sobre Eficiência Energética em Edificações**

Devido à crise do petróleo e as preocupações com o clima global, o crescimento das ações voltadas à sustentabilidade e à eficiência energética se tornaram cada vez mais recorrentes nas últimas décadas do século XX. Com enfoque no caso brasileiro, só após a crise energética de 2001, o país consolidou a publicação de leis e regulamentos visando a um menor impacto das construções sobre o consumo de energia.

Desta forma Pedrini e Trindade (2010) ressaltam que o conceito de arquitetura bioclimática teve sua importância resgatada após a utilização, durante muitos anos, de iluminação e condicionamento artificial. Para tanto, os autores supracitados evidenciam que a bioclimatologia enfatiza desde o conforto térmico dos usuários à redução do consumo energético dos edifícios, através de soluções passivas de ventilação e iluminação.

Corbella e Corner (2011, p. 10) definem a edificação como uma “membrana reguladora permeável e controlada”, onde as variáveis climáticas devem alcançar ao máximo os níveis de conforto visual, térmico e luminoso entre o meio externo e interno. Portanto, o conceito de bioclimatologia deve se fazer presente desde o ambiente físico, socioeconômico e cultural, como também por meio de técnicas que favoreçam a redução dos impactos ambientais.

### **2.2.1 Estratégia bioclimática na iluminação natural**



No âmbito da eficiência luminosa, Macêdo e Pereira (2002) afirmam que as estratégias que utilizam a luz direta do Sol para a iluminação apropriam-se de sistemas óticos ativos ou passivos como lentes, refletores especulares e prateleira de luz. Em complemento, Lamberts *et. al.* (2014) ressaltam que para que se tenha uma maior captação da luz natural em ambiente interno, não se faz necessário aumentar as áreas de aberturas, pois isto poderia incorrer em maiores ganhos de calor solar indesejáveis, justificando, assim, que devem ser estudadas tanto soluções de captação, como as prateleiras de luz, quanto se deve buscar compreender os tipos de sistemas de abertura: zenitais e laterais.

Na análise da pesquisa em questão, os ambientes apresentam aberturas laterais nas quais Borba (2010) considera que os níveis de iluminação decrescem com o aumento da distância da janela, devido à direção predominante da luz solar – de cima para baixo. Para Frota (2004), o comportamento da trajetória solar resulta em uma distribuição heterogênea no ambiente interno, sendo as áreas próximas às janelas mais iluminadas, enquanto as áreas afastadas podem mostrar-se bastante sombrias.

Em sua dissertação, Borba (2010, p. 89) apropriou-se do estudo da prateleira de luz, definindo-a como:

[...] Dispositivo passivo, usado para redirecionar a luz do Sol, para o interior da edificação. Tem como elemento principal um componente de controle, posicionado horizontalmente e localizado acima da linha de visão, que divide a abertura lateral em duas porções: superior (iluminação) e inferior (visão e ventilação).

O autor supracitado confeccionou 07 modelos de prateleiras de luz, variando desde tamanhos, altura, angulação e materiais de acabamento, conforme a Tabela 2 a seguir:

**Tabela 2** - Modelos de prateleiras de luz com variações de tamanhos, altura, angulação e materiais de acabamento

<b>Eixo</b>	<b>Caracterização (dimensão : largura x comprimento)</b>
Prateleira plana	0,50 m x 6,25 m (largura total da sala), em acrílico, pintada na cor branca;
Prateleira plana	1,00 m x 6,25 m, em acrílico, pintada na cor branca;
Prateleira plana	1,50 m x 6,25 m, em acrílico, pintada na cor branca;
Prateleira (i= 25 %)	0,50 m por 6,25 m, em chapa de aço inoxidável série 430, brilhante;
Prateleira (i= 25 %)	1,00 m x 6,25 m, em chapa de aço inoxidável série 430, brilhante;
Prateleira (i= 25 %)	1,50 m x 6,25 m, em chapa de aço inoxidável série 430, brilhante;

Fonte: Borba (2010), adaptado pela autora.

Diante disso, a partir do estudo de Borba (2010), o estudo em questão utilizou a estratégia da prateleira de luz como forma de auxiliar no aumento da autonomia da luz natural, além de sua contribuição para o conforto luminoso (quantidade de iluminância no ambiente interno) e diminuição do consumo energético.

### 2.2.2 Certificações e selos verdes

Jagger (2011) define a certificação como um instrumento voluntário que presta assessoria ao planejamento e desenvolvimento de soluções sustentáveis para as edificações. Para tanto, o desempenho da edificação é avaliado diante de um sistema de pontuação que quantifica o nível de sustentabilidade de acordo com o cumprimento dos critérios. Em complemento, o autor destaca que o intuito destes selos é conscientizar a população dos problemas ambientais, como também a procura por novas construções verdes.

Em virtude da natureza desta pesquisa, os selos e certificações: BREEAM, LEED, AQUA, PROCEL e PROCEL EDIFICA foram considerados imprescindíveis, além da sua importância conceitual, para compreender os possíveis impactos que os ambientes educacionais podem sofrer a partir da utilização de recursos renováveis, como a iluminação solar passiva.

#### 2.2.2.1 BREEAM

De acordo com Vieira Filho (2015) o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) foi o pioneiro no quesito selo ambiental e atualmente é o de maior aceitação entre os países, por avaliar a eficiência ambiental dos edifícios e ser influenciador de outros selos de avaliação ambiental, como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*).

O selo assume um papel importante na minimização dos impactos negativos dos edifícios sobre as áreas onde estão inseridos e no desenvolvimento de ambientes internos, para provocar um maior conforto ambiental aos usuários. As avaliações das edificações inicialmente são feitas classificando-as diante do uso e do estágio produtivo (se houve ou não reformas), concentrando os critérios nas áreas de Energia, Saúde e Bem-estar, cada qual com grau de importância de acordo com seu nível de sustentabilidade.

Um dos grandes impasses do BREEAM, na visão de Vieira Filho (2015), é que, por considerar aspectos locais de cada país para conferir pontuação de classificação, torna o processo mais lento, uma vez que, após o levantamento de informações, deve-se enviá-los para a Inglaterra, a fim de que seja elaborada a análise.

#### 2.2.2.2 LEED

Em sua tese, Vosgueritchian (2006) discute o selo LEED (como um sistema de avaliação e categorização de desempenho ambiental de edifícios orientados para o mercado. Esse sistema é feito por meio de critérios de pontuações, tais como: espaços sustentáveis (ES) – escolha do terreno a ser implantado o empreendimento e a gestão da obra na fase de construção; uso eficiente da água (UA); energia e atmosfera (EA) – estimula o consumo racional da energia dentro do edifício através da adoção de energias renováveis; materiais e recursos de baixo impacto ambiental (MR); qualidade do ambiente interno (QI); inovação no projeto em termos de tecnologia e gestão de obra e créditos regionais apropriados para cada região.

Os edifícios podem receber essa certificação, segundo Vieira Filho (2015), em quatro níveis, baseados no número de pontos: certificação básica (40 a 49 pontos); prata (50 a 59 pontos); ouro (60 a 79 pontos); platinum (80 a 110 pontos). Tendo em vista os critérios para classificação, o LEED adequa as categorias específicas para avaliar diferentes tipos de edificações. No âmbito escolar, o autor acima adverte que no Brasil ainda há pouca utilização devido a data de lançamento ser 2011, assim como ainda é comumente utilizado na construção de grandes edifícios escolares e reformas de edifícios existentes.

#### 2.2.2.3 AQUA

Para Vieira Filho (2015), o selo AQUA surgiu no Brasil em 2008 por intermédio da Fundação Vanzolini (instituição privada e sem fins lucrativos), como uma versão adaptada do selo francês HQE (*Haute Qualité Environnementale*). O autor evidencia que a maior parte dos edifícios educacionais utilizam o selo e que no Brasil há 305 edifícios certificados.

Dados do referencial técnico de certificação da Fundação Vanzolini (AQUA, 2013) apontam como o primeiro selo criado para as especificidades ambientais, técnicas e arquitetônicas brasileiras, analisados de duas formas: sistema de gestão do empreendimento (SGE) e qualidade ambiental do edifício (QAE).

Para aplicação do AQUA (2013), a Fundação Vanzolini, explica que existem 14 critérios dentro das categorias construção de baixo impacto, gestão, conforto e saúde, sendo concebido em três fases: programa, concepção e realização. Vale salientar que uma vez obtida a certificação, a mesma tem duração de um ano, não sendo possível a renovação, acreditando que todos os elementos necessários ao bom desempenho já se encontrarem na edificação.

#### *2.2.2.4 PROCEL*

Instituído pelo Governo Federal, o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) tem como função estimular a produção e o consumo de equipamentos com uma maior eficiência energética, sendo principal órgão de execução, a Eletrobrás, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia.

Vieira Filho (2015) considera que o programa auxilia o consumidor no momento da compra, indicando os níveis de eficiência no consumo de energia dos produtos, que são etiquetados variando de categorias entre A e E. PROCEL (2016) estabelece que para cada sistema de avaliação haja pesos diferentes, sendo 40% aparelhos de condicionamento de ar, e os outros sistemas, 30%, podendo aderir bonificações extras caso tenha economia no consumo de água, uso de energias renováveis, cogeração ou inovações tecnológicas.

É fundamental destacar que existem diversos programas no PROCEL e que, para a obtenção do selo, é necessário atender aos critérios elaborados por uma comissão técnica, baseados em dados de consumo obtidos através de medições realizadas em laboratório.

#### *2.2.2.5 PROCEL Edifica*

Perante o atual cenário crescente da construção civil, em 2003 foi criado o PROCEL Edifica, em conjunto com o Ministério de Minas e Energia, o Ministério das Cidades, universidades, centros de pesquisa e entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento, além do setor da construção civil. Como principal objetivo, Santos e Souza (2012) abordam a construção de bases para promover, de maneira racional, o nível de eficiência energética das edificações no Brasil.

Vale ressaltar que Vieira Filho (2015) afirma que a energia elétrica é o principal fator para concessão do selo, através da avaliação da arquitetura do edifício, o sistema de iluminação – consumo de energia da iluminação interna, relacionando-a com os usuários em suas atividades diárias e sistema de ventilação artificial.

## 2.3 Considerações sobre Iluminação

A luz é fundamental para se tornar visível um objeto, como também prepara seu corpo e a mente para as ações que serão realizadas. Diante deste entendimento, o tópico discorre sobre as condições de iluminação para que os usuários realizem suas atividades sem prejudicar principalmente sua fisiologia humana e o meio ambiente.

### 2.3.1 Estudo da percepção

De acordo com Brondani (2006), o estudo da percepção no âmbito da visualidade considera a compreensão do que é o tratamento da informação. Sendo assim, abrange que o desenvolvimento da luz progride da mesma forma que o processo perceptivo sobre qualquer indivíduo, considerando os aspectos memoráveis, históricos e culturais, responsáveis por afetar experiências expressas do sujeito.

Contudo, a percepção não é a única responsável pelos estímulos às necessidades, às emoções e aos valores que afetam qualquer processo perceptivo. Desta forma, Lima (2010, p. 26) define-a como:

[...] Fenômeno psíquico elementar que resulta da ação de estímulos externos sobre os órgãos dos sentidos. Interessante perceber que as sensações nos fazem relacionar o nosso próprio organismo com o mundo exterior captado através dos órgãos dos sentidos e do sistema nervoso, ou seja, quanto mais desenvolvidos, mais delicadas e mais variadas serão as sensações.

Em complemento, a autora (LIMA, 2010, p. 7-26) ainda destaca algumas definições, importantes para a pesquisa, tais como: Acuidade Visual, Sensibilidade de Percepção, Eficiência Visual e IRC, responsáveis pelo processo perceptivo:

**Acuidade visual** é a capacidade de distinguir detalhes nos objetos visualizados, com maior ou menor facilidade e rapidez. Depende fundamentalmente dos índices de Iluminamento<sup>4</sup>, não levando em conta a reprodução de cores.

**Sensibilidade de percepção** é a sensibilidade do olho em perceber os contrastes entre partes claras ou escuras, tanto de objetos isolados, como de ambientes em que estes se encontram.

**Eficiência visual**, sensibilidade relativa ou luminosidade espectral relativa, é o comportamento do olho humano no discernimento das cores do espectro solar.

**IRC** é unidade de medida usada para avaliar o quanto a luz artificial se aproxima da natural; Quanto mais próximo de 100% for o índice de uma fonte de luz, mais fiel será a reprodução de uma cor.

Logo, os conceitos abordados servem para entender que a percepção visual, decorrente da luz natural, sob a ação ou não da iluminação artificial, afetam a captação e compreensão das imagens. Isto está relacionado ao poder transformador da iluminação sobre a matéria construída, por interferir nos aspectos fisiológicos decorrentes da diferença do ângulo e da quantidade de incidência da luz. Consequentemente, Lamberts *et al.* (2014) consideram que essas ações de criar e transformar o ambiente devem estar aliadas às cores que, agregadas ao espectro eletromagnético, estimulam o olho humano a distinguir diferenças na qualidade da sensação visual provocada pela luz.

Focando nos efeitos causados pela luz, ou seja, na relação da cor emitida pela fonte luminosa, é imprescindível a abordagem do conceito de Temperatura de Cor, responsável em avaliar tonalidades das fontes luminosas adotadas pelos fabricantes de lâmpadas. Evidentemente que essa temperatura não se mede com termômetro, já que ela é responsável pela definição da cor da luz. O aumento de temperatura não corresponde ao aumento na emissão de energia radiante, oscilando-se apenas na aparência entre “quente” e “fria”, que interfere nas sensações que estão diretamente relacionadas ao sujeito e espaço.

### 2.3.2 Estudo da luz

Diante do que foi referenciado sobre percepção, a fonte de luz é compreendida por Lima (2010) como tudo aquilo capaz de emitir luz, ou seja, tornar visível.

Para tanto, necessita-se incluir definições, símbolos e unidades legais da NBR ISO 5461 (ABNT, 1991) sobre o vocabulário de iluminação, como os abordados em Moreira (2008, p. 76):

**Reflexão:** é o fenômeno que consiste na mudança de direção de um raio luminoso ao incidir em determinada superfície de separação de dois meios homogêneos, sendo desenvolvido para o meio originário.  
A reflexão da luz depende das condições da superfície refletora e do ângulo de incidência dos raios luminosos.

**Refração:** é o fenômeno segundo o qual a direção dos raios luminosos sofre modificações ao passar de um meio para outro de densidade diferente. Tal fenômeno se dá em face do fato de que a velocidade da luz é tanto menor quanto maior for a densidade do meio que atravessa.

**Absorção:** é o fenômeno que se dá quando uma parte do raio luminoso que incide sobre uma superfície é absorvido, em maior ou menor grau, dependendo das características do material de que é constituído cada corpo. A consequência mais importante desse fenômeno é a cor dos corpos.

**Transmissão:** é uma característica dos corpos transparentes ou translúcidos, de deixar passar luz.

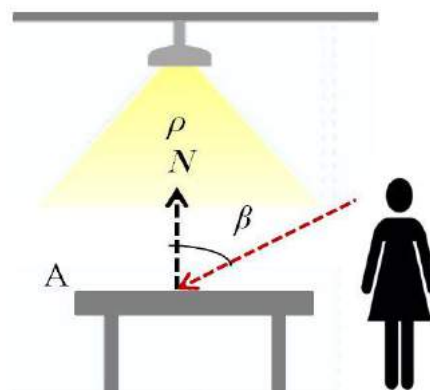
Tais fenômenos ópticos são importantes para compreender o comportamento do material que compõe os objetos de estudo quando a luz é incidida, e o ângulo com que a luz os atinge. Desta forma, a capacidade de iluminação de uma fonte é dada em função do fluxo luminoso, que é irradiado em direção a um determinado ponto, mas não de maneira uniforme.

Diante disso, Moreira (2008, p. 40-41) afirma que estes termos estão intimamente interligados, de acordo com a relação: Fluxo luminoso total = fluxo luminoso refletido + fluxo luminoso absorvido + fluxo luminoso transmitido, sendo dividido em três proporções, de acordo com as propriedades de cada superfície. Ainda sobre o fluxo, Guerrini (2008, p. 31) aborda a relação entre fluxos (o emitido e o radiante total), podendo estender o conceito de fluxo radiante para potência elétrica absorvida pela fonte como sendo a eficiência luminosa.

Tendo em vista o que foi abordado, vale reforçar que apesar do fluxo radiante exprimir a potência de uma fonte de luz, não indica como se distribui nas diversas possibilidades de direção da energia irradiante. Assim sendo, em uma dada direção, duas fontes luminosas podem ter igual potência, e uma emitir muito mais energia que a outra, necessitando distinguir também a Intensidade Luminosa da fonte.

É nessa conjuntura que estabelece conceito de Luminância ( $L$ ), expressa em candela por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ), a qual Guerrini (2008, p. 29) define como quociente entre o fluxo luminoso incidente sobre a superfície considerada e a sua área, conforme a figura 3:

**Figura 3** - Luminância de uma superfície



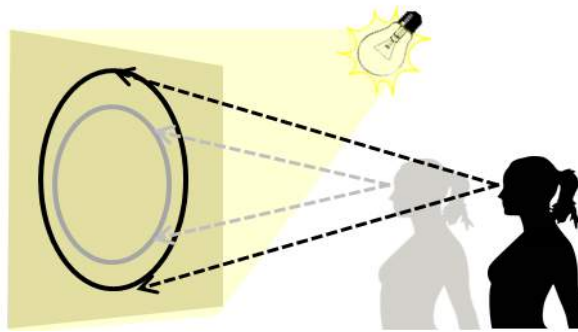
Fonte: Acervo Pessoal.

A equação  $L = \frac{l(\beta)}{A'} = \frac{l(\beta)}{A \cdot \cos(\beta)}$  representa a definição de luminância, sendo que “A”

é a área real da superfície, “ $\beta$ ” é o ângulo entre o vetor normal à superfície e à direção de observação e  $l(\beta)$  é a intensidade luminosa na direção considerada.

Para Brondani (2006), a luminância (L) independe da distância entre o observador e a superfície fonte de luz, mantendo-a constante na superfície, mesmo que o observador se aproxime da área vista por ele, conforme a Figura 4:

**Figura 4** - Relação entre luminância e a área de superfície do observador

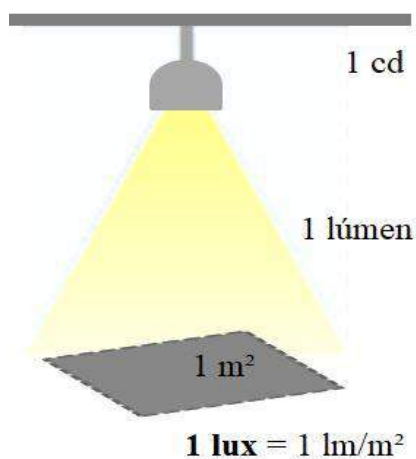


Fonte: Acervo Pessoal.

Já a Iluminância (E) é definida por Brondani (2006) quando uma fonte atinge uma superfície que será iluminada, sendo unidade no sistema internacional lúmen/m<sup>2</sup> ou ljust (lx), expressa pela equação  $E = \frac{\phi}{A}$ , sendo  $\phi$  a quantidade de luz que incide em uma superfície e A a

área correspondente:

**Figura 5** - Emissão da fonte luminosa em uma determinada área – Iluminância



Fonte: Acervo Pessoal.



Diante do que foi exposto, é importante entender que, como o Fluxo Luminoso não é distribuído uniformemente, a Iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão. Daí, essas variáveis devem ser controladas de acordo com as especificidades das normas nos aspectos de distribuição e de quantidade de luz para a atividade desempenhada pelos usuários na pesquisa.

### 2.3.3 Fatores humanos

A mente humana processa informações recebidas pelos órgãos dos sentidos por meio da relação cérebro e visão e, para que haja percepção espacial, necessita receber as imagens do mesmo por meio do sistema visual e da presença da luz. A partir deste fato, Brondani (2006) ressaltou que os olhos reagem à presença da luz, e o nervo ótico transmite ao cérebro os impulsos luminosos recebidos.

De acordo com Lucena (2015), a luz que penetra no olho chega até a retina, onde é formada uma imagem invertida do objeto observado. Por sua vez, a retina é composta por elementos fotorreceptores, sendo eles os bastonetes e os cones, sendo aqueles sensíveis aos baixos níveis de iluminação, e estes responsáveis pela percepção das cores, do espaço e acuidade visual.

Veitch e Boyce (2008) advertem que os resultados das condições de iluminação interferem na percepção e na sensação do conforto visual, traduzindo-se em fadiga visual, estresse, esforço físico, desmotivação. Em consonância, Lamberts *et al.* (2014) consideram que, dentre os fatores visuais, os que podem ser ajustáveis em nível projetual são os aspectos quantitativos da luz, distribuição de luminância, ausência de ofuscamento e contraste. Por isso, é indispensável identificar e avaliar as situações de trabalho anômalas, para que possam ser corrigidas, acarretando a prevenção de riscos para a saúde humana, como a fadiga visual e o ofuscamento.

#### 2.3.3.1 *Fadiga visual*

Pais (2011) denomina como fadiga visual a manifestação de desconforto, de dor e irritação visual causada pelo enfraquecimento dos músculos conectados ao globo ocular, responsáveis pelo movimento, fixação e focalização dos olhos.

IIDA (2005) cita que as causas podem ser observadas na intensidade e duração do trabalho físico e mental, fatores fisiológicos, no desconforto com o clima, iluminação, ruído (fatores ambientais), nas ansiedades ou conflitos, nas mudanças organizacionais, na monotonia e na falta de motivação. Conseqüentemente, os resultados podem provocar desde aumento do absenteísmo, diminuição da produtividade e problemas de relacionamento interpessoal.

Ainda segundo IIDA (2005), a quantidade de iluminação deve ser estabelecida entre 10 lux a 1000 lux; caso os valores sejam ultrapassados, não ocorrem melhorias, e sim aumentada fadiga visual.

### 2.3.3.2 Ofuscamento

Segundo Lamberts *et al.* (2014), o conceito de ofuscamento relaciona-se a uma variação de iluminação, ocasionando desconforto e até perda de visão pelo excesso de brilho refletido nas superfícies e tempo de exposição à claridade.

Existem duas formas estabelecidas pelo IESNA (2000) de ocasionar ofuscamento: fontes de luz artificiais e luz natural. A primeira é ocasionada pela iluminação excessiva da fonte de luz ou sua localização perante o campo de trabalho. Já a segunda, Barbosa (2010) explica que é causada pela luz do dia e tipos de céus, sendo os índices de ofuscamento controlados nos intervalos de 5000 lux a 120.000 lux de iluminância horizontal.

Para exemplificar o limite que o olho humano permite não sofrer ofuscamento e nem danificar a retina, a Tabela 3 aborda os valores de iluminância de algumas fontes luminosas.

**Tabela 3** - Valores de iluminância de algumas fontes luminosas

<b>Fonte</b>	<b>Iluminância (cd/m<sup>2</sup>)</b>
Sol	$1600 \times 10^6$
Céu claro	$0,4 \times 10^4$
Lâmpada a vapor de mercúrio alta pressão (400 w)	$120 \times 10^4$
Lâmpada Fluorescente	$0,9 \times 10^4$
Lâmpada a vapor de mercúrio baixa pressão (140 w)	$8 \times 10^4$
Papel branco	100
Papel cinza	50
Papel preto	5

Fonte: Pereira (2003, p. 77), editado pela autora.

### 2.3.4 Luz natural

A energia solar sempre foi utilizada pelos seres humanos nas edificações, seja de forma direta e/ou indireta, havendo variações de intensidades em detrimento as condições do tipo de céu.

Assim, Viana e Gonçalves (2001) definem como um dos principais fatores da luz natural a sazonalidade (é a variação de luminosidade natural conforme época do ano e a hora do dia, clima, tipos de céus), a qualidade do ar, a refletividade das superfícies internas, e o sítio, que considera características físicas e geográficas do lugar e entorno da edificação. Em complemento, Viana e Gonçalves (2001, p.08) abordam variáveis que são responsáveis pelas alterações luminosas nos ambientes internos das edificações:

**Orientação:** alinhamento das fachadas das edificações com a trajetória solar, norte, sul, leste e oeste, pode diminuir ou aumentar a intensidade luminosa ao longo do dia e ano.

**Morfologia do entorno:** é a configuração do entorno, dividido as proximidades das construções, obstrução natural ou construída, traçado urbano, pode alterar na quantidade de luz natural no interior da edificação.

**Inclinação do terreno:** Pode causar sombreamento na edificação sendo favorável ou não dependendo do programa.

**Tipo de abertura:** Para a penetração da luz natural no ambiente é necessárias aberturas, que podem ser largas, estreitas, altas, baixas, podem também ser laterais, zenitais, sendo mais comum as unilaterais e bilaterais em paredes opostas ou adjacentes, desde que haja passagem de luz do exterior para o interior.

Sendo assim, o estudo apropriou-se dos indicadores de desempenho da luz natural e suas variáveis ao longo do dia para o ambiente interno, assim como as condições do céu. Portanto, em prol desta dinamicidade, foi imprescindível para a pesquisa conhecer os dados da radiação solar do local específico, como o fator de luz natural, autonomia da luz natural, iluminância natural útil e componente celeste, para que fosse feita a simulação computacional.

#### *2.3.4.1 Fator de luz natural (FLD)*

Assis (2016) caracteriza o FLD como a razão entre a iluminância dentro do ambiente e a iluminância horizontal externa sob o céu nublado, na qual a orientação do prédio não influencia no resultado, sendo utilizada para a necessidade da luz natural em um ponto.

#### 2.3.4.2 Autonomia da luz natural (ALN)

Reinhart (2006) determina a ALN como o percentual de horas em um ano, nas quais o nível de iluminância mínimo no plano de trabalho seja um valor estabelecido como padrão para as atividades do ambiente em questão. Para isso necessita-se de um arquivo climático. A orientação das fachadas é fundamental, como as possíveis condições de céus durante um ano.

#### 2.3.4.3 Iluminância natural útil (INU)

Mardaljevic e Nabil (2006) consideram a INU como percentual de horas ao longo do ano, medindo o desempenho da luz natural baseado na iluminância no plano de trabalho, ou seja, quando o nível de luz natural é útil para os usuários, nem menor  $INU < 100\text{lux}$ , nem maior  $INU > 2.000\text{lux}$ , dentro de  $100 < INU < 2.000\text{lux}$ .

#### 2.3.4.4 Componente Celeste (CC)

De acordo com Amorim *et al.* (2011, p. 52), o componente celeste é definido pela:

[...] Relação entre a iluminação diurna em um ponto interior do local dividida unicamente pela luz que provém diretamente da abóbada celeste e a iluminação exterior simultânea sobre um plano horizontal iluminado pelo total da abóbada de um céu coberto normal.

Sendo assim, a condição do céu é diretamente responsável pela quantidade de luz que penetra no espaço interno.

#### 2.3.5 Tipos de fontes artificiais

Nos estudos feitos por Robbins (1986), a escolha, o entendimento e a aceitação da integração da luz natural com a artificial sempre foi uma questão fundamental, por contribuir principalmente para a redução do consumo energético.

Barbosa (2010, p. 77) considera que desde o desenvolvimento da tecnologia da iluminação elétrica “tem se discutido o desempenho das fontes, a quantidade de luz gerada, o consumo e aplicações de acordo com as atividades desenvolvidas”. Assim, a seleção de

lâmpadas para espaços públicos deve estar relacionada aos fatores de: baixo custo, bom rendimento, fácil manutenção, reprodução e cor da luz produzida.

O mercado atual é um cenário econômico caracterizado por aumentos de tarifas de energia e, segundo PROCEL (2017, p. 05):

O uso de equipamentos com o selo, associado à política de banimento das lâmpadas incandescentes do mercado nacional, ajudou o país a economizar 15 bilhões de kWh no ano, evitando 1,232 milhão de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes fossem emitidos na atmosfera.

Diante disso, o estudo se deteve nos tipos de lâmpadas – incandescentes e de descarga – indicando as mais convenientes para o tipo do efeito luminoso da proposta, além de equipamentos que contribuam para a eficiência energética.

Caracterizadas pela passagem da corrente elétrica por um gás ou vapor ionizado, as lâmpadas de descarga elétrica são subdivididas em: vapor de mercúrio, vapor de sódio, lâmpadas mista e LED. Para tanto, requerem uma maneira de controlar ou estabilizar a corrente elétrica através de um reator.

As lâmpadas de vapor de sódio podem ser de alta pressão e de baixa pressão, sendo a primeira mais indicada para as instalações públicas, pela vida útil longa e altíssima eficiência luminosa. Ambas emitem uma luz branca indicada para locais onde a reprodução de cor não é um fator importante.

Por seguinte, os multivapores metálicos se dividem em alta potência e baixa potência. A primeira proporciona um grande fluxo luminoso e de alta eficácia, conforme Solano e Gonçalves (2001, p. 207): “de 70 a 90 lm/ W produzindo muita luz e pouco calor”. Segundo o manual da OSRAM (2000), são indicadas para iluminação de estádios de futebol, ginásios poliesportivos, piscinas cobertas, indústrias, supermercados, salas de exposição, salões, saguões de teatros e hotéis, fachadas e praças.

Com relação às lâmpadas mistas, apesar de serem consideradas lâmpadas de descarga, não utilizam reator, podendo ser ligadas diretamente na rede, com vida útil de 6.000h, emitindo cerca de 25 lumens/W, conforme Moreira (2008). No catálogo geral da OSRAM (2000), elas são uma alternativa de maior eficiência e de maior vida útil para substituição das lâmpadas incandescentes de alta potência, ideais para estádios, áreas desportivas, fachadas e monumentos.

Por fim, o diodo emissor de luz (LED), é um dispositivo eletrônico semiconductor que, diferentemente de uma lâmpada comum, não possui filamento, o grande responsável pela

conversão de parte da energia elétrica em energia térmica. Por isso, consegue produzir muito mais luz visível do que calor, ou seja, é mais eficiente, em comparação a uma lâmpada comum. O mesmo desperta o interesse pelo seu uso devido à alta durabilidade, o que reduz custos com manutenção e a frequência da necessidade de substituição, assim como a quantidade de resíduos gerados.

A Tabela 4 contempla um sinótico das principais lâmpadas para iluminação de edifícios públicos e suas características.

**Tabela 4** - Caracterização das lâmpadas vapor de mercúrio, vapor de sódio e iodeto metálico de acordo com custo da lâmpada e luminária, resistência ao uso, cor da luz, reprodução das cores, eficiência luminosa, vida útil e luminância

Características	Lâmpadas			
	Vapor de Mercúrio	Vapor de Sódio		Iodeto Metálico
		Alta pressão	Baixa pressão	
Custo Lâmpada	Baixo	Médio	Elevado	Médio
Custo Luminária	Médio	Médio	Elevado	Médio
Resistência - uso	Boa	Boa	Fraca	Boa
IRC	Boa	Razoável	Precária	Muito Boa
Eficiência lum.	50/60	90/130	140/200	70/100
Vida Útil	15000/20000	20000/25000	10000/15000	6000/10000
Luminância	Elevada	Elevada	Baixa	Elevada

Fonte: Moreira (2008, p. 160).

### 2.3.6 Luminárias

As luminárias são aparelhos de iluminação que abrigam a lâmpada e alteram a distribuição do fluxo luminoso. Existem várias classificações das luminárias em cada país, e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) adota a classificação da Comissão Internacional de Iluminação (CIE) sobre a forma de distribuição do fluxo luminoso emitido.

Os requisitos básicos de uma luminária, conforme Solano e Gonçalves (2007, p. 209), são:

- Proporcionar suporte e conexão elétrica à lâmpada ou às lâmpadas;
- Controlar e distribuir a luz da lâmpada;
- Ter um bom rendimento luminoso;
- Manter a temperatura de operação da lâmpada dentro dos limites estabelecidos;
- Facilitar a instalação e a conservação;

- Ter uma aparência agradável;
- Ser economicamente viável;
- Proteger a lâmpada e equipamento elétrico contra umidade e demais agentes atmosféricos.

Segundo PROCEL (2017), estes equipamentos se diferenciam quanto ao tipo de instalação (sobrepôr ou embutir), sendo compostos, ou não, por aletas que ajudam a controlar o ofuscamento, possuindo, ou não, fechamento frontal em vidro temperado e acrílico.

### 2.3.7 Integração entre os sistemas: luz natural e artificial

Para que haja a integração entre parâmetros dinâmicos e estáticos da luz, faz-se necessário compreender desde os tipos de aberturas que permitem a passagem da luz natural, quanto os tipos de sistemas de fluxo luminoso artificial.

Segundo Vianna e Gonçalves (2001), existem as aberturas laterais e zenitais, mas tendo em vista o enfoque da pesquisa, o estudo se deteve apenas à primeira classificação. Para os autores, as aberturas laterais apresentam variações desde as suas dimensões (comprimento, altura e largura) até as suas localizações e peitoris (medida estabelecida do piso ao início da abertura), como se observa na Tabela 5:

**Tabela 5** - Tipos de aberturas laterais

<b>Localização</b>	<b>Tipo</b>	<b>Desempenho Luminotécnico</b>
Unilateral	Altas	Proporcionam maior profundidade e uniformidade na distribuição da luz natural. Diminuem os níveis de iluminância mais próximas à abertura e aumentam a reflexão interna;
Unilateral	Largas e horizontais	O efeito da luz se dá paralelo à abertura em forma de eclipse alargado. Necessitam de iluminação artificial para se obter melhor uniformidade;
Bi- lateral	Paredes opostas	O efeito de uma janela se soma à outra, aumentando os níveis de iluminância e melhorando a uniformidade. Quando uma das janelas for alta, diminui-se o ofuscamento e melhora-se a uniformidade;
Bi- lateral	Paredes adjacentes	Recomendada para ambientes quadrados por melhoram os níveis de iluminância e uniformidade;

Fonte: Vianna e Gonçalves (2001).

Tratando-se da luz artificial, a IESNA (2000) classifica-a em iluminação direta (fluxo luminoso emitido para baixo), indireta (fluxo luminoso ascendente), semi-direta (fluxo luminoso variando de 60% a 90%, para baixo), semi-indireta (fluxo luminoso variando de

60% a 90%, para cima) e uniforme (quando a distribuição do fluxo luminoso ascendente e descendente se equivalem, variando entre 40% a 60%).

Nesse contexto, a integração entre a luz natural e a artificial, segundo Lucena (2015), deve seguir a técnica denominada Iluminação Artificial Suplementar para Interiores – IASPI, segundo a qual um dos requisitos é apropriar-se da luz do dia como fonte principal. O método consiste em subdividir o ambiente em zonas de iluminância, identificando os locais de carência, para que a luz artificial seja suplementar a natural. Para tanto, as zonas dependem dos tipos de aberturas, tipo de céu e período e, uma vez identificados os locais de deficiência, definem-se as estratégias de intervenção que reduzam o desperdício de energia.

Um dos equipamentos que auxiliam na redução do consumo energético luminoso abordado por Lucena (2015) são os chamados dimerizadores, responsáveis pelo ajuste gradativo dos níveis de iluminância mediante a iluminação natural aumentar ou diminuir. Tal sistema pode ser programado para controlar a potência da lâmpada por meio de fotocélulas, o que propicia o aumento da vida útil dela, como também uma uniformidade lumínica em todo o ambiente.

### 2.3.8 Normas

Segundo Garrocho (2005 p. 75), classifica-se como uma boa iluminação aquela que se adequa às tarefas desenvolvidas ao conforto visual do indivíduo que usufrui o local; por este motivo, devem-se atingir as exigências de quantidade e qualidade da iluminação como, por exemplo, a iluminância, a luminância, a uniformidade e o contraste.

Sendo assim, Lamberts *et. al.*, (2014) afirmam que atingindo tais níveis quantitativos e qualitativos abordados pelas normas, os indivíduos podem desenvolver suas atividades com o máximo de acuidade e precisão visual, com menores riscos a sua fisiologia e de acidentes.

Na prática, as tarefas visuais apresentam uma média de precisão, sendo indicados para cada tipo de local ou atividade três níveis de iluminâncias estabelecidas pela NBR 5413 (ABNT, 1992) - Iluminância de interiores, conforme o Quadro 1.

Assim, deve-se considerar os valores mais altos das três iluminâncias quando: a tarefa apresenta-se com refletâncias e contrastes bastante baixos e o trabalho visual exige alta produtividade ou precisão. Em relação aos valores mais baixos, a norma recomenda utilizar as refletâncias ou contrastes relativamente altos quando a velocidade e/ou precisão não são importantes e a tarefa é executada ocasionalmente.



Tratando-se do estudo em questão, a análise da luz em salas de aulas encontra-se na classe A com os valores de iluminância variando entre 200, 300 e 500 lux (mínima/ média/ máxima).

**Quadro 1** - Iluminância por classe de tarefas visuais

<b>Classe</b>	<b>Iluminância (lux) (mínima, média e máxima)</b>	<b>Tipo de atividade</b>
A Iluminação geral para áreas usadas intermitentemente ou com tarefas visuais simples.	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.
	200-300-500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de máquina e auditório.
B Iluminação geral para área de trabalho	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 Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000-3000-5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno.
	5000-7500-1000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica.
	10000-15000-20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia.

Fonte: NBR 5413 (1992) – Iluminância de Interiores.

Em relação às normas sobre iluminação natural, foram utilizadas as NBR 15215-1 (ABNT, 2005a) sobre o ambiente construído; NBR 15215-2 (ABNT, 2005b), condizente com procedimentos de cálculos para a estimativa da disponibilidade de luz natural; NBR 15215-3 (ABNT, 2005c), de procedimentos de cálculos a determinação da luz natural em ambientes internos e NBR 15215-4 (ABNT, 2005d), para verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – método de medição.

Desta maneira, a NBR 15215-1 (ABNT, 2005a), responsável pelos conceitos e definições com enfoque na terminologia aplicada à iluminação natural, foi essencial para compreender os termos específicos para a avaliação luminosa.

Já nos parâmetros da NBR 15215-2 (ABNT, 2005b), as condições do céu estão relacionadas à distribuição espacial de luz. Para tanto, identificar os tipos de céu faz-se imprescindível na qualidade e quantidade de luz natural no ambiente construído. Albuquerque e Amorim (2012) consideram que devido à grande quantidade de varrições, a CIE

(*Commission Internationale De L'Eclairage*)<sup>1</sup> publicou a norma ISO 15469(E)/CIE S011/E:20033 (ISO, 2004), relatando os tipos de céus sob essa ampla gama de variações, mas classificando-as em três tipos de céus, conforme a Tabela 6.

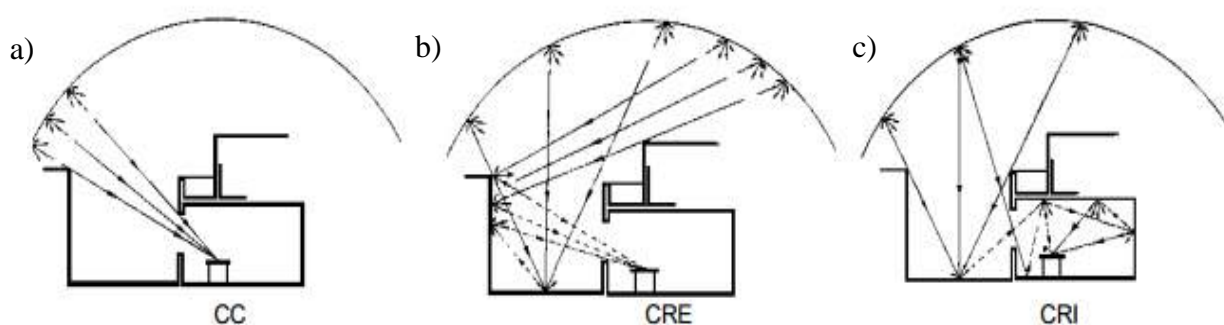
**Tabela 6** - Iluminância por classe de tarefas visuais

Tipos de céu	Caracterização
Claro	35% de nuvens encobrendo a abóbada celeste; a iluminação difusa é mais intensa no horizonte e ao redor do sol.
Parcialmente nublado	35 a 75% do céu encoberto por nuvens.
Nublado	75% encoberto, distribuição de radiação tende a ser uniforme, a iluminância não depende da orientação solar.

Fonte: ISO 15469:2004 (E) / CIE S011/E:20033, editado pela autora.

A NBR 15215-3 (ABNT, 2005c) estabelece que a luz no ambiente interno depende de variáveis, tais como: orientação, posição e materiais de acabamento das aberturas, disponibilidade de luz natural, espacialidade do ambiente e refletividade das superfícies internas. Entretendo, a norma destaca que as disponibilidades internas dependem dos: Componentes do Céu (CC), Componente Refletida Externa (CRE) – a luz final após ser refletida no ambiente; e o Componente Refletida Interna (CRI) – luz final após ter sofrido várias reflexões internas:

**Figura 6** - Fontes de luz natural que alcançam o edifício: a) Componente do Céu, b) Componente Refletida Externa (CRE) e c) Componente Refletida Interna (CRI)



Fonte: NBR 15215-3 (2004).

Em relação à aferição *in loco* com o luxímetro<sup>2</sup>, devem-se seguir as considerações da NB15215-4 (2005). Recomenda-se, antes do manuseio, calibrar periodicamente, evitar

<sup>1</sup> Organização de cooperação internacional responsável pelas informações de qualquer natureza relacionadas à ciência e à arte da iluminação.

choques de qualquer natureza, não expor às intempéries e aos limites de umidade pelo fabricante. Em relação ao número de pontos necessários para aferição, deve-se determinar o índice do local (K) pela equação  $K = \frac{C \cdot L}{Hm \cdot (C+)}$ , sendo “L” largura do ambiente, “C” comprimento do ambiente, “H” distância vertical, ambas as medidas em metros.

Encontrado o valor de K, determina-se pelo Quadro 2 a quantidade mínima de pontos. A altura do equipamento também é estabelecida pela norma, relacionando-a de acordo com o plano de trabalho, para salas de aulas a 0,75m do chão.

**Quadro 2** - Quantidade mínima de pontos a serem medidos

<b>K</b>	<b>Nº de Pontos</b>
$K < 1$	9
$1 \leq K \leq 2$	16
$2 \leq K \leq 3$	25
$K \geq 3$	36

Fonte: CIBSE (1984) apud NB15215-4 (2005).

Em relação aos ambientes educacionais, a NBR ISO 8995-1 (ABNT, 2013) e IESNA (2000) abordam fatores quantitativos e qualitativos da iluminação associados aos níveis de refletâncias dos materiais para espaços internos. O primeiro estabelece 500 lux no plano de trabalho e 300 lux no entorno imediato, enquanto o segundo estabelece a quantidade de 300-500 lux nas salas de aula.

Quanto aos níveis de refletância dos materiais, IESNA (2000) complementa que a quantidade de luz também se associa aos níveis de refletâncias dos materiais para espaços internos: teto 70 a 90%; paredes: 40 a 60%, luminância de pelo menos metade das do teto; pisos: 30-50% e plano de trabalho: 20-60%. Já em relação ao conforto visual, para evitar o ofuscamento, a mesma recomenda que a luminosidade da tarefa deva ser cinco vezes maior a qualquer plano visto diretamente.

Em 2003 foi instituído pela ELETROBRAS/PROCEL o Regulamento Técnico de Qualidade Comercial de Serviços Públicos (RTQ-C) para classificação de sistema de

---

<sup>2</sup> Para a NBR 15215-4 (ABNT, 2005d), consiste em um sensor fotométrico, geralmente de silício ou selênio, composto por um filtro de correção óptica, conectado a um circuito de tratamento com um visor digital ou analógico.

iluminação e suas respectivas potências, instaladas de acordo com o nível de eficiência pretendido.

Mediante isso, a RTQ-C aconselha a utilização de dispositivos que desliguem automaticamente quando os ambientes estiverem desocupados, assim como que as potências instaladas considerem as funções que as edificações desempenham – escolas e universidades variando entre 10,9 W/m<sup>2</sup> a 13,9 W/m<sup>2</sup>. Vale destacar também que a mesma determina, para as luminárias mais próximas das janelas, acionamentos independentes dos demais sistemas.

### 2.3.9 Consumo energético

A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2017/2018) – estabelece que para calcular a quantidade de energia consumida por eletrodomésticos ou aparelhos elétricos, multiplica-se por sua potência e pelo tempo de uso mês. Estas informações devem ser fornecidas na unidade de potência estabelecida pelo Sistema Internacional de Unidades - watts (W), sendo o resultado obtido em kWh (quilowatt hora). Já para transformá-las do consumo energético em custo financeiro, é necessário multiplicar pelo valor da tarifa cobrada em kWh (quilowatt hora) da concessionária de energia de cada região.

Neste sentido, devido a esta pesquisa se deter à análise luminosa dos meses de Junho de 2017, Setembro 2017, Dezembro 2017 e Março 2018, a Tabela 7 relaciona as tarifas de consumo cobradas no Estado da Paraíba:

**Tabela 7** - Tarifa cobrada nos meses de Junho de 2017, Setembro 2017, Dezembro 2017 e Março 2018 no Estado da Paraíba

Ano	Mês	Tarifa
2017	Junho	0,43
2017	Setembro	0,49
2017	Dezembro	0,49
2018	Março	0,51

Fonte: ANEEL 2017/2018.

Em posse dessas informações, a Prefeitura Universidade Federal da Paraíba (UFPB), no ano de 2017, disponibilizou no relatório de Gestão (2016/2017) que o custo médio do consumo elétrico anual foi de R\$ 8.800.300,00 reais. Diante disso, a Tabela 8 aborda o comparativo entre a UFPB e cinco universidades do Nordeste, escolhidas em detrimento da área e de sua relevância no contexto educacional.

**Tabela 8** - Comparativo entre a UFPB, UFBA, UFRN, UFPE, UFMA e UFA sobre área aproximada, consumo energético (kW/h) e consumo R\$.

Universidades	Área (m <sup>2</sup> )	Consumo (kW/h)	Consumo R\$/
UFPB	185.621,00	29.761.08,01	8.478.901,26
UFBA	283.000,00	23.555.000,00	10.804.794,03
UFRN	394.000,00	28.291.060,00	11.345.916,11
UFPE	405.000,00	32.000.161,00	15.001.113,23
UFMA	9.140.000,00	31.647.126,61	2.378.010,55
UFAL	2.100.000,00	14.560.429,01	7.844.722,02

Fonte: Relatório de Gestão (FPB; UFBA; UFAL; UFPE; UFMA, UFCG, 2016/2017).

Observa-se que a UFPB apresenta menos da metade da área da UFRN, mas em termos de consumo energético (kW/h), ela é superior e em relação ao consumo em reais, aproxima-se bastante.

### 2.3.10 Software para análise de iluminação via simulação computacional

De acordo com Albuquerque e Amorim (2012), os softwares que simulam o comportamento luminoso permitem a análise da luz natural no ambiente construído, apropriando-se das medidas estáticas, assim como das variações diárias e sazonais da luz natural no ambiente construído. Em consonância, Pereira (2011) ressalta que a quantificação e a qualificação da iluminação disponível, seja ela natural ou artificial, são realizadas por meio de uma integração entre métodos e cálculo capazes de calcular valores da luz.

Em virtude da complexidade em controlar o comportamento da luz e a existência cada vez maior de softwares sobre iluminação, o Departamento de Energia dos EUA – Energia Eficiência e Energia Renovável – elegeu 50 melhores programas para simulação, dentre eles o DIALux. Criado na Alemanha, em 1994, apresenta uma plataforma amplamente utilizada para cálculos nos arranjos da iluminação natural e artificial. Este recurso facilita ainda mais a escolha da potência e o número de dispositivos necessários para um determinado local, além de permitir uma inter-relação entre outros programas de construção de modelos 2D e 3D.

#### 2.3.10.1 Interface

Conforme o manual DIALux evo, o programa permite relacionar hierarquicamente toda a construção do projeto inserido na cena, desde mobiliários, cores, texturas, materiais,

luminárias com acesso aos catálogos online dos fabricantes, além da geração de relatórios técnicos com todo o memorial dos resultados do projeto.

Como função básica, o DIALux permite a importação de arquivos, por exemplo, o AutoCAD (até versão 2010), para inserir plantas e vistas – desenhos bidimensionais que servem como guias de modelagem na cena. Além disto, é possível importar outros formatos de arquivo, entre eles imagens, para usar como texturas, e modelos tridimensionais armazenados no formato 3DS.

Para a criação das cenas, o programa possibilita definir as características de cada fonte luminosa, seja natural e/ou artificial. Ou seja, para a luz natural, estabelece-se o horário e o dia da simulação, bem como a condição do céu (claro, parcialmente encoberto e encoberto) e, para a artificial, possibilita estabelecer um controle de funcionamento das luminosas por meio de dimerização.

Os resultados dos cálculos podem ser exportados para um memorial em PDF com todos os dados, desde as iluminâncias, uniformidades, potências luminosas, até lista de luminárias. Em relação aos desenhos gerados, apresentam toda a base de cálculos, como a indicação de posição, legenda dos pontos de luz, curvas fotométricas e de ofuscamento nas imagens e vídeos.

## **2.4 Pesquisas Atuais**

Com o intuito de nortear o trabalho, foi feito um breve levantamento de pesquisas que abordem a temática sobre iluminação natural e artificial, com seus respectivos impactos energéticos. O objetivo se consolidou na assimilação das especificidades neste eixo temático no quesito aprimoramento de técnicas, compreensão dos objetivos dos trabalhos, identificação das variáveis dos instrumentos e dos métodos aplicados.

Assim, pesquisas dos autores Didoné e Pereira (2016), Nikolić (2017), Pereira e Fonseca (2017) e Scalco *et. al.* (2013) foram usufruídas como mapeamento do que vem sendo pesquisado atualmente. Isto não significa que outras literaturas não foram utilizadas, entretanto as supracitadas serviram de embasamento para a construção do referencial teórico e para o esclarecimento de métodos mais condizentes com a pesquisa em questão.

Tratando-se de simulações computacionais, a pesquisa apresentada por Didoné e Pereira (2016) para revista *Ambiente Construído* foi priorizada pela integração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. O objetivo da mesma consistiu em estabelecer parâmetros mais adequados para economia de energia a partir do aproveitamento

da luz natural. Desta forma, o trabalho foi subdividido em duas etapas, sendo a primeira por meio de levantamento de dados dos escritórios em Florianópolis e a segunda pela simulação computacional no programa Daysim, considerando medidas do ambiente (altura, largura e profundidade), os arquivos climáticos fornecidos pela UFSC, as refletâncias internas dos materiais e especificações das luminárias e lâmpadas utilizadas.

Para análise do consumo energético, foi definida uma taxa de ocupação de pessoa/m<sup>2</sup>, optando por um modelo base de baixa eficiência com maior captação solar das fenestraçãoes, auxiliado pela NBR 15215, sem o uso do sistema de dimmer e sensor de luz solar. Assim, houve uma avaliação da volumetria dos modelos ora estudados, que englobam as variáveis: profundidades dos escritórios e altura (pisos a teto).

Os autores concluíram que, diante dos resultados encontrados, percebeu-se que quanto menor a profundidade e mais alto for o ambiente, menor será o consumo com iluminação artificial.

Nos estudos de Nikolić *et al.* (2017) publicados na revista Elsevier, um edifício residencial com 24 apartamentos serviu de estudo de caso, visando identificar aspectos críticos sobre conforto luminoso e térmico assim como possíveis soluções para gerenciar flexibilidade energética na Serbia, minimizando o uso de energia não renovável.

Para tanto, foi necessário caracterizar toda a edificação de acordo com os materiais aplicados e estabelecer uma porcentagem de horas (8:00 às 16:00) na aplicação dos cenários para cada cômodo da residência, com suas respectivas atividades e áreas. As simulações foram elaboradas no programa EnergyPlus, no qual a energia solar foi analisada nos parâmetros de quantidade de iluminância e temperatura interna. As conclusões obtidas nesse estudo, no ciclo de um ano, foram que apartamentos adjacentes sofriam com maiores temperaturas e índices luminosos bem parecidos com os apartamentos centrais. Os autores julgaram que posicionamento dos apartamentos em relação à orientação solar e ao entorno imediato influenciaram no aquecimento e entrada passiva de iluminação natural. O principal eixo da discussão foi a diferença do consumo de energia – variando de 27,23 kWh/m<sup>2</sup> em apartamentos adjacentes a 7,97 kWh/m<sup>2</sup> dos centrais – e a falta de estratégias bioclimáticas. As soluções sugeridas perpassaram desde novos materiais de acabamento externo ao reposicionamento das fenestraçãoes em prol da melhor orientação para captação solar.

No artigo de Pereira e Fonseca (2017) para a revista Ambiente Construído, a investigação se deteve em sequências de métodos que equiparassem a iluminação natural com sistemas de desempenho energético de edificações não residenciais. Utilizou-se a modelagem para as simulações computacionais no programa EnergyPlus, com a ponderação por área, por

zoneamento de iluminação natural considerando o dinamismo do clima e pelas discussões sobre os índices do RTQ-C e os mínimos de iluminação natural.

Os autores compararam as simulações do programa com o método RNA, que consiste em técnicas computacionais baseadas em modelos matemáticos capazes de aprender e armazenar dados e variáveis do ambiente para obtenção de uma modelagem energética. Ou seja, a aplicação de redes neurais artificiais como método simplificado para a previsão do impacto do aproveitamento da iluminação natural no consumo energético. Os índices luminosos foram obtidos em virtude da caracterização da área de 5,20 m por 6,65 m, altura de piso ao teto de 3,00 m e superfícies internas de refletâncias com 20%, 40% e 80% para piso, parede e teto respectivamente com iluminância-alvo de 500 lux.

De maneira geral, foram discutidos o potencial energético da iluminação natural, tecnologias de iluminação artificial e seus impactos no consumo energético na qual se deve considerar esses aspectos como uma das principais contribuições do método para a captação do dinamismo da luz e a flexibilidade quanto à forma dos ambientes e à iluminância de projeto.

Scalco *et. al.* (2013) desenvolveram um método para averiguar o impacto de edificações no acesso à iluminação natural, considerando um parâmetro estático – as vizinhanças, a partir de cenários virtuais. A pesquisa se assegurou na definição do raio de abrangência da vizinhança, modelagem e simulação, definição dos tipos de impactos, definição dos cenários virtuais e análise dos dados dos cenários.

Para constatação dos impactos luminosos devido à configuração espacial irregular urbana, comparou-se a percentagem do FLDV – Fator de Luz Diurna Vertical – dos cenários originais (grande massa edificada existente) com o cenário de uma edificação na vizinhança. A extração dos dados por meio dos isográficos ocorreu pelo programa Apolux, a partir dos quais os autores perceberam que a maior porcentagem de impactos adversos foi verificada nos cenários que possuem parcelamento regular e ocupação da vizinhança com taxa de 75%, em edificações contendo 5 pavimentos. Assim, concluíram que edificações altas com taxa de ocupação reduzida produzem melhores condições de acesso à iluminações natural e conseqüentemente menores índices de consumo energético luminoso. Ou seja, edificações vizinhas não produzem efeitos prejudiciais em termos de intensidade, caso apresentem taxas de ocupação menores.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi elaborado por meio revisão bibliográfica de dissertações, teses, artigos e livros, de forma a assegurar a aplicabilidade da metodologia adotada.

A partir deste panorama, propôs-se a avaliar o desempenho luminoso com enfoque na autonomia da iluminação natural em salas de aulas do bloco do Centro de Energias Alternativas e Renováveis – CEAR, localizado na Universidade Federal da Paraíba, *Campus I*, no bairro do Castelo Branco, município de João Pessoa-PB, latitude de 7,11° sul, longitude de 34,86° oeste e elevação de 44 m acima do nível do mar (INMET, 2018).

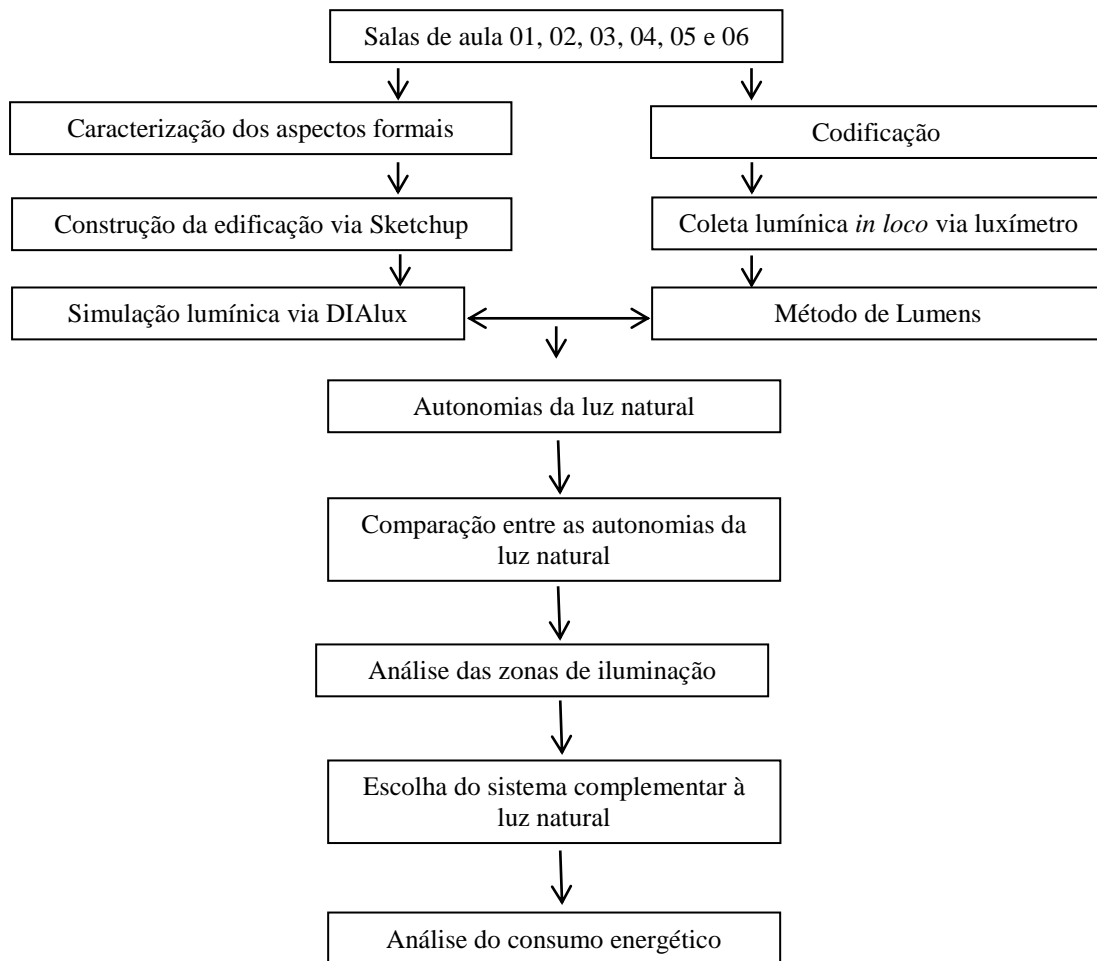
Os critérios de análise das salas de aula consideraram a inserção cartográfica, os tipos de céus, a altitude, a quantidade e posições das fenestraçãoes, os materiais de acabamento, o tamanho das salas de aula e os níveis de iluminação alcançados.

Ainda, a metodologia foi dividida em cinco etapas:

- a) Aspectos formais do objeto de estudo (entorno imediato, materiais de acabamento, dimensões e localizações das fenestraçãoes e layout interno proposto);
- b) Codificação (categorização climática, relação do usuário de acordo com o tempo de permanência no local);
- c) Simulação (rendimento luminoso - normas, estratégias bioclimáticas e consumo energético);
- d) Coleta de dados *in loco* (quantidade lumínica dentro das salas de aula e caracterização do céu de acordo com a norma);
- e) Análise da proposta através dos critérios de eficiência energética.

A Figura 7 esquematiza todas as etapas do processo metodológico, que visa a caracterizar os parâmetros dinâmicos e estáticos da pesquisa em questão. Vale destacar que todas elas seguiram uma ordem cronológica até chegar aos resultados finais.

**Figura 7** - Etapas da análise sobre iluminação do novo bloco de aulas do CEAR



Fonte: Acervo Pessoal, 2017.

### 3.1 Caracterização

Foram selecionadas seis salas de aula, localizadas no primeiro, segundo e terceiro pavimentos do novo bloco do Centro de Energias Alternativas e Renováveis da Universidade Federal da Paraíba (em fase de construção), para aferir os aspectos quantitativos (níveis de iluminância) e os aspectos qualitativos (ofuscamento e refletância dos materiais) desses espaços.

A edificação do CEAR contém 04 pavimentos, 18m de altura e localiza-se a uma distância de aproximadamente 16m em relação ao Centro de Ciências Sociais Aplicadas (com 8m de altura) e de 18m em relação ao Centro de Energias Alternativas e Renováveis (com 5 m de altura), conforme as Figuras 8.a. 8.b. Ao longo do perímetro do bloco, existe embasamento com acabamento cimentício, com 60 cm de largura e 40 cm acima do nível da rua, apresentando uma massa vegetal apenas no sentido Sudeste.

**Figura 8** – Localização do bloco do CEAR/UFPB – Campus I.



8a: Implantação geral com distâncias das edificações do entorno imediato



8b: Imagem com destaque ao primeiro e quarto pavimentos

Fonte: Google Earth, editado pela autora. 2017.

Quanto as fachadas do Bloco do CEAR em estudo, há beirais com 1m de largura de acabamento externo, contendo varandas, elementos que servem de proteção solar, cujo acabamento externo é em cerâmica 10cm x 10cm na cor preta e tijolo terracota ( Figura 9).

Em relação à distribuição espacial interna, o novo bloco do CEAR contempla o total de 96 salas, porém, para avaliação de desempenho luminoso, este trabalho se deteve a duas situadas no primeiro pavimento (Figura 10), cujos sentidos da carta solar são Norte e Nordeste; duas no segundo pavimento, sentidos Oeste e Leste (Figura 11) e duas no terceiro pavimento (Figura 12), sentidos Noroeste e Sudoeste.

Os ambientes de estudo apresentaram a mesma tipologia arquitetônica das salas de aula, sendo as salas 01 de 72 m<sup>2</sup> com 9,15m x 8m de dimensão, abertura bilateral de 4m de comprimento e 1,60 m de altura, sala 02 03 de 36 m<sup>2</sup> com 8m x 4,50m de dimensão, abertura unilateral de 4m de comprimento e 1,60m de altura e, sala 03 de 36 m<sup>2</sup> com 8m x 4,50m de dimensão, abertura bilateral de 4 m e 1,20 m de comprimento e 1,60m de altura.

**Figura 9** - Materiais de acabamento do novo bloco do CEAR



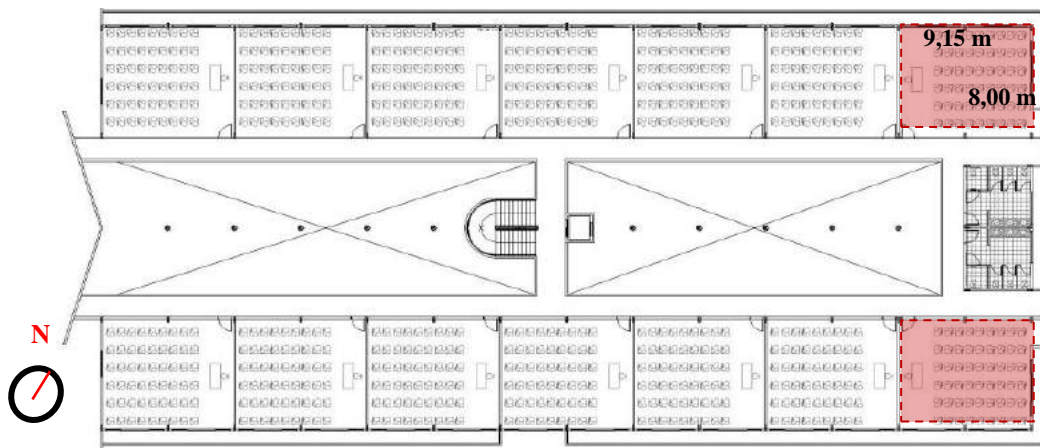
9a - Acabamento da fachada Sudeste: revestimento cerâmico na cor terracota 5cm x 10cm



9b - Varanda técnica com acabamento em cerâmica 10cm x 10cm na cor preta, teto em forro de gesso com pintura branca acrílica fosca e esquadrias das salas com perfil em alumínio, pintura preta e vidro fumê

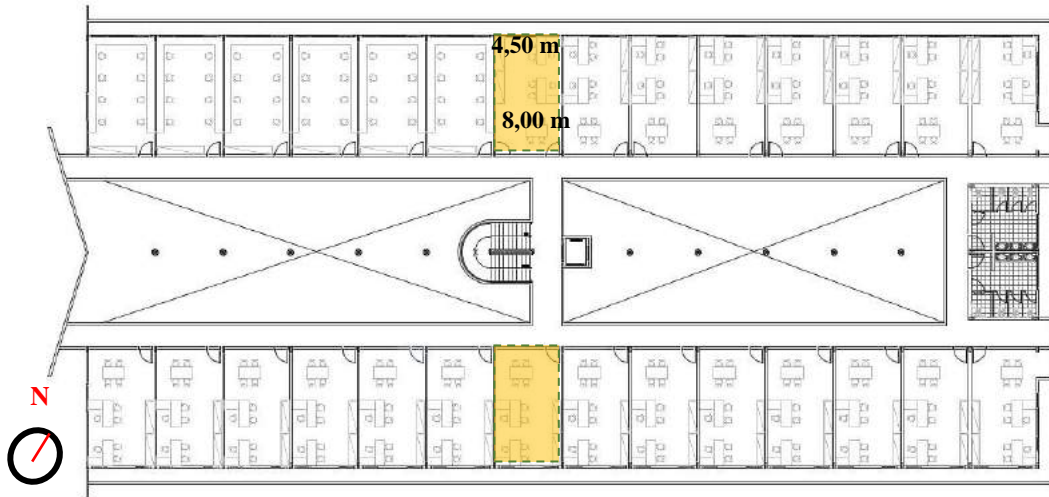
**Fonte:** Acervo pessoal, 2017.

**Figura 10** - Planta baixa do primeiro pavimento do novo bloco do CEAR com a demarcação em vermelho das duas salas de aula (01 e 02) analisadas, cada uma com 72m<sup>2</sup> de área e abertura bilateral. Salas Noroeste/ Nordeste e Nordeste/ Sudeste.

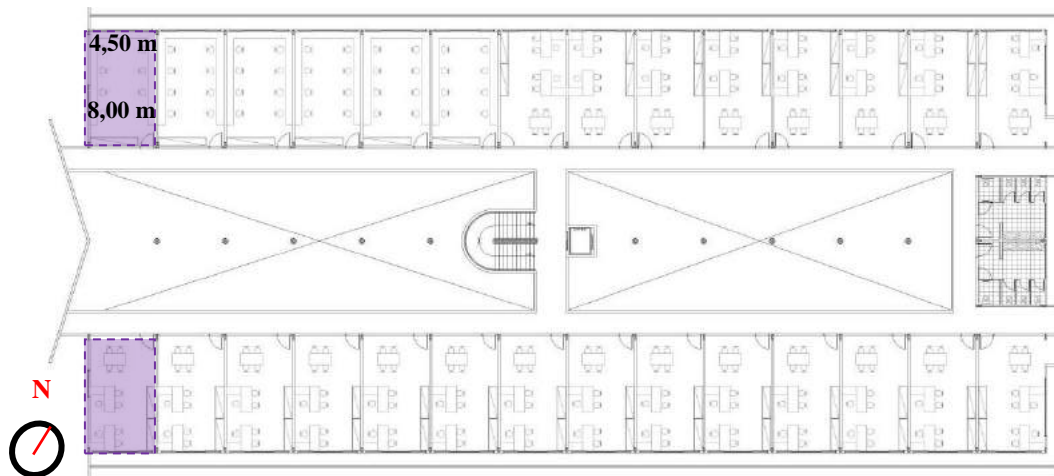


Fonte: Arquivo do CEAR, editado pela autora.

**Figura 11** - Planta baixa do segundo pavimento do novo bloco do CEAR com a demarcação em laranja



**Figura 12** - Salas de aulas analisadas no novo bloco de aulas do CEAR com suas respectivas áreas e características morfológicas: a) Sala de aula 01, com 59,8 m<sup>2</sup> e sentido Nordeste; b) Sala de aula 02, com 59,8 m<sup>2</sup> e sentido Noroeste; c) Sala de aula 03, com 22,50 m e sentido Sudeste; d) Sala de aula 04, com 22,50 m<sup>2</sup> e sentido Sudoeste



Fonte: Arquivo do CEAR, editado pela autora.

Ambas apresentam janelas do tipo correção em alumínio preto e vidro com película fumê, peitoril de 1,10m de altura e beirais para colocação de equipamento de refrigeração com 1,60m de altura, os quais contornam as fachadas, conforme a Figura 13:

O acabamento interno das salas 01, 02, 03, 04, 05 e 06 apresentaram tetos com forro de gesso e pintura branca fosca, paredes emmassadas com pintura branca fosca, piso em granilite cinza claro. A Tabela 9 correlaciona os materiais de acabamento com os níveis de refletâncias estabelecidos pela NBR ISO 8995-1 (ABNT, 2013).



**Figura 13** - Salas de aulas analisadas no novo bloco de aulas do CEAR com suas respectivas áreas e características morfológicas: a) Sala de aula 01, com 72 m<sup>2</sup> e sentido Nordeste; b) Sala de aula 02, com 72 m<sup>2</sup> e sentido Noroeste; c) Sala de aula 03, com 36 m<sup>2</sup> e sentido Sudeste; d) Sala de aula 04, com 36m<sup>2</sup> e sentido Sudoeste



Fonte: Acervo pessoal, 2017.

**Tabela 9** - Coeficiente de Reflexão

Superfície	Coeficiente de Reflexão
Gesso	0,8 – 0,9
Pintura Branca	0,8
Vidro fumê	0,5
Piso Granilite	0,2

Fonte: NBR ISO 8995-1 (ABNT, 2013).

Por se tratar de uma edificação em fase de construção, não há instalação do sistema de iluminação artificial, e o *layout* interno das salas 01 e 02, proposto no anteprojeto, encontra-se

de acordo com as recomendações técnicas: carteiras posicionadas paralelamente e quadros perpendiculares à abertura. Já quanto ao *layout* interno das demais, foi proposto um novo uso como salas de aula, uma vez que se trata de um uso sugerido e não consolidado, passível de alterações em virtude das necessidades da edificação em questão.

### 3.2 Coletas *in loco*

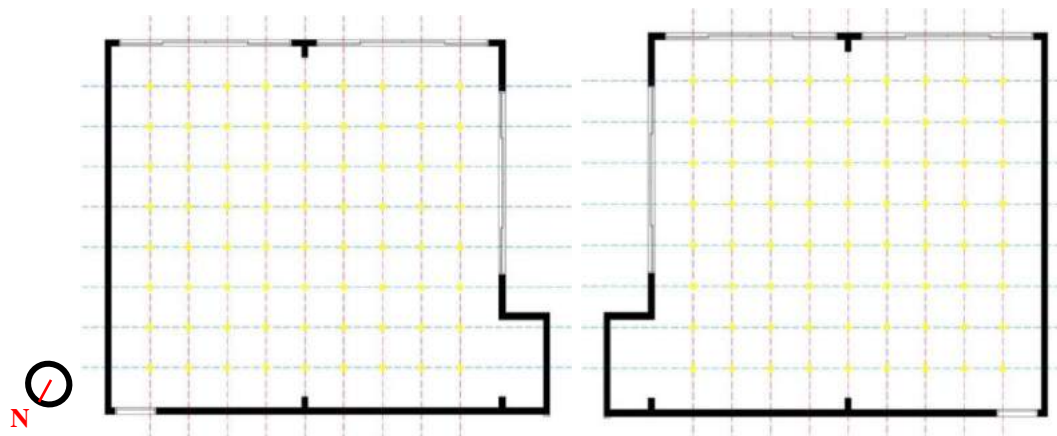
Com o intuito de verificar as luminosidades das salas nas datas das simulações – solstícios e equinócios, os registros ocorreram por meio do luxímetro modelo Minipa 1011, a partir do cálculo de distribuição dos pontos de aferição, recomendado pela NBR 15:215-4 (ABNT,2005d). A partir do cálculo estabelecido pela Equação 1, encontrou-se  $K \geq 3$ , equivalente a 36 pontos aferidos localizados a uma altura de 75cm, do piso ao chão.

#### Equação 1

$$K = C.L / Hm (C+L)$$

Para o início da medição, foram seguidas as indicações técnicas para o uso do luxímetro, expondo a fotocélula 5 minutos antes da primeira medição. Por seguinte, distribuiu-se nas salas 01 e 02, de 72 m<sup>2</sup>, em 36 pontos, a partir do coeficiente encontrado de 4,02. Entretanto, para aumentar o nível de precisão, duplicou-se a quantidade de pontos, totalizando 72, o que correspondeu em 09 colunas (largura) e 08 fileiras (comprimento), conforme os Apêndices G, H, I e J.

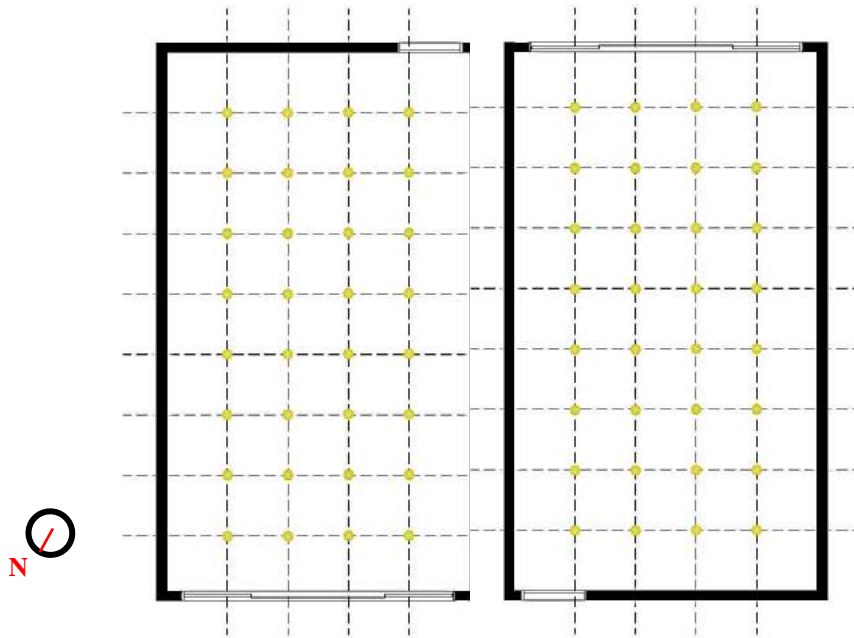
**Figura 14** – Método ponto-a-ponto aplicado na Tipologia A de 72 m<sup>2</sup>: a) Sala 01; b) Sala 02.



Fonte: Acervo pessoal, 2018.

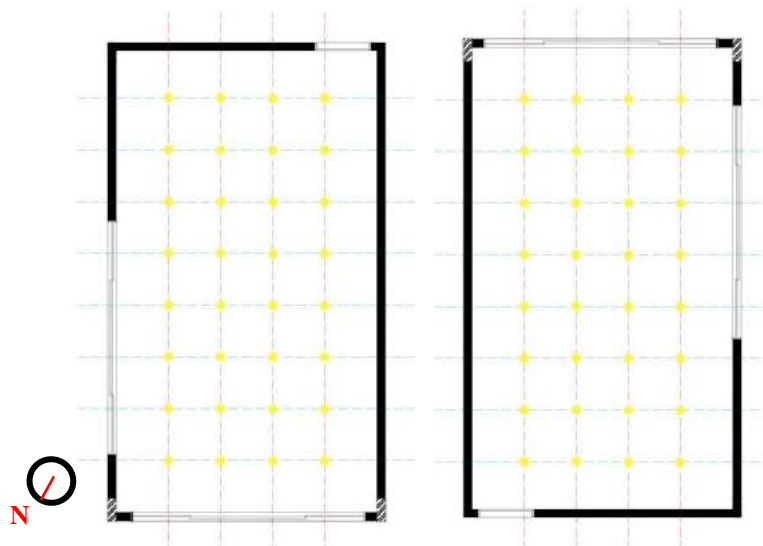
Já as salas 03 e 04 (Figura 15) e 05 e 06 (Figura 16), todas com 36 m<sup>2</sup>, em 36 pontos, em virtude do coeficiente de 3,84, sendo 04 colunas (largura), e 08 fileiras (comprimento).

**Figura 15** – Método ponto-a-ponto aplicado na Tipologia B de 36 m<sup>2</sup>: a) Salas 03; b) Sala 04.



Fonte: Acervo pessoal, 2018.

**Figura 16** – Método ponto-a-ponto aplicado na Tipologia C de 36 m<sup>2</sup>: a) Sala; b) Sala 06.



Fonte: Acervo pessoal, 2018.

Os horários das medições seguiram a NBR 15:215-4 (ABNT, 2005d) e o método ALN, correspondentes aos da simulação do DIALux, 8h, 10h, 14h e 16h, nos dias 03/09/2017,



23/09/2017, 02/10/2017, 11/12/2017, 21/12/2017, 02/01/2018, 10/03/2018, 20/03/2018, 30/03/2018, 11/06/2018, 21/06/2018 e 01/07/2018. O objetivo de haver mais dias de medição além das datas dos solstícios e equinócios é justificado para analisar possíveis comportamentos que interfiram nas simulações computacionais.

Vale ressaltar que, de acordo com as classificações do céu pela NBR 15.215:2 (ABNT, 2005b) e as considerações sobre FLD, nas medições realizadas, a Tabela 10 aborda como o céu encontrava-se com respeito às condições climáticas:

**Tabela 10** - Céu diante das classificações climáticas *in loco*

<b>Data</b>	<b>Classificação</b>
13/09/2017	Céu parcialmente encoberto
23/09/2017	Céu nublado
03/10/2017	Céu parcialmente encoberto
11/12/2017	Céu parcialmente encoberto
21/12/2017	Céu claro
02/01/2018	Céu claro
10/03/2018	Céu claro
20/03/2018	Céu parcialmente encoberto
30/03/2018	Céu parcialmente encoberto
11/06/2018	Céu nublado
21/06/2018	Céu nublado
01/07/2018	Céu nublado

Fonte: Acervo Pessoal, 2018.

Assim, foi possível caracterizar o tipo de componente do céu (CC) responsável pelos parâmetros dinâmicos da luz natural no interior das salas de aula.

### **3.3 Simulação**

As simulações foram realizadas em posse das informações descritas anteriormente e com base nas recomendações da NBR 15:215-4 (ABNT, 2005d) e a ISO 8895- 1 (ABNT, 2013).

Apesar de se tratar de uma edificação com características educacionais ainda sem usuários, estabeleceu-se uma ocupação de segunda-feira à sexta-feira, das 8 h:00 min às 18

h:00 min (horário estabelecido pelo cronograma de aulas), resultando em um total anual de aproximadamente 2.400 h de ocupação nos dias letivos.

Todo o levantamento planialtimétrico foi transcrito na simulação computacional, por meio do programa Sketchup, versão 16.0, para construir o modelo 3D, com redesenho da implantação geral, fenestração e materiais existentes.

Utilizou-se o programa Dialux, versão 4.12, para averiguar a base de dados de cada sala (dimensões, fenestração, materiais de acabamento) com o nível de iluminância estabelecido pela NBR ISO 8995-1 (ABNT, 2013). Para sua configuração cartográfica, apropriou-se da base de dados do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE) (UFSC, 2017) juntamente com a análise do perfil climático do município de João Pessoa, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Vale ressaltar que no programa DIALux, após inserção da carta solar, extrairam-se os azimutes solares e sombreamentos das edificações do entorno imediato com auxílio do programa SOL-AR 6.2. Para compatibilização destes dados, outra forma extraída do sombreamento foi conforme Lamberts *et. al.* (2014) por meio da equação:

### **Equação 2**

$Sombra = h / \tan H$ , sendo  $h$  é a altura do edifício, e  $H$  é a altura solar.

De posse das informações, as seis salas foram comparadas entre si em seus respectivos comportamentos luminosos, sendo identificado o déficit da luz natural em relação aos níveis de iluminância e homogeneidade.

A fim de se obterem melhores índices da autonomia da luz natural, foram propostas estratégias bioclimáticas, como prateleiras de luz pré-dimensionadas, de acordo com o estudo de Borba (2010). Por seguinte, aplicou-se o método de IASPI para definir as zonas de iluminância necessárias para suplementar a iluminação natural por meio da artificial, de forma que se alcançassem os 500 lux recomendados pela norma. Os novos estudos de manchas dos níveis de desempenho coerentes para cada ambiente de ensino foram transcritos no DIALux versão 4.12.

Diante dos cenários energéticos encontrados, foram considerados três modelos comparativos de iluminação artificial: equipamentos de uso padrão da UFPB, equipamentos que potencializam a maior distribuição do fluxo luminoso coerente com a situação da sala e

equipamentos que, além de potencializar, estejam associados aos dispositivos de controle automático.

### **3.4 Análises do Consumo Energético**

De acordo com a NBR ISO 5413 (ABNT, 1992), as tarefas visuais desenvolvidas nas salas devem se classificar no critério “A” para serem condizentes com a iluminância máxima de 500 lux. Em complemento, ela estabelece que as avaliações devem ser de duas em duas horas, mas é quantificada a quantidade exata de permanência no local para a conversão de consumo energético.

Supondo-se 08 horas (04 horas pela manhã e 04 horas à tarde) de consumo diário em 05 dias semanais, houve uma distribuição dos sistemas lâmpadas/luminárias com suas devidas especificações de forma a contemplar os 500 lux. Feito isso, apropriou-se da taxa tarifária disponibilizada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel, para os meses correspondentes aos solstícios e equinócios (Junho, Setembro, Dezembro e Março) .

Em posse dessas informações, avaliou-se o consumo energético com base na proposta apresentada para potencializar a luz natural em ambientes de ensino, via simulação, relacionando em porcentagem à quantidade de iluminação artificial necessária nos respectivos horários (simulados no programa Dialux), à quantidade de lâmpadas acionadas e ao controle automático do dimerizador.

Ainda em relação ao estudo comparativo, de acordo com dados extraídos pelo último Relatório de Gestão da UFPB (2016/2017) fornecidos pela PROPLAN, para todas as salas de aulas do Centro de Aulas da UFPB, utiliza-se o sistema de iluminação padrão: dois pares de lâmpadas tubulares T10 de 40 W com fluxo luminoso de 2700 lm.

Deste modo, por meio dos relatórios de gestão, pode-se comparar a proposta com seus respectivos resultados econômicos e estratégias bioclimáticas sugeridas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

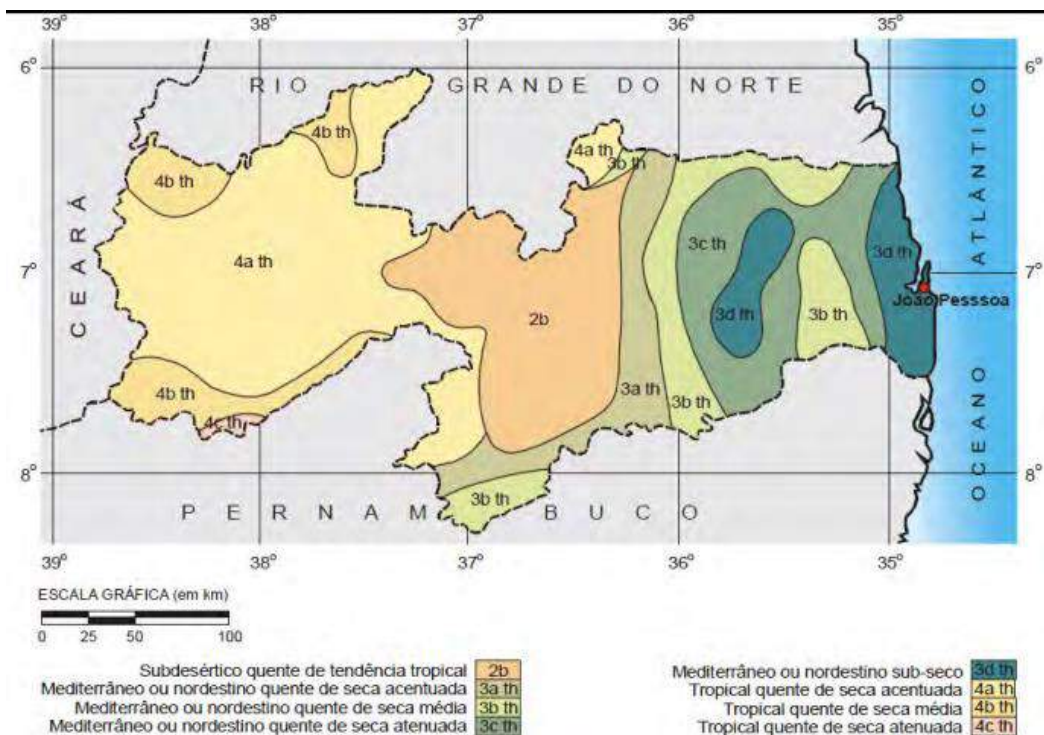
### 4.1 Caracterizações Bioclimáticas: Iluminação Natural

Para que haja o estudo do comportamento luminoso do novo bloco de aulas do CEAR, deve-se associar o clima e a identificação das variáveis de maior influência sobre o mesmo, como uma das formas de amenizar os impactos energéticos. Assim, estudos climáticos em escalas locais são importantes para diferenciar as condições ambientais de cada local das cidades.

O município de João Pessoa encontra-se próximo à linha do Equador, a qual Souza (2003) classifica com uma temperatura média anual de 26°C, radiação solar de aproximadamente 3000 horas anuais, pluviosidade anual entre 1500 a 1700 mm (litoral) e umidade relativa do ar em torno de 80%.

Conforme a categorização de Köppen (1884 *apud* Souza, 2003), a cidade pertence à faixa climática As', descrita como Clima Quente e Úmido e bioclíma 3 d th Mediterrâneo ou Nordeste Sub-seco, como pode ser observado na Figura 17.

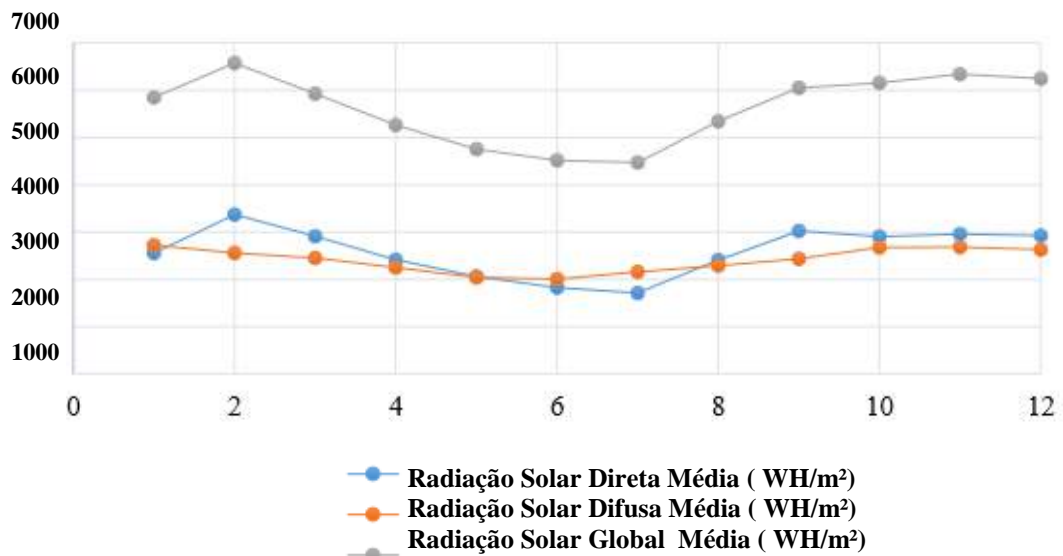
**Figura 17** – Regiões Bioclimáticas segundo a classificação de Köppen



Fonte: Atlas Geográfico do Estado da Paraíba (1885 *apud* SOUZA, 2010).



**Figura 19** - Radiação solar média: direta, difusa e global, na cidade de João Pessoa




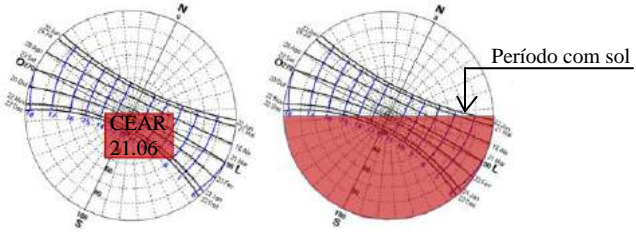

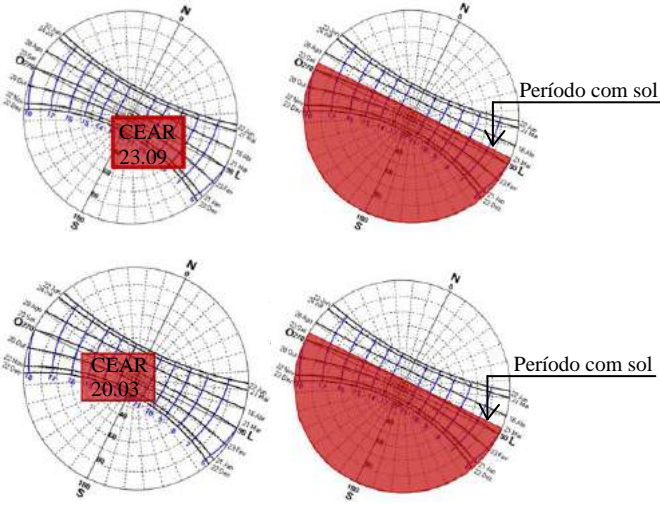

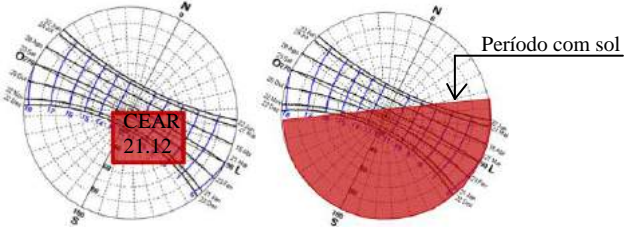
Fonte: INMET (2017 *apud* SOARES 2017).

Por meio das correlações entre os componentes, os meses de maior radiação global solar são: fevereiro, novembro e Dezembro, e os de menor radiação, são: maio, Junho e julho, por apresentarem altos níveis de nebulosidade, chuva e umidade relativa.

A partir deste contexto, ratifica-se a importância da escolha da implantação da edificação, devido às diferentes intensidades e percursos da luz natural na abóbada celeste ao longo do dia, em diferentes épocas do ano. Essa trajetória é identificada pelos azimutes e altitude solar em relação ao plano de análise, definidos respectivamente por Lamberts *et al.* (2014) como a projeção do sol em relação à direção do norte e o ângulo entre o sol e o plano horizontal, conforme a Tabela 11. Conseqüentemente, algumas fenestraçãoes estão sujeitas a receber maior insolação devido às radiações solares direta e difusa. No mês de Junho, solstício de inverno, por exemplo, os baixos índices luminosos são justificados, além da classificação do tipo de céu, pela posição cartográfica. Diferentemente do comportamento no mês de Dezembro, que apresenta altos índices de incidência solar (ver Tabela 11).

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005e) estabelece o zoneamento bioclimático, no qual o município de João Pessoa se encontra na Zona Bioclimática oito, sendo recomendado nas diretrizes projetuais o uso de grandes aberturas totalmente sombreadas.

**Tabela 11** – Posição solar mediante as datas aferidas in loco e simuladas via DIALux

Data	Inclinação Solar (°)8:00 h e 16:00 h	Geometria Arquitetônica x Posição Solar
21/06/18	65° Altitude / 60° Azimute 60° Altitude/ 250 ° Azimute	 
23/09/17 20/03/18	60° Altitude / 87° Azimute 5° Altitude / 273° Azimute	 
21/12/17	60° Altitude / 110° Azimute 60° Altitude/ 247 ° Azimute	 

Legenda:  Nascente  Poente  Trajetória Solar

Vale destacar que, mesmo encontrando os valores de variações da trajetória solar em relação aos meses do ano, posições de fenestrações e geometrias da edificação permitem zonas indecências solares internas diferentes em um mesmo local. Ambientes de geometria com perímetros iguais oferecem algumas dificuldades no alcance de luz natural nas paredes opostas às aberturas, devido à profundidade. Já em relação às de perímetros diferentes, apresentam maior probabilidade de aproveitamento de iluminação natural.

Sendo assim, diante desse contexto, ratifica-se a necessidade de realizar as medições *in loco* aliadas às simulações dos parâmetros dinâmicos da luz dentro de todas as amostras, como forma de associá-las à concepção do sistema artificial de iluminação.

## 4.2 Coleta

Para melhor entendimento das amostras, elas foram divididas de acordo com as geometrias e áreas, sendo as de Tipologia A referentes às salas 01 e 02, por apresentarem 72m<sup>2</sup>; Tipologia B, as salas 03 e 04, com 36 m<sup>2</sup> e janelas unilaterais; Tipologia C, as salas 05 e 06, com 36 m<sup>2</sup> e janelas bilaterais. Em especial, nas salas com 72 m<sup>2</sup> foram aferidos 72 pontos com o luxímetro, com o intuito de estabelecer um melhor entendimento do comportamento da luz mediante aos índices de iluminância recomendados pela NBR 15.215-4 (ABNT, 2005d).

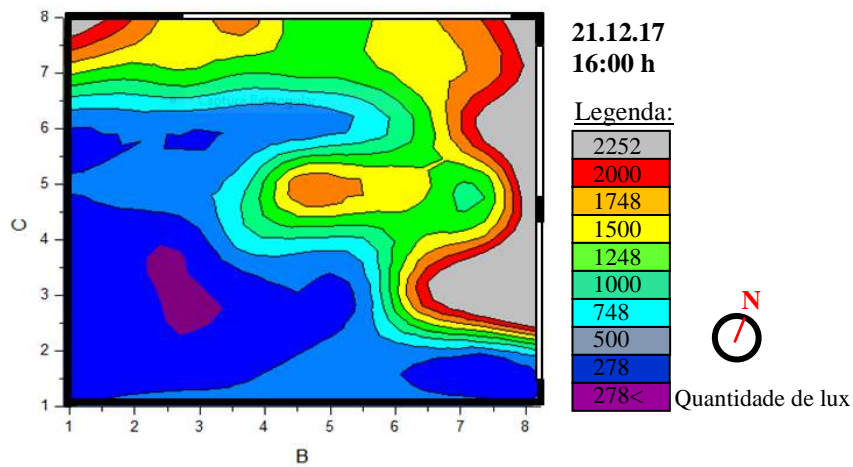
As datas escolhidas foram caracterizadas por dez dias antes e depois de cada período (equinócio, solstício de inverno; equinócio e solstício de verão) compondo o estudo em 10/03, 20/03, 30/03, 11/06, 21/06, 02/07, 13/09, 23/09, 02/10, 11/12, 21/12 e 02/01. Vale ressaltar que o enfoque da coleta concentra-se no comportamento das datas do equinócio de Setembro, solstício de verão; equinócio de Março e solstício de inverno. A análise do período serve para compreender as possíveis mudanças da autonomia da luz e trajetória solar até as datas essenciais da pesquisa.

Para tanto, os isográficos apresentam cores estabelecidas pela quantidade de iluminância na escala 278 lux (menor concentração) a 2252 lux (maior concentração), plotados em uma planta baixa a 75cm do piso pelo software OriginPro, conforme o modelo analítico da Figura 20.

Conforme o modelo analítico, nas regiões que extrapolam valores numéricos de 2252 lux ou inferiores a 278 lux, o software interpola valores e preenche lacunas de forma a generalizar as aferições neste limiar. Ou seja, o aumento ou a redução de iluminação natural é observado, porém não representa mais escalas de cores.



**Figura 20** - Modelo analítico em planta baixa do comportamento luminoso no OriginPro, correspondente à quantidade de lux em cada área das salas, com indicativo da data, horário e o norte geográfico



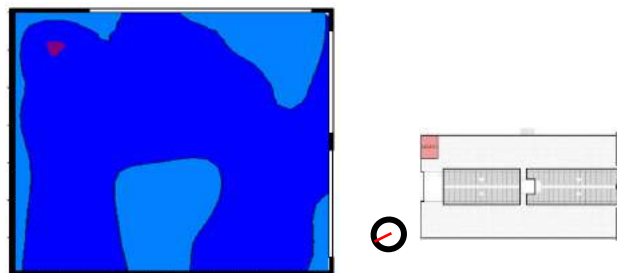
Sendo assim, todos os gráficos de contornos se encontram nos Apêndices A, B, C, D, E e F, apenas apresentados ao longo do estudo as datas e horários que mostraram comportamentos mais diferentes ou mais semelhantes entre si.

#### 4.2.1 Tipologia A (72 m<sup>2</sup>): Salas 01 e 02

##### Sala 01

Tratando-se da sala 01, localizada no sentido Nordeste, através do diagnóstico do dia 23 de Setembro, o céu encontrava-se na classificação parcialmente encoberto. Para facilitar a compreensão da trajetória solar, a Figura 21 constitui o modelo analítico com a marcação do sistema de aberturas.

**Figura 21** - Modelo analítico em planta baixa do comportamento luminoso no OriginPro correspondente à localização da Sala 01



Observou-se que a distribuição da luz natural com maiores índices de incidência procedeu na fenestração localizada no sentido Leste. Nota-se que, no horário das 8:00h, houve

um alcance de luz natural acima de 748 lux em quase toda a extensão, apenas com uma pequena parcela de iluminância inferior a 278 lux. Ao longo do dia, houve uma perda gradual da autonomia da luz natural, sendo o horário das 16:00 h o que apresentou menores concentrações de iluminância e, conseqüentemente, abaixo das solicitadas pela norma. Desta maneira, há a necessidade de uma complementação da luz natural para atingir os índices recomendados pela norma apenas nesse último horário.

O segundo ciclo diagnosticado correspondeu ao solstício de verão, no qual o céu classifica-se como céu claro. Diferentemente do equinócio de Setembro, a trajetória interna da luz natural concentrou-se na fenestração sentido Nordeste, exceto às 14:00h. Observa-se que às 10:00 h e 14:00h, houve pequenas porções de iluminância inferior aos 500 lux recomendados pela norma, constatando que apenas no último horário precisa-se de um sistema que auxilie no alcance da luz natural, como as prateleiras de luz, não há necessidade de acionamento artificial.

Às 14:00h, nota-se que houve uma grande incidência ao longo da fenestração Leste, o que conseqüentemente desperta questionamentos acerca do conforto luminoso. Possivelmente os usuários que estariam próximos dessa janela apresentariam um desconforto pelos altos índices alcançados. O horário das 16:00 h apresentou um comportamento equivocado em relação ao esperado, devido ao posicionamento da trajetória solar. Esperava-se encontrar baixos índices de iluminância, dado a sua localização, assim como devido a fenestração que contém uma maior concentração de luz se encontrar no lado oposto à trajetória solar.

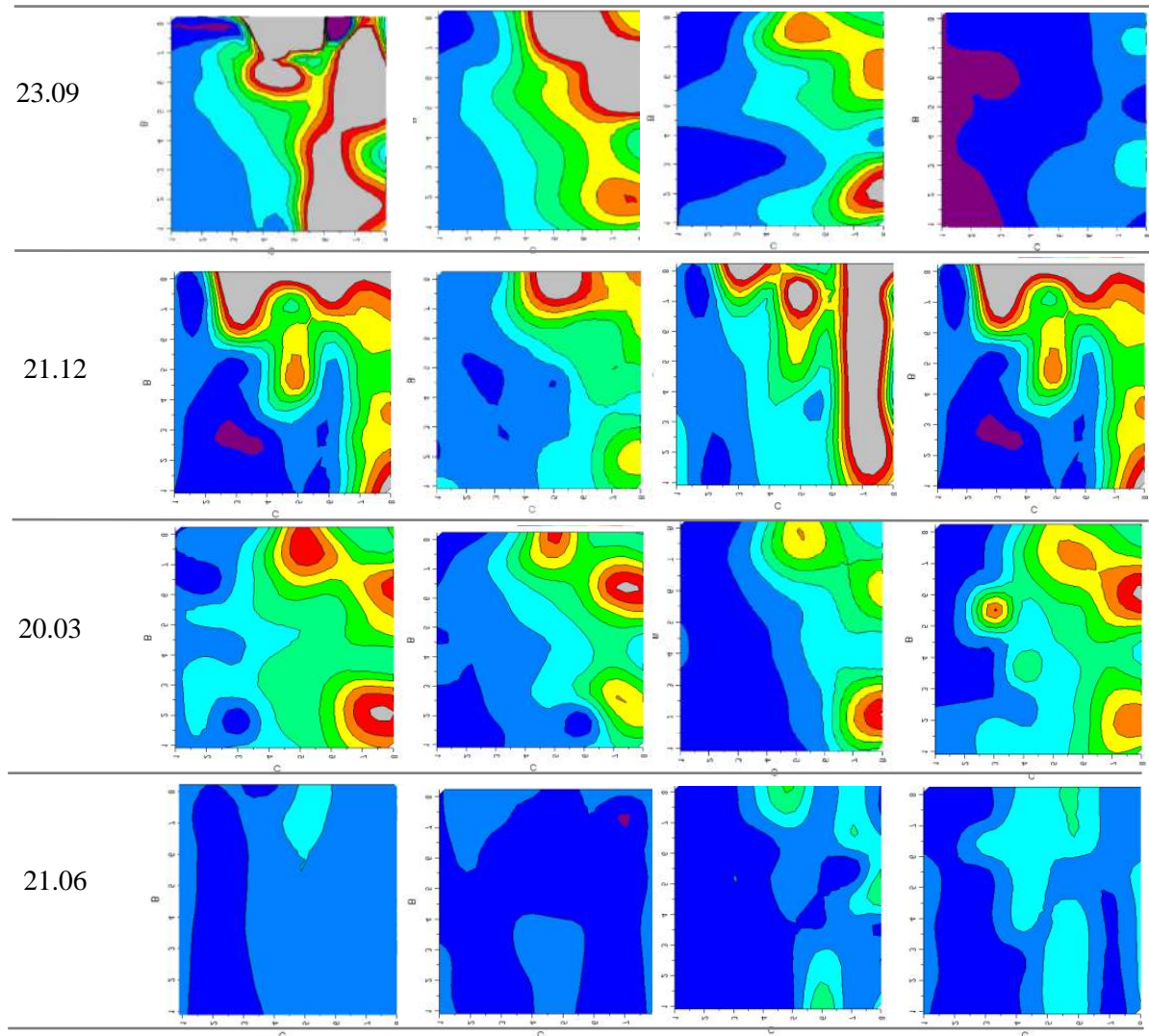
O terceiro ciclo avaliado consistiu no equinócio de Março, com o céu classificado em céu claro. Observou-se que os gráficos de contorno assemelham-se com os do equinócio de Setembro, apesar dos diferentes índices de iluminância interna.

Às 8:00h, houve uma grande concentração de luz acima de 1000 lux próximo à janela Leste, classificando-se em uma quantidade acima da norma. O horário mais prejudicado foi o das 14:00h, por apresentar em uma maior concentração índices inferiores aos 500 lux e, conseqüentemente, necessitando de sistema de luz artificial.

O quarto e último ciclo correspondeu à aferição do solstício de inverno com o céu nublado, afetando consideravelmente a disponibilidade de luz natural.


Ao analisar a uniformidade e distribuição pode-se diagnosticar conforme a Figura 22 que, em todos os horários, há a necessidade de iluminação artificial. No turno da tarde, houve poucos pontos de concentração luminosa de até 1000 lux, mas as zonas próxima porta de entrada apresentaram-se com baixos índices (inferior aos 500 lux).

**Figura 22** - Desempenho luminoso da Tipologia A - sala 01



Legenda:



 Quantidade de lux

### Sala 02

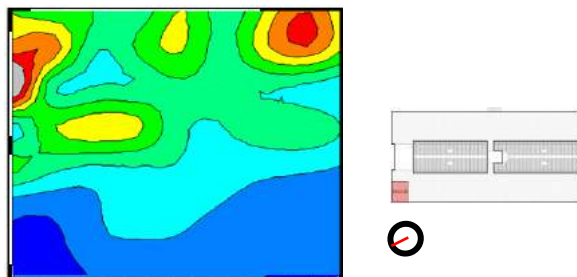
A sala em questão localiza-se no sentido Norte, e a Figura 23 representa um modelo analítico da amostra.

O primeiro ciclo analisado consistiu ao do equinócio, dia 23 de Setembro. Ao analisar os gráficos de contorno, os horários das 8:00 h e 14:00 h apresentam-se similares quanto ao desenho, mas com máximas e mínimas de concentração luminosa desiguais.

Tratando-se da trajetória da luz, há concentrações de maiores índices próximos às duas fenestraçãoes, onde a janela situada no sentido Leste obteve zonas acima de 2252 lux. Percebe-

se que, diante dos resultados alcançados, em todos os horários há a necessidade do sistema de luz artificial, principalmente nos cantos das paredes opostas às janelas.

**Figura 23** - Modelo analítico em planta baixa do comportamento luminoso no OriginPro correspondente à localização sala 02



O segundo ciclo correspondeu ao solstício de verão, durante o qual o céu classifica-se como céu claro. Pode-se observar que, no turno da tarde, a distribuição luminosa se encontra bem heterogênea, tanto na quantidade de incidência quanto na curva de distribuição. Nesse turno, há uma concentração luminosa próxima à janela Noroeste, apresentando índices de incidência em todos os horários acima de 2252 lux. Os horários das 8:00h, 10:00 h e 14:00 h apresentaram-se poucas porções inferiores a 500 lux recomendados pela norma. Esperava-se que, diante da trajetória solar, no turno da manhã houvesse maiores índices de incidência na fenestração sentido Leste, o que torna-se diferente do que foi aferido. Às 16:00h, nota-se uma distribuição bem alternada das áreas de concentração que precisariam de uma suplementação na iluminância. Diante da trajetória solar, é evidente que a janela sentido Noroeste encontra-se com altos índices de iluminância, devido a sua localização.

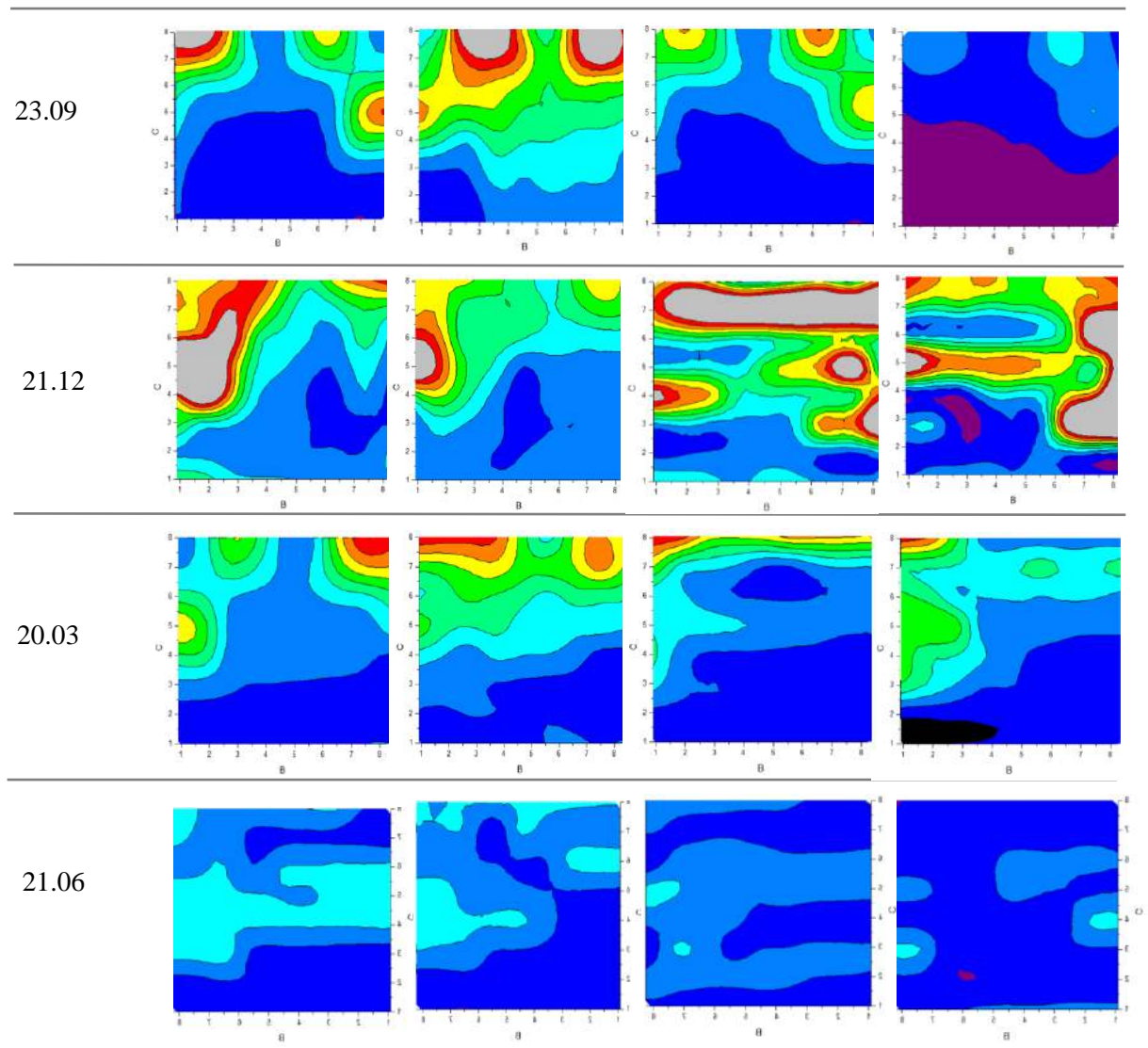
O terceiro ciclo analisado foi o equinócio de Março. De maneira genérica, o comportamento da luz natural acontece de forma radial em relação à aresta entre as duas janelas.

Diante do ângulo da trajetória solar, os gráficos de contorno aferidos destoam do esperado, visto que os índices das 8:00 h e 10:00 h não deveriam obter um grande alcance de iluminância - acima de 500 lux - no interior da sala. Às 14:00h, os maiores valores de iluminância encontraram-se nas proximidades da janela Leste, apresentando índices inferiores nas duas paredes opostas às fenestrações. Questiona-se então sobre a prática do sistema de prateleiras de luz como uma solução para que haja uma maior autonomia luminosa. O quarto e último ciclo correspondeu à aferição do solstício de inverno. Perante os gráficos de contorno, nota-se que houve concentrações luminosas de maiores índices próximos à janela de sentido Nordeste.

Semelhante ao solstício de verão, diante da angulação do percurso solar no turno manhã,

deveria existir iluminâncias maiores próximas às janelas de sentido Leste, sendo destoante com a medição in loco. Em complemento, questiona-se também serem os horários com maiores índices de iluminância em relação aos aferidos no turno da tarde conforme se observa na Figura 24.

**Figura 24 - Desempenho luminoso da Tipologia A - sala 02**



Legenda:



Quantidade de lux

### *Considerações gerais sobre a Tipologia A*

De acordo com os resultados encontrados no período do solstício de inverno, mês de Junho, ao longo da manhã, a iluminância máxima foi de 1420 lux na sala 01 e 1300 lux na

sala 02, e a mínima, respectivamente, de 110 lux e 210 lux no final da tarde, conforme a Tabela 12.

**Tabela 12** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do solstício de inverno

<b>Local</b>	<b>Horário</b>	<b>Iluminância máxima (lux)</b>	<b>Iluminância mínima (lux)</b>
Sala 01	8: 00	1250	200
	10:00	1250	270
	14:00	1420	280
	16:00	1240	110
Sala 02	8: 00	1000	240
	10:00	1040	220
	14:00	1120	230
	16:00	760	210

Nas morfologias apresentadas, a sala 01 apresentou o maior índice de iluminância alcançada, e em uma quantidade maior de horários nas três datas aferidas acima, todas de 1248 lux. A data que apresentou uma menor quantidade de luz natural foi a do próprio solstício de inverno, às 10:00 h. Já em relação à sala 02, no dia 11 de Junho, foi diagnosticado como a de maior índice de iluminância, não ultrapassando 1120 lux.

No período do equinócio de Setembro, observou-se que as mudanças consideráveis entre as salas ocorreram às 8:00 h e às 16:00h, cujos alcances máximos de iluminância foram de 4200 lux e mínimo de 270 lux em ambas as salas, conforme a Tabela 13.

Ao comparar as datas 10/03, 20/03 e 30/03 com 13/09, 23/09 e 03/10, houve mudanças em raios de abrangência e índices de incidências principalmente nas datas dos equinócios de Setembro com o de Março.

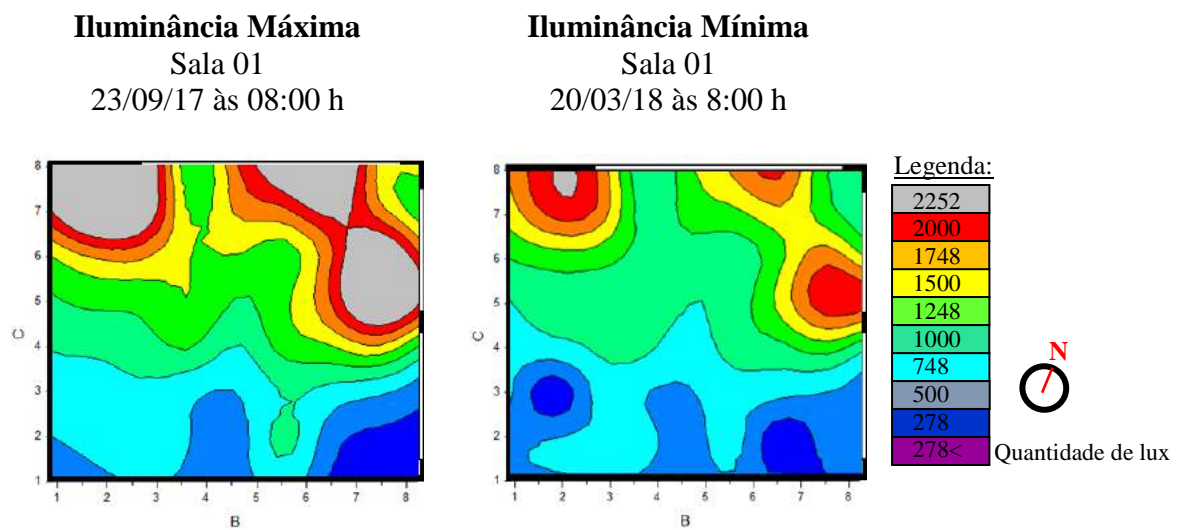
O horário que apresentou maior variação entre as datas foram a primeira e a última aferição, sendo às 8:00 e na sala 01, diagnosticados índices entre 300 lux a 2400 lux no dia 23/09, caracterizando maior iluminância máxima em relação ao mês de Março. Já em relação ao horário das 16:00 h, a sala 02 apresentou a menor iluminância mínima, sendo no dia 20/03, com variações entre 270 lux a 2260 lux – ver Figura 25.



**Tabela 13** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do equinócio de Setembro e Março

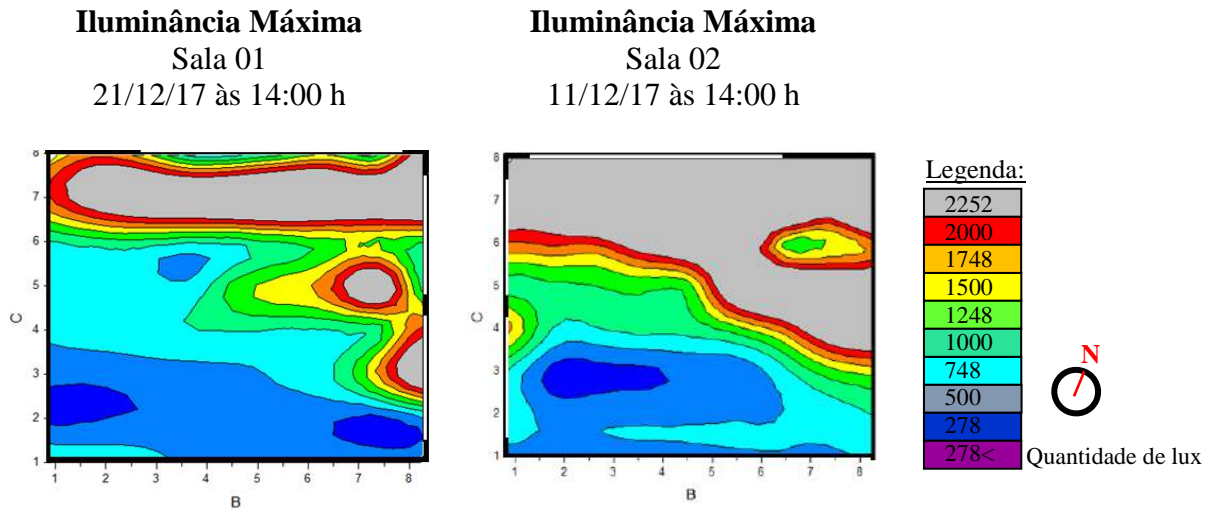
Mês	Local	Horário	Iluminância máxima (lux)	Iluminância mínima (lux)
Setembro	Sala 01	8:00	2600	300
		10:00	4200	310
		14:00	2260	280
		16:00	2020	275
	Sala 02	8: 00	2280	290
		10:00	4000	320
		14:00	2240	275
		16:00	2210	280
Março	Sala 01	8: 00	2510	310
		10:00	4000	300
		14:00	2150	290
		16:00	2000	280
	Sala 02	8: 00	2100	280
		10:00	3410	300
		14:00	2120	280
		16:00	2260	270

**Figura 25** - Simulações no OriginPro com os gráficos de iluminância máxima e mínima no ciclo dos equinócios de Setembro e Março na sala 01, às 8:00 h.



Por fim, no período do solstício de verão, no mês de Dezembro, apresentam-se os maiores índices das coletas, com máximas de 4450 lux, havendo uma predominância em todos os horários, datas e salas, de índices acima 2252 lux – ver Figura 26.

**Figura 23** - Simulações no OriginPro com os gráficos de iluminância máxima no ciclo de solstício de verão, nas salas 01 e 02, às 14:00



Em virtude das variações de intensidades luminosas em ambas as salas, para facilitar a compreensão do comportamento do período do solstício de verão, a Tabela 14 apresenta as iluminâncias máximas e mínimas.

**Tabela 14** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do solstício de verão

Local	Horário	Iluminância máxima (lux)	Iluminância mínima (lux)
Sala 01	8: 00	2259	300
	10:00	2300	310
	14:00	2450	230
	16:00	2250	230
Sala 02	8: 00	2250	290
	10:00	2280	300
	14:00	2270	280
	16:00	2260	220



Diante do diagnóstico no equinócio de verão, desperta-se uma atenção quanto aos elevados valores encontrados em relação à quantidade de iluminância estabelecida pela ISO 8995 para ambientes educacionais.

Por apresentarem valores muito elevados próximo às fenestrações, distribuídos de forma heterogênea, servem de alerta nas considerações sobre o ofuscamento que internamente o local pode gerar para os usuários das salas.

#### 4.2.1 Tipologia B (36 m<sup>2</sup>): Salas 03 e 04

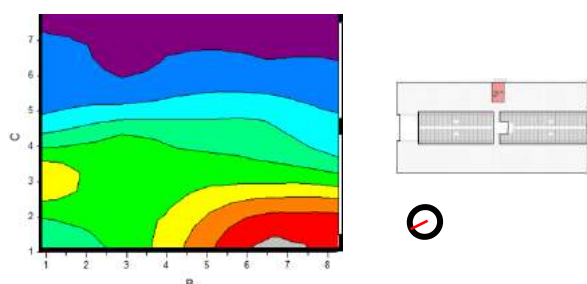
A tipologia em questão foi incorporada após a necessidade de compreender melhor o parâmetro dinâmico da luz com salas de aula de geometrias diferentes e pela localização central diante da trajetória solar.

##### Sala 03

A sala de aula 03, localizada no sentido Leste, é representada pelo modelo analítico da Figura 27, com a marcação do sistema de aberturas e inserção da mesma no bloco do CEAR.

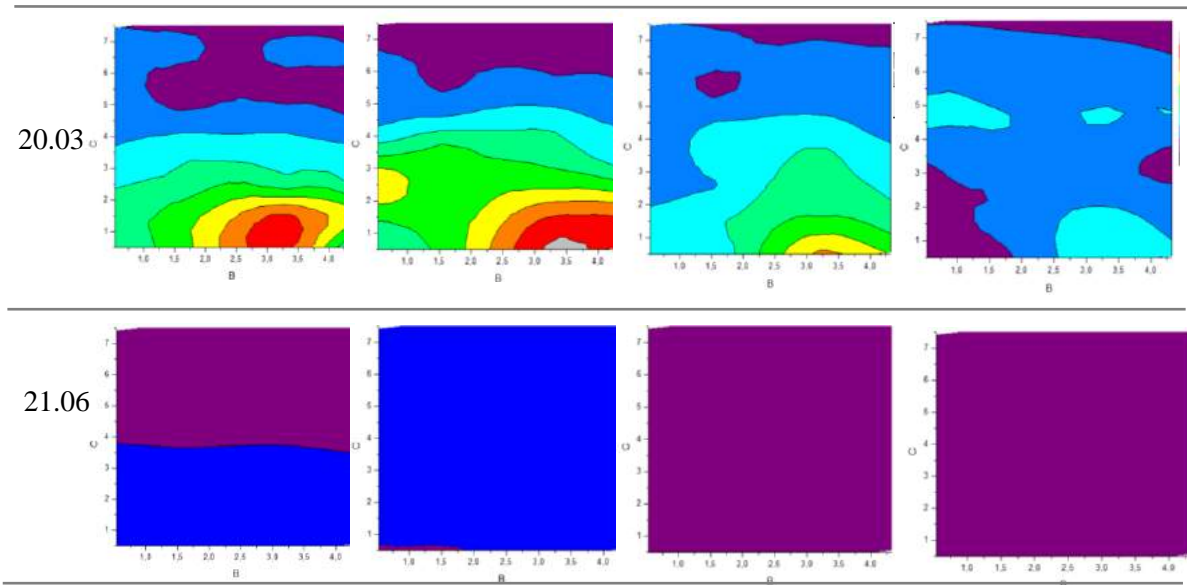
O primeiro ciclo aferido correspondeu ao equinócio de Março e observou-se através dos gráficos de contorno que o comportamento da luz natural e seus maiores índices seguem do sentido Sul, irradiando para o sentido Norte. O turno da manhã obteve os maiores índices, com comportamentos similares em relação às curvas de contorno. Porém, a parede de sentido Leste apresentou zonas com iluminâncias inferiores a 278 lux, fazendo-se necessário acionar o sistema de luz artificial. Já no turno da tarde, os valores encontrados diminuíram consideravelmente em relação aos da manhã, entretanto houve uma melhor distribuição de luz natural, sendo evidente a não necessidade de complementação luminosa.

**Figura 27** - Modelo analítico em planta baixa do comportamento luminoso no OriginPro correspondente à localização da sala 03




O segundo e último período coletado correspondeu ao solstício de inverno, cujos isográficos encontram-se na Figura 28. Nota-se que, em todos os horários, os valores encontrados são abaixo dos 500 lux. Isso significa que os quatro horários necessitariam do sistema de iluminação artificial. Destaca-se o horário das 10:00h, por ser o que obteve maiores valores de iluminância.

**Figura 28** - Desempenho luminoso da Tipologia B - sala 03



Legenda:

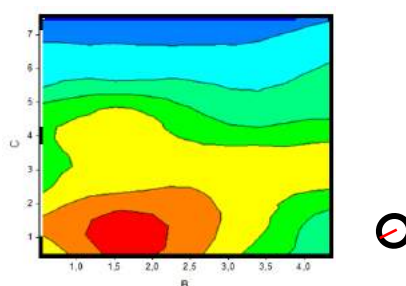


 Quantidade de lux

### Sala 04

A sala de aula 04, localizada no sentido Oeste, encontra-se representada pelo modelo analítico da Figura 29, com a marcação do sistema de aberturas e inserção da mesma no bloco do CEAR.

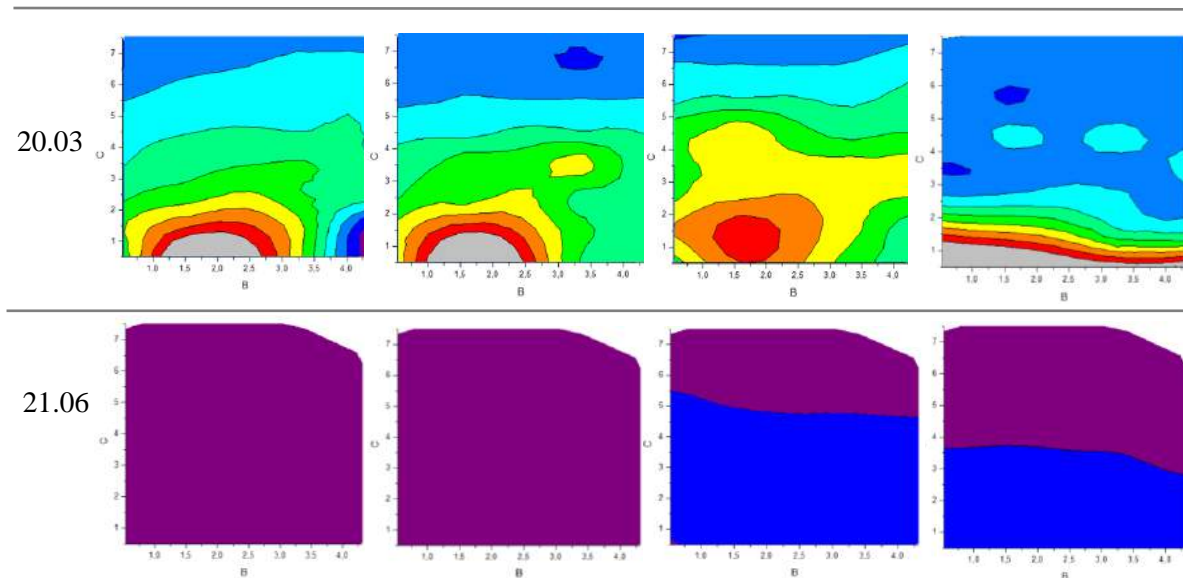
**Figura 29** - Modelo analítico em planta baixa do comportamento luminoso no OriginPro correspondente à localização da sala 04



Observa-se no primeiro ciclo, que ocorreu no mês de Março, que o comportamento luminoso se assemelha nos horários das 8:00 h e 10:00 h, havendo apenas uma pequena zona de concentração luminosa inferior. De maneira geral, em todos os horários analisados, nenhum haveria necessidade de complementar com o sistema de luz natural, entretanto a norma deixa claro que não basta alcançar os valores de 500 lux, mas, sim, que estejam distribuídos uniformemente. Portanto, faz-se necessário introduzir estratégias que permitam uma maior uniformidade da luz natural dentro da sala em questão.

O segundo e último período diagnosticado foi condizente com o solstício de inverno. Através da Figura 30, percebe-se que em nenhum horário verificou-se os valores recomendados pela norma.

**Figura 30** - Desempenho luminoso da Tipologia B - sala 04



Legenda:



Quantidade de lux



Nota-se que os horários das 14:00 e das 16:00 h apresentaram valores maiores do que os aferidos no turno da manhã, porém há uma necessidade clara do uso do sistema de luz artificial.

***Considerações gerais sobre a Tipologia B***

Mediante o transcorrer da pesquisa, houve a necessidade de compreender melhor o comportamento da luz natural na edificação a partir da incorporação das salas centrais, por apresentarem janela unilateral.

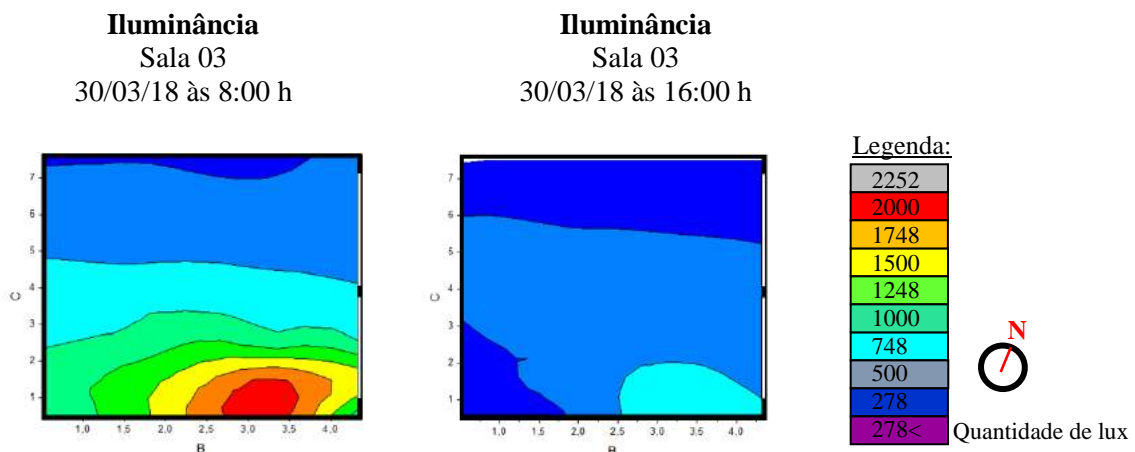
Na análise do ciclo do equinócio de Março, para a data de 10/03, nos horários das 8:00 h e 10:00h, a sala 03 apresentou uma iluminância máxima de 3000 lux ao longo da fenestração e raio de alcance de 1,50 metros.

Diferentemente, no dia 20 de Março, a sala 04 apresentou os maiores índices de incidência solar em relação à sala 03, principalmente no horário das 14:00h. Já em relação ao dia 30 de Março, o horário de maior diferença entre ambas foi às 8:00h, uma vez que na sala 03 a quantidade de iluminância máxima foi de 1340 lux e, na sala 04, 890 lux.

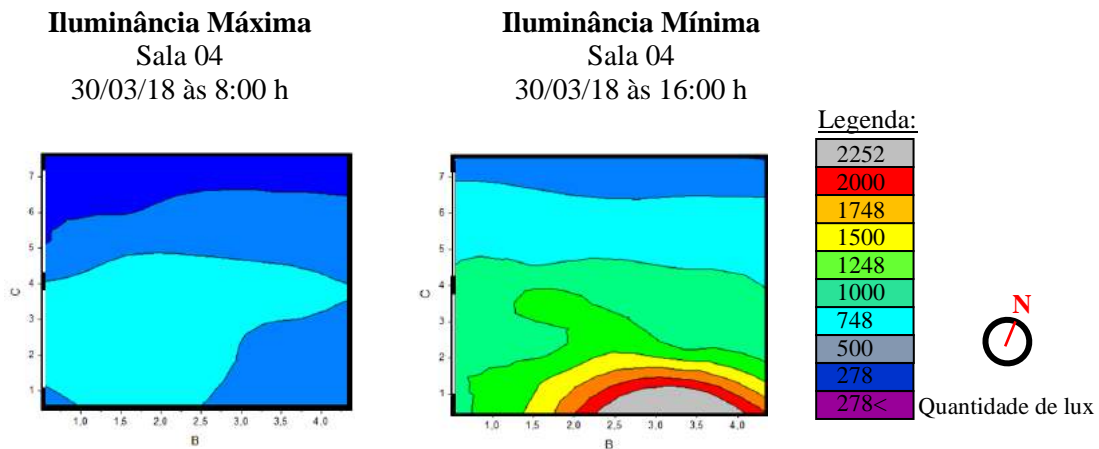
**Tabela 15** - Níveis de iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do equinócio de Março

Local	Horário	Iluminância máxima (lux)	Iluminância mínima (lux)
Sala 03	8:00	3000	250
	10:00	2650	240
	14:00	2250	260
	16:00	2260	220
Sala 04	8:00	890	200
	10:00	2400	240
	14:00	2950	250
	16:00	2280	200

**Figura 3124** - Simulações no OriginPro com os gráficos de iluminância no ciclo do equinócio de Março nas salas 03 e 04, às 8:00 horas

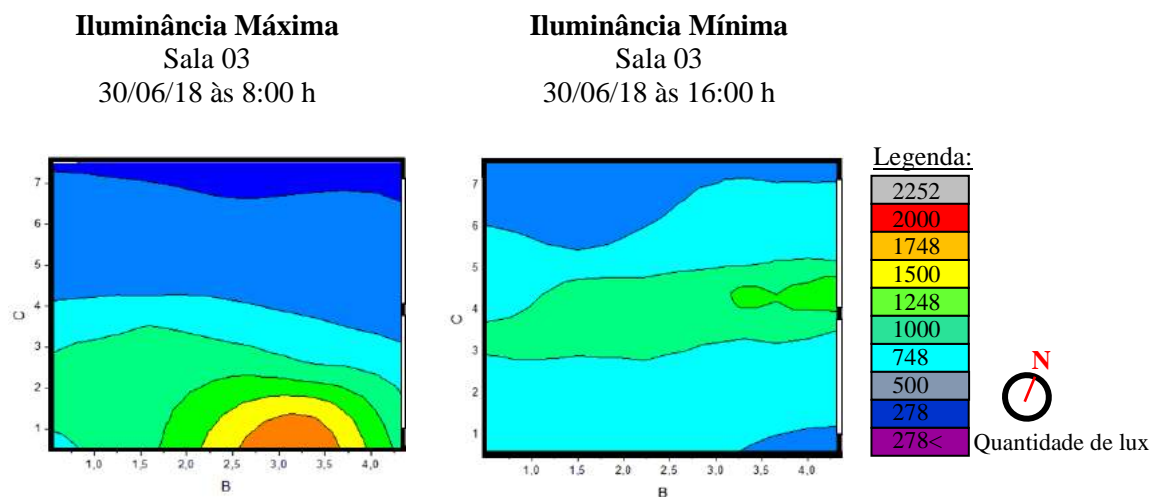


**Figura 32** - Simulações no OriginPro com os gráficos de iluminância no ciclo do equinócio de Março na sala 04, nos horários 8:00 h e 16:00h



Para o ciclo do solstício de inverno, nas datas 11/06 e 21/06, apresentou-se uma variação abaixo de 278 lux. Entretanto, no dia 30/06, houve variações principalmente no primeiro horário: a sala 03 apresentou picos de luz natural de até 1748 lux e, às 16:00h, de 1248 lux (ver Figura 32), enquanto na sala 04 houve uma inversão, apresentando uma menor incidência às 8:00 (748 lux) e, no último horário, acima de 2252 lux, conforme a Figura 33:

**Figura 33**- Simulações no OriginPro com os gráficos de iluminância no ciclo do solstício inverno na sala 03, nos horários 8:00 h e 16:00 h



Ao analisar o desempenho de distribuição com a geometria do local, em ambas as datas e salas, a parede oposta à fenestração apresenta índices acima de 278 lux, sendo evidente a necessidade de sistemas de iluminação artificial como requisito suplementar.

**Tabela 16** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do solstício de inverno

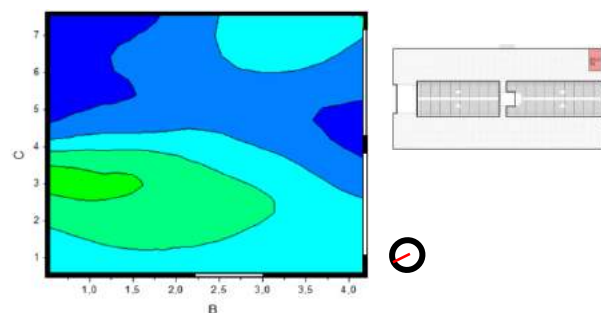
Local	Horário	Iluminância máxima (lux)	Iluminância mínima (lux)
Sala 03	8:00	1248	210
	10:00	1000	250
	14:00	2260	230
	16:00	1250	220
Sala 04	8:00	750	190
	10:00	2230	1040
	14:00	2240	1100
	16:00	2252	130

#### 4.2.3 Tipologia C (36 m<sup>2</sup>): Salas 05 e 06

##### Sala 05

Tratando-se da sala 05, localizada no sentido Sudeste, desenvolveu-se um modelo analítico como forma de auxiliar os resultados encontrados na coleta:

**Figura 34** - Modelo analítico em planta baixa do comportamento luminoso no OriginPro correspondente à localização da sala 05



A primeira análise correspondeu ao ciclo do equinócio de Setembro, resultando na compilação de dados para geração dos isográficos. Por meio da distribuição, compreende-se que os três primeiros turnos apresentam uma distribuição luminosa semelhante, com valores acima de 2252 lux nas proximidades das fenestraçãoes. Entretanto, às 16:00h, o comportamento apresenta-se de forma inesperada, visto que os maiores índices se encontram distantes dos sistemas de aberturas.

De modo geral, os valores alcançados dentro da sala 05 despertam preocupações em torno do conforto luminoso, visto que devido os altos índices, é possível que os usuários sintam-se desconfortáveis. Mediante o de roteiro Holanda (1976) de como construir no Nordeste, um dos itens discutidos foi a necessidade de fenestraçãoes sombreadas para que questões sobre conforto luminoso fossem amenizadas.

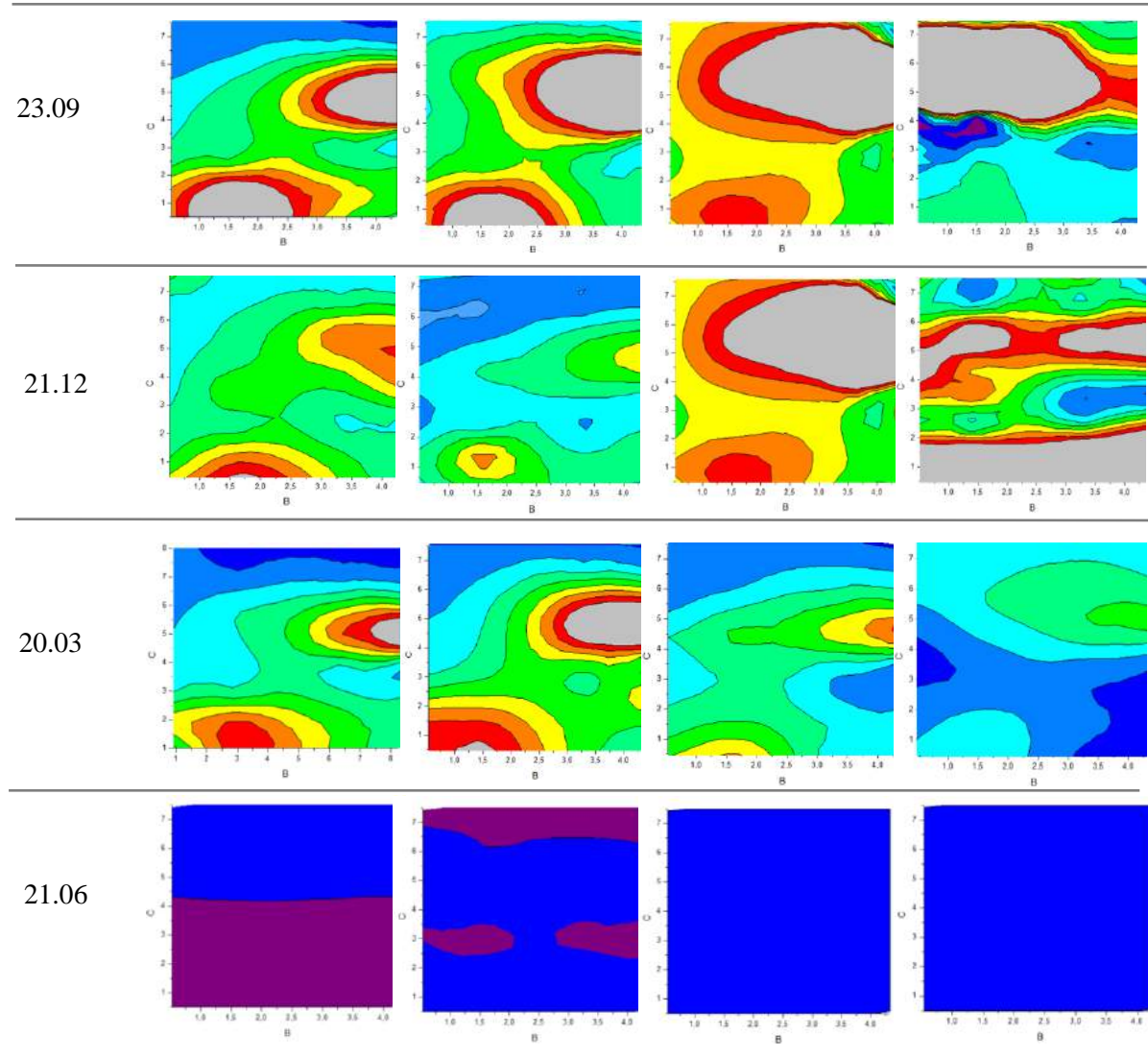
O segundo ciclo aferido correspondeu ao solstício de verão, apresentando a trajetória luminosa. A partir do desempenho luminoso, observa-se que em nenhum horário há a necessidade de complementação do sistema de luz artificial. Destaca-se o comportamento no turno da tarde: em ambos os horários, os índices encontrados extrapolam 2252 lux, despertando também a atenção dos fatores que devem agir para que se tenha conforto luminoso. É evidente que, em todos os horários que apresentam as fenestraçãoes sem estarem sombreadas, predominaram as máximas de iluminância.

O terceiro ciclo observa-se que, nas zonas próximas às aberturas, os níveis luminosos são maiores, entretanto ressalta-se que há uma progressão até às 10:00h, seguida de uma ordem decrescente até às 16:00h.

A quarta análise ocorreu no solstício de inverno, na qual nota-se que a trajetória solar se encontra em consonância com o resultado e horários apresentados. Mesmo diante do tipo de céu encontrado, nota-se uma variação de quantidade de iluminância ao longo dos horários. Às 8:00 h, por exemplo, apresenta índices maiores no sentido Leste para Oeste, e ao longo do dia estes valores encontram-se em uma variável entre 278 lux a 499 lux por toda a extensão da área em análise.




**Figura 35 - Desempenho luminoso da Tipologia C - sala 05**



Legenda:



 Quantidade de lux

### Sala 06

Tratando-se da sala 06, localizada no sentido Sudoeste, desenvolveu-se um modelo analítico como forma de auxiliar os resultados encontrados na coleta.

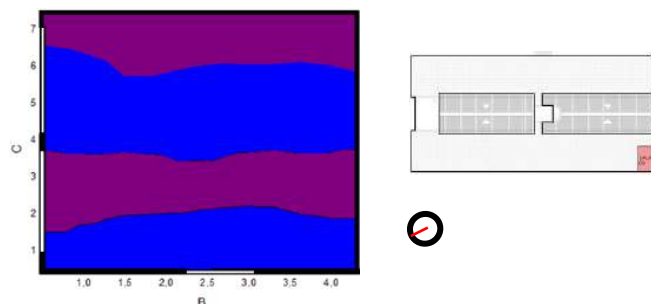
A primeira análise correspondeu ao ciclo do equinócio de Setembro, resultando na compilação de dados para geração dos isográficos apresentados na Figura 36.

Observa-se que os três primeiros turnos apresentam uma distribuição luminosa com valores acima de 2252 lux nas proximidades das fenestraçãoes. Contudo, os resultados



indicados no turno da tarde demonstram que os maiores índices de iluminância se distanciam das fenestrações.

**Figura 25** - Modelo analítico em planta baixa do comportamento luminoso no OriginPro correspondente à localização da sala 06



É interessante atentar para o fato de que em nenhum horário precisou-se de sistema de luz artificial, entretanto, mesmo alcançando índices superiores às recomendações das normas, a atenção deve ser dada pelos altos valores de iluminância.

O segundo ciclo aferido correspondeu ao solstício de verão, apresentando a trajetória luminosa. À vista disso, repara-se que em todos os horários não se faz necessária uma suplementação para atingir valores de 500 lux. Entretanto, devido às zonas de iluminância se encontrarem irregulares, diante dos números alcançados, torna-se fundamental atribuir estratégias que uniformizem a quantidade.

No desempenho luminoso indicado às 8:00 h e às 10:00 h, há concentração de luz natural adjacente às janelas com altos índices, cuja variação predominante é de 1000 lux à 2252 lux, no primeiro horário, e 748 lux a 1748 lux, no segundo horário. Em relação aos horários da 14:00h, os maiores índices se concentraram no sentido oposto à fenestração Oeste. E, por fim, às 16:00 h, contemplou indícios de máximas de iluminância ao longo da fenestração não sombreada, localizada no sentido Oeste.

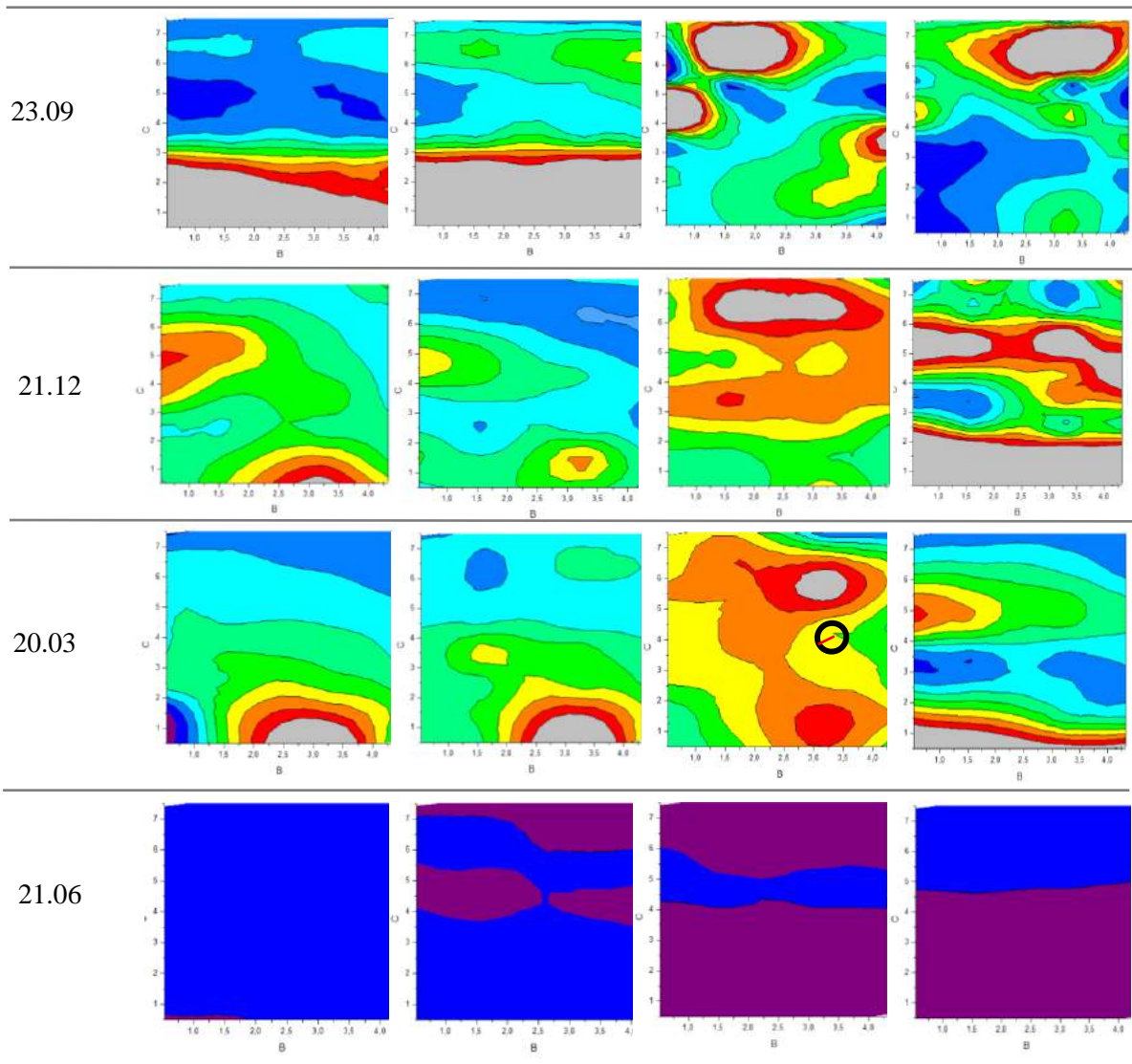
É indiscutível que a falta de aberturas sombreadas acarretam complicações no quesito conforto luminoso, por apresentarem predominantemente as máximas de iluminância em relação à fenestração Sudoeste. Outro quesito a ser levantado relaciona-se ao conforto térmico, uma vez que os diagnósticos apresentados contemplam que há incidência solar direta na parede Oeste.

O terceiro ciclo condisse com o equinócio de Março. Identifica-se que, às 8:00 h e às 10:00h, apresentaram-se na janela Oeste os maiores índices em relação ao sentido Sudoeste, expondo um comportamento radial. Já o turno da tarde caracteriza-se com diferentes zonas e grande variedade das máximas de iluminância em toda a área de estudo.

Levantam-se observações quanto à quantidade alcançada de luz, que confronta diretamente com o conforto luminoso e térmico dos usuários. Em ambos os horários, há uma constância ao longo do dia, na parede Oeste, com valores entre 2000 lux a 2252 lux, que acarretam possivelmente o fechamento das janelas pelo desconforto visual causado pelo sol, assim como pela transmissão térmica diretamente.


A quarta análise ocorreu no solstício de inverno, cujas curvas de distribuição representam que, em ambos os horários, há necessidade de usufruir de luz artificial.

**Figura 37 - Desempenho luminoso da Tipologia C - sala 06**



Legenda:



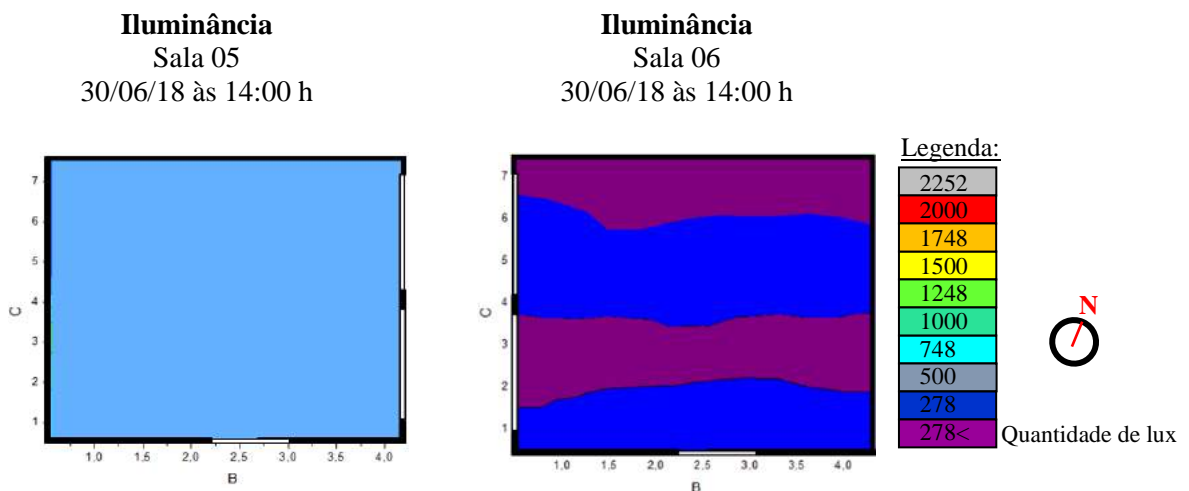
 Quantidade de lux

Diante dos resultados encontrados, esperava-se que o turno da tarde apresentasse uma maior quantidade luminosa do que o turno da manhã. Comportamento este contraditório diante da trajetória solar esperada assim como os valores encontrados próximos às aberturas no sentido Oeste, nos horários das 14:00 h e 16:00 h. Assim sendo, ratifica-se que todas as aferições das datas ora explicitadas mostraram-se contraditórias em relação ao turno da tarde. Esperava-se, de maneira geral, encontrar as máximas luminosas nas zonas próximas às janelas Oeste, por não apresentarem nenhuma proteção solar, e conseqüentemente, haver uma incidência direta.

### *Considerações gerais sobre a Tipologia C*

O ciclo do solstício de inverno em ambas as salas apresentaram comportamentos parecidos em termos de alcance e quantidade de luz natural internamente. Na data de 30/06, na sala 05, das 14:00 h e às 16:00 h, obtiveram-se alcances máximos entre 748 lux e 990 lux respectivamente. Em relação à sala 06, horário das 14:00h, obtiveram-se índices de 740 lux:

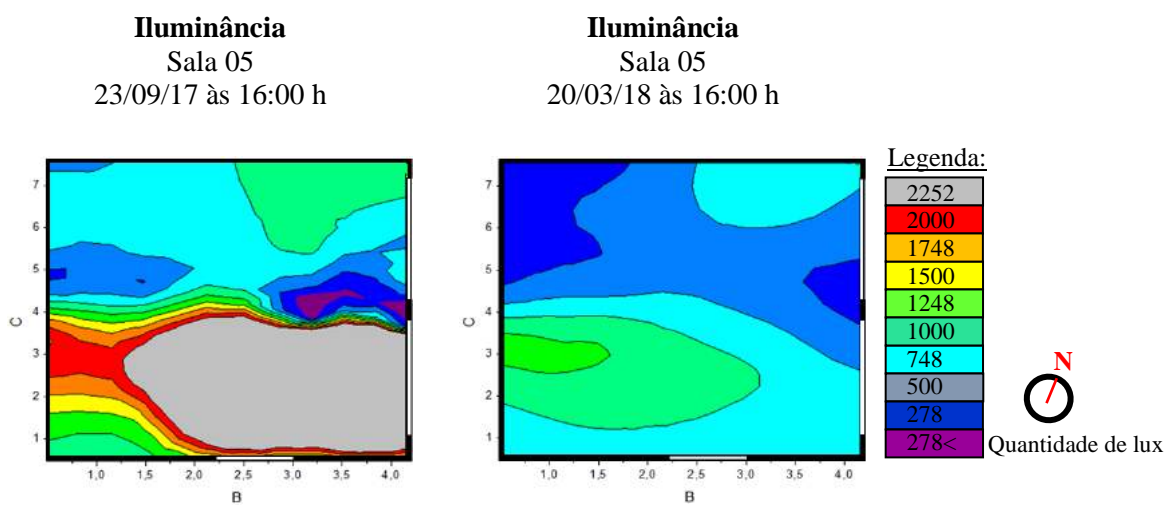
**Figura 26** - Simulações no OriginPro com os gráficos de iluminância no ciclo solstício de inverno às 14:00 horas, nas salas 05 e 06



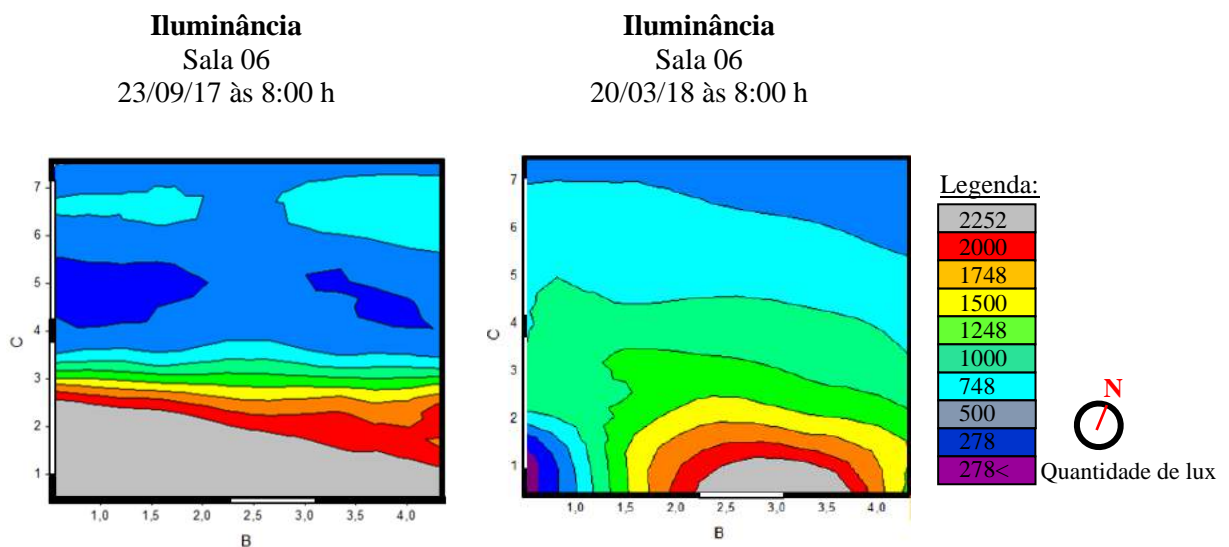
Como forma de equiparar os desempenhos máximo e mínimo, a Tabela 17 apresenta os valores máximo e mínimo de acordo com cada horário nas respectivas salas. Tratando-se da análise do equinócio em Setembro, às 10:00h, houve uma grande variação entre as amostras, obtendo-se na sala 05 aferições entre 250 lux a 2290 lux e, na sala 02, 240 lux a 2270 lux (ver Tabela 18).

Se compararmos este ciclo da sala 05 com o equinócio de Março, na aferição de 23/09 às 16:00 h, mudou-se consideravelmente o comportamento luminoso em relação ao dia 20/03, apresentando máximas de 3000 lux e 1250 lux respectivamente, conforme a Figura 39. Já em relação à sala 06, no horário das 8:00 h do dia 23/09, apresentaram-se maiores índices luminosos, acima de 2252 lux, em apenas uma das fenestrações, diferentemente do dia 20/03, em que as duas fenestrações apresentaram altos índices de iluminância, conforme a Figura 40.

**Figura 39** - Simulações no OriginPro com os gráficos de iluminância no ciclo do equinócio de Setembro e Março às 16:00 horas, na sala 05



**Figura 270** - Simulações no OriginPro com os gráficos de iluminância no ciclo do equinócio de Setembro e de Março às 8:00 horas, na sala 06



**Tabela 17** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do solstício de inverno

<b>Local</b>	<b>Horário</b>	<b>Iluminância máxima (lux)</b>	<b>Iluminância mínima (lux)</b>
Sala 05	8:00	770	260
	10:00	760	240
	14:00	748	230
	16:00	990	748
Sala 06	8:00	700	220
	10:00	748	190
	14:00	740	180
	16:00	670	160

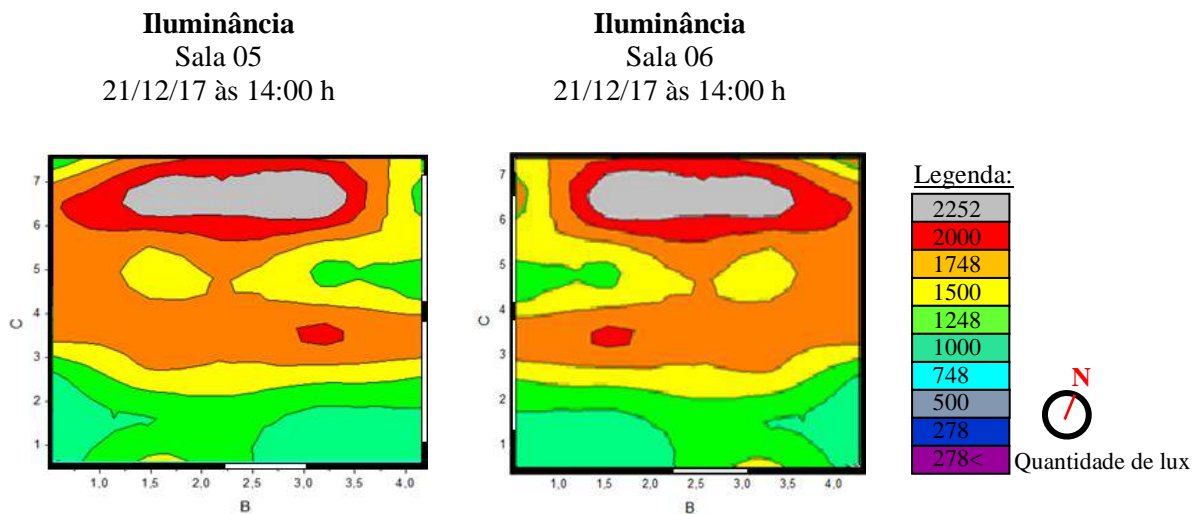
**Tabela 18** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do equinócio de Setembro e Março

<b>Mês</b>	<b>Local</b>	<b>Horário</b>	<b>Iluminância máxima (lux)</b>	<b>Iluminância mínima (lux)</b>
Setembro	Sala 05	8:00	2260	290
		10:00	2290	280
		14:00	2270	260
		16:00	3000	250
	Sala 06	8:00	2270	280
		10:00	2270	270
		14:00	2280	240
		16:00	2260	280
Março	Sala 05	8:00	2260	320
		10:00	2300	300
		14:00	2260	290
		16:00	2270	280
	Sala 06	8:00	2270	260
		10:00	2260	300
		14:00	2250	290
		16:00	2260	280

Por fim, o ciclo do solstício de verão apresentou resultados mais similares entre as salas, com comportamentos (alcance e níveis) mais aproximados em todos os horários, conforme a Figura 41.

Quanto às variações averiguadas diante das máximas e mínimas alcançadas neste ciclo, a Tabela 19 apresenta a interpolação dos valores.

**Figura 41** - Simulações no OriginPro com os gráficos de iluminância no ciclo do solstício de inverno às 14:00 horas, nas salas 05 e 06



**Tabela 19** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do solstício de verão

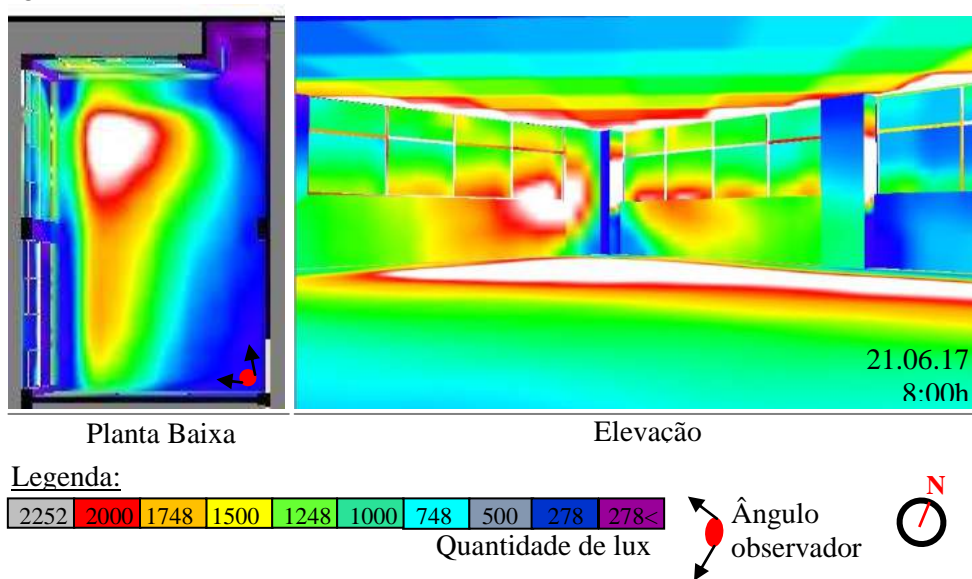
Local	Horário	Iluminância máxima (lux)	Iluminância mínima (lux)
Sala 05	8:00	2260	750
	10:00	1800	280
	14:00	2270	290
	16:00	3000	180
Sala 06	8:00	2250	760
	10:00	1700	290
	14:00	2250	300
	16:00	2980	200

Os resultados verificados nesta Tipologia, o período pertinente ao solstício de verão, despertam questionamentos aos contornos de luz natural mais similares entre as salas de todas as tipologias. Apesar de desenhos bem similares, os alcances são diferentes, mas sem grandes variações.

### 4.3 Simulação

Como já foram explicitadas, todas as simulações da luz natural ocorreram nas datas dos dias 20/03 e 23/09 para equinócios e 21/06 e 21/12 para solstícios, nos horários das 8h, 10h, 14h e 16h, a uma superfície de cálculo de 75cm, recomendado pela NBR 15:215-4 (ABNT, 2005) conforme Figura 42.

**Figura 42** - Modelo analítico em planta baixa e elevação do comportamento luminoso no Dialux, correspondente à quantidade de lux em cada área das salas, com indicativo do ângulo do observador e norte geográfico



Assim, para compreensão dos parâmetros dinâmicos, foram realizados os dados isográficos para cada dia e horário. Como forma de criar um comparativo entre a escala de aferição *in loco*, a quantidade de iluminância se encontra na proporção 1:4.

#### 4.2.1 Tipologia A (72 m<sup>2</sup>): Salas 01 e 02

##### 4.2.1.1 Parâmetro dinâmico

A primeira análise correspondeu à primeira data do equinócio, dia 20 de Março. Por meio dos isográficos, em ambas as salas houve uma repetição do comportamento da luz: quanto mais próximas às fenestraçãoes, maiores os níveis do aproveitamento da luz natural, conseqüentemente, a área de alcance é menor. Às 8h da manhã, há uma quantidade maior de luz próximo às janelas, mas não o suficiente para iluminar todo o ambiente. Diferentemente, no horário das 10h, houve uma concentração de luz no centro da sala de aula, o que proporcionou uma maior distribuição em relação às 8h. No período da tarde, às 14h, a



simulação demonstrou o comportamento da luz natural semelhante ao horário das 10h da manhã, diferenciando na menor proporção do alcance. Por fim, às 16h, verificou-se que apenas a luz natural não é suficiente para que os usuários exerçam as atividades necessárias, sendo de grande valia da iluminação artificial.

Ao comparar as salas entre si, os horários das 8:00 h e 10:00 h apresentaram maior iluminância máxima e mínima na sala 01. Entretanto, no turno da tarde, os dois horários aferidos apresentaram o comportamento inverso, sendo maiores na sala 02. Logo, os valores encontrados perante os níveis máximos e mínimos foram transcritos na Tabela 20:

**Tabela 20** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 20 de Março de 2018

<b>Local</b>	<b>Horário</b>	<b>Iluminância máxima</b> (lux)	<b>Iluminância mínima</b> (lux)
Sala 01	8:00	2252	60
	10:00	890	70
	14:00	700	60
	16:00	400	40
Sala 02	8:00	631	52
	10:00	860	67
	14:00	723	64
	16:00	441	45

A segunda data analisada é o dia 21 de Junho de 2017, correspondente ao solstício de inverno. No horário das 8h da manhã, percebeu-se uma perda de autonomia de luz, concentrando maior iluminância apenas na fenestração da fachada Norte e a primeira da fachada Nordeste. Por seguinte, às 10h da manhã, as linhas isográficas foram mais abrangentes no interior das salas quando comparadas às do horário anterior, percebendo um grande alcance, mas ainda de forma heterogênea. O comportamento da luz natural no horário das 14h não refletiu grandes mudanças em relação ao horário das 8h, em que ocorreu um aumento da iluminância no interior, apesar de em ambas os fluxos se concentrarem nas janelas. A situação mais crítica ocorreu às 16 horas, alcançando aproximadamente 300 lux próximo à fenestração da fachada Norte e 56 lux (sala 01) e 50 (sala 02) na área mais afastada, comprometendo o conforto visual em todos os locais. Em razão dessas condições da simulação, é possível observar na Tabela 21 as variáveis dos níveis de iluminância para cada horário em correspondência às salas.



**Tabela 21** – Resumo dos níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 21 de Junho de 2017

<b>Local</b>	<b>Horário</b>	<b>Iluminância máxima</b> (lux)	<b>Iluminância mínima</b> (lux)
Sala 01	8:00	580	47
	10:00	726	54
	14:00	612	50
	16:00	300	38
Sala 02	8:00	700	50
	10:00	725	52
	14:00	600	49
	16:00	276	50

De maneira geral, a sala 01 apresentou uma iluminância máxima e mínima inferiores à sala 02 apenas no horário das 8:00h. A partir da Figura 45, é possível compreender que a trajetória solar interna se aproxima bastante entre as amostras ora estudadas. A terceira data correspondeu ao dia 23 de Setembro, em que houve um maior alcance do fluxo luminoso nas salas de aula, mas não de forma satisfatória, com os 500 lux recomendados por norma. O horário das 10h foi o que mais se aproximou da quantidade de iluminação natural necessária, diferentemente do horário das 16h, cuja iluminância alcançou o total de 250 lux. De acordo com a Tabela 22, nota-se que o comportamento da sala 02 apresenta maiores índices de iluminância em relação à sala 01, sejam os relacionados à máxima e a mínima.

**Tabela 22** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 23 de Setembro de 2017

<b>Local</b>	<b>Horário</b>	<b>Iluminância máxima</b> (lux)	<b>Iluminância mínima</b> (lux)
Sala 01	8:00	590	55
	10:00	810	58
	14:00	561	60
	16:00	250	38
Sala 02	8:00	610	64
	10:00	830	60
	14:00	570	62
	16:00	250	45

A quarta e última data aferida referiu-se ao solstício de verão, dia 21 de Dezembro. Notou-se pelas linhas isográficas que em todos os horários houve uma maior abrangência da iluminação natural em relação às outras datas aferidas respectivamente. O horário das 10h foi único que obteve os 500 lux necessários, mas não de forma homogênea, e o mais comprometido é o das 16h. Sendo assim, a Tabela 23 aborda o resumo os alcances luminosos, havendo uma variação de 40 lux a 845 lux para sala 01 e 45 lux a 840 para a sala 02.

**Tabela 23** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 21 de Dezembro de 2017

Local	Horário	Iluminância máxima (lux)	Iluminância mínima (lux)
Sala 01	8:00	610	57
	10:00	845	60
	14:00	600	65
	16:00	230	40
Sala 02	8:00	660	60
	10:00	840	65
	14:00	600	58
	16:00	421	45

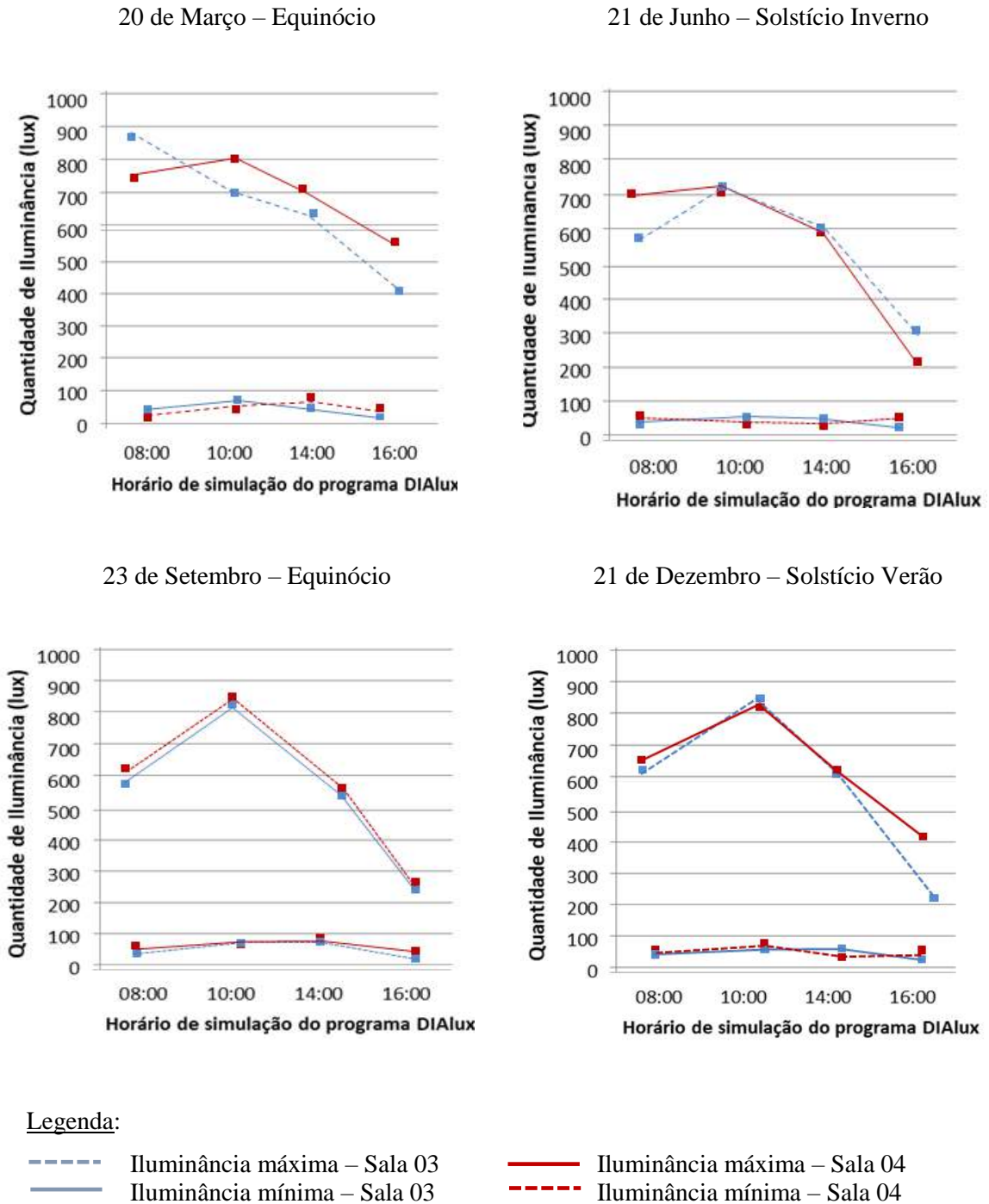
Em relação à autonomia da luz natural, acredita-se que seja reduzida pelo ângulo  $\alpha$  causado pela altitude solar e o plano das janelas, assim como a existência dos beirais e janelas em vidro com película fumê, conforme a Figura 43:

**Figura 28** – Corte esquemático do ângulo alfa em relação à janela e à altura solar



Sendo assim, como se trata de iluminação natural, apresentada pela simulação computacional nos equinócios e solstícios, percebeu-se que não houve uma distribuição homogênea da luz nas duas salas, e o comportamento entre elas é bem similar apesar de estarem em localizações cartográficas diferentes:

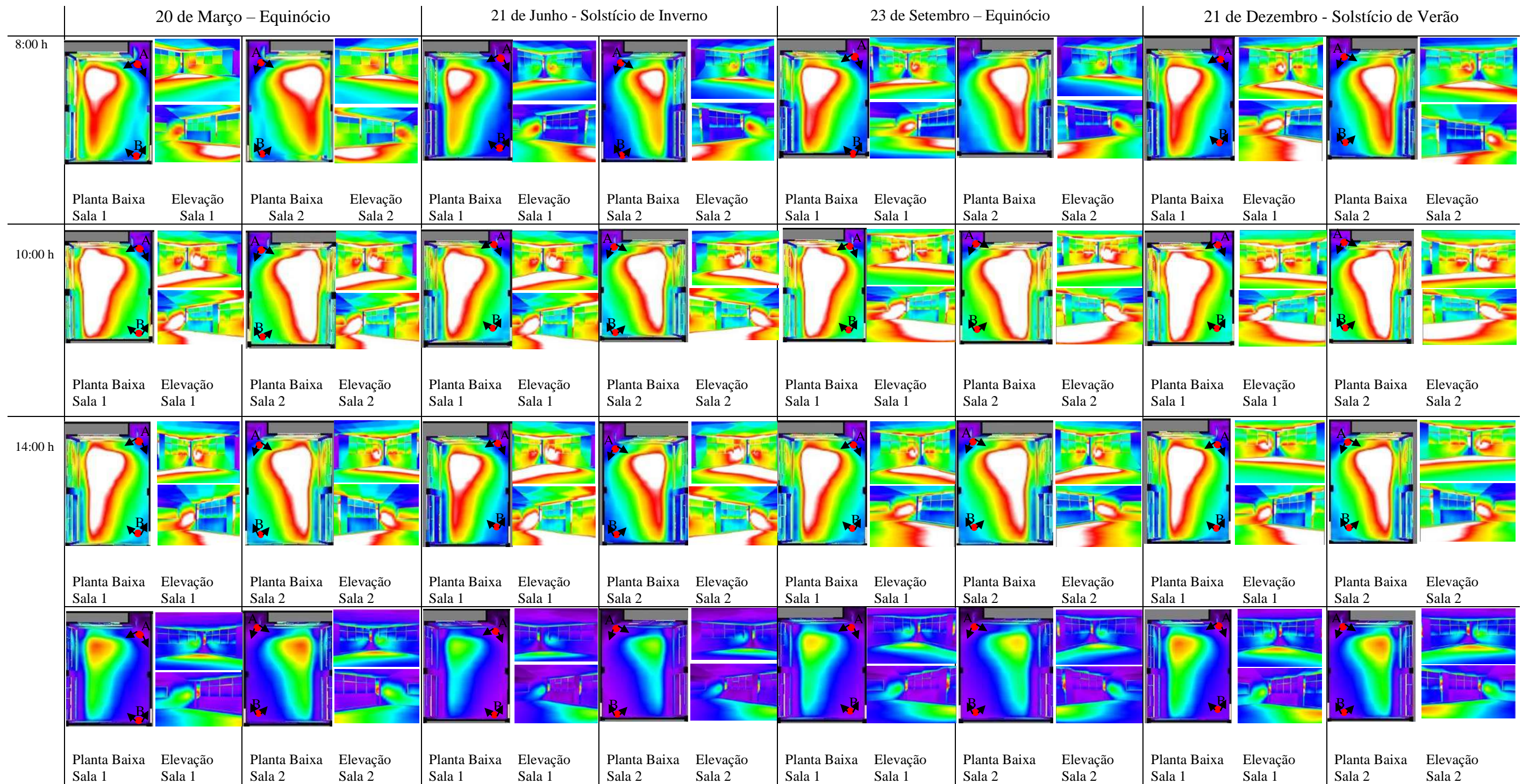
**Figura 44**– Gráfico equiparativo da Tipologia A entre os comportamentos luminosos, nas datas 20 de Março, 21 de Junho, 23 de Setembro e 21 de Dezembro



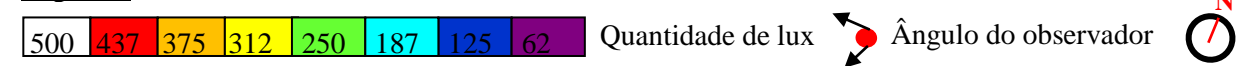
A Figura 45 permite um panorama geral do comportamento da luz na Tipologia A.



Figura 45 - Simulações no Dialux Tipologia A – Sala 01 e 02



Legenda:

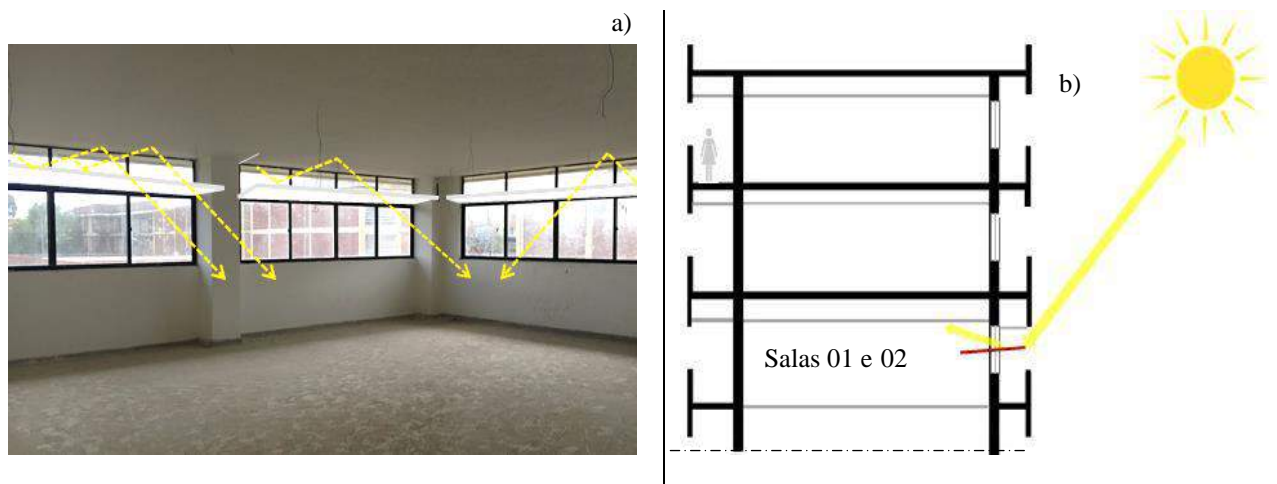


#### 4.2.1.2 Proposta

Em virtude da necessidade de potencializar a quantidade de iluminação natural dentro das salas de aula, foi proposta a técnica de prateleira de luz nas fenestrações, uma vez que tanto interfere nos índices qualitativos (ofuscamento) quanto na maior dissipação luminosa.

O pré-dimensionamento fundamentou-se no estudo de Borba (2010) sobre a avaliação do potencial de luz na distribuição da luz natural, a qual relaciona dimensão, angulação e materiais de acabamentos testados *in loco*. Tendo como base essas variações, utilizou-se a prateleira de luz com 1,50m de largura, na cor branca e inclinação de 10° calculada diante da situação mais desfavorável dentre as analisadas no *Dialux*, de acordo com as Figuras 46 e 47 abaixo:

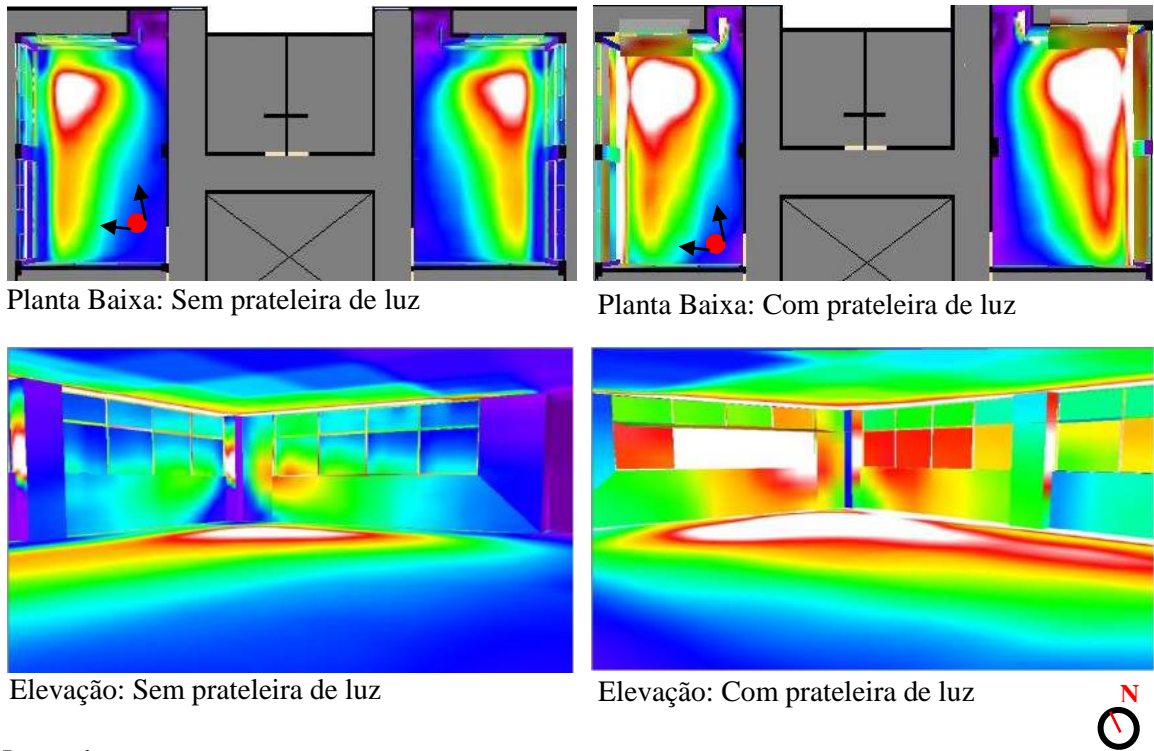
**Figura 46** – Prateleira de luz dimensionada para as salas de Tipologia A com 10° em relação ao plano das janelas: a) Perspectiva com foto inserção da prateleira na sala 01; b) Corte esquemático



Para ambas as salas utilizaram-se quatro fileiras, cada qual com três luminárias paralelas ao plano de trabalho e, de acordo com Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas RQT-C, um controle independente instalado próximo às aberturas para maior aproveitamento da iluminação. Em termos técnicos, a seleção dos equipamentos foi atribuída pela sua distribuição fotométrica intensiva, como a luminária da linha Lumicenter, modelo pendente da *Everlinght*, com iluminação direta/indireta. A escolha desta linha (Figura 48) é atribuída pela sua distribuição fotométrica intensiva, cuja referência é a LLN02. Além disso, permite uma fácil manutenção através do conjunto tampa/porta desapertando dois parafusos, podendo facilmente extrair a lâmpada.



**Figura 47** – Comparativa de desempenho da iluminação natural do dia 21 de junho – Tipologia A



Planta Baixa: Sem prateleira de luz

Planta Baixa: Com prateleira de luz

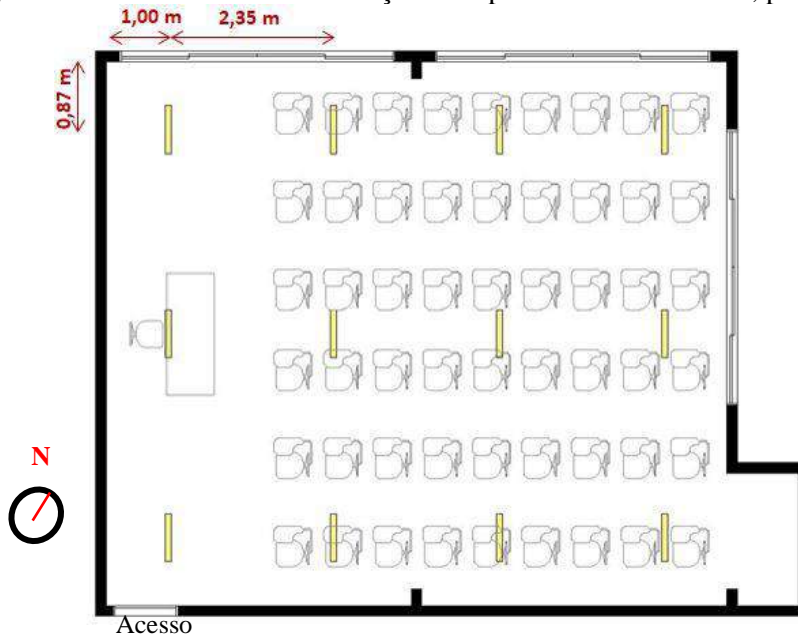
Elevação: Sem prateleira de luz

Elevação: Com prateleira de luz


Legenda:



**Figura 48** – Plantas baixas das locações dos pontos de luz artificial, para Tipologia A



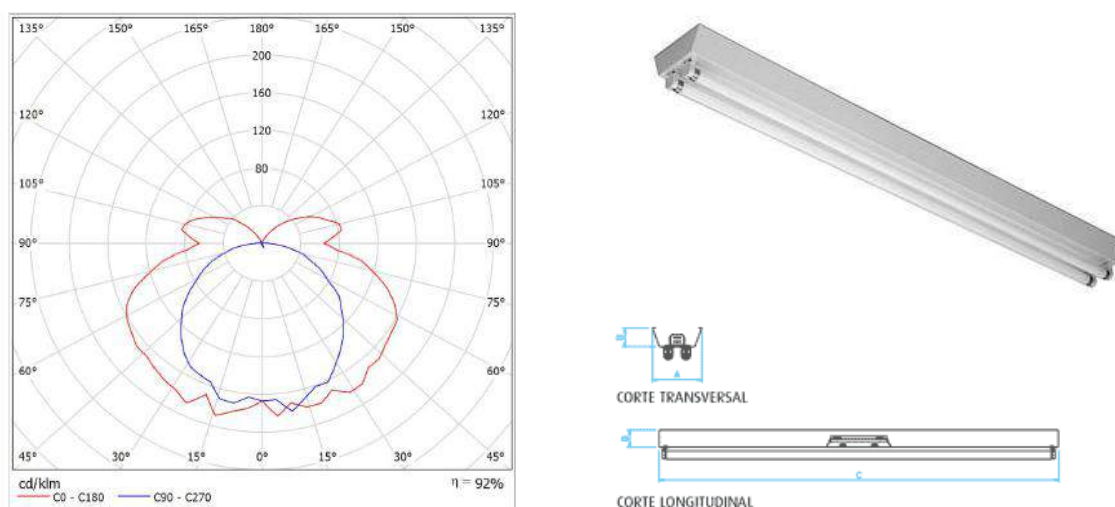
Legenda:

 Luminária Everlinght com lâmpadas T5 HE-ES.

Fonte: Arquivo do CEAR, editado pela autora.

A seleção pelas lâmpadas de LED dimerizáveis do fabricante OSRAM, modelo Lumilux T5 HE-ES Led, foi atribuída pela reprodução de cor, bom rendimento, temperatura de cor de 4000 K e uma potência de 25 watts, fluxo luminoso 2450 lm e índice de reprodução de cor 80.

**Figura 49** - Distribuição fotométrica da luminária Everlinght, marca Lumicenter e lâmpada Lumilux T5 HE-ES Led, OSRAM



Fonte: <http://www.schreder.com>

Vale ressaltar que tanto a escolha quanto a distribuição foram simuladas também no *Dialux*, a partir de uma superfície de cálculo a 75 cm do piso, conforme recomendações da norma NBR 8995-1, por se tratar da altura referente do piso à mesa de trabalho, na altura de 1,85m abaixo do forro de gesso.

Sendo assim, a proposta em questão se deteve em aliar desde a locação e a especificação de equipamentos para luz artificial, para que fossem capazes de não só contribuir para superar os problemas econômico e ambiental, como passíveis de garantir redução no consumo energético sem interferir no conforto luminoso almejado.

#### 4.2.2 Tipologia B (36 m<sup>2</sup>): Salas 03 e 04

##### 4.2.2.1 Parâmetro dinâmico

No ciclo do equinócio, dia 20 de Março de 2018, às 8h, as salas apresentaram comportamentos semelhantes, com variações apenas em picos de indecência, mas semelhantes nas linhas de contorno. O resultado da máxima e da mínima de iluminância na sala 03 foi de 823 lux (às 10:00h) e 48 lux (às 16:00h), e na sala 04 de 751 lux (às 10:00h) e 49 lux (às 16:00h), conforme a Tabela 24.

**Tabela 24** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 20 de Março de 2018

<b>Local</b>	<b>Horário</b>	<b>Iluminância máxima</b> (lux)	<b>Iluminância mínima</b> (lux)
Sala 03	8:00	704	54
	10:00	823	53
	14:00	571	50
	16:00	397	48
Sala 04	8:00	680	60
	10:00	751	62
	14:00	500	50
	16:00	300	49

Vale destacar que o comportamento da luz natural em ambas as salas, nos horários das 10:00 h e 14:00h, apresentam uma distribuição semelhante, com uma concentração de iluminância, ao longo do perímetro da janela, superior aos 500 lux solicitados pela norma.

A segunda data analisada corresponde ao dia 21 de Junho de 2017, solstício de inverno. Nota-se que em ambas as amostras, no horário das 10:00h, obteve-se uma maior iluminância não uniforme, havendo um raio de abrangência próximo à metade das salas e acima de 500 lux, conforme a Tabela 25.

Em contrapartida, às 16:00 horas, nas salas 03 e 04, o comportamento da luz natural não refletiu a quantidade de iluminância necessária, sendo a máxima inferior a 328 lux e a 335 lux respectivamente, consolidando a situação mais crítica.

A terceira data correspondeu ao dia 23 de Setembro, em que o horário das 8:00 h se aproximou do comportamento e quantidade de iluminação natural das 14:00h, cuja iluminância alcançou máximas entre 600 lux a 520 lux e mínimas 36 lux a 58 lux. A Tabela 26 apresenta os horários, as iluminâncias máximas e mínimas de todas as salas.



**Tabela 25** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 21 de Junho de 2018

<b>Local</b>	<b>Horário</b>	<b>Iluminância máxima (lux)</b>	<b>Iluminância mínima (lux)</b>
Sala 03	8:00	500	24
	10:00	600	50
	14:00	500	44
	16:00	328	38
Sala 04	8:00	511	36
	10:00	588	52
	14:00	506	40
	16:00	335	31

**Tabela 26** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 23 de Setembro de 2017

	<b>Horário</b>	<b>Iluminância máxima (lux)</b>	<b>Iluminância mínima (lux)</b>
Sala 03	8:00	540	36
	10:00	625	51
	14:00	520	49
	16:00	368	40
	<b>Horário</b>	<b>Iluminância máxima (lux)</b>	<b>Iluminância mínima (lux)</b>
Sala 04	8:00	600	50
	10:00	688	60
	14:00	600	58
	16:00	450	47

O horário das 10:00 h apresentou-se com maior incidência solar, principalmente ao longo do perímetro das janelas, ultrapassando os requisitos da norma e, às 16:00h, atingindo o horário mais comprometido, caracterizado por zonas de concentração luminosa de 368 (sala 03) e 450 (sala 04), conforme observa-se na Tabela 26.

A quarta e última data simulada referiu-se ao solstício de verão, dia 21 de Dezembro. Ao analisar a uniformidade dos isográficos, em todos os horários houve uma maior abrangência da iluminação natural em relação às outras datas aferidas (ver Figura 51).

Comportamento este que é semelhante ao mesmo mês da Tipologia A. Em consonância com todos os horários simulados, nas diferentes datas, o horário das 10:00 h foi o que se manteve com elevados índices de iluminância assim como seus alcances nos interiores.

Sendo assim, a Tabela 27 aborda o resumo dos alcances luminosos, havendo uma variação de 755 lux a 35 lux na sala 03 e 742 lux a 36 lux na sala 04.

**Tabela 27** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 21 de Dezembro de 2017

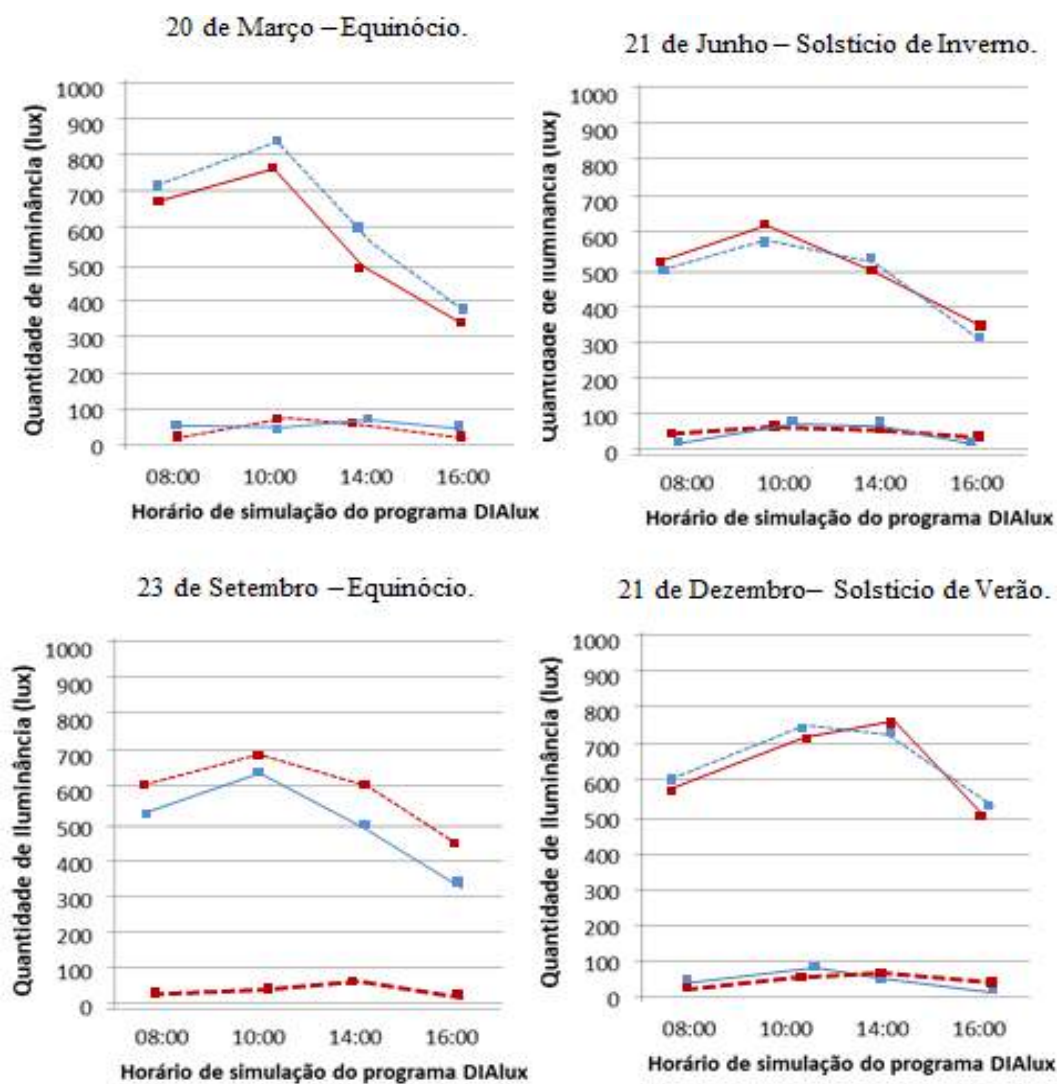
	<b>Horário</b>	<b>Iluminância máxima</b> (lux)	<b>Iluminância mínima</b> (lux)
Sala 03	8:00	600	35
	10:00	755	60
	14:00	732	57
	16:00	557	50
	<b>Horário</b>	<b>Iluminância máxima</b> (lux)	<b>Iluminância mínima</b> (lux)
Sala 04	8:00	598	43
	10:00	742	62
	14:00	705	61
	16:00	529	36

Com a análise das linhas isográficas, nos equinócios e solstícios, percebeu-se que a distribuição da iluminação natural no espaço interno não é homogênea nas duas salas, apesar de estarem em localizações cartográficas diferentes.

De maneira geral, as salas 03 e 04 apresentam comportamentos similares ao longo de todas as simulações. Outro item a ser destacado é que boa parte dos resultados encontrados apresenta, além das semelhanças comportamentais da luz natural, a autonomia de 60% em quase toda área do ambiente ao longo do ano, menos no horário das 16:00 horas. Sendo assim, há concentração dos altos índices de iluminância paralela às fenestraçãoes, embora apresentem diferentes áreas de alcances no interior das salas, conforme Figura 50.

Em meio aos resultados apresentados, nota-se que a geometria retangular e com uma única janela oferece dificuldades no alcance de iluminação natural nas paredes opostas as aberturas devido à profundidade das mesmas.

**Figura 50** – Gráfico equiparativo da Tipologia B entre os comportamentos luminosos nas datas 20 de Março, 21 de Junho, 23 de Setembro e 21 de Dezembro

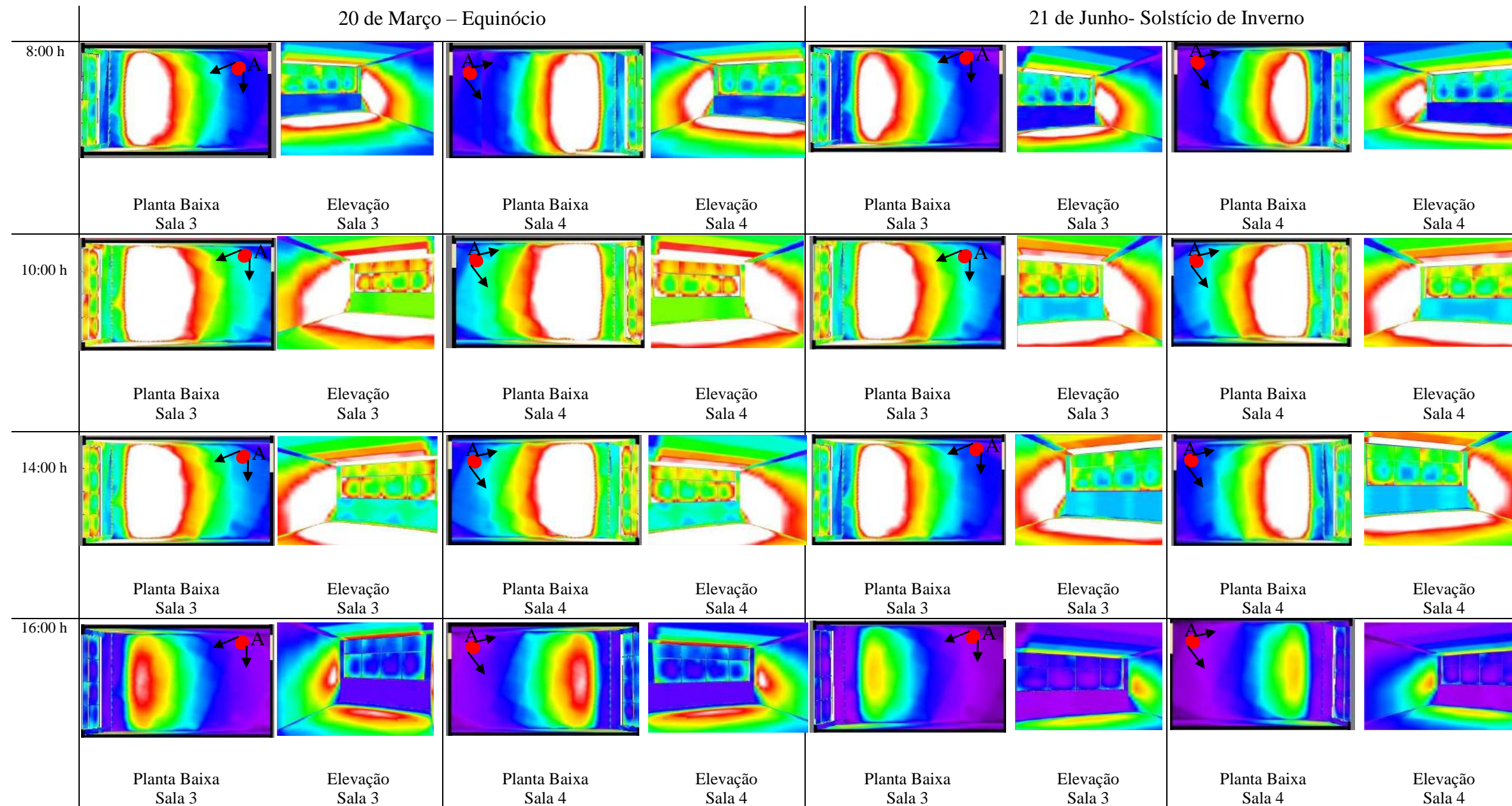


Legenda:

— Iluminância máxima – Sala 03  
 — Iluminância mínima – Sala 03

— Iluminância máxima – Sala 04  
 — Iluminância mínima – Sala 04

Figura 51 - Simulações no Dialux Tipologia B – Sala 03 e 04



Legenda:

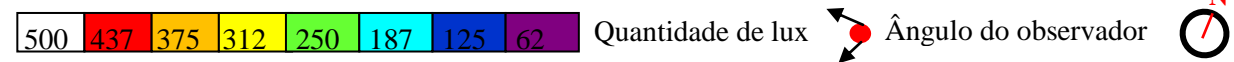
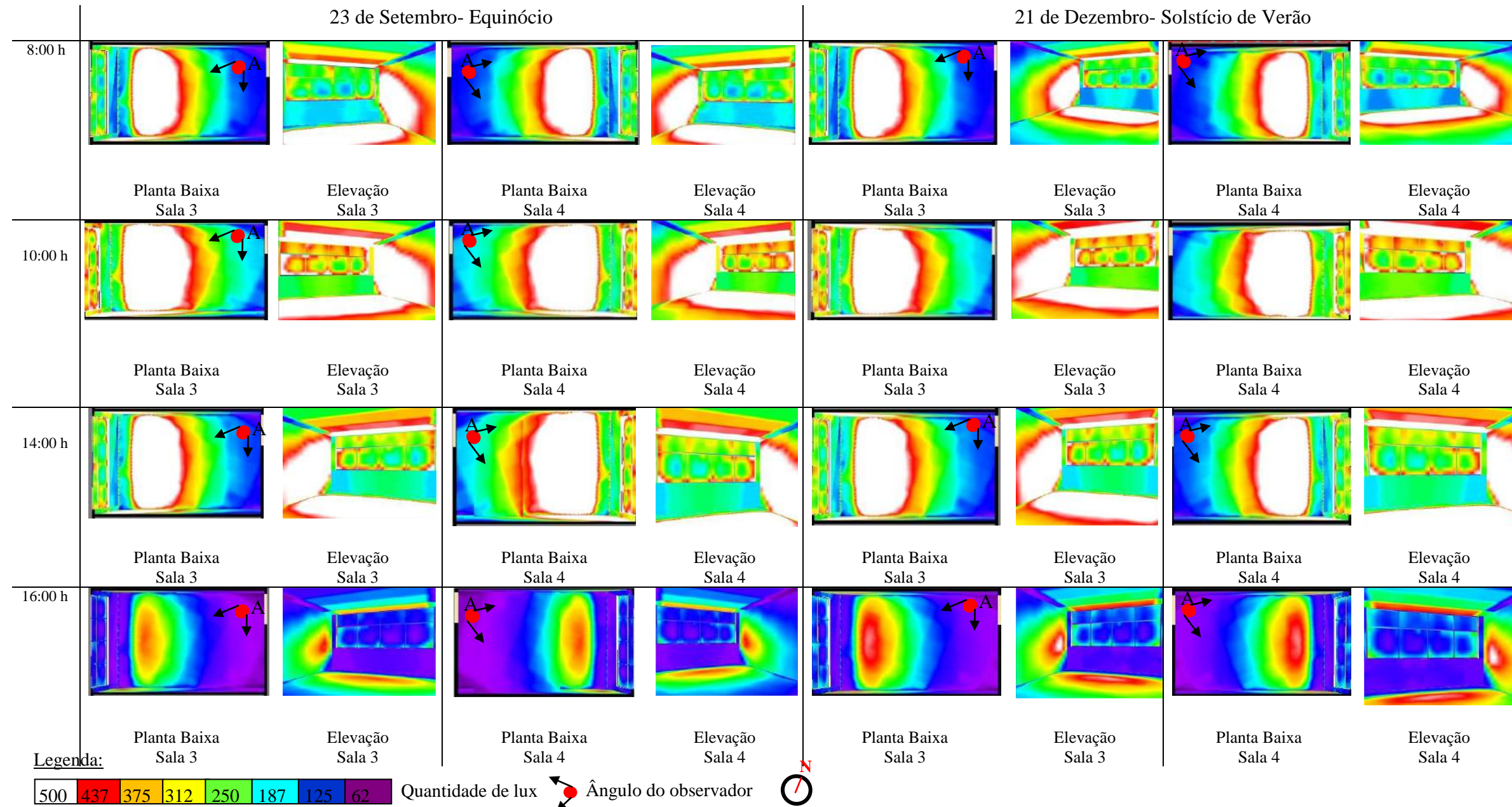




Figura 52 - Simulações no Dialux Tipologia B – Sala 03 e 04



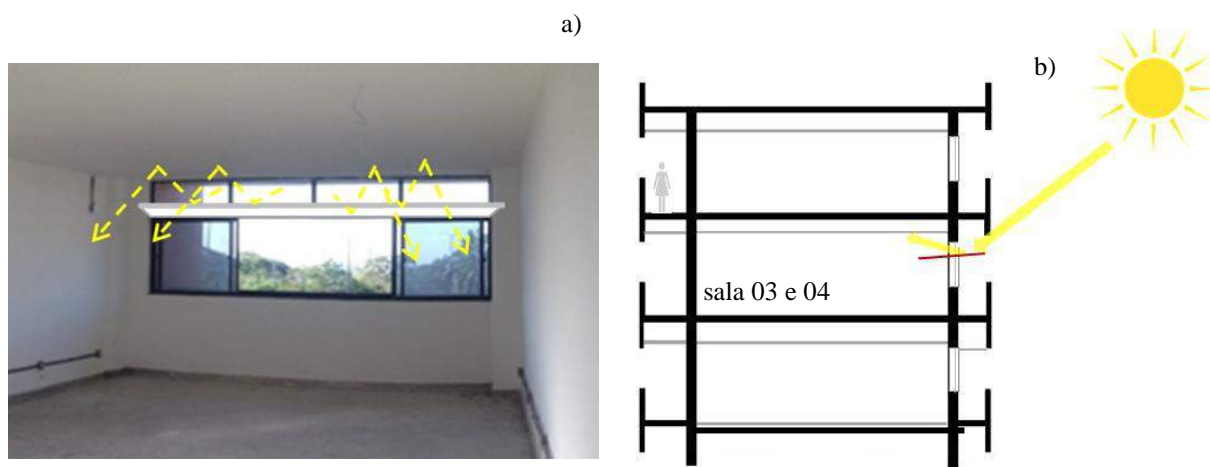
#### 4.2.2.2 Proposta

Após diagnóstico da iluminação natural, através da análise computacional mais crítica dos ciclos estudados, propõe-se a prateleira de luz como forma de aumentar o alcance da quantidade de luz natural dentro das salas. O intuito desta estratégia bioclimática visa a homogeneizar a concentração, principalmente para os usuários que ficam próximos às janelas, pois elimina o ofuscamento, além de refletir a luz para a parte superior do ambiente.

O pré-dimensionamento fundamentou-se no estudo de Borba (2010), conforme já explicitado: a prateleira de luz com inclinação de 20°, na cor branca e 1,00m de largura em toda a extensão da janela.

Através da Figura 53, nota-se que houve um maior alcance no interior das salas, uniformizando as áreas de concentração luminosa quando comparadas à situação atual, mas não sendo suficiente para atender as recomendações da NBR ISO 8995 (ABNT, 2013).

**Figura 53** – Prateleira de luz dimensionada para as salas de Tipologia B, com 20 ° em relação ao plano das janelas: a) Perspectiva com foto inserção da prateleira na sala 01; b) Corte esquemático



Diante deste diagnóstico, há a necessidade de melhorar a distribuição do fluxo luminoso nessas salas, uma vez que atingiu proporções diferentes e insuficientes para a quantidade dos 500 lux recomendados.

Os parâmetros estáticos adotados para suplementar os dinâmicos foram os mesmos da Tipologia A: a luminária da linha Lumicenter, modelo pendente da *Everlight*, com iluminação direta/indireta, referência LLN02, e lâmpadas LED dimerizáveis do fabricante OSRAM, modelo Lumilux T5 HE-ES.

**Figura 54** – Comparativa de desempenho da iluminação natural do dia 21 de Junho – Tipologia B

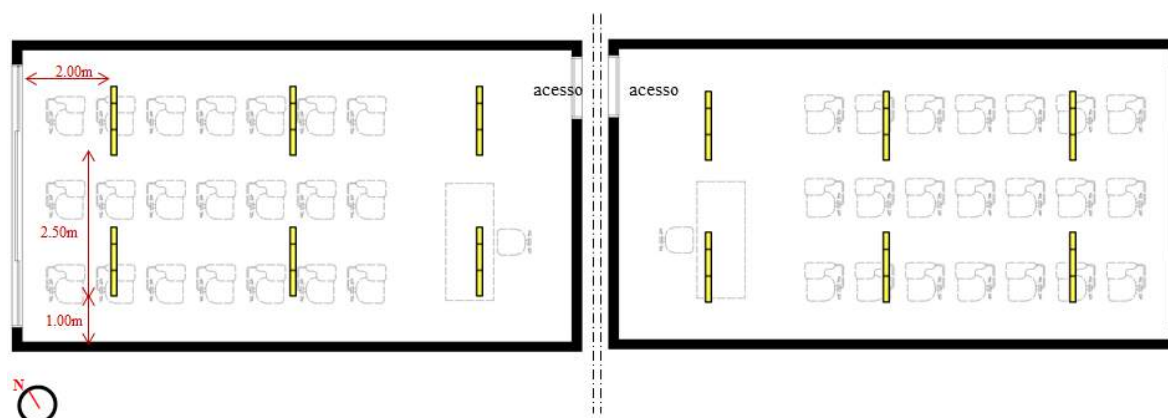
Planta Baixa: Sem prateleira de luz




Planta Baixa: Com prateleira de luz



**Figura 55** – Plantas baixas das locações dos pontos de luz artificial, para Tipologia B



Legenda:

 Luminária Everlinght com lâmpadas T5 HE-ES.

Fonte: Arquivo do CEAR, editado pela autora.

Quanto à distribuição, também seguiu os condicionantes de simulação (superfície de cálculo a 75cm do piso) e instalação (1,85m abaixo do forro de gesso). Para ambas as salas, utilizaram-se duas fileiras, cada qual com três luminárias paralelas ao plano de trabalho e seguindo as recomendações do RQT-C, a partir de um controle independente instalado próximo às aberturas para maior aproveitamento da iluminação.

#### 4.2.3 Tipologia C (36 m<sup>2</sup>): Salas 05 e 06

#### 4.2.2.1 Parâmetro dinâmico

A terceira e última tipologia analisada corresponde às salas com 36 m<sup>2</sup> e janelas bilaterais. No ciclo de equinócio, mês de Março, cada sala apresentou comportamentos diferentes em cada fenestração, havendo alguns horários de maior concentração em uma única janela e outros com baixas incidências nas mesmas.

No horário das 8:00h, houve nas salas 05 e 06 uma concentração de luz natural ao longo das janelas Oeste e Sudeste, respectivamente. Em ambas as amostras, nos horários das 10:00 h e 14:00h, há disponibilidade de luminosidade máxima alcançada, além de maior uniformidade de iluminância acima de 500 lux ao longo dos 36 m<sup>2</sup>. Entretanto, no período da tarde, especificamente no último horário da simulação, apresentou uma trajetória solar interna ao longo da fenestração Sudoeste. Ou seja, a quantidade de iluminância máxima se concentra apenas na esquadria, não havendo um maior alcance da luz natural.

Através da Tabela 28, observa-se que as simulações no turno da manhã apresentaram uma quantidade maior de luz natural na sala 05 do que na sala 06, e, diferentemente, nos horários das 14:00 h e 16:00h, apresentaram um comportamento inverso.

**Tabela 28** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 20 de Março de 2018, na Tipologia C

<b>Local</b>	<b>Horário</b>	<b>Iluminância máxima (lux)</b>	<b>Iluminância mínima (lux)</b>
Sala 05	8:00	790	110
	10:00	827	138
	14:00	670	156
	16:00	515	135
Sala 06	8:00	770	98
	10:00	800	104
	14:00	710	170
	16:00	546	135

De maneira geral, o horário das 14:00 h foi o que apresentou um maior raio de abrangência, apesar de conter manchas que sinalizam baixa luminosidade próximo a algumas paredes, necessitando que algumas lâmpadas sejam acesas nessa região.



A segunda simulação corresponde ao solstício de inverno, dia 21 de Junho. Notou-se que as manchas de cores falsas apresentaram durante o primeiro, segundo e terceiro horários áreas coincidentes, com iluminação natural satisfatória. Porém, os alcances não estão em forma homogênea ao longo das salas.

O horário das 16:00 h foi o que obteve menor alcance de luz natural, apesar do potencial de aproveitamento da luminosidade natural, tendo pontos com iluminância na faixa de 40 lux a 385 lux na sala 05 e 31 lux a 427 lux na sala 06, conforme a Tabela 29.

**Tabela 29** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 21 de Junho de 2018, na Tipologia C

<b>Local</b>	<b>Horário</b>	<b>Iluminância máxima (lux)</b>	<b>Iluminância mínima (lux)</b>
Sala 05	8:00	752	97
	10:00	611	104
	14:00	619	111
	16:00	385	40
Sala 06	8:00	722	90
	10:00	605	92
	14:00	624	87
	16:00	427	31

Ao longo do dia 23 de Setembro, os valores para a sala 05 e 06, via simulação, apresentaram uma grande distribuição de luz natural acima dos 500 lux, sendo às 8:00 h os níveis máximos de iluminância de 800 lux, que abrangem praticamente toda a sala. Nos horários das 10:00 h e 14:00h, apresentam uma distribuição similar em quantidade e alcance.

Vale ressaltar que, de fato, nos três primeiros horários simulados, houve uma concentração em ambas as salas ao longo da fenestração Oeste e Leste e que os resultados alcançados indicam a possibilidade em aproveitar a iluminação natural para execução das atividades nesse ambiente. Entretanto, ao fim do dia, os níveis luminosos reduzem conforme as manchas ao longo da planta baixa, constatando a necessidade do acionamento da luz artificial da região oposta à janela Sul.

Conforme a Tabela 30, na sala 05, houve uma quantidade de iluminância máxima e a mínima inferior em todos os horários em relação à sala 06.

**Tabela 30** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 23 de Setembro de 2017, na Tipologia C

<b>Local</b>	<b>Horário</b>	<b>Iluminância máxima</b> (lux)	<b>Iluminância mínima</b> (lux)
Sala 05	8:00	800	111
	10:00	702	202
	14:00	718	297
	16:00	600	100
Sala 06	8:00	786	120
	10:00	745	251
	14:00	768	284
	16:00	580	101

A última data analisada corresponde ao dia 21 de Dezembro, solstício de verão, que oferece iluminâncias entre 100 lux a 814 lux em relação à sala 05 e 100 a 820 lux à sala 06. De maneira curiosa, os comportamentos do equinócio e o solstício analisados apresentam valores e trajetória de manchas similares em ambas as salas, conforme a Figura 57.

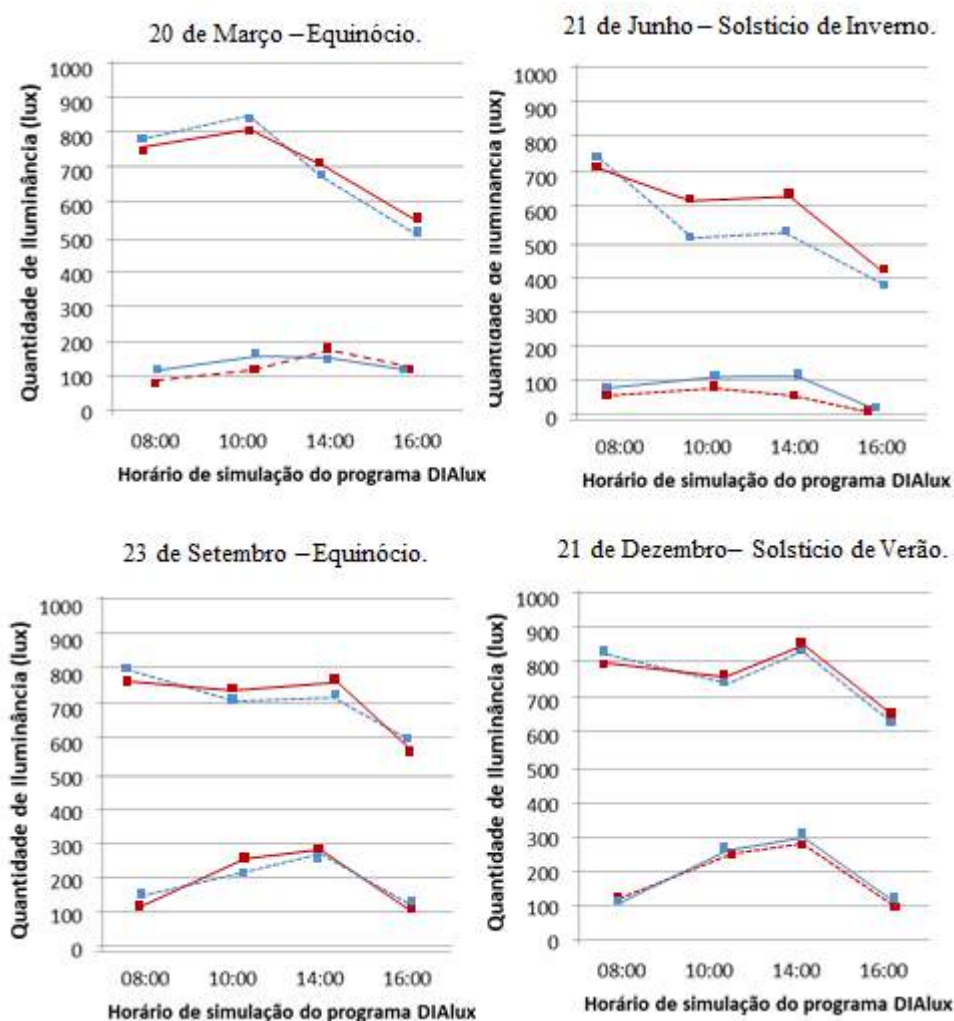
Em relação às salas desta tipologia, há uma repetição de comportamentos em que, na proximidade das janelas, estão os maiores índices de aproveitamento da luz natural e, à medida que ocorre o distanciamento delas, os valores diminuem. Na Tabela 31, pode-se observar as variações de iluminância, sendo mais evidente o horário das 16:00 h para exemplificar o que ora foi explicitado.

**Tabela 31** – Níveis de Iluminância máxima e mínima nos horários de simulação do dia 21 de Dezembro de 2017, na Tipologia C

<b>Local</b>	<b>Horário</b>	<b>Iluminância máxima</b> (lux)	<b>Iluminância mínima</b> (lux)
Sala 05	8:00	811	125
	10:00	735	244
	14:00	814	300
	16:00	634	100
Sala 06	8:00	800	120
	10:00	765	251
	14:00	820	284
	16:00	620	100

O diagnóstico apresentado pelas salas 05 e 06 apontam comportamentos diferentes, principalmente nos equinócios, uma vez que apesar de apropriar-se da carta solar, o tipo de céu contribuiu para que os resultados se mostrassem bem diferentes (ver Figura 56).

**Figura 56** – Gráfico equiparativo da Tipologia C entre os comportamentos luminosos nas datas 20 de Março, 21 de Junho, 23 de Setembro e 21 de Dezembro

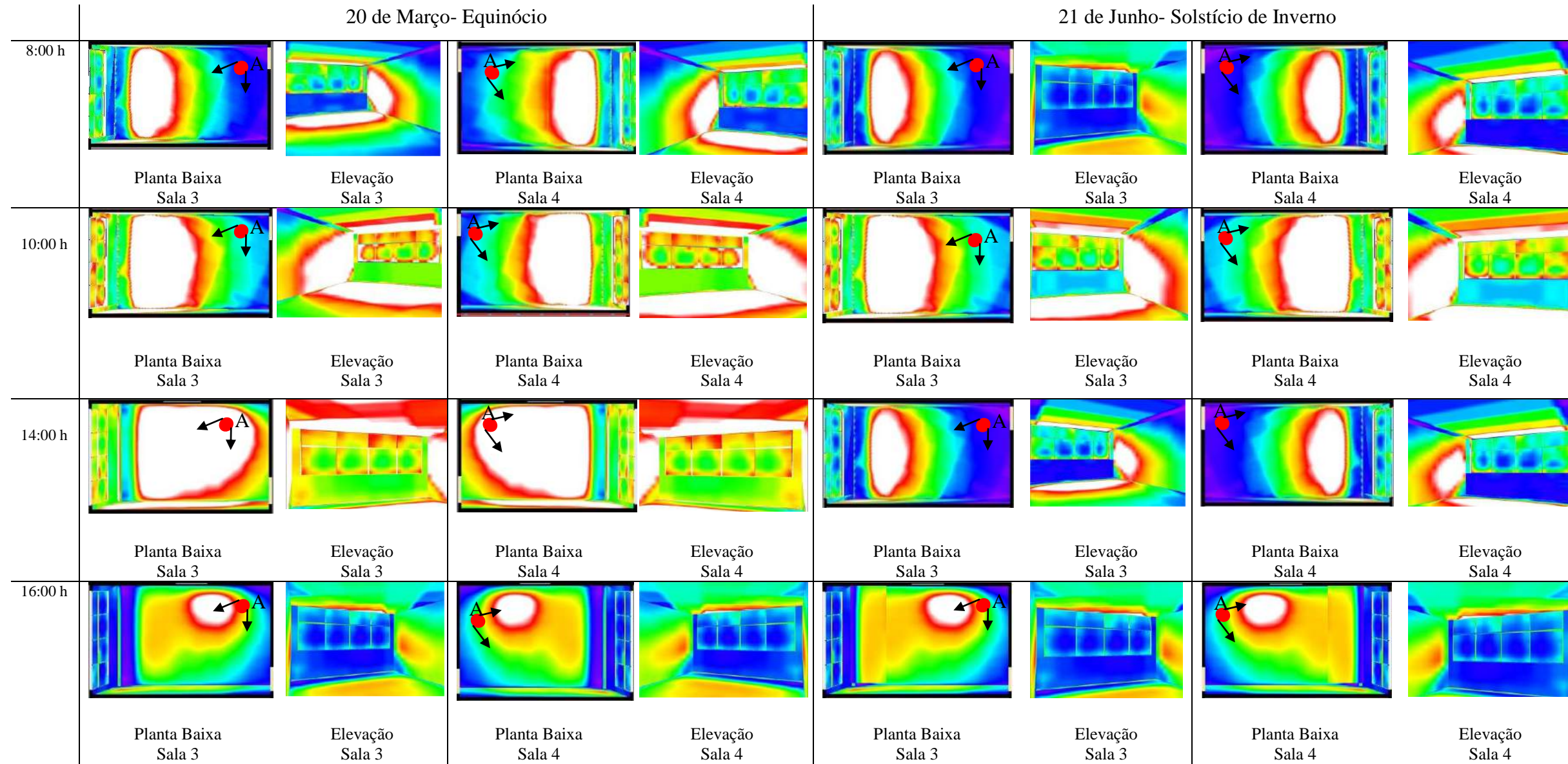


Legenda:

- Iluminância máxima – Sala 05
- Iluminância mínima – Sala 05
- Iluminância máxima – Sala 06
- Iluminância mínima – Sala 06

Nota-se também que, nos dados alcançados, o comportamento da luz natural é interferido pela posição das fenestraçãoes em determinados horários. Apesar das salas apresentarem uma geometria com janelas bilaterais, a forma de incidência ao longo dos 36 m<sup>2</sup> esteve em consonância à trajetória solar e fenestraçãoes (Leste/Oeste). Em particular, o último horário simulado apresenta uma concentração de iluminância apenas em uma das fenestraçãoes de menor dimensão e com índices acima dos 500 lux recomendados pela norma.

Figura 57 - Simulações no Dialux Tipologia C – Sala 05 e 06



Legenda:

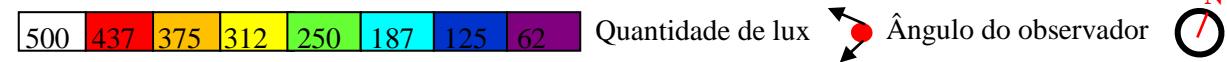
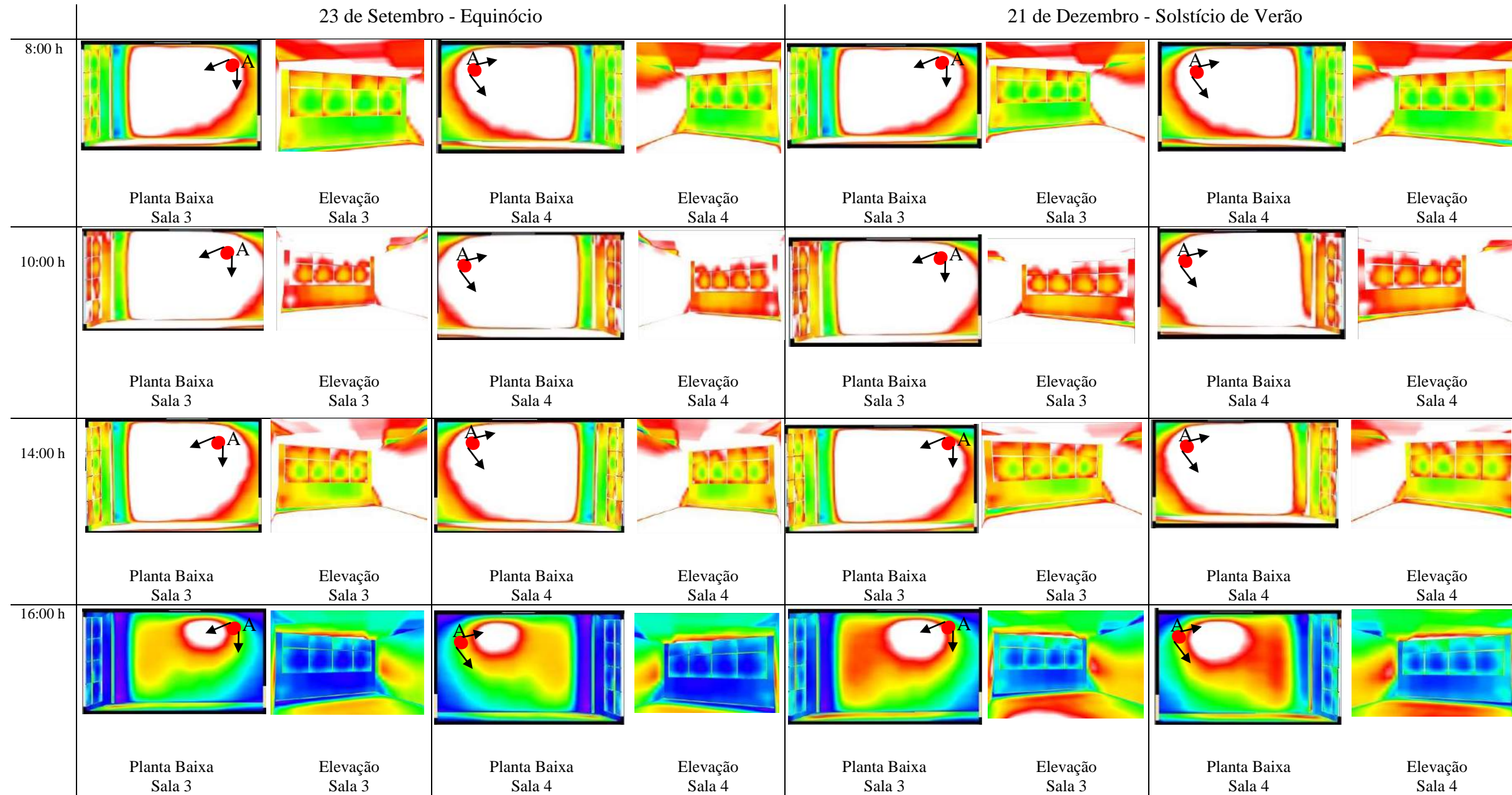
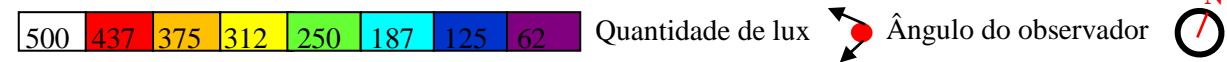




Figura 58 - Simulações no Dialux Tipologia C – Sala 05 e 06



Legenda:

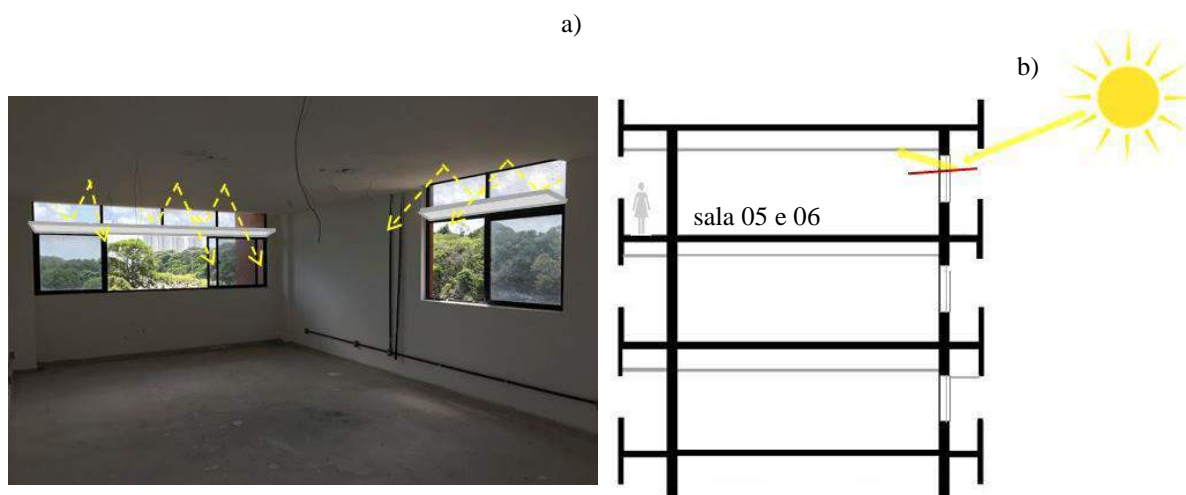


#### 4.2.2.2 Proposta

A partir dos arranjos encontrados via simulação, a geometria da sala influencia diretamente no alcance da área iluminada e, conforme já ressaltado, os resultados constataam que, próximo às aberturas, os níveis luminosos são mais intensos. Assim como a Tipologia B, o uso de estratégias bioclimáticas, como prateleiras de luz, consiste uma alternativa de aumentar o alcance e a uniformidade da luz natural.

Em virtude disto, as prateleiras de luz apresentam 1,00 de largura pela extensão das fenestraçãoes Leste e Oeste a 20° de inclinação e as de sentido Sudoeste com 0,80 cm de largura pelo comprimento da janela a 20° de inclinação, ambas na cor branca, conforme a Figura 59.

**Figura 59** – Prateleira de luz dimensionada para as salas de Tipologia C, com 20 ° em relação ao plano das janelas: a) Perspectiva com foto inserção da prateleira na sala 01; b) Corte esquemático

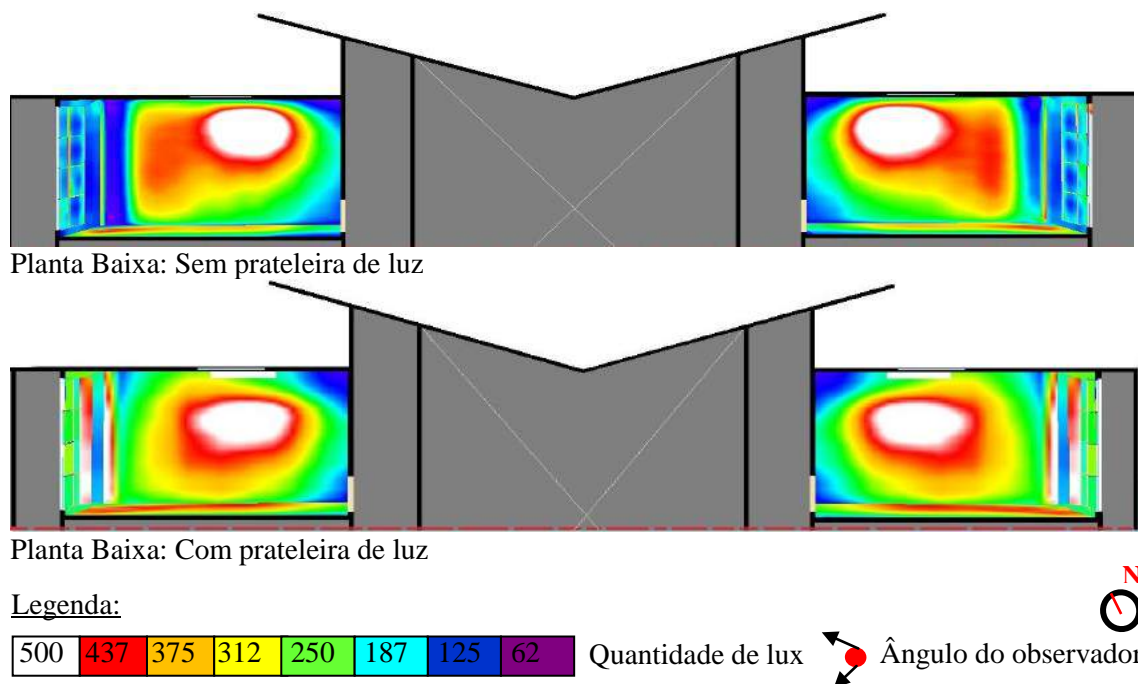


Como forma de equiparar os cenários atual com a da prateleira de luz, a Figura 58 permite entender os resultados alcançados pela estratégia bioclimáticas interior das salas.

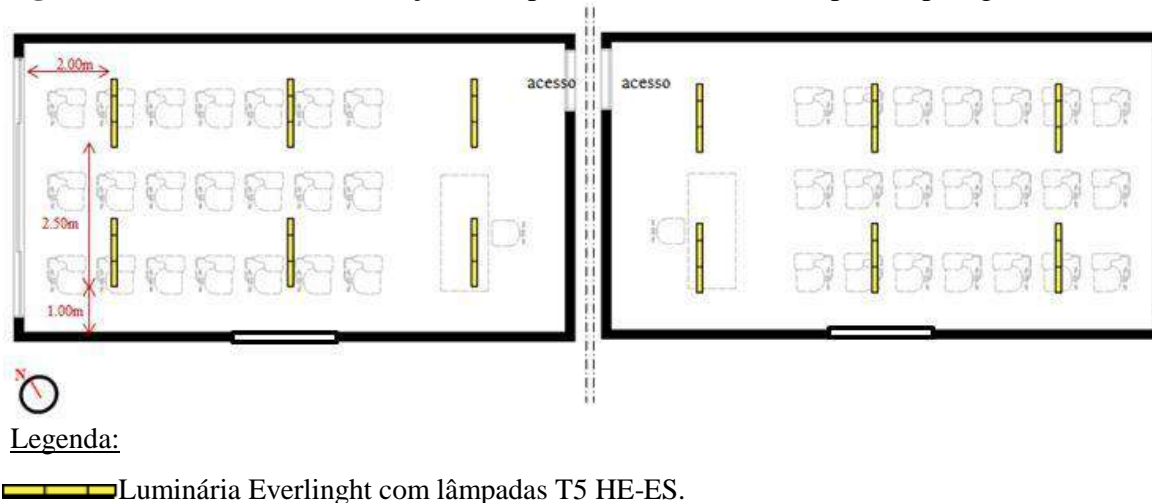
A planta baixa em que consta a prateleira de luz, permitiu que a luz se estendesse, possibilitando o aproveitamento da luz natural ao longo das salas. É evidente que mesmo assim não houve uma uniformidade de iluminâncias, necessitando complementar com o sistema de luz artificial.

Tratando-se dos parâmetros estáticos adotados para luz artificial, foi utilizada as luminárias da linha Lumicenter, modelo pendente da *Everlinght*, com iluminação direta/indireta, referência LLN02 e lâmpadas LED dimerizáveis do fabricante OSRAM, modelo Lumilux T5 HE-ES, seguindo a distribuição conforme a Figura 59.

**Figura 60** – Comparativa de desempenho da iluminação natural do dia 21 de Junho – Tipologia C



**Figura 61** – Plantas baixas locais dos pontos de luz artificial, para Tipologia C



Fonte: Arquivo do CEAR, editado pela autora.

Diante dos resultados encontrados sobre o desempenho da luz natural na coleta *in loco* e nas simulações, pode-se diagnosticar que:

- Os dados apresentados nas coletas foram mais representativos, pois demonstraram parâmetros estáticos que aconteceram simultaneamente como: interferência de nuvens, de superfícies reflexivas que não constaram no entorno imediato e mudanças climáticas repentinas. Entretanto, vale ressaltar que, diante das limitações do controle de dados de saída, como o sistema de sensor parametrizado

com o luxímetro, as aferições individualmente se tornam mais demoradas, não sendo tão precisas nos horários. Para as tipologias 01, sendo cada sala um luxímetro, demorou cerca de 20 min até sua conclusão final. Já nas tipologias 02 e 03, as aferições demoraram cerca de 13 min.

- A coleta, apesar de ser mais precisa, tornou-se frágil, uma vez que necessitou de um controle manual tanto na superfície de incidência (75 cm acima do piso), quanto na captação de todos os pontos marcados e na transcrição dos dados aferidos.
- O *software* DIALux mostrou-se apropriado para a análise de desempenho luminoso (natural e artificial), apresentando relatórios dos dados de forma interligada com as superfícies de incidência solar, posição cartográfica, catálogos do sistema artificial, projeções com prateleiras de luz, interferências do entorno imediato e coeficientes de reflectâncias. Como curiosidade, as salas de mesma tipologia que ficaram no sentido oposto apresentaram quase um comportamento espelhado, mas iluminâncias máximas e mínimas diferentes em algumas zonas.

Sendo assim, em virtude da parametrização, a análise dos impactos energéticos se detiveram pelo *software* ora abordado.

#### 4.5 Controles do ofuscamento

Para que houvesse o controle de ofuscamento, fez-se necessário observar as condições de céu dentro das datas aferidas, sendo considerada pela IES (2011) que, acima de 25.00 cd/m<sup>2</sup>, há danificações diretas na visão. Partindo deste pressuposto, a classificação “céu aberto” seria a condição mais favorável para que houvesse desconforto visual e, em virtude disto, privilegiou-se essa tipologia na análise.

Para IESNA (2000), a luminosidade geral do ambiente não deve ser maior que cinco vezes a luminosidade no plano de trabalho, onde as superfícies de acabamento devem ser mantidas dentro das condições aceitáveis no conforto luminoso. Assim, os materiais de acabamentos (piso, parede e teto) da situação atual apresentam os níveis de reflectâncias em concordância a NBR ISO 8995-1 (ABNT, 2013), conforme a Tabela 32.

Em relação à área das fenestrações, as salas 01, 02, 05 e 06 seguem as recomendações do Código de Obras (PARAÍBA, 2001) com a localização das janelas lateralmente, de forma que evitam os reflexos indesejados.



**Tabela 32** - Relação entre os níveis de reflectância atual das salas 01, 02, 03, 04, 05 e 06 com a NBR ISO 8995-1:2013

Aplicação	Reflectância recomendada (NBR ISSO 8995-1:2013)	Reflectância situação atual
Piso	30 – 50 %	30 %
Parede	30 – 80 %	80 %
Teto	30 – 50 %	80 %
Plano de Trabalho	20 – 60 %	35%

As salas 03 e 04 apresentam aberturas em frente à posição do quadro de aula, estando incoerentes com as recomendações do Código de Obras (PARAÍBA, 2001) e IESNA (2000). Com a proposição de prateleiras de luz dimensionadas, permitiu-se um maior alcance da luz natural na extensão da sala que, conseqüentemente, amenizou as áreas de contraste. Outro item a ser destacado são os acabamentos das esquadrias, por serem em vidro com película fumê: nas seis salas, há perdas de luminosidade no interior e, conseqüentemente, diminuem as diferenças de contraste com a luz solar direta.

Tratando-se das luminárias, a NBR 5413 (ABNT, 1992) estabelece a condição máxima de luminância de 500 lux uniformes, em que a localização da luz suplementar deve estar em consonância com a área de visão do céu pelo tamanho das janelas. Para tanto, antes de especificar luz artificial, apropriou-se da IASPI com a área das aberturas. A Tabela 33 apresenta as recomendações do Código de Obras de João Pessoa, FUNDESCOLA e RTQ-C com a área das janelas existentes em cada sala.

Ao comparar, percebe-se que, apesar de atender a RTQ-C, em relação à FUNDESCOLA, a área das aberturas se encontra inferior. Por esta razão, compreende-se que a luz natural não possui autonomia suficiente, necessitando da iluminação artificial para complementar o déficit. Sugerem-se algumas reformas na edificação em relação ao tamanho das janelas, de maneira que estejam em consonância com a proposta da iluminação artificial.

Como forma de controlar as áreas de distribuição e os aspectos fisiológicos ajustáveis em nível de projeto, como ofuscamento, Borba (2010) destaca que as luminárias devem ter controle ótico, e sua luminância não deve ultrapassar angulações acima de 45°, ou que tenham louver especular. Assim, justifica-se a escolha da linha Lumicenter pela distribuição fotométrica intensiva, por issoa seleção das lâmpadas modelo Lumilux T5HE-ES Led CDM-TD70W/942 da marca OSRAM, índice de reprodução de cor 80 com ângulo do fecho luminoso de 15°.

**Tabela 33** - Relação entre as áreas das aberturas e a área da sala compatibilizadas com recomendações do Código de Obras PMJP, FUNDESCOLA e RTQ-C

Salas	Aberturas (m <sup>2</sup> )	Código de Obras PMJP (1/6 m <sup>2</sup> do piso)	FUNDESCOLA (1/4 m <sup>2</sup> do piso)	RTQ-C (1/8 m <sup>2</sup> do piso)
01 (72 m <sup>2</sup> )	13,38 m <sup>2</sup>	12,00 m <sup>2</sup> *	18,00 m <sup>2</sup>	9,00 m <sup>2</sup> *
02 (72 m <sup>2</sup> )	13,38 m <sup>2</sup>	12,00 m <sup>2</sup> *	18,00 m <sup>2</sup>	9,00 m <sup>2</sup> *
03 (36 m <sup>2</sup> )	4,46 m <sup>2</sup>	6,00 m <sup>2</sup>	9,00 m <sup>2</sup>	4,5 m <sup>2</sup>
04 (36 m <sup>2</sup> )	4,46 m <sup>2</sup>	6,00 m <sup>2</sup>	9,00 m <sup>2</sup>	4,5 m <sup>2</sup>
05 (36 m <sup>2</sup> )	8,45 m <sup>2</sup>	6,00 m <sup>2</sup>	9,00 m <sup>2</sup>	4,5 m <sup>2</sup>
06 (36 m <sup>2</sup> )	8,45 m <sup>2</sup>	6,00 m <sup>2</sup>	9,00 m <sup>2</sup>	4,5 m <sup>2</sup>

\*Os valores destacados representam que as recomendações estabelecem um valor inferior à área de janela existente

Fonte: Código de Obras (2001); ELETROBRÁS/PROCEL(2013); FUNDESCOLA(2002).

Sendo assim, o sistema de iluminação artificial deve se relacionar com o consumo energético, por meio de equipamentos eficientes que permitam atingir os parâmetros das normas como o conforto visual dos ocupantes.

#### 4.6 Eficiência X Economia

Ao constatar o diagnóstico atual da iluminação natural com os dados das propostas na simulação computacional, a porcentagem do ALN das situações mais desfavoráveis varia entre 30% a 62%, o que refletiu em 38% a 70% necessários para que a luz artificial complementasse a quantidade de iluminância recomendada pela NBR 8995-1 (ABNT,2013).

Supondo-se 08 horas de consumo diário, em 05 dias semanais, o primeiro cenário averiguado condiz com a Tipologia A. Havendo um acionamento total das 12 luminárias e 24 lâmpadas de 25 W cada, houve um consumo mensal (taxa tarifária de R\$ 0,43 centavos deste mês disponibilizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel) de R\$ 41,28 reais para cada sala de aula, o que totalizou um valor de R\$85,26 reais para as duas salas de estudo. Tratando-se das Tipologias 02 e 03, com o acionamento total das 06 luminárias e 12 lâmpadas

de 25 W cada, apresenta-se um custo mensal para cada sala de R\$ 20,64 reais, totalizando R\$82,56 para as quatro amostras.

Em posse dessas informações, avaliou-se o consumo energético com base na proposta apresentada para potencializar a luz natural em ambientes de ensino. A Tabela 34 simulou em porcentagem a quantidade de iluminação artificial necessária nos respectivos horários (simulados no programa Dialux), inter-relacionando com a quantidade de lâmpadas acionadas e controle automático do dimerizador. A relação consumo R\$/ mês foi elaborado pelo solstício de inverno, mês de Junho, por se caracterizar a época que o sol atinge o maior grau de afastamento angular da linha do equador.

Notou-se que com as estratégias para aumentar a autonomia dos parâmetros dinâmicos, como a prateleira de luz, aliadas aos parâmetros estáticos da luz, houve uma redução significativa do consumo energético de R\$15,33 reais nas salas 01 e 02, totalizando uma diferença entre as duas formas de caracterizações de consumo energético de R\$59,31 reais por mês (ver Tabela 35). Para as Tipologias 02 e 03 (salas 03 e 04), houve uma redução de R\$9,03 reais para cada, sendo um total de R\$36,12 reais.

**Tabela 34** - Caracterização do consumo R\$/mês por sala na Tipologia A - Junho de 2018, considerando os parâmetros estáticos propostos

Horários	Luz Artificial (%)	Potência das lâmpadas	Horas consumidas ano	Consumo R\$/ mês
8h - 10h	70	450 (18 lâmpadas)	840	7,74
10h - 12h	38	250 (10 lâmpadas)	450	4,30
14h - 16h	44	300 (12 lâmpadas)	528	5,16
16h - 18h	100	600 (24 lâmpadas)	1200	10,32
<i>Total:</i>				27,52

**Tabela 35** - Caracterização do consumo R\$/mês por sala na Tipologia B - Junho de 2018, considerando os parâmetros estáticos propostos

Horários	Luz Artificial (%)	Potência das lâmpadas	Horas consumidas ano	Consumo R\$/ mês
8h - 10h	50	150 (06 lâmpadas)	600	2,58
10h - 12h	38	150 (06 lâmpadas)	450	2,58
14h - 16h	40	150 (06 lâmpadas)	480	2,58
16h - 18h	85	225 (10 lâmpadas)	1020	3,87
<i>Total:</i>				11,61

Ainda em relação ao estudo comparativo, de acordo com dados extraídos pelo último Relatório de Gestão da UFPB, 2016, fornecidos pela PROPLAN, para todas as salas de aulas

do Centro de Aulas da UFPB, utiliza-se o sistema de iluminação padrão: dois pares lâmpadas tubulares T10 de 40 W com fluxo luminoso de 2700lm.

**Tabela 36** - Caracterização do consumo R\$/mês por sala na Tipologia C - Junho de 2018, considerando os parâmetros estáticos propostos

Horários	Luz Artificial (%)	Potência das lâmpadas	Horas consumidas ano	Consumo R\$/mês
8h - 10h	50	150 (06 lâmpadas)	600	2,58
10h - 12h	38	150 (06 lâmpadas)	450	2,58
14h – 16h	40	150 (06 lâmpadas)	480	2,58
16h - 18h	78	225 (10 lâmpadas)	936	3,87
<i>Total:</i>				11,61

A partir desses dados, considerando o uso padrão da UFPB de 08 horas de consumo diário, em 05 dias semanais, com mesma distribuição, a Tabela 37 apresenta a correlação nas salas 01 e 02 (com 12 luminárias) e, para as salas 03, 04, 05 e 06 (06 luminárias), houve um aumento significativo do impacto do parâmetro estático no consumo energético.

**Tabela 37** - Caracterização do consumo mensal por sala de aula Tipologia A - Junho de 2018, considerando os parâmetros estáticos padrão da UFPB

Horários	Luz Artificial (%)	Potência das lâmpadas	Horas consumidas/ano	Consumo R\$/mês
8h - 10h	100	960 (24 lâmpadas)	1200	16,51
10h - 12h	100	960 (24 lâmpadas)	1200	16,51
14h – 16h	100	960 (24 lâmpadas)	1200	16,51
16h - 18h	100	960 (24 lâmpadas)	1200	16,51
<i>Total:</i>				66,04

**Tabela 38** - Caracterização do consumo mensal por sala de aula Tipologia B - Junho de 2018, considerando os parâmetros estáticos padrão da UFPB

Horários	Luz Artificial (%)	Potência da lâmpadas	Horas consumidas/ano	Consumo R\$/mês
8h - 10h	100	960 (12 lâmpadas)	1200	8,25
10h - 12h	100	960 (12 lâmpadas)	1200	8,25
14h – 16h	100	960 (12 lâmpadas)	1200	8,25
16h - 18h	100	960 (12 lâmpadas)	1200	8,25
<i>Total:</i>				33,04

No que diz respeito ao tipo de sistema proposto - utilização das prateleiras de luz, lâmpadas de Led com *dimmer* e luminárias de foco direto/indireto – permitiu-se uma redução

nas salas de Tipologia A de 60,70%, Tipologia B e Tipologia C de 64,86% do consumo energético, comparando-os aos equipamentos de uso padrão na UFPB. Por meio da Tabela 39, observam-se os resultados sem e com controle automático individualmente.

**Tabela 39** - Comparativo entre consumo do sistema de uso padrão da UFPB, o proposto sem dimerização e o com dimerização, para cada sala de aula Tipologia A - Junho de 2018

Sistema	Consumo energético (R\$)	Redução (%)
Padrão UFPB Tipologia A	66,04	-
Sem <i>dimmer</i> – Tipologia A	41,28	-37,49
Com <i>dimmer</i> – Tipologia A	27,52	-58,32
Padrão UFPB Tipologia B	33,04	-
Sem <i>dimmer</i> – Tipologia B	20,64	-37,53
Com <i>dimmer</i> – Tipologia B	11,61	-64,86
Padrão UFPB Tipologia C	33,04	-
Sem <i>dimmer</i> – Tipologia C	20,64	-37,53
Com <i>dimmer</i> – Tipologia C	11,61	-64,86

Sendo assim, em todas as Tipologias, os valores alcançados diante do sistema suplementar à iluminação natural, permitiram atingir os 500lux de forma homogênea, sem comprometer o conforto visual dos usuários local.

#### 4.7 Impactos x Meio Ambiente

Tratando-se dos impactos ambientais relacionados às emissões de gases de efeito estufa (GEE), derivados das fontes geradoras de energia elétrica, o estudo se propôs a uma análise da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) – metodologia internacionalmente reconhecida e validada, normatizada pela *International Organization for Standardization* nas normas ISO 14040 (ISO, 2006a) e ISO 14044 (ISO, 2006b).

Para Santana *et. al.* (2017, p. 11):

[...] no Brasil foram traduzidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em suas normas NBR 14040 (ABNT, 2014a) e NBR 14044 (ABNT, 2014b). Uma ACV completa constitui-se de impactos ambientais analisados sob várias perspectivas (e.g., danos ao ecossistema, danos a saúde humana, uso de recursos energéticos), mas a seleção de um indicador único também fornece informação ambiental interessante.

A partir disto, apropriou-se da pegada de carbono, por ser um dos fatores responsáveis pelas recentes mudanças climáticas. Ben (2017) relata que a matriz de energia elétrica despeja uma quantidade de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de aproximadamente 101,3 kg CO<sub>2</sub>eq/MWh. Em complemento, Delgado e Carvalho (2017) destacam na Tabela 40 os últimos dados dos valores encontrados de domínio público sobre a pegada de carbono associada ao consumo de eletricidade (baixa tensão) da rede elétrica brasileira.

**Tabela 40** – Fatores de emissão de gases de efeito estufa (GEE) para as tecnologias de geração de eletricidade para cada kWh por dia por habitação

Tecnologia de geração	Emissão GEE (gCO <sub>2</sub> eq/kWh)
Hidrelétrica	61,30%
Termelétrica	16,92%
Biomassa	7,49%
Eólica	5,64%
Nuclear	1,32%
Solar	0,02%

A partir do *software* SimaPro 8.0.5 (PRÉCONSULTANTS, 2015), com a base de dados Ecoinvent, o método de avaliação de impacto ambiental IPCC 2013 GWP 100a (IPCC, 2017) foi utilizado. Ele relacionou a quantidade de absorção do calor de radiação resultante da descarga instantânea de 1 kg de um gás de efeito estufa e a igual emissão de dióxido de carbono ao longo do tempo (neste caso, 100 anos). Considerando-se os estudos de Delgado e Carvalho (2017), apropriou-se do consumo de eletricidade da rede elétrica nacional de 0,299 kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh.

A Tabela 41 mostra a comparação entre as pegadas de carbono para o sistema de uso padrão da PMJP com o proposto para residência.

**Tabela 41** - Pegadas de carbono associadas ao sistema de uso padrão da UFPB e o proposto para todas as tipologias

Sistema	kWh/mês	Pegada de carbono (kg CO <sub>2</sub> -eq/mês)
UFPB	384,00	114,816
Novo	240,00	71,76

Verificou-se uma equivalência na economia do consumo de energia elétrica com o novo sistema, além da diminuição das emissões de gases poluentes, por meio de uma redução 43,05 kg CO<sub>2</sub>-eq/mês na pegada de carbono, ao comparar-se com o sistema de uso padrão da

UFPB. Já em uma projeção anual, as emissões evitadas são de 744,07 CO<sub>2</sub>-eq, significando uma redução de aproximadamente 38% toneladas na atmosfera.

Portanto, ratifica-se a importância da mitigação na emissão de CO<sub>2</sub> na economia de energia, integrando a eficiência energética da edificação com o sistema de luz artificial.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante aos resultados e as diferentes situações aferidas sobre eficiência energética e análise da iluminação natural, algumas observações podem ser feitas:

- As salas de aula envolvidas no estudo apresentaram déficit nos níveis luminosos da luz natural de até 63% em relação às normas brasileiras. Deste modo, constatou-se a necessidade de iluminação artificial complementar em parte do tempo, em virtude das tarefas visuais desenvolvidas nos momentos em que 500 lux não foram alcançados de forma homogênea. O não atendimento aos requisitos da norma pode ser atribuído às extensões das salas de aula, às películas utilizadas nas janelas e aos sombreamentos causados pelas edificações circunvizinhas. Ratifica-se assim, a importância de compreender o entorno imediato, os materiais de acabamento e a organização espacial dentro das salas de aula.
- A geometria da sala influencia diretamente a quantidade de iluminância, na qual a profundidade do vão iluminado fica mais restrita ao usuário, sendo recomendados ambientes menores. Assim como o tamanho da abertura, deve ser igualmente considerado o Fator de Céu Visível (FCV), de forma que evite o excesso de luz nas zonas próximas à janela e aumente o seu aproveitamento ao longo da profundidade de sala.
- Nos sistemas das aberturas tipo corredeira, por apresentarem película fumê, restringe-se a quantidade de incidência solar, sendo aproveitado melhor quando as janelas se encontram abertas. Outro fator a ser ressaltado condiz com a caracterização do sistema: por ser misto, apresenta partes fixas que causam a obstrução da luz natural nos horários mais críticos de incidência direta (como o início da manhã), comprometendo o seu aproveitamento ao longo do dia.
- Diante de um dos grandes desafios do uso da luz natural, a incidência direta, as salas de Tipologia A e 02, que apresentaram sombreamento externo por meio de guarda-corpo, ofereceram um desempenho melhor do que as de Tipologia C, uma vez que as fenestraçãoes sem sombreamento externo apresentaram o pior desempenho em função do fechamento delas durante grande parte do horário de ocupação.
- As recomendações das normas RTQ-C e FUNDESCOLA sobre o tamanho das aberturas apresentam-se de forma muito genéricas, uma vez que apenas relaciona os valores de áreas. Classificações climatológicas por regiões não são incorporadas, visto que interferem diretamente na autonomia da luz natural.



- A ferramenta de coleta *in loco*, o luxímetro, apresenta limitações quanto aos dados de saída, sendo necessário o auxílio de planilhas eletrônicas para codificar a avaliação do desempenho. Destaca-se a importância de procedimentos complementares e paramétricos que auxiliem a auditoria das medições.
- O uso de técnicas de arquitetura bioclimática para o aumento da eficiência energética de edificações é viável e recomendável. As prateleiras de luz melhoraram o desempenho luminoso das salas objetos de estudo de maneira razoável, mas não foram suficientes para respeitar o valor de 500 lux exigidos pela norma técnica.
- As coletas *in loco* foram representativas na compreensão do ciclo analisado. Tornou-se evidente que, nas datas que antecediam dez dias dos Equinócios e dos Solstícios, apresentaram comportamentos mais semelhantes do que os que procedem. Outro item a ser destacado são os tipos de céus em suas variações instantâneas que, diferentemente da simulação, apresentam uma precisão de fatores que se encontram no exato momento na abóboda celeste, ou superfícies reflexivas do entorno imediato que causam interferências levianas.
- Para a simulação da luz natural e artificial, o software DIALux mostrou-se apropriado por relacionar hierarquicamente as zonas de distribuição de luminância de acordo com os dados cartográficos. Entretanto, após uma interpolação dos dados, os comportamentos da luz natural em relação às coletas apresentaram certo distanciamento.
- Diante do diagnóstico da situação atual de luz natural, na diferentes salas e datas, nenhuma amostra atinge as recomendações estabelecidas pela ISO 8995, ora por não atingir os níveis de luminância, ou por não serem distribuídos uniformemente.
- Aliado ao uso de técnicas bioclimáticas, o emprego de iluminação artificial com lâmpadas a LED e luminárias mais eficientes, que estejam distribuídas a partir das zonas definidas, podem causar impacto positivo no consumo energético luminoso. O controle da quantidade necessária de luminárias acionadas com o uso de dimerização no ambiente resulta na redução drástica de quase três vezes (53% a 63%), quando comparada com o sistema padrão usado na instituição.
- A ISO 8995 (ABNT, 2013) e a NBR 5413 (ABNT, 1992) estabelecem para ambientes educacionais uma quantidade de 500 lux, sem considerar particularidades projetuais, tais como: geometria do modelo simulado, refletividades internas, altura interna das salas e o fator de transmissão de luz visível.

- No que diz respeito à análise ambiental, ao comparar o novo sistema com o sistema de uso padrão da UFPB, observa-se uma redução de aproximadamente 38% na pegada de carbono. Extrapolando os valores para toda a edificação em números, seria uma redução de emissões de aproximadamente 8.320 kg CO<sub>2</sub>-eq;

Com base no exposto, a proposta apresentada comprova a hipótese de que pode haver um ganho na eficiência energética em edificações públicas de ensino através de melhoria no desempenho luminoso. Essa estratégia abarca o equilíbrio entre o conforto luminoso dos usuários, a vida útil dos equipamentos instalados e seus impactos ambientais em relação ao consumo energético.

Trata-se de um trabalho piloto que poderá servir de base para futuros estudos no âmbito luminotécnico, além da promoção de informações úteis à completa análise de eficiência energética nos seus diversos segmentos. Recomenda-se, para futuras pesquisas: os estudos de comportamento dos usuários por meio de monitoramento *in loco* quanto aos critérios fisiológicos ajustáveis em nível de projeto (fadiga e ofuscamento); análise da luz natural nas demais salas da edificação e variação de configurações em consonância com o custo-benefício das soluções projetuais.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 482/2012, de 24 de novembro de 2015. Criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, ANEEL, Brasília-DF, 2015.

\_\_\_\_\_. **Tarifa de energia elétrica 2017/2018.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/tarifas/>>. Acesso em: 14 jul. 2017.

AJMAT, R.; MARDALJEVIC, J.; HANBY, V.I. Evaluation of shading devices using a hybrid dynamic lighting thermal model. In: Ninth International IBPSA Conference - Building Simulation 2005, 2005, Montreal, Canada. **Anais eletrônicos.** Montreal, Canada: 2005.

AJMAT, Raúl Fernando. **Precision daylight and thermal modelling of shading devices.** 2007. 215 f. Tese (Doctor of Philosophy) - Institute of Energy and Sustainable Development, De Montfort University, Leicester, 2007.

ALBUQUERQUE, M.S.C; AMORIM, C.N.C. Iluminação natural: indicadores de profundidade limite em ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais. **Ambiente Construído**, v.12, n 02, jun. 2012.

ALTOE, Leandra *et al.* Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Estudos Avançados**, 2017, vol. 31, n. 89, p. 285-297. ISSN 0103-4014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890022>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

AMORIM, C.N.D. **Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte I:** Estratégias de Projeto para uma Arquitetura Sustentável. Brasília, Nov. 2002a. Disponível em: <[http://www.unb.br/fau/posgraduação/cadernos\\_eletronicos/edição2002.htm](http://www.unb.br/fau/posgraduação/cadernos_eletronicos/edição2002.htm)>. Acesso em: 20 Nov. 2002.

\_\_\_\_\_. **Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte II:** Sistemas Inovadores para a Luz Natural. Brasília, Nov., 2002b. Disponível em: <[http://www.unb.br/fau/posgraduação/cadernos\\_eletronicos/edição2002.htm](http://www.unb.br/fau/posgraduação/cadernos_eletronicos/edição2002.htm)>. Acesso em: 20 Nov. 2002.

\_\_\_\_\_. **Iluminação Natural e Qualidade Ambiental:** Eficiência Energética e Conforto. Notas de aula. FAU/UnB. Brasília, 2002c.

\_\_\_\_\_. Diagrama Morfológico Parte I: instrumento de análise de projeto ambiental com uso de luz natural. **Paranoá Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, Brasília, DF, n. 3, p. 57-76, 2007.

AMORIM, Cláudia Naves David; CINTRA, Milena Sampaio; SUDBRACK, Larissa Olivier; CAMOLES, Gabriela Elias; SILVA, Cainã. Simulação de iluminação natural em cidades brasileiras: a influência da profundidade dos ambientes residenciais. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC, VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído - ELACAC, 2011, Búzios. **Anais eletrônicos.** Búzios: 2011.

AQUA. Referencial técnico de certificação para Edifícios do setor de serviços. **Sistema de Gestão do Empreendimento** – SGE para Edifícios em construção. Disponível em: [www.vanzolini.org.br/download/RT-SGE-14-03.pdf](http://www.vanzolini.org.br/download/RT-SGE-14-03.pdf). Acesso em: 20 Março 2018.

ASSIS, Mayara Paolla Rodrigues. **Estudo luminotécnico para escola municipal na cidade de João Pessoa**: estudo de caso escola municipal gov. Leonel Brizola, João Pessoa- PB. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). UNIPE, João Pessoa-PB, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 5461**: Iluminação. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 5413**: Iluminação. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 14724**: Informações e documentação; trabalhos acadêmicos; apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.215-1**: Iluminação Natural - Parte 1: Procedimento de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005a.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.215-2**: Iluminação Natural - Parte 2: Procedimento de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005b.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.215-3**: Iluminação Natural - Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2005c.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.215-4**: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Rio de Janeiro, 2005d.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.220-3**: Estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro. Rio de Janeiro, 2005e.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

BARBOSA, Claudia Verônica Torres. **Percepção Humanas em ambientes de trabalho**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2010.

BORBA, Isabel Maria Melo. **Avaliação do potencial de prateleiras de luz na distribuição da luz natural**: estudo em modelo reduzido. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Paraná, 2010.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2001.

BRONDANI, Sergio Antonio. **A percepção da luz artificial no interior de ambientes edificadas**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

BUENO, Cristiane. **Avaliação de desempenho ambiental de edificações habitacionais: análise comparativa dos sistemas de certificação no contexto brasileiro.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de São Carlos. São Paulo, 2010.

BUENO, Cristian; ROSSIGNOL, João Adriano. Análise da aplicação da certificação ambiental de edificações habitacionais LEED for Homes no contexto brasileiro. **Revista de pesquisa em arquitetura e urbanismo.** Programa de pós-graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo. São Paulo: IAU-USP, 2011.

CANTOR, Guillermo Andrés Rodríguez. **Influência dos fatores climáticos no desempenho de módulos fotovoltaicos em regiões de clima tropical.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Renováveis). Universidade Federal da Paraíba. Paraíba, 2017.

CARDOSO, Francisco Ferreira. **A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico.** São Paulo, 2002.

CASTRO, G. N. de. **Componente de condução da luz natural em edifícios multifamiliares.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). UFPB, João Pessoa-PB, 2013.

CATÁLOGO EVERLIGHT. Disponível em: <<http://www.everlight.com.br/>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

CGA. **Relatório preliminar do plano de gestão de logística sustentável.** Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015, p. 63.

CORBELLA, Oscar; CORNER, Viviane Nayala. **Manual de arquitetura bioclimática tropical.** São Paulo: Revan, 2011.

CRESEB/CEPEL. **Fontes de dados eólicos e solares.** Brasília, DF, 2007. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=fontes\\_dados\\_vento\\_sol](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=fontes_dados_vento_sol)>. Acesso em: 12 de dez. 2017.

DELGADO, D.B.M.; CARVALHO, M. Potential of photovoltaic solar energy to reduce the carbon footprint of the Brazilian electricity matrix. **Latin American Journal on Life Cycle Assessment**, n.1, v.1, 2017.

DIALux 4.12 software. Disponível em: <<http://www.dialux.com>>. Acesso em: 20 set. 2017.

DIDONE, Evelise Leite; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente construído**, vol. 10, n. 4, p. 139-154, ISSN 1678-8621, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212010000400010>>. Acesso: 05 fev. 2018.

DOE. United States Department of Energy. **Energy and economy.** Disponível em: <<https://energy.gov/>>. Acesso 04 jan. 2018.

ELETROBRÁS/PROCEL. **Manual para aplicação do RTQ-C.** 2013. v. 02.

ETENE. **Informe Técnico do Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste.** Ambiente de Estudos, Pesquisas e Avaliação Célula de Estudos e Pesquisas. Disponível em: <<https://www.bnb.gov.br/publicacoes-editadas-pelo-etene/informe-etene>>. Acesso em: 2 jan. 2018.

FALCÃO, Rosa. Energia limpa tem incentivo em PE. **Diário de Pernambuco**, Recife, 22 maio 2012. Disponível em: <<https://pedesenvolvimento.com/2012/05/22/energia-limpa-tem-incentivo-em-pe/>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

FONSECA, Raphaela Walger; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Sequência metodológica para a estimativa da iluminação natural e suas implicações em sistemas de avaliação de desempenho de edificações. **Ambiente construído**, vol. 17, n. 1, p. 55-68, ISSN 1415876, 2017. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100123>>. Acesso em: 06 fev. 2018.

FROTA, A. B. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

GARROCHO, Juliana Saiter. **Luz natural e projeto de arquitetura**: estratégias para iluminação natural em centros de compras. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2005.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDEMBERG, J.; AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. 1. ed., v. 5. São Paulo: Blucher, 2011.

GREGORY, R. L. **Olho e cérebro**. Rio de Janeiro: Zahar, 1979.

GUERRINI, Délio Pereira. **Iluminação Teoria e Projeto**. São Paulo: Editora Érica, 2008.

HATHAWAY, Warren E; HARGREAVES, John; THOMPSON, Gordon; NOVITSKY, Dennis. **A study into the effects of types of light on children**: a case of Daylight Robbery. Alberta Education, 1992. Disponível em: <<https://eric.ed.gov/?id=ED343686>>. Acesso: 01 fev. 2018.

HEYWOOD, Huw. **101 Regras básicas para uma arquitetura de baixo consumo energético**. Gustavo Gill, São Paulo, 2015.

HOLANDA, Armando de. **Roteiro para se construir no Nordeste**: arquitetura como lugar ameno nos trópicos ensolarados. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano). Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 1976, 48p.

IIDA, Itiro. **Ergonomia**: projeto e produção. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. **Base de dados estações automáticas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Regulamento TRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e QuaC.** Rio de Janeiro, 2010.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the kyoto protocol.** 2013. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>>. Acesso em 22 nov 2017.

INTERNATIONAL LIGHTING HANDBOOK. **The IESNA lighting handbook.** New York: Illuminating Engineering Society of North America, 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14040:** Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Geneva, 2006a.

\_\_\_\_\_. **ISO 14044:** Covers life cycle assessment (LCA) studies and life cycle inventory (LCI) studies. Geneva, 2006b.

\_\_\_\_\_. **ISO 15469:** Spatial Distribution of Daylight - CIE Standard General Sky. The International Commission on Illumination (CIE S011/E:20033), Switzerland, 2004.

JAGGER, Michelle. Certificações e selos verdes. **Revista PUC**, Departamento de Artes e Design, São Paulo, 2011.

KOWALTOWSKI, Doris. **Arquitetura Escolar:** o projeto do ambiente de ensino. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. **Eficiência energética na arquitetura.** 3. ed. Eletrobras/Procel, 2014.

LUCENA, Mariana C. Melo Lucena; NOME, Carlos Alejandro Nome. **Avaliação dos parâmetros dinâmicos e estáticos do conforto lumínico em salas de aula do Centro de Tecnologia na Universidade federal da Paraíba.** VI Encontro Nacional de Ergonomia do Ambiente Construído. Recife, 2015.

LIMA, Marina. **Percepção Visual Aplicada a Arquitetura e Iluminação.** Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda., 2010.

LUCENA, Mariana C. Melo Lucena; NOME, Carlos Alejandro. Avaliação dos parâmetros dinâmicos e estáticos do conforto lumínico em salas de aula do Centro de Tecnologia na Universidade federal da Paraíba. In: VI Encontro Nacional de Ergonomia do Ambiente Construído. **Anais...** Recife, 2015.

MACÊDO, C.C.; PEREIRA, F. O. R. Sistemas que Utilizam a Luz Direta do Sol para a Iluminação Natural: uma Proposta para a Análise do Desempenho Térmico e Luminoso. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR: 2002. p. 297-306.

MARDALJEVIC, John; NABIL, Azza. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, vol. 38, 2006.

MORAES, Leticia Niero; CLARO, Anderson. Estudo comparativo de sistemas de iluminação artificial considerando luz natural e consumo de energia. **Ambiente construído**, vol. 13, n. 4, p. 59-74, ISSN 1678-8621, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212013000400005>>. Acesso em: 06 fev. 2018.

MORAIS, Luciano Cardoso. **Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e tendências futuras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2017.

MOREIRA, Vinícius de Araújo. **Iluminação e fotometria: teoria e aplicação**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

MOREIRA, J. R. S. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC & GEN, 2017. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-daoperacao/carga\\_energia.aspx](http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-daoperacao/carga_energia.aspx)>. Acesso em: 02 out. 2017.

NIKOLIĆ, N; LUKIĆ, N; TIMOTIJEVIĆ, S; TASIĆ, S. Influence of an unheated apartment on the heating consumption of residential building considering current regulations: Case of Serbia. **Elsevier**, vol. 155, p 16-24, ISSN 0378-7788, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.006>>. Acesso: 06 fev. 2018.

OLIVEIRA, Lilian Silva. **Gestão Energética de Edificações Públicas no Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade de Brasília Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Elétrica. Brasília, 2013.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Entenda o cálculo do IDH Municipal (IDH-M). **PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD)**, 2016. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br>>. Acesso em: 09 nov. de 2017.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. Osasco, SP, 2000.

PAIS, Aida Maria Garcia. **Condições de Iluminação em Ambiente de Escritório: Influência no conforto visual**. Dissertação (Ergonomia na Segurança no Trabalho). Universidade Técnica de Lisboa, 2011.

PARAÍBA (Estado). Lei nº 1.347 de 27 de abril de 1971. Institui o Código de Obras do município de João Pessoa e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, João Pessoa, PB, 2001.

\_\_\_\_\_. Lei nº 10.718, de 22 de Junho de 2016. Dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de sistemas de captação de energia solar na construção de novos prédios, centros comerciais e condomínios residenciais. **Diário Oficial do Estado**, João Pessoa, PB, 2016a.

\_\_\_\_\_. Lei nº 10.720, de 22 de Junho de 2016. Institui a Política Estadual de Incentivo à Geração e Aproveitamento da Energia Solar e Eólica no Estado da Paraíba e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, João Pessoa, PB, 2016b.



PEDRINI, Aldomar. TRINDADE, Sileno Cirne. Aplicação de conceitos da arquitetura bioclimática como exemplo de eficiência energética no clima quente e úmido. **Revista USP**, São Paulo, 2010. Disponível em: <[https://www.usp.br/nutau/sem\\_nutau\\_2010/metodologias/pedrini\\_aldomar.pdf](https://www.usp.br/nutau/sem_nutau_2010/metodologias/pedrini_aldomar.pdf)>. Acesso: 4 jan. 2018.

PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; ABREU, S.L.; RÜTHER, R. Atlas brasileiro de energia solar. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. São José dos Campos, 2006.

PEREIRA, R. C. **A qualidade da iluminação no ambiente construído**: estudo da iluminação espacial e do brilho das superfícies. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

PRESTES, Maria Luci de Mesquita. **A pesquisa e a construção do conhecimento científico**: do planejamento aos textos, da escola à academia. 2. ed. São Paulo: Rêspel, 2003.

PROCEL. **Manual de Iluminação**. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **Selo Procel Edificações**. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **Relatório de resultados do Procel 2017**. Rio de Janeiro, 2017.

PRÉ CONSULTANTS. **SimaPro software**. 2015. Disponível em: <<http://www.simapro.nl>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. **Leukos**, v. 3, n. 1, 2006.

RICARDO SANCIONA LEIS sobre fontes alternativas de energia. **Portal do Governo da Paraíba**, João Pessoa, 26 jun. 2016. Disponível em: <<http://paraiba.pb.gov.br/ricardo-sanciona-leis-sobre-fontes-alternativas-de-energia/>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

ROBBINS, Claude. **Daylighting**: Design and Analysis. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986.

ROMÉRO, Marcelo de Andrade; REIS, Lineu Belico. **Eficiência energética em edifícios**. 1ª ed. Manole, São Paulo, 2012.

ROIZENBLATT, Isac. **Iluminação Urbana**: A visão dos conceituadores da luz. 44ª ed., Setembro de 2009. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/edicoes/139-iluminacao-urbana-a-visao-dos-conceituadores-da-luz.html>>. Acesso: 11 ago. 2017.

SANTANA, Camila Sales Nóbrega; LIMA FILHO, Marçal Rosas Florentino; CARVALHO, Monica. Avaliação energética e ambiental de condomínio para habitação de interesse social: estudo de caso do Bairro São José. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – Congestas. **Anais...**, v. 5, 2017, ISSN 2318-7603.

SANTOS, Iara Gonçalves; SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves. Proteções solares no Regulamento brasileiro de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 227-241, jan./mar. 2012.

SCALDO, Veridiana Atanasio; PEREIRA, Fernando Oscar; RIGATTI, Decio. Impacto de novas edificações na vizinhança: proposta de método para a análise das condições de iluminação natural e insolação. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 171-187, abr./jun. 2010.

SKETCHUP 16.0. **Software**. Disponível em: <<http://www.sketchup.com/pt-BR>>. Acesso em: 20 set. 2017.

SEVERINO, Antônio Joaquim . **Metodologia do Trabalho Científico**. 24<sup>a</sup> ed. São Paulo: Cortês, 2016.

SOARES, Pereira Camila. **Avaliação da iluminação em ambientes educacionais visando eficiência energética**: estudo de caso da edificação do centro de energias alternativas e renováveis (CEAR/UFPB). João Pessoa: Conclusão de curso, UFPB, 2017.

SOLANO, Nelson; GONÇALVES, Joana Carla Soares. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo. Editora UNIABC, 2009.

SOL-AR 6.2 **Analysis SOL-AR software**. 2009. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

SOUZA, M. B. de. **Potencialidade do aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica**. Florianópolis: UFSC, 2003.

SOUZA, Roberta V. **Iluminação Natural em edificações**: Cálculo de Iluminâncias Internas – Desenvolvimento de Ferramenta Simplificada. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, UFSC, 1997. Disponível: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/77268>>. Acesso: 01 fev. 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS. **Relatório de Gestão 2017**. Disponível em: <<https://proplan.ufba.br/relatorio-de-gestao-2016>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA. **Relatório de Gestão 2016/2017**. Disponível em: <<https://proplan.ufba.br/relatorio-de-gestao-2016>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO. **Relatório de Gestão 2016/2017**. Disponível em: <<http://www.ufal.edu.br/transparencia/relatorios/gestao/ano-2016/relatorio-geral>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. **Arquivos climáticos para simulação energética de edificações**. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads>>. Acesso 20 set. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. **Relatório de Gestão 2016/2017**. Disponível em: < <http://www.proplan.ufpb.br/proplan/contents/menu/ploplan/documentos-1/relatorios-de-gestao/relatorio-de-gestao-2016.pdf/view>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PERNAMBUCO. **Relatório de Gestão 2016/2017**. Disponível em: <[https://www.ufpe.br/documents/38954/737220/relatorio+de+gestao\\_e\\_contas\\_22\\_07\\_16.pdf/689cce2e-d223-45bc-b965-ea5bda25a690](https://www.ufpe.br/documents/38954/737220/relatorio+de+gestao_e_contas_22_07_16.pdf/689cce2e-d223-45bc-b965-ea5bda25a690)>. Acesso em: 22 dez. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE. **Relatório de Gestão 2016/2017**. Disponível em: <<http://www.ufrn.br/resources/documentos/pdi/Relatorio-Final-De-Droposta-De-Metas.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2017.

VEITCH, J.; Newsham, G.; BOYCE, P. **Lighting appraisal, well-being and performance in open-plan offices: A linked mechanisms approach**. Lighting Research and Technology, 2008.

VIANA, N.S; GONÇALVES, J.C.S. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Vitruvius s/c Ltda, 2001.

VIANA, Trajano de Souza.; RÜTHER, Ricardo; MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno. Potencial de Geração Fotovoltaica com concentração no Brasil. In: III Congresso brasileiro de energia solar. **Anais...**, Belém, 2010.

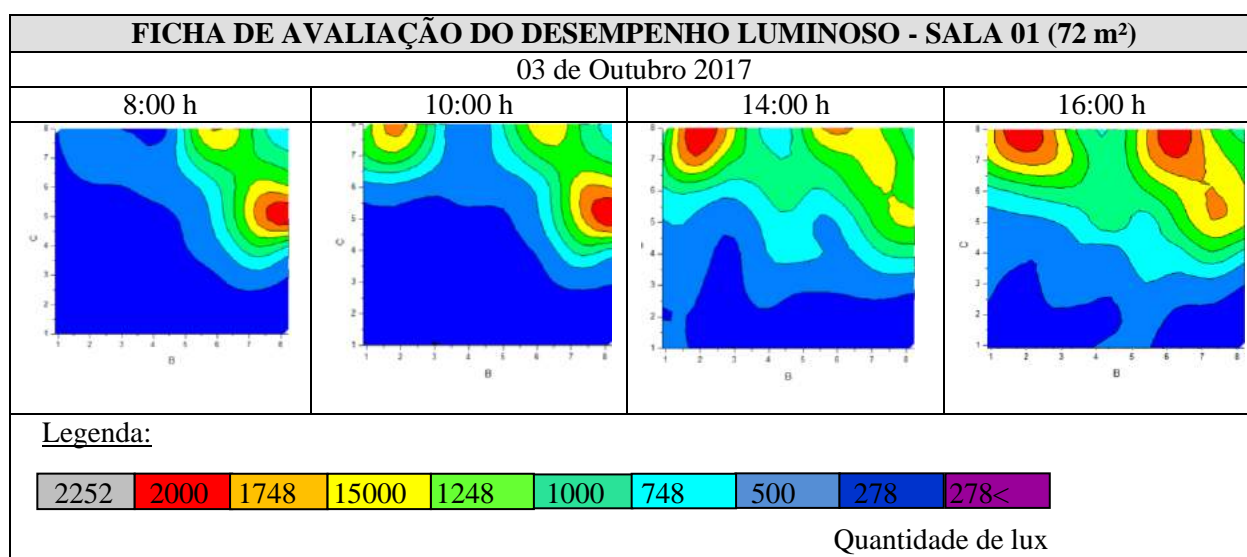
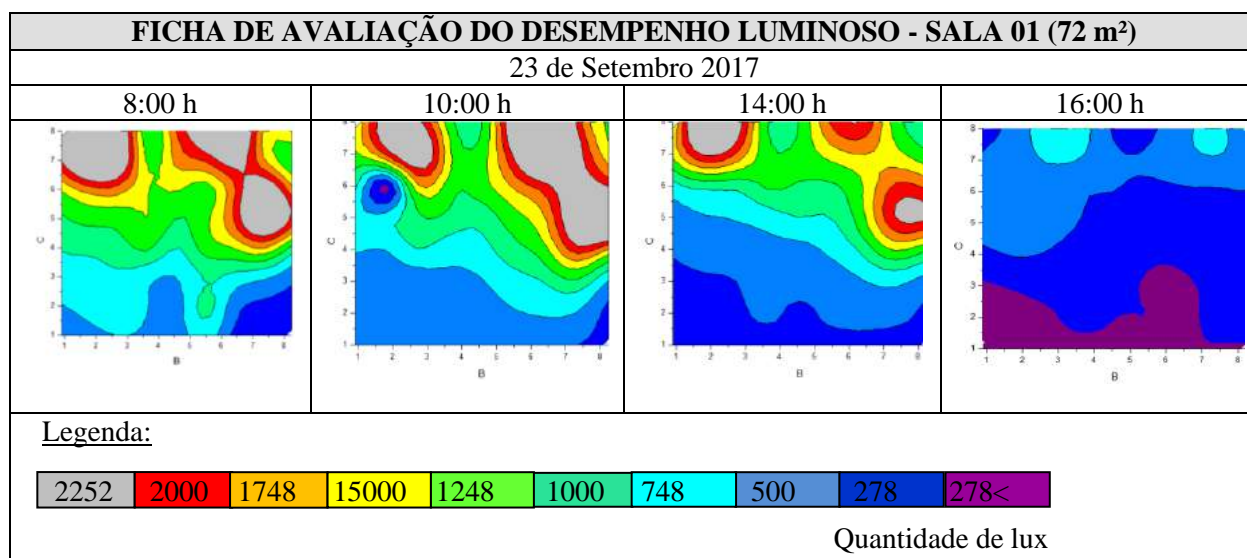
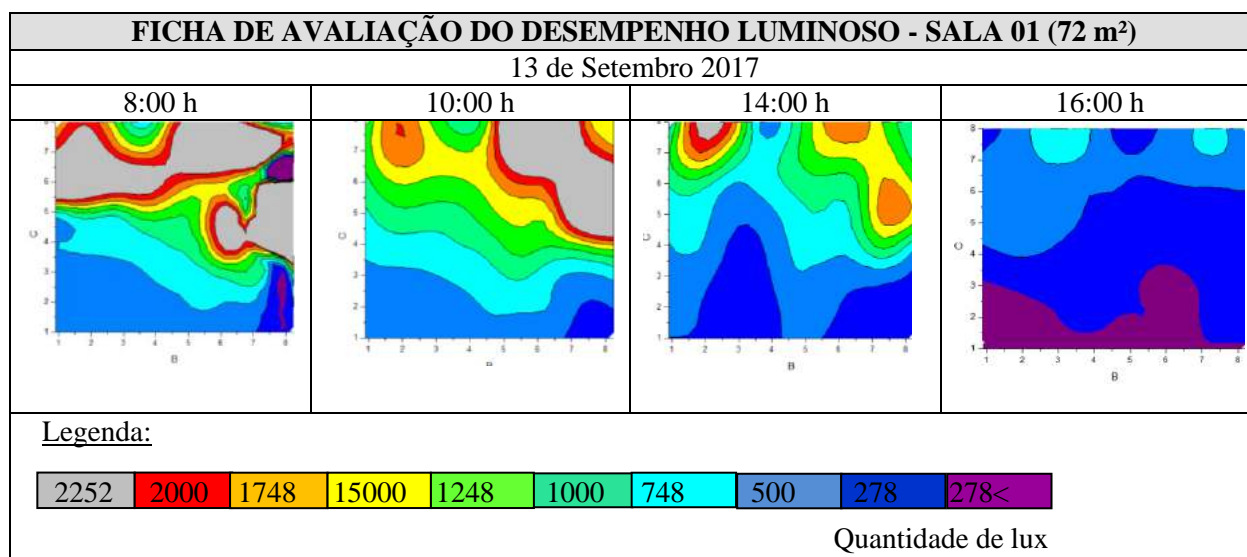
VIEIRA, Cíntia Cristina. **Conforto térmico e iluminação natural no edifício administrativo da escola de engenharia de São Carlo**. São Carlos-SP, 187 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de São Carlos-SP, 2008.

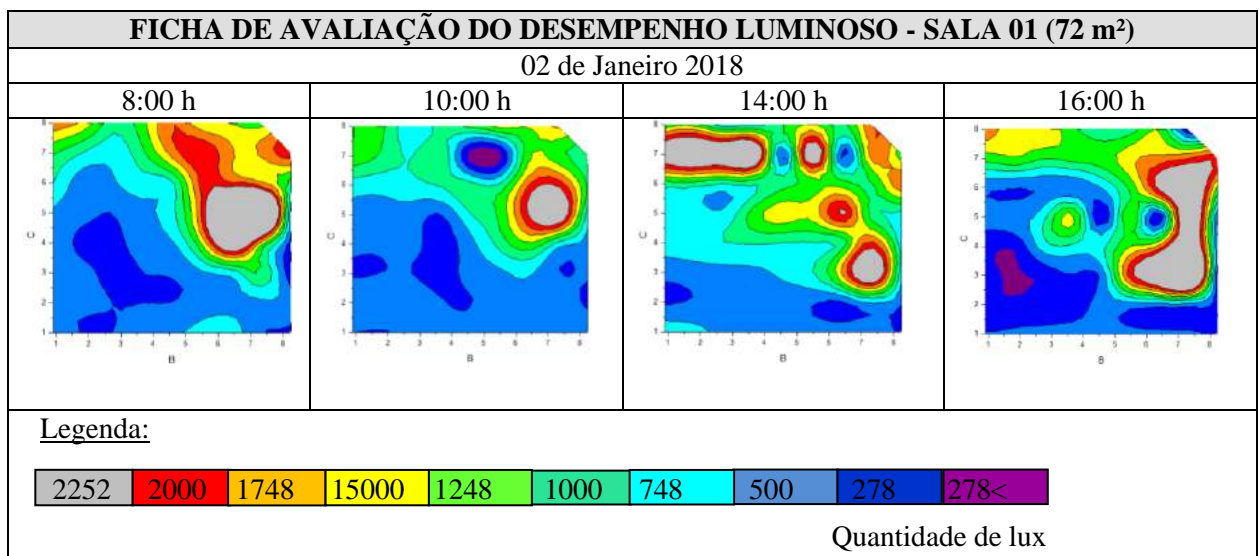
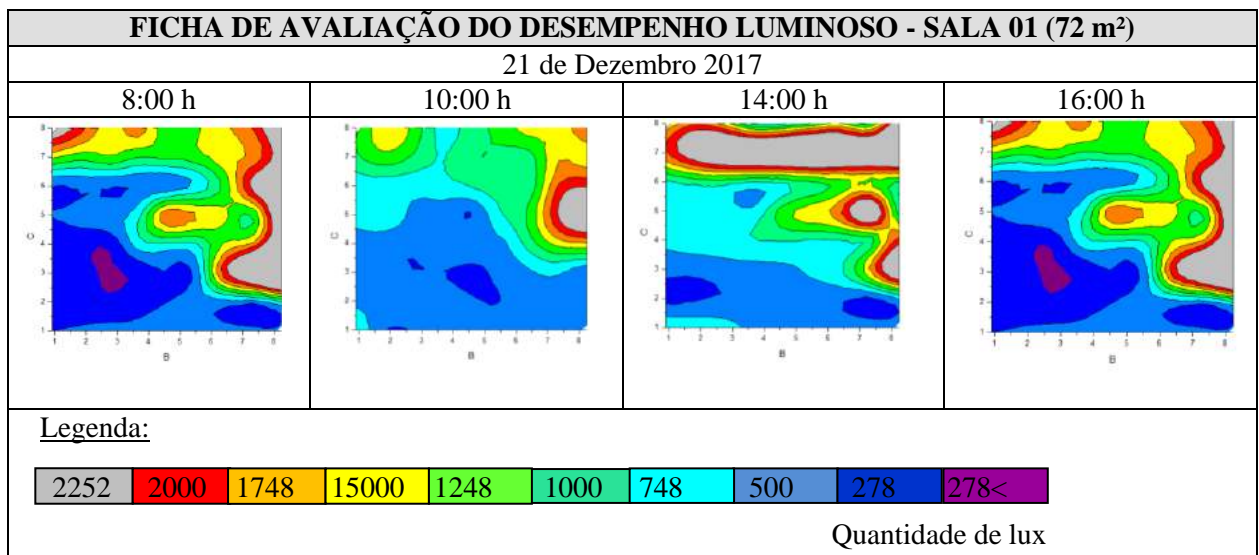
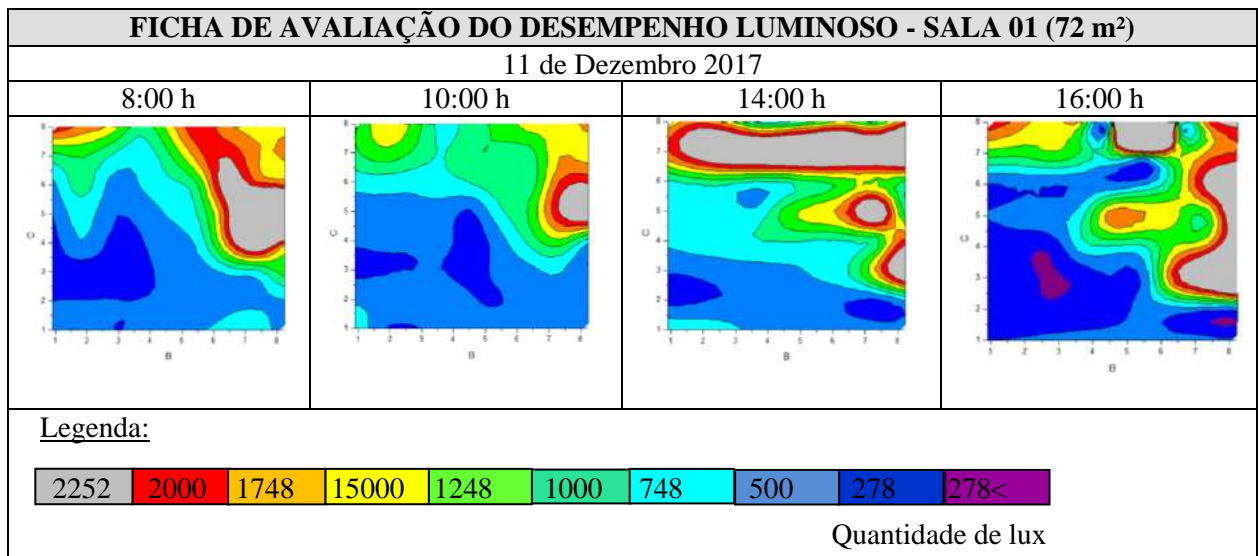
VIEIRA FILHO, José Valmir Ramos. **Certificações de sustentabilidade em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo**. São Paulo-SP, 118 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2015.

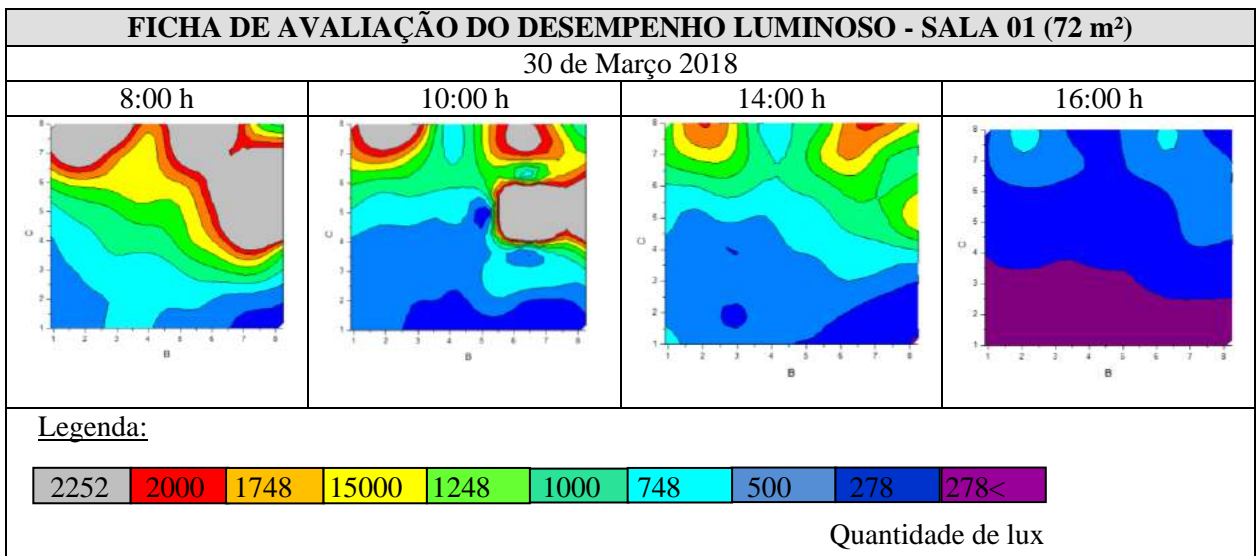
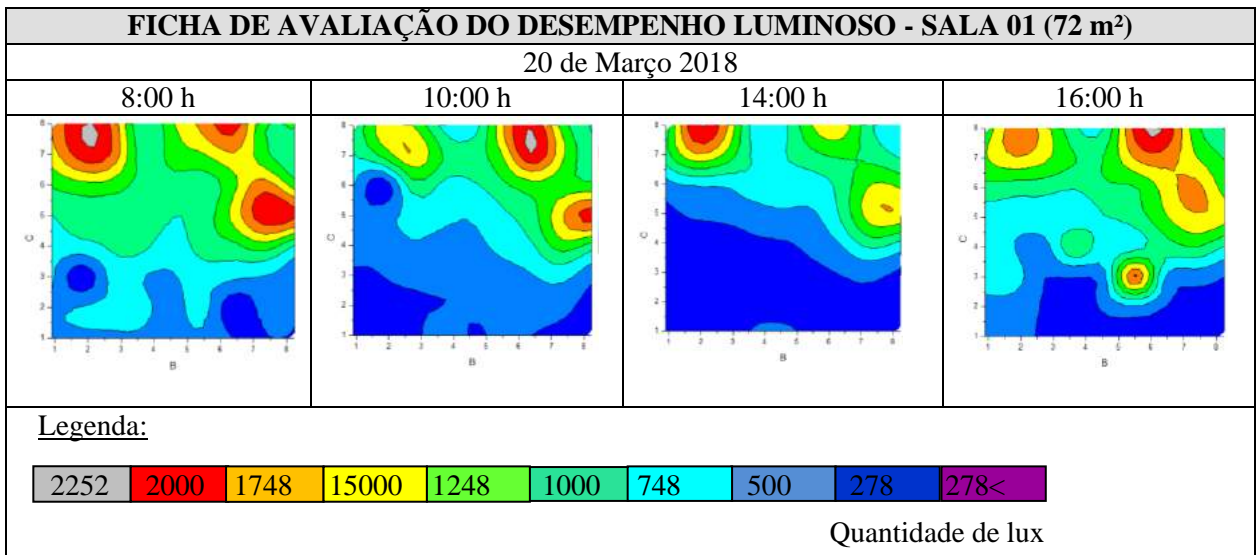
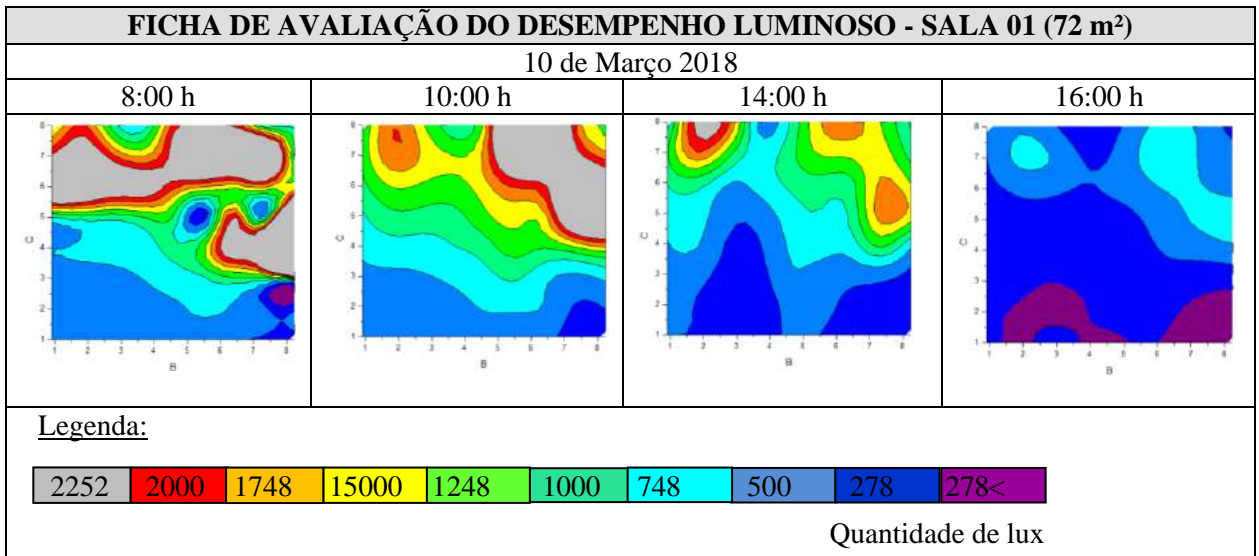
VOSGUERITCHIAN, ANDREA BAZARIAN. **A abordagem dos sistemas de avaliação de sustentabilidade da arquitetura nos quesitos ambientais de energia, materiais e água, e suas associações às inovações tecnológicas**. São Paulo-SP, 251 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2006.

WERTHEIN, J. É preciso mais que um ensino médio. **Gazeta do Povo**, 2010.

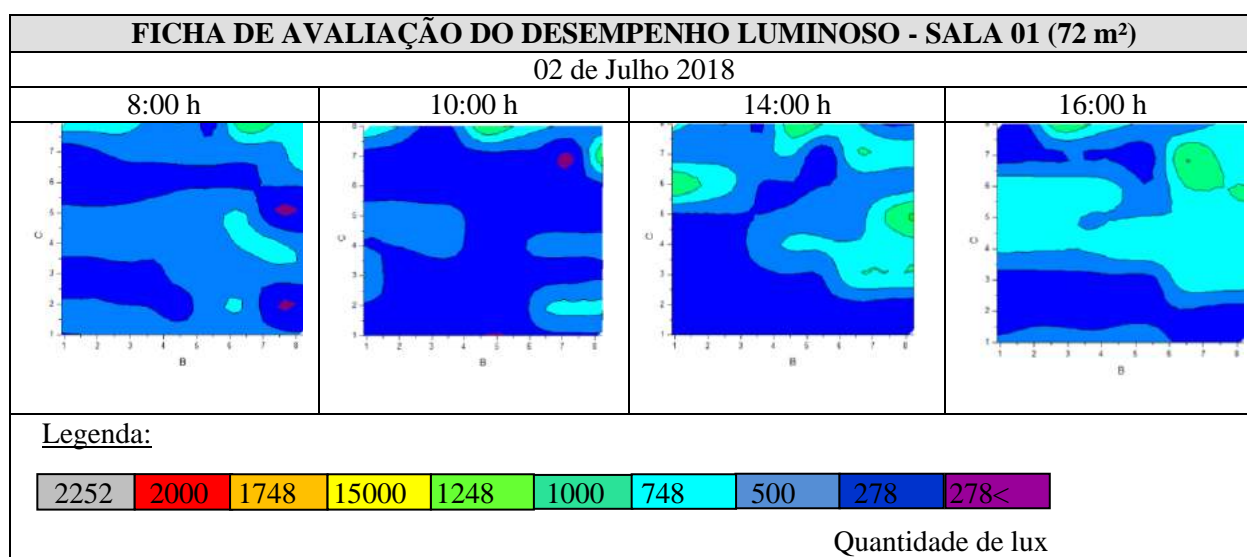
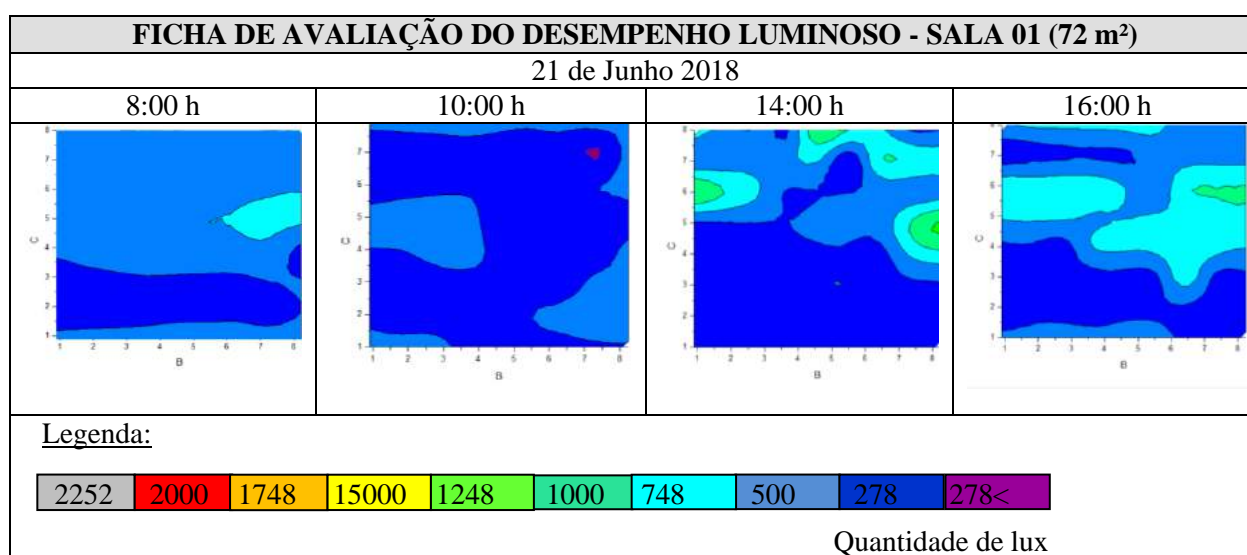
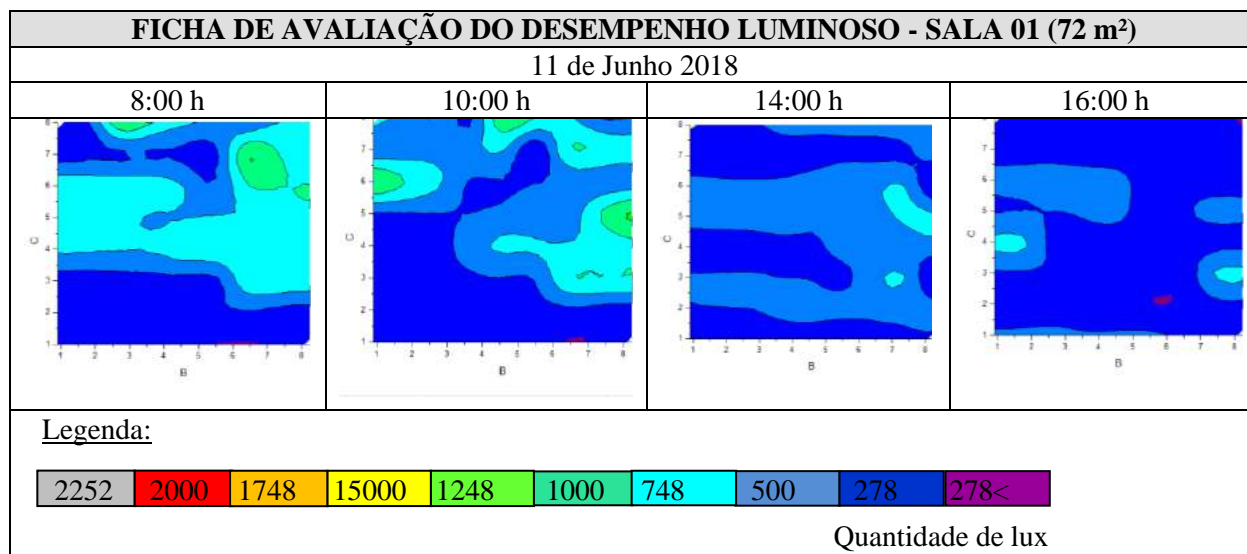
### APÊNDICE 1: Fichas De Avaliação do Desempenho Luminoso *in loco* – SALA 01



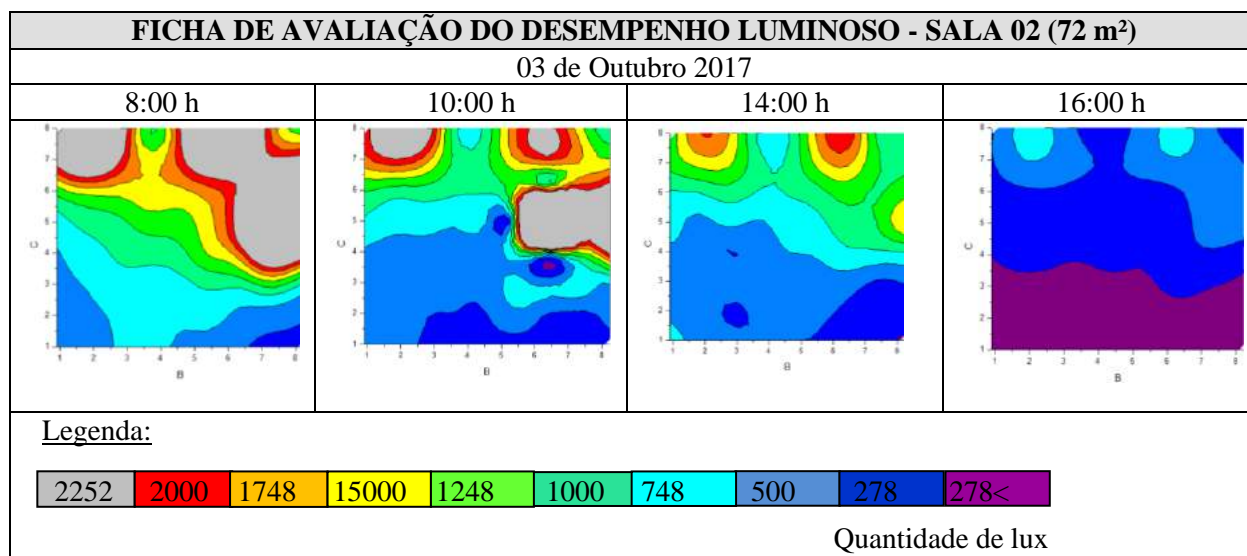
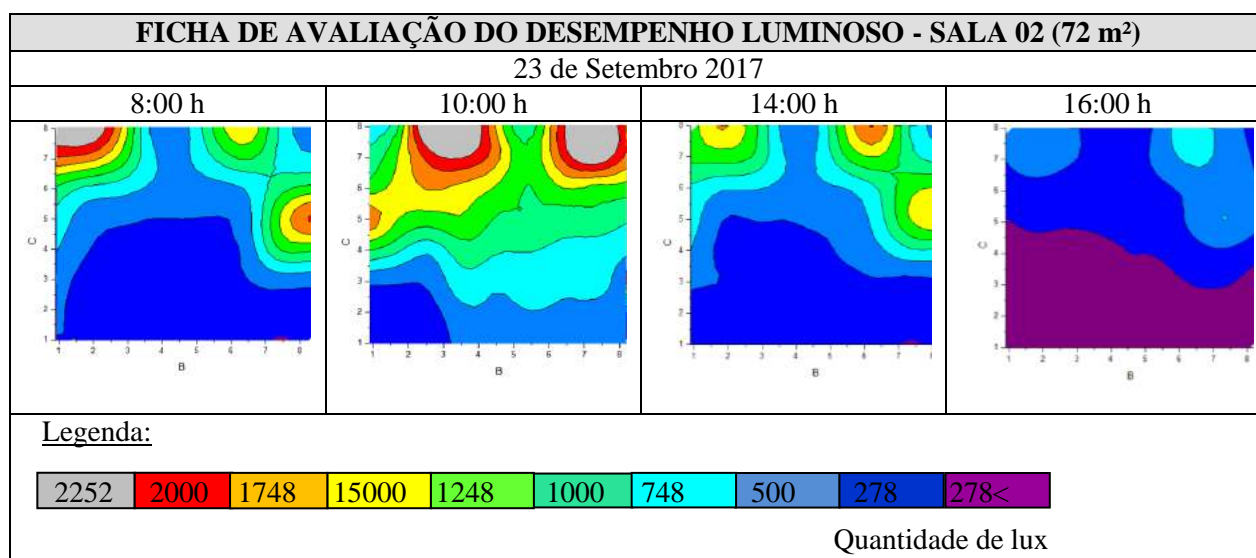
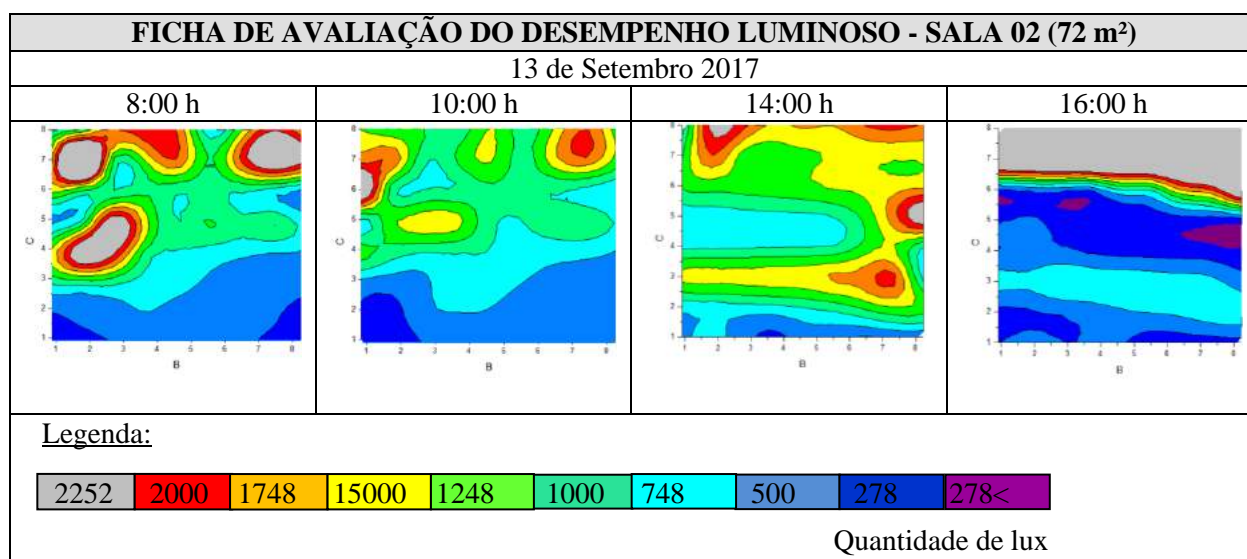




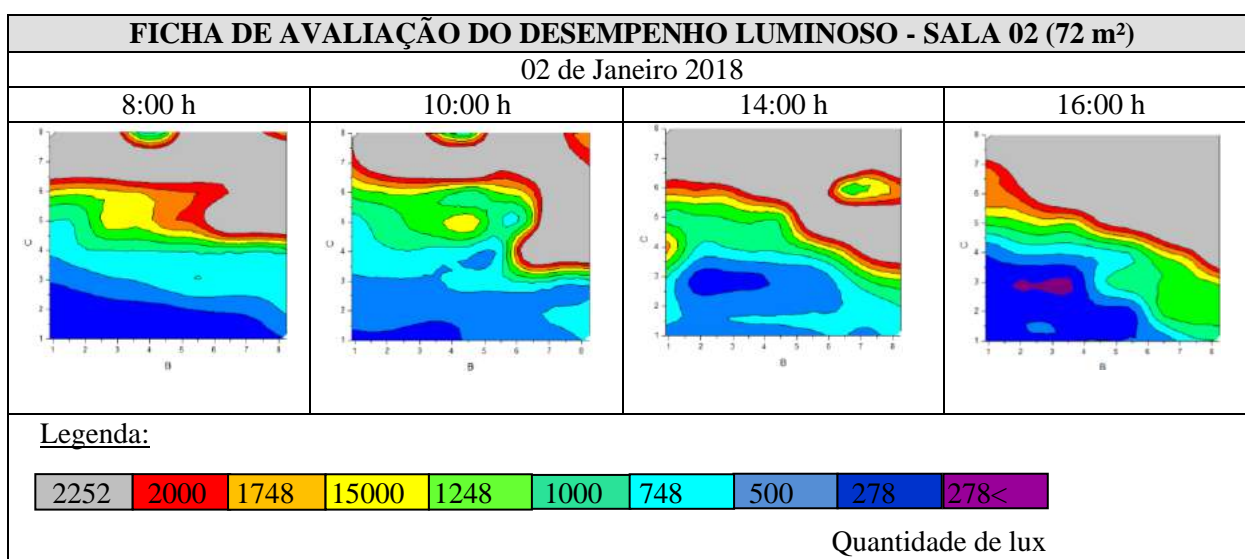
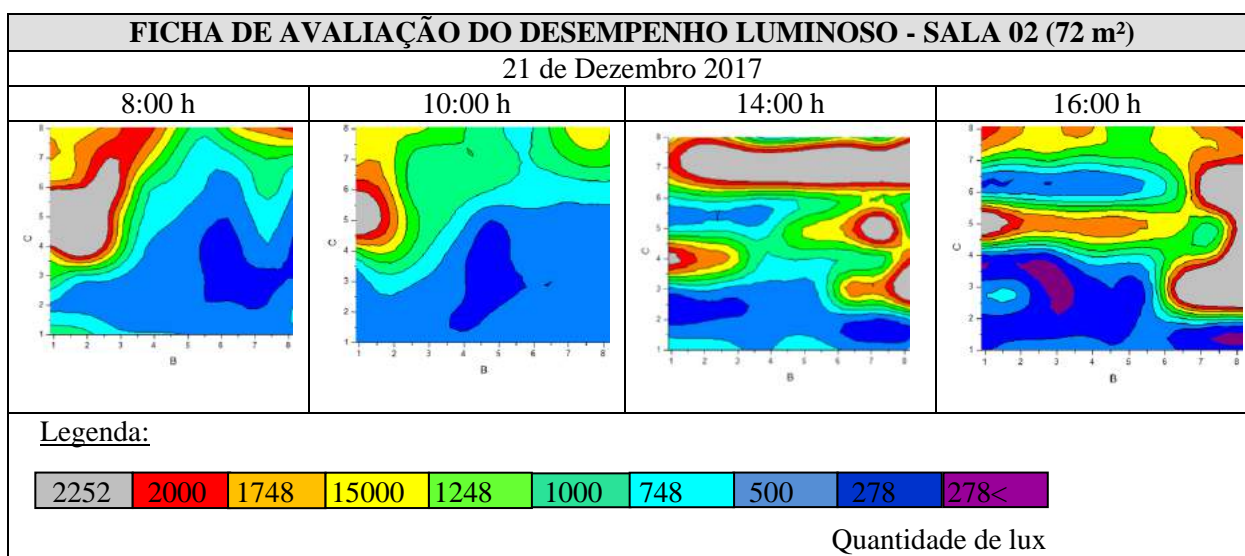
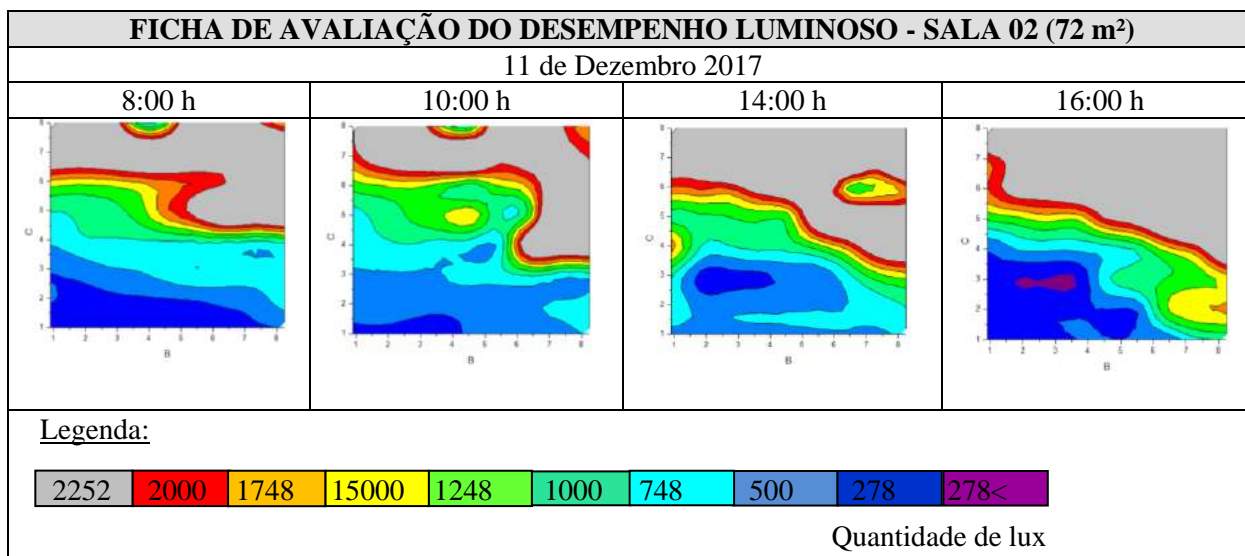


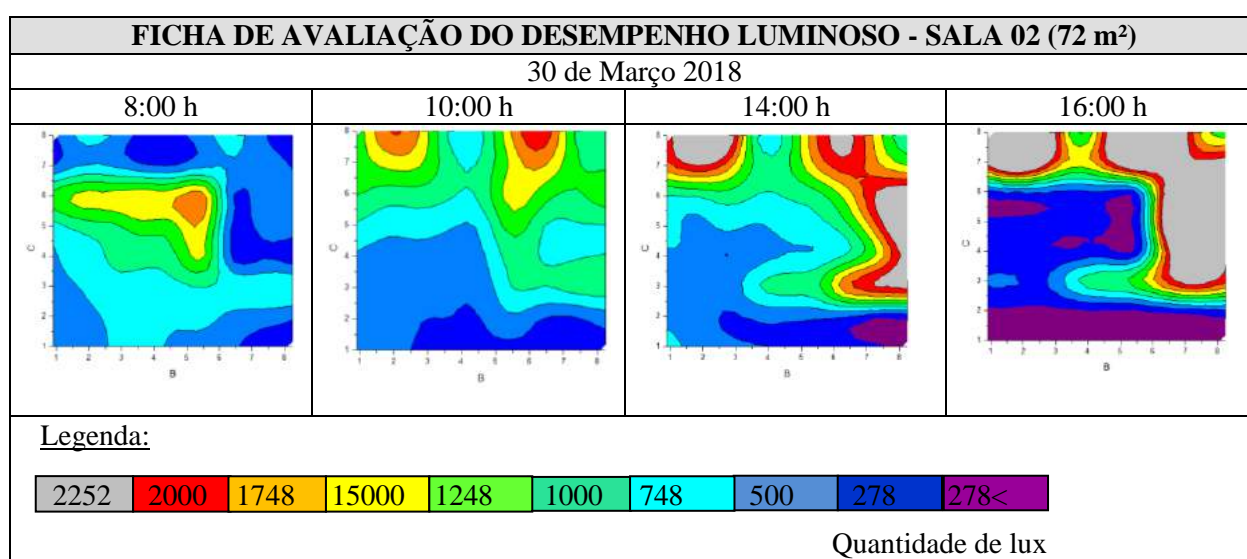
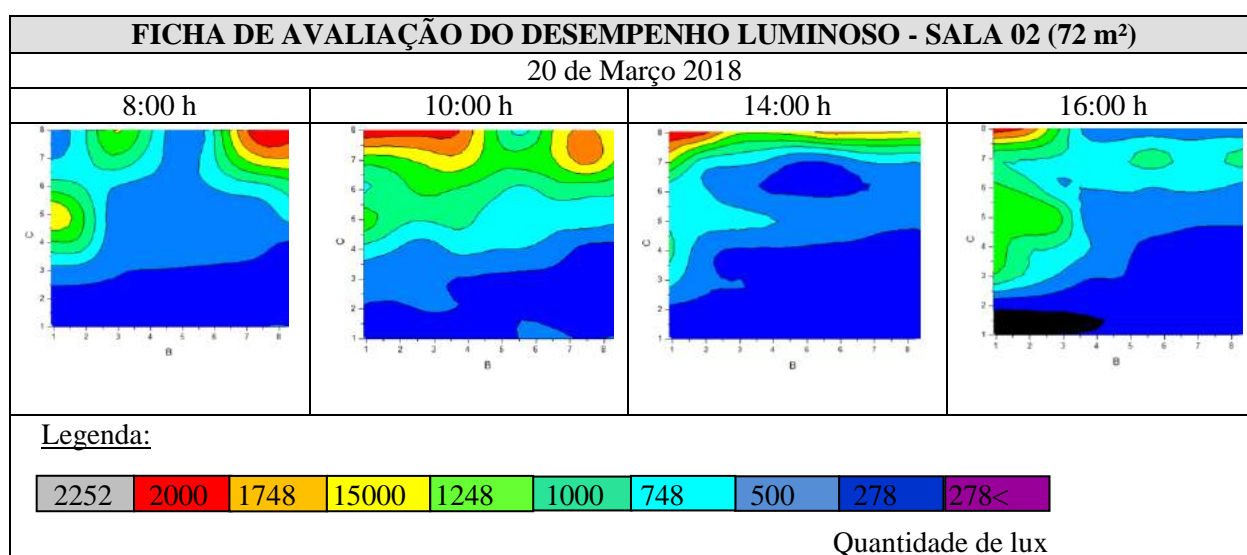
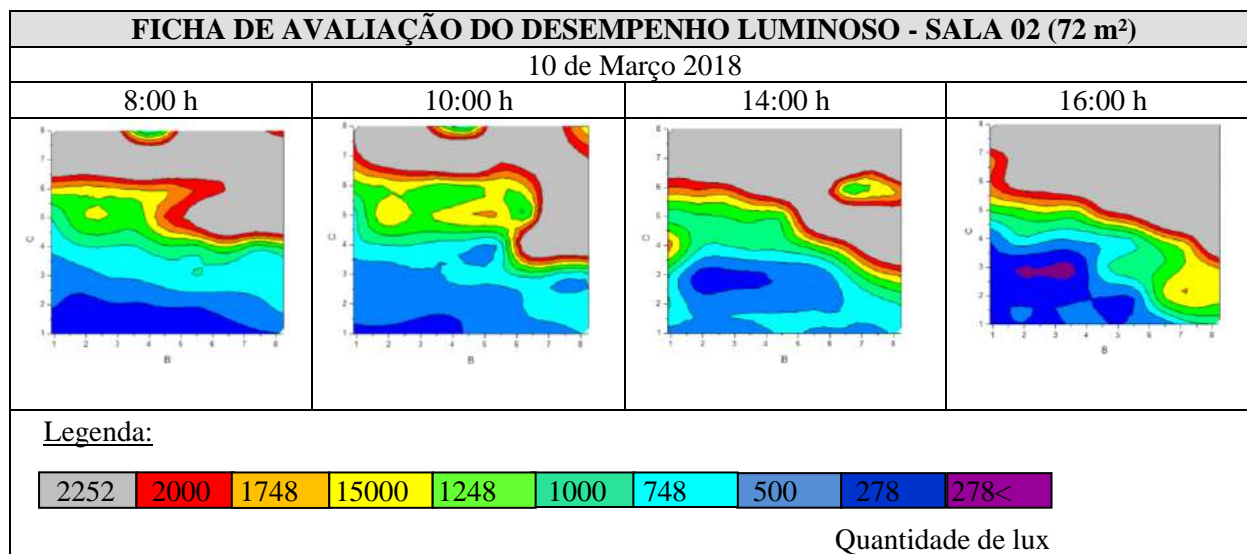


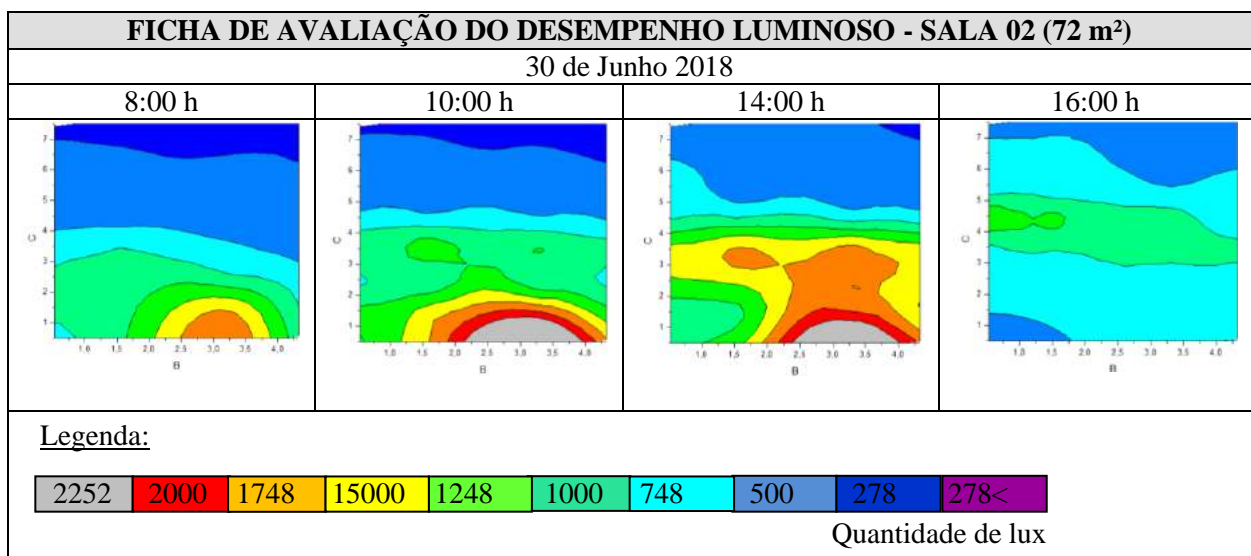
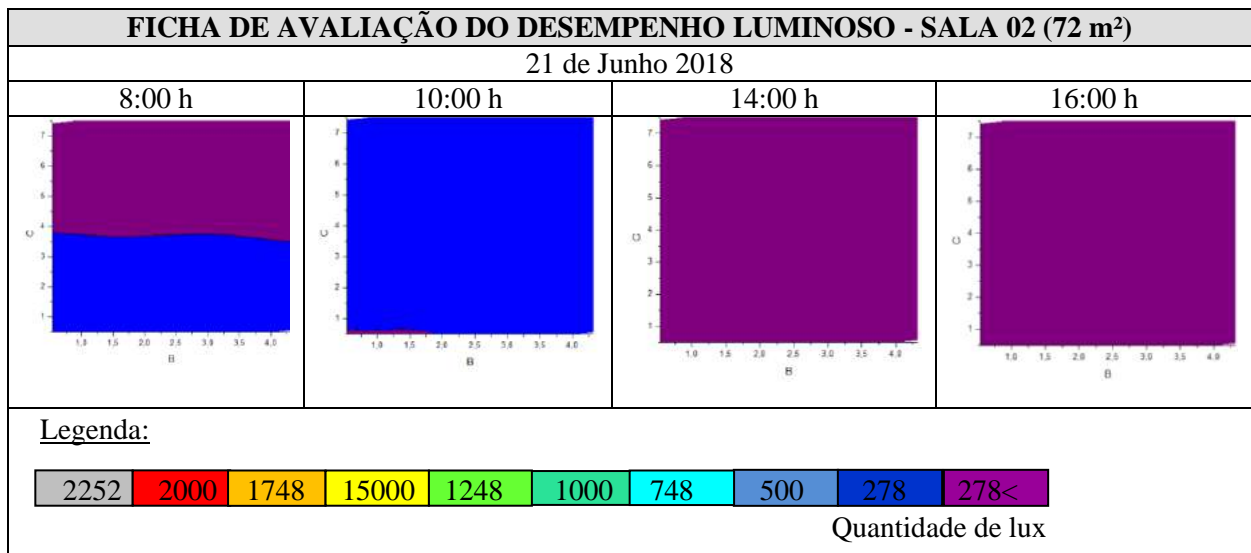
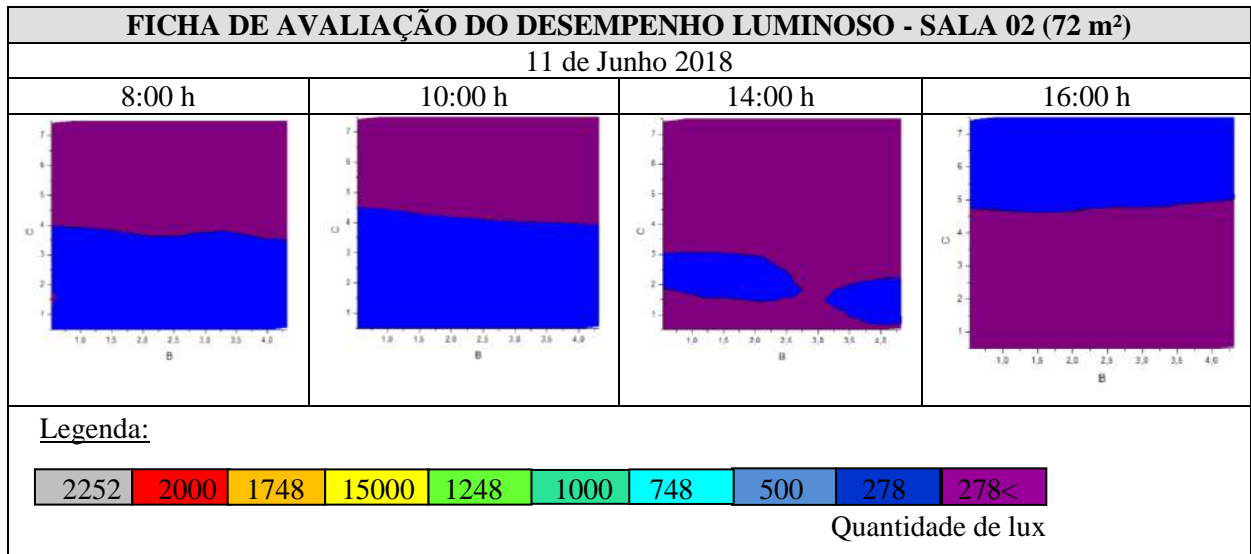
## APÊNDICE 2: Fichas De Avaliação do Desempenho Luminoso *in loco* – SALA 02



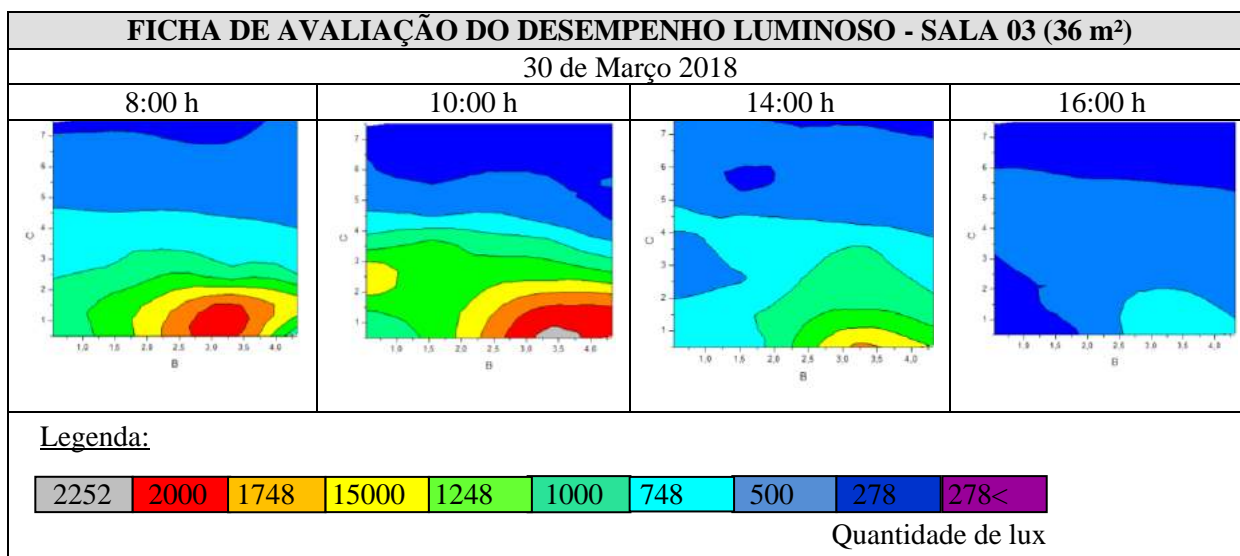
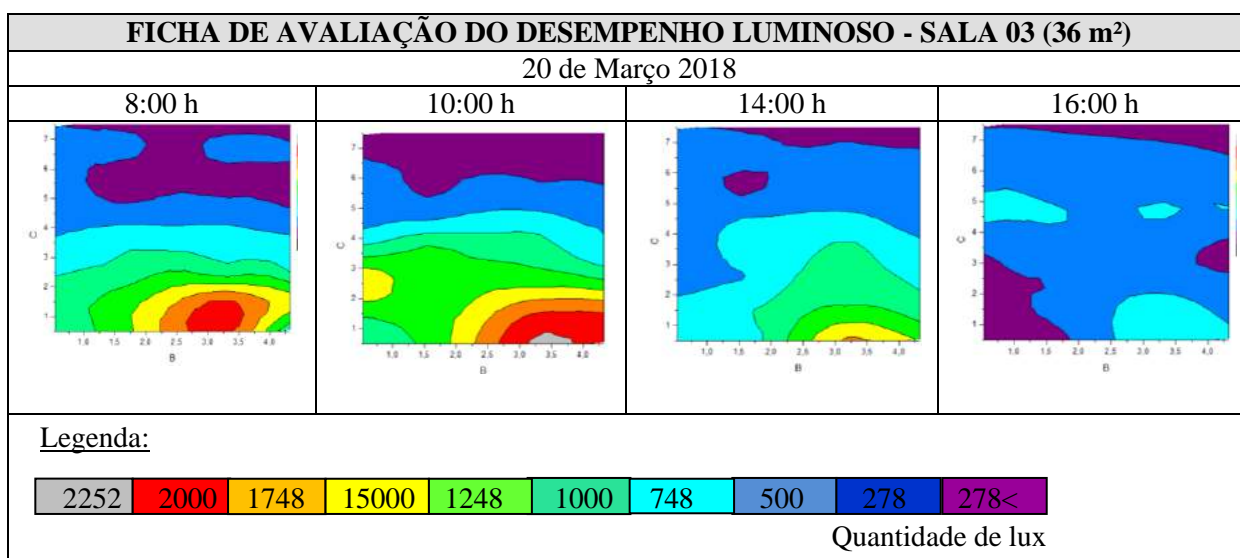
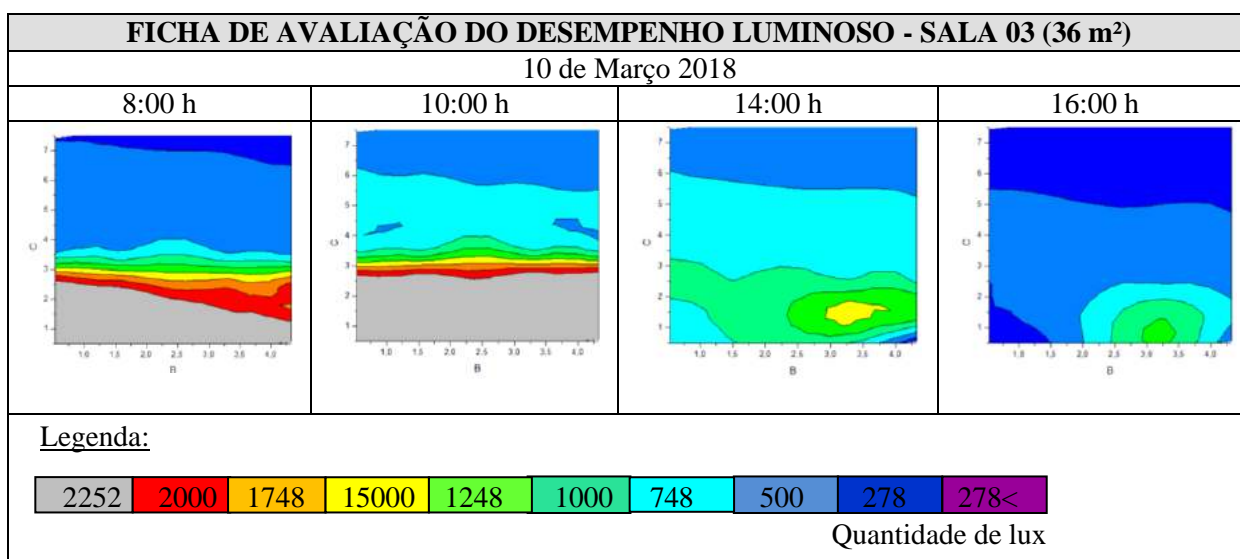


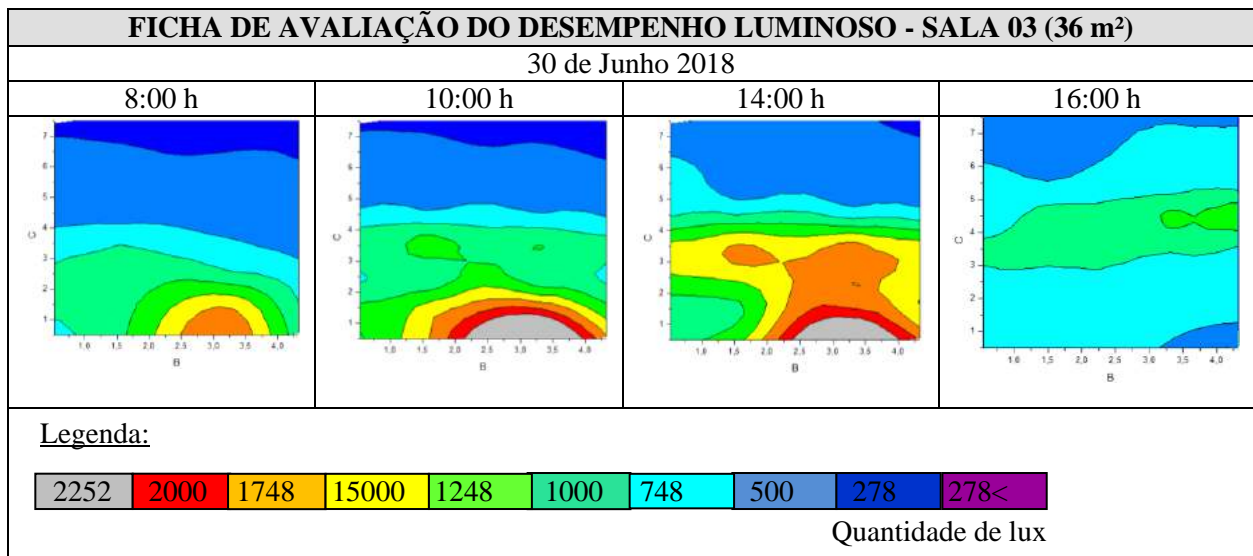
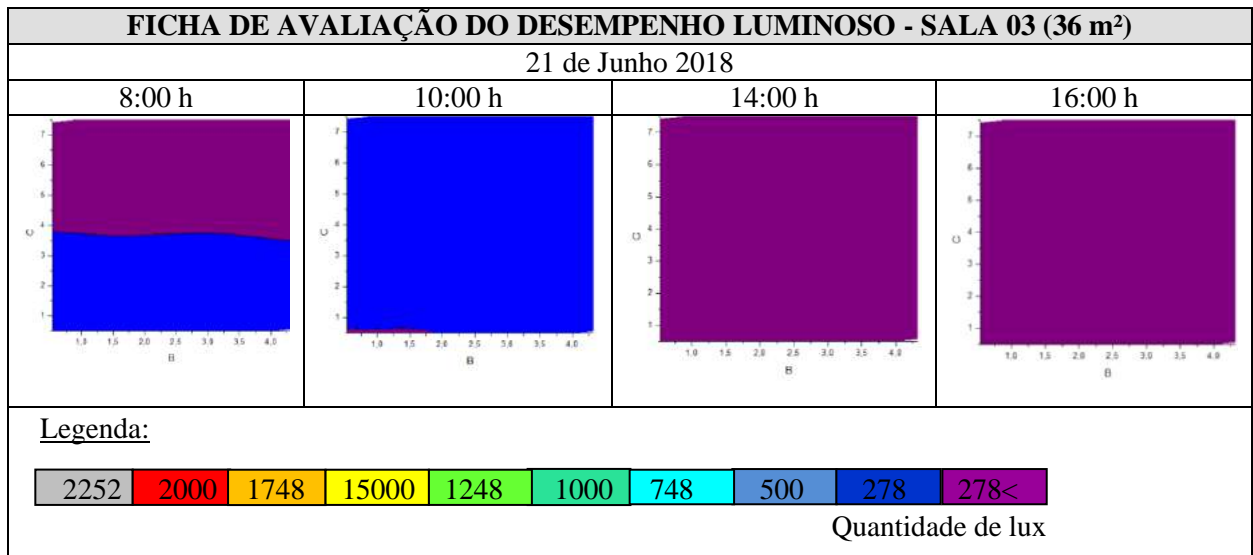
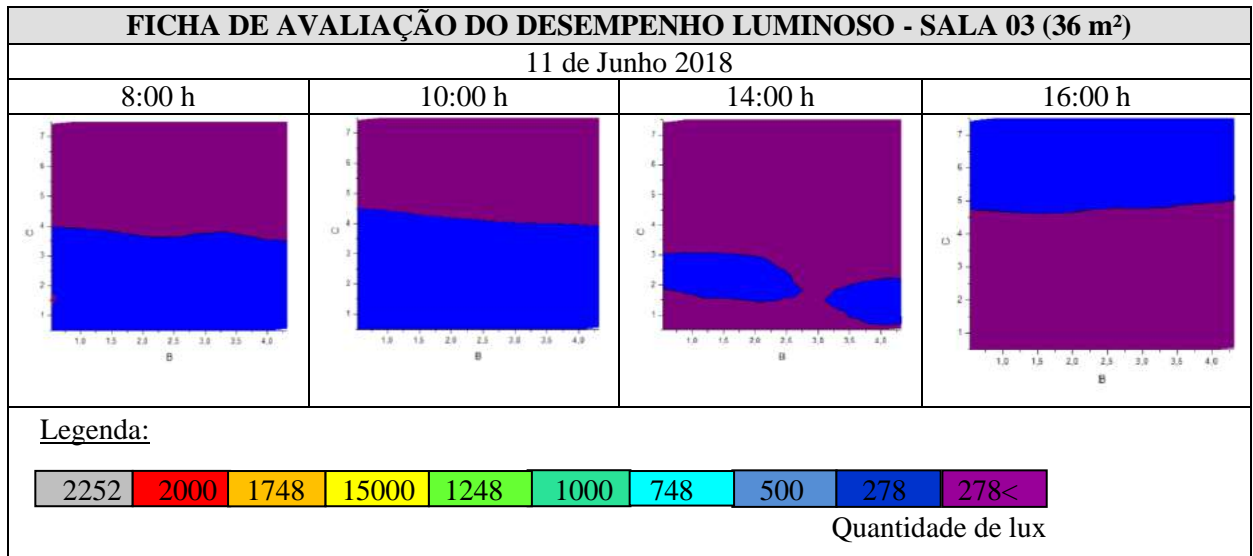






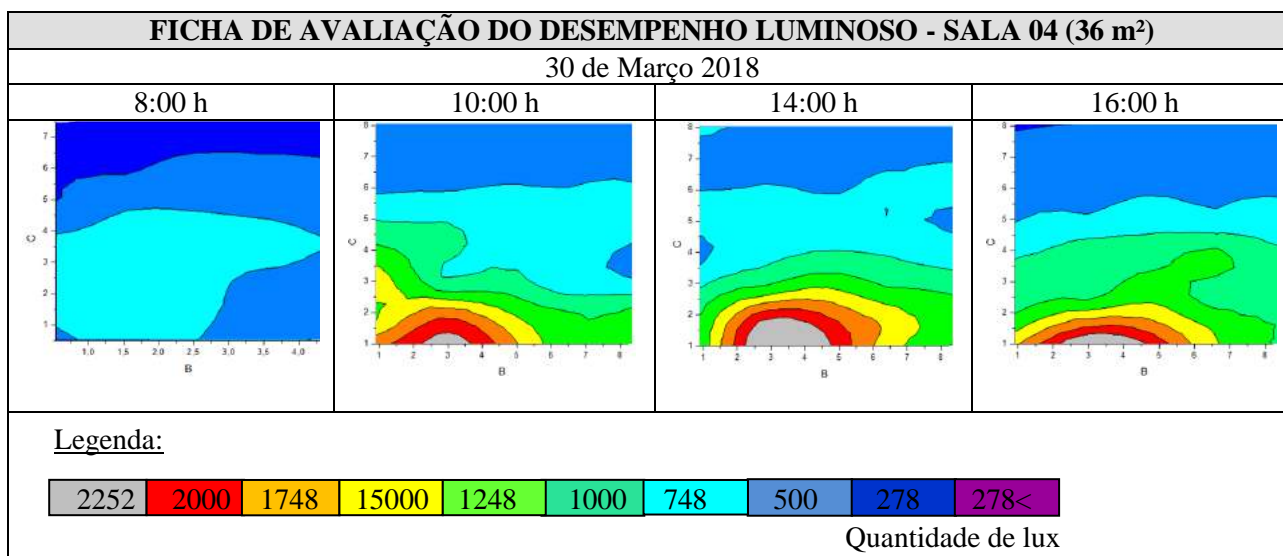
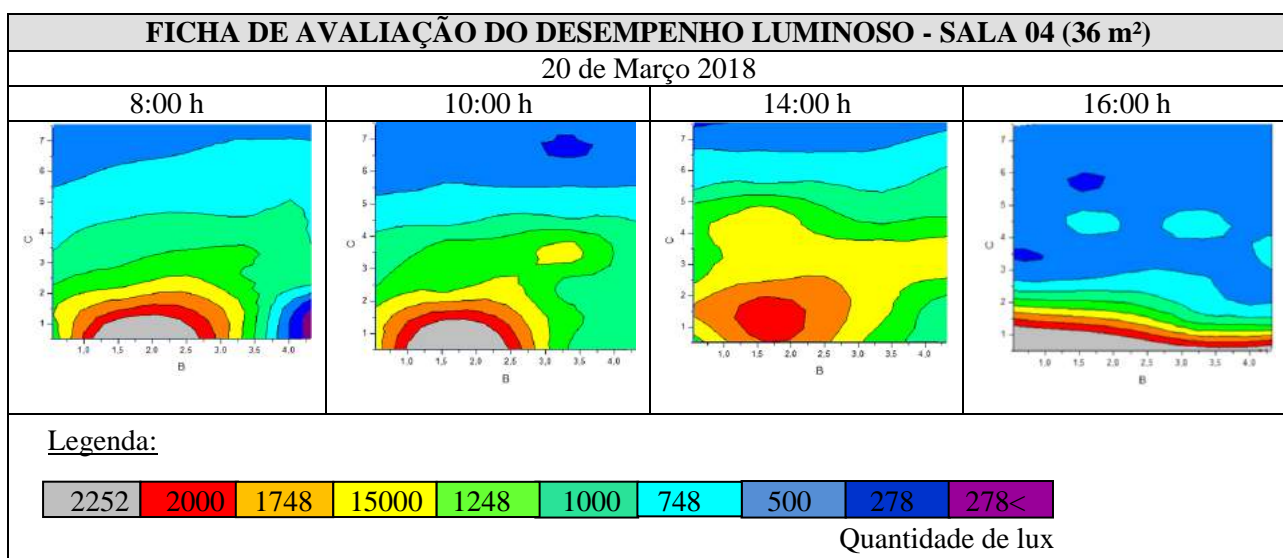
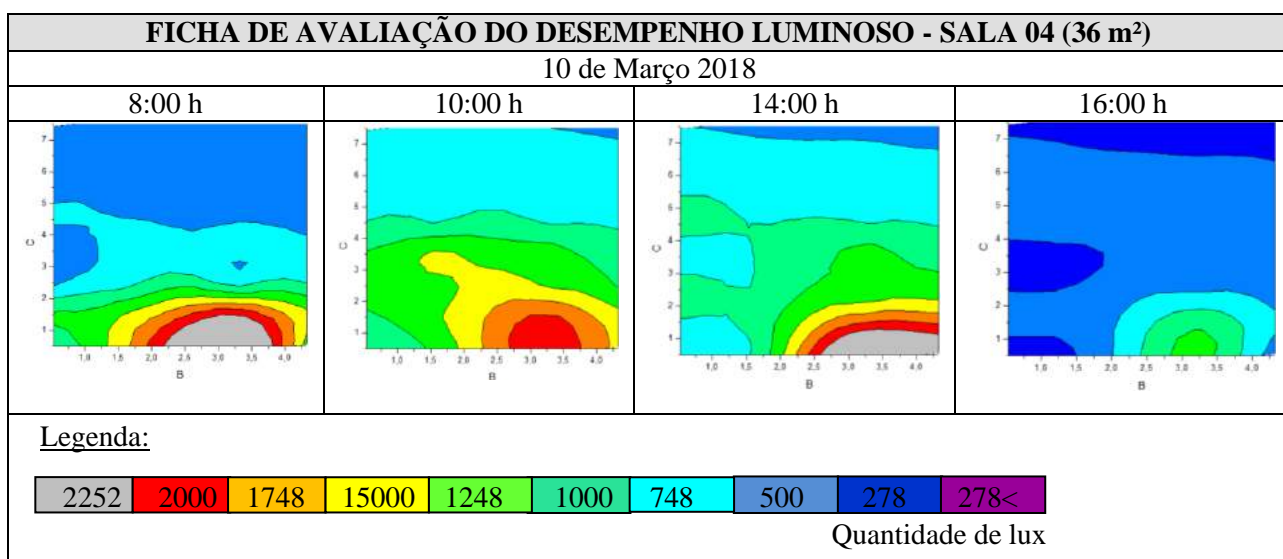
### APÊNDICE 3: Fichas De Avaliação do Desempenho Luminoso *in loco* – SALA 03

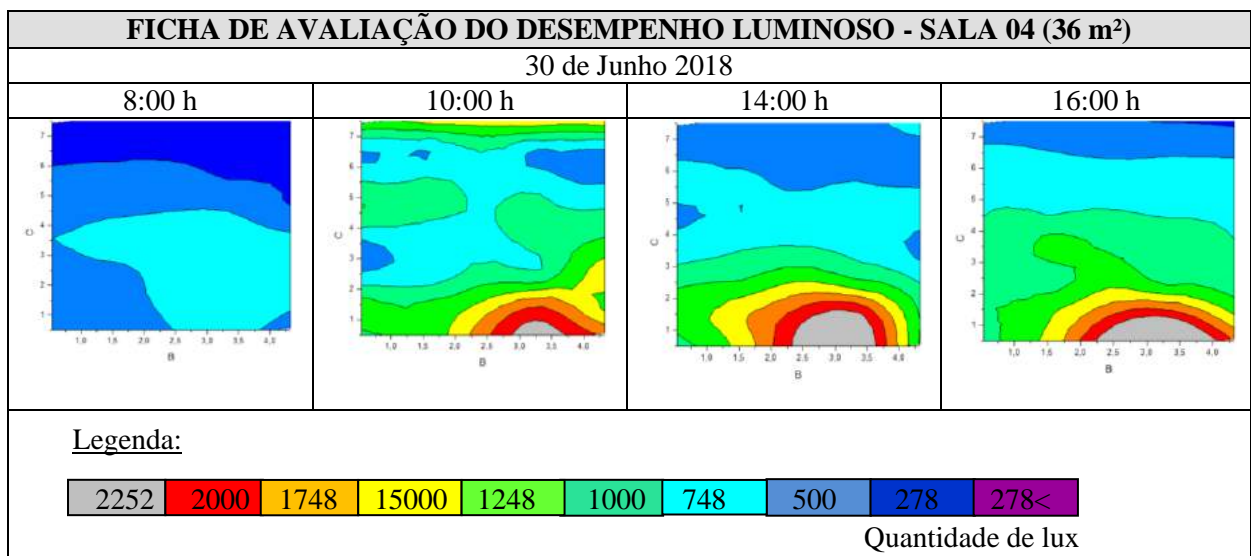
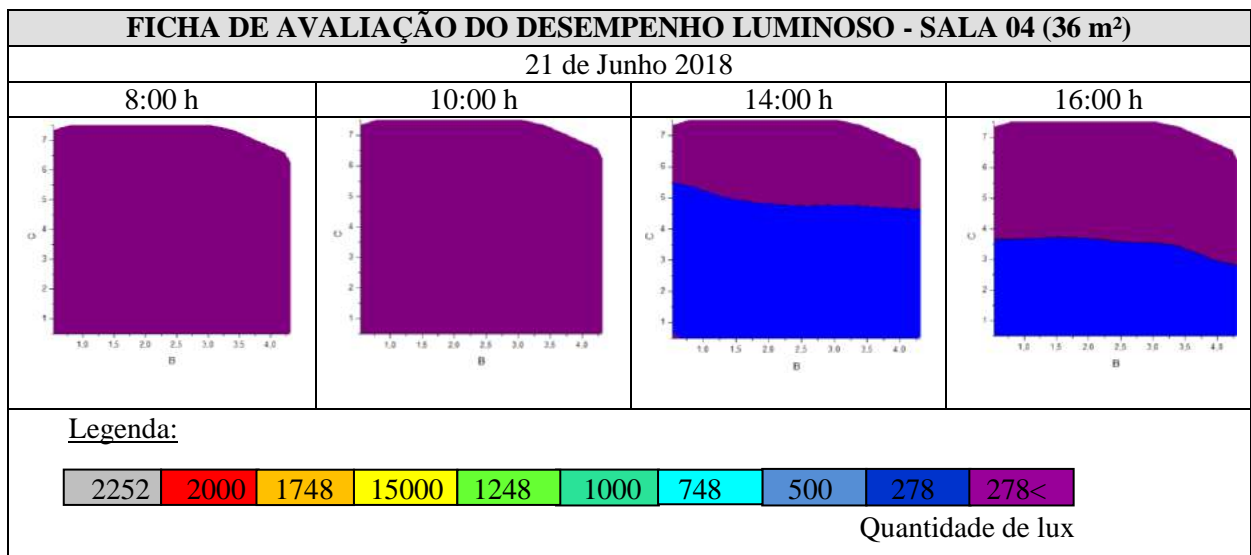
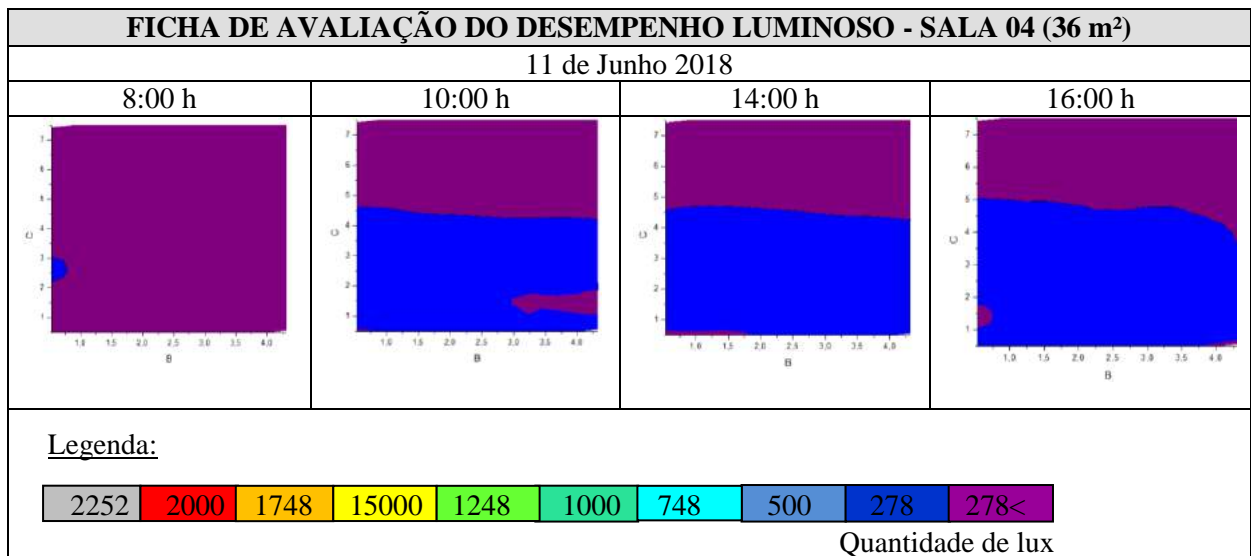




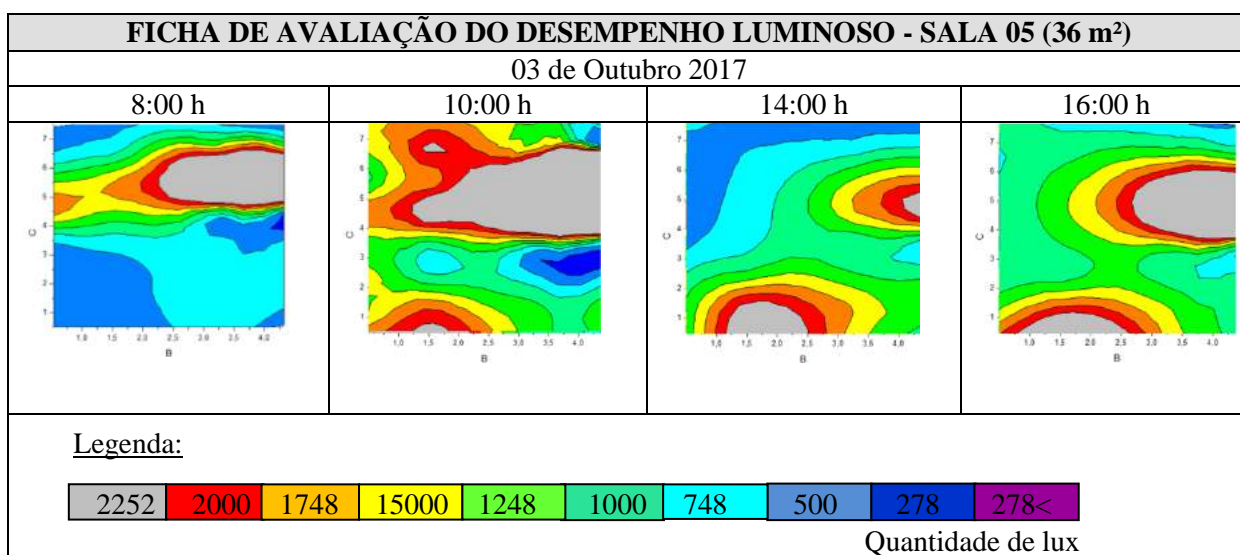
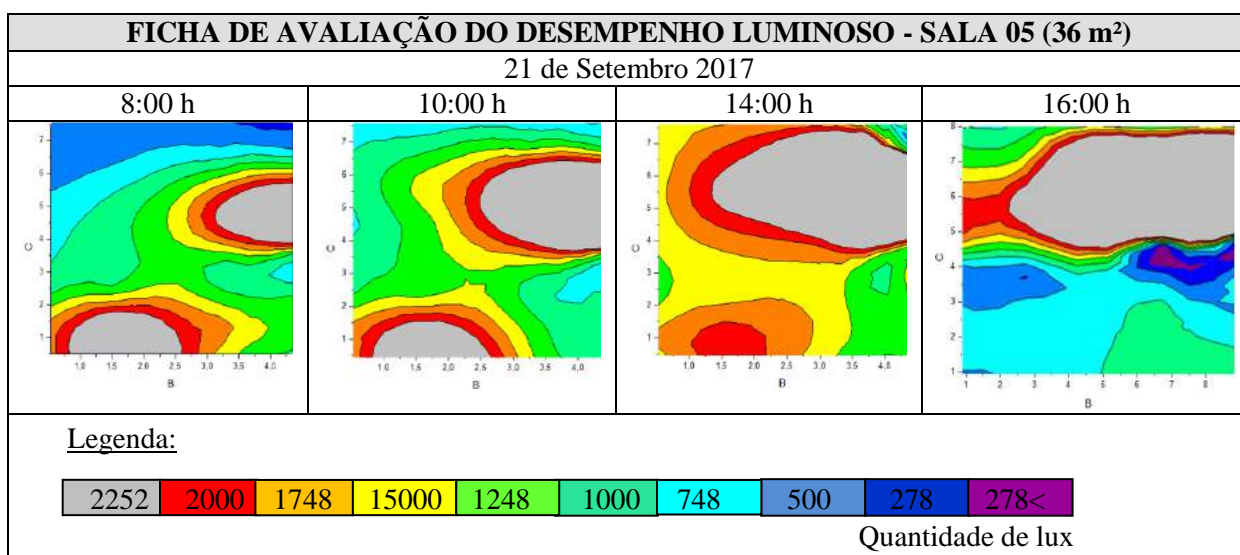
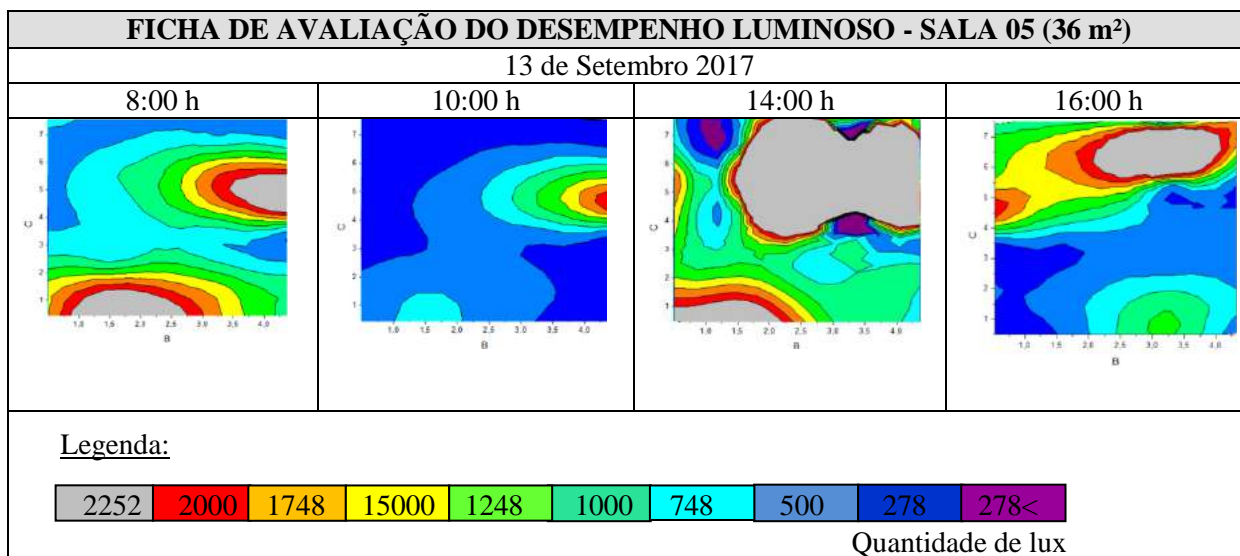


### APÊNDICE 4: Fichas De Avaliação do Desempenho Luminoso *in loco* – SALA 04

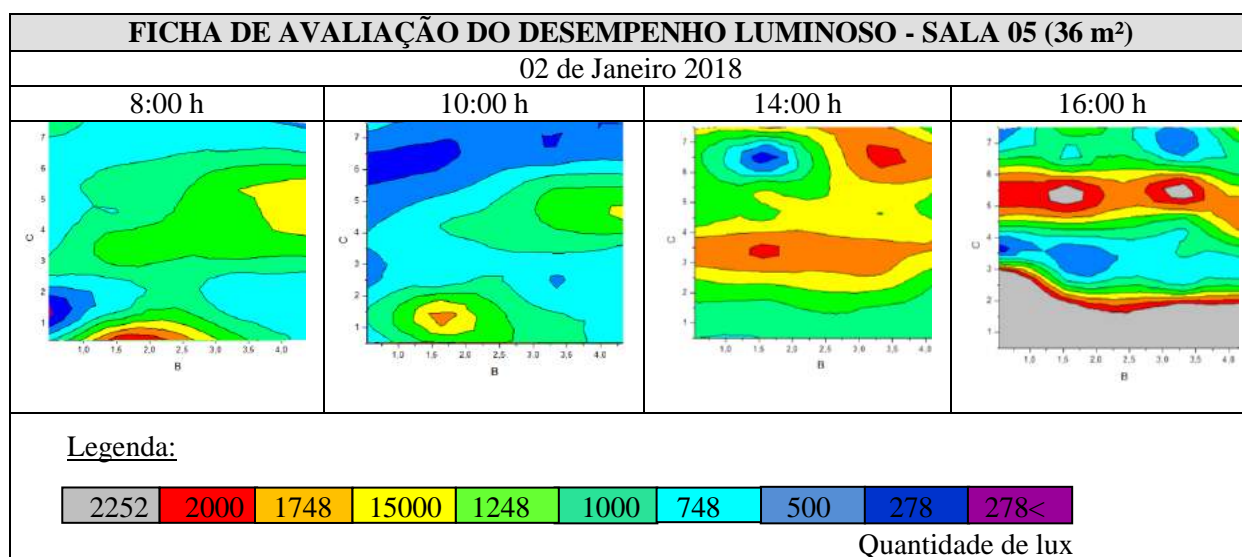
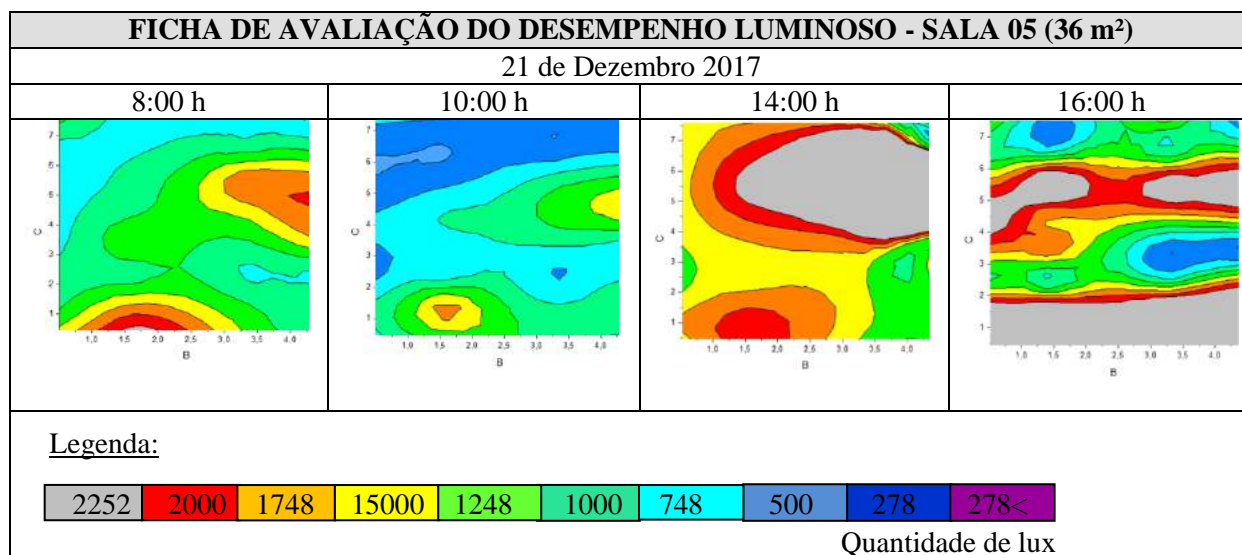
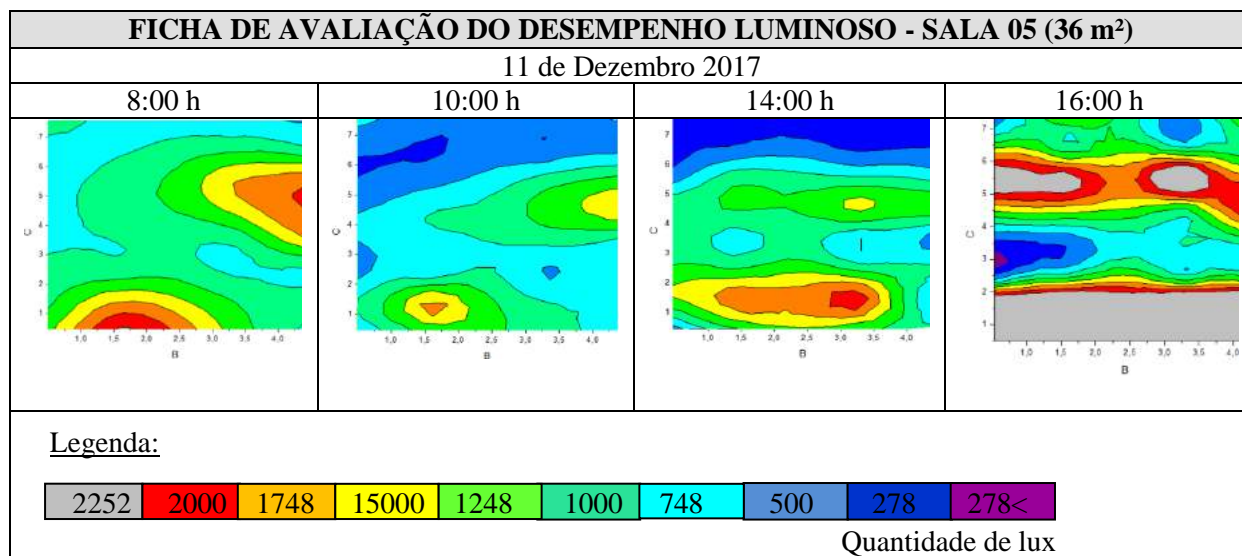


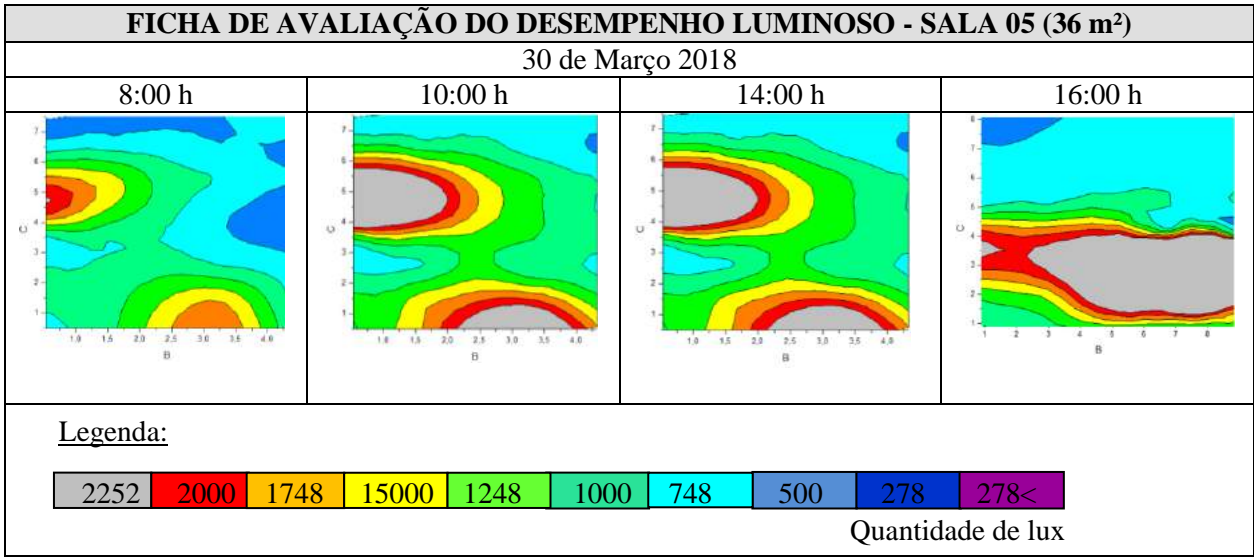
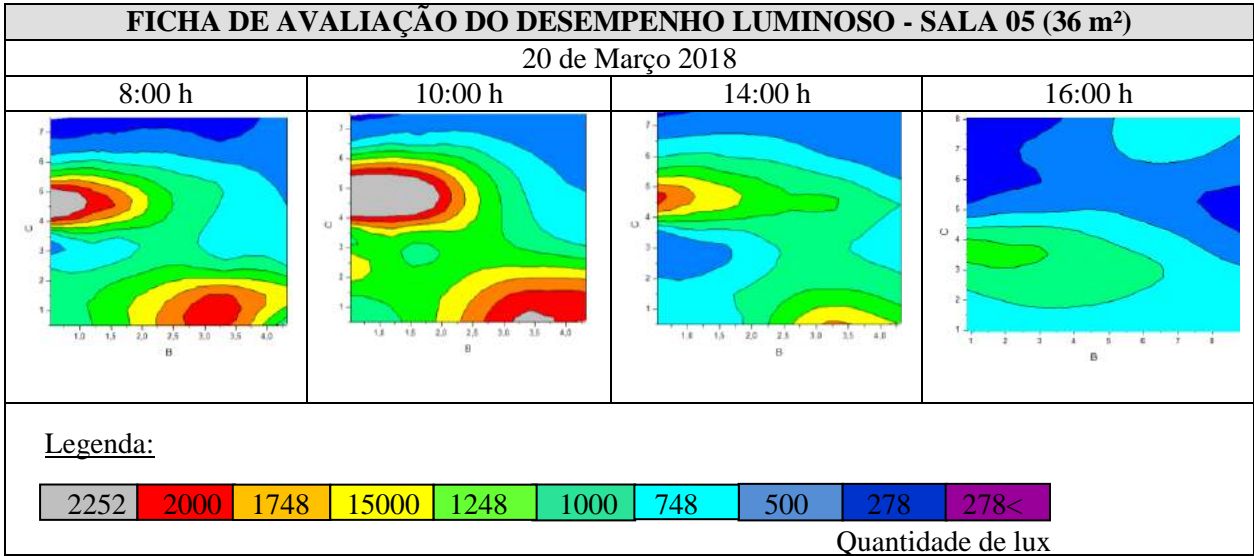
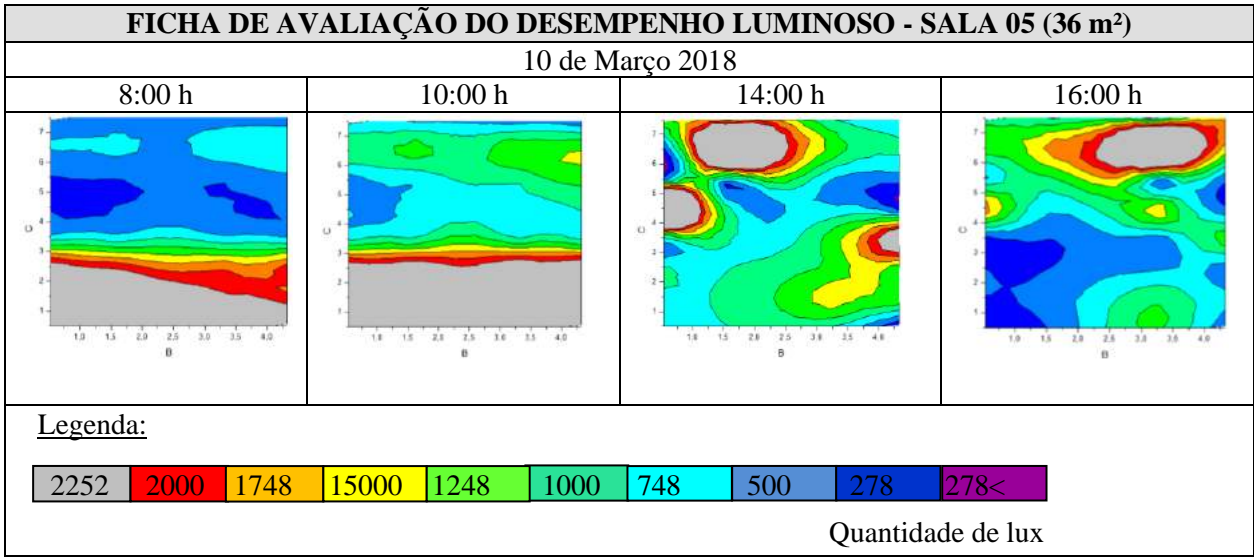


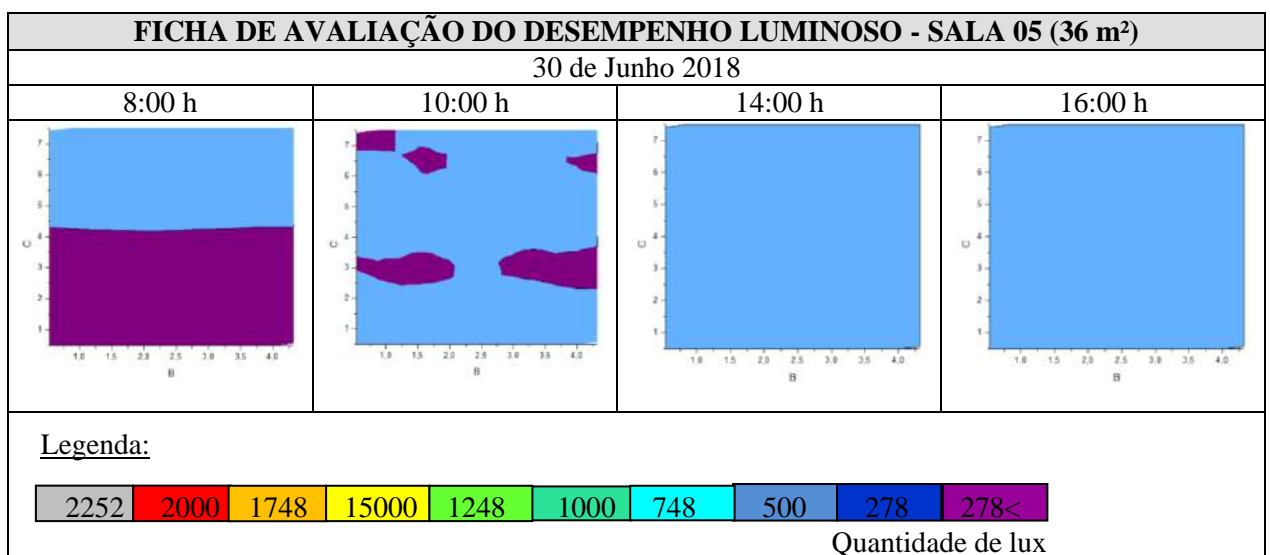
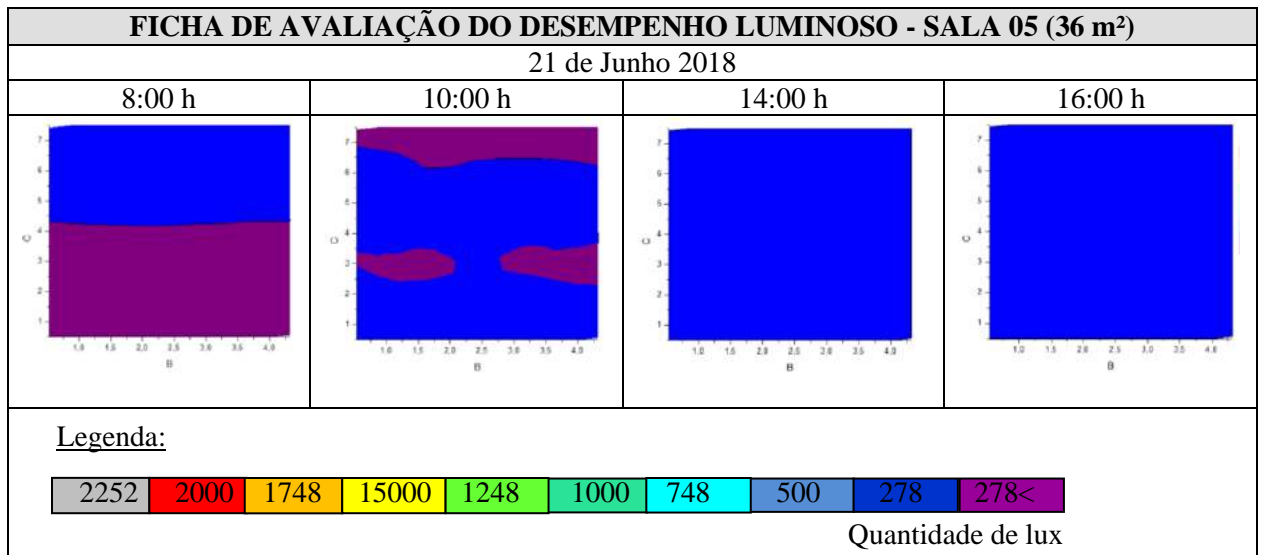
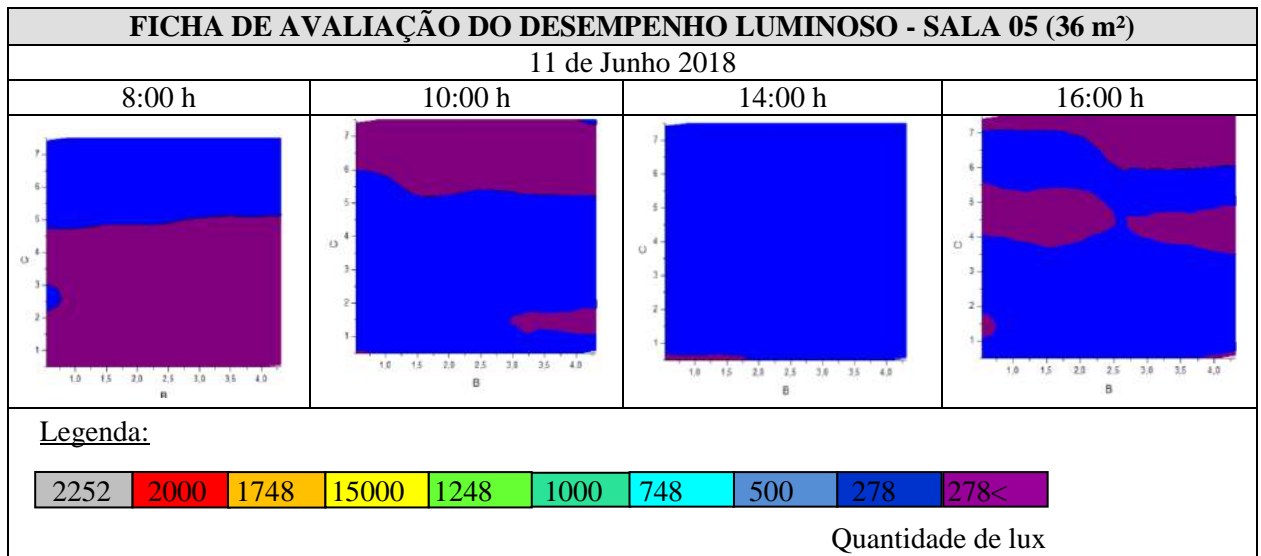
### APÊNDICE 5: Fichas De Avaliação do Desempenho Luminoso *in loco* – SALA 05



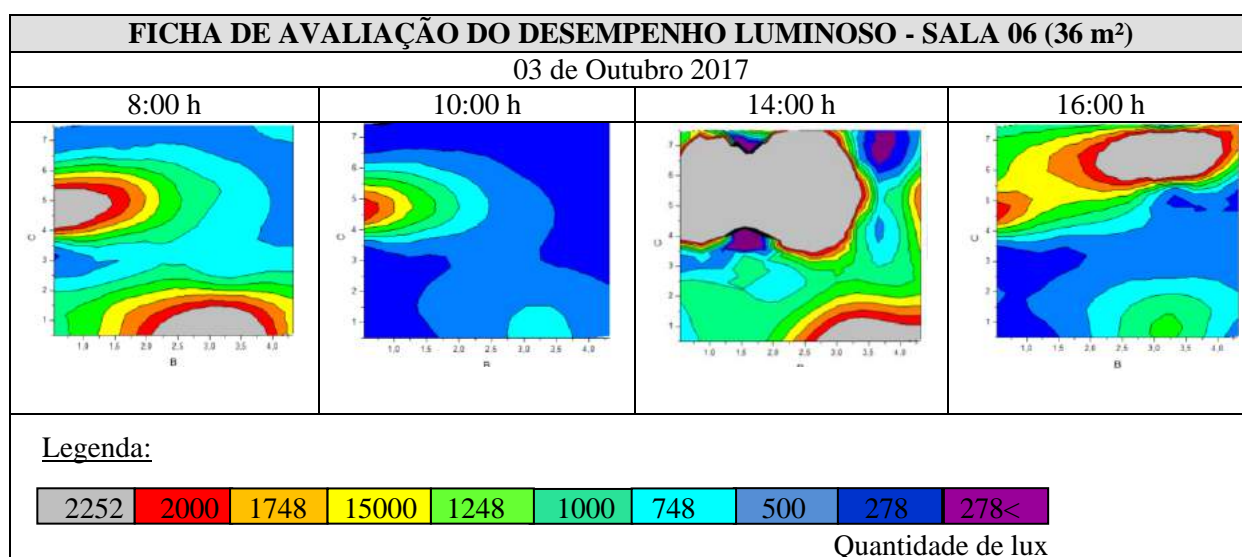
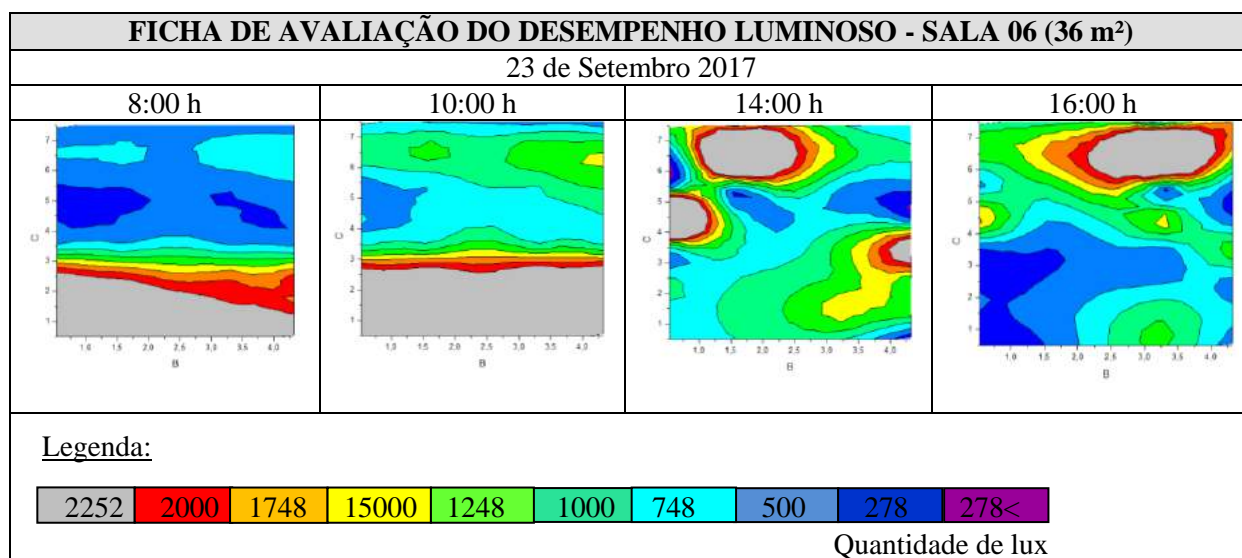
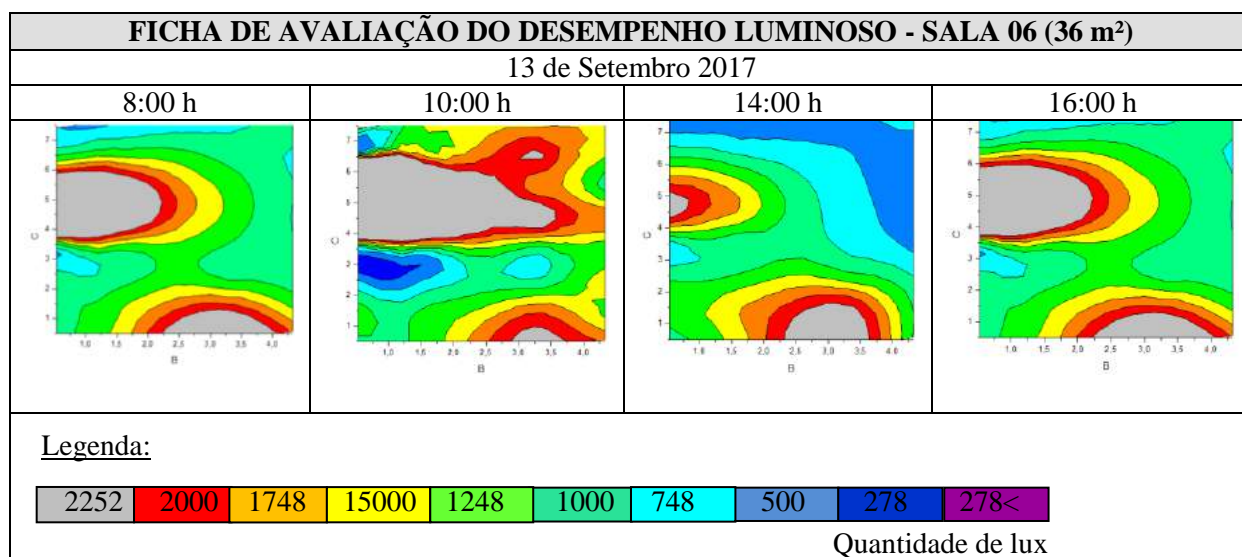




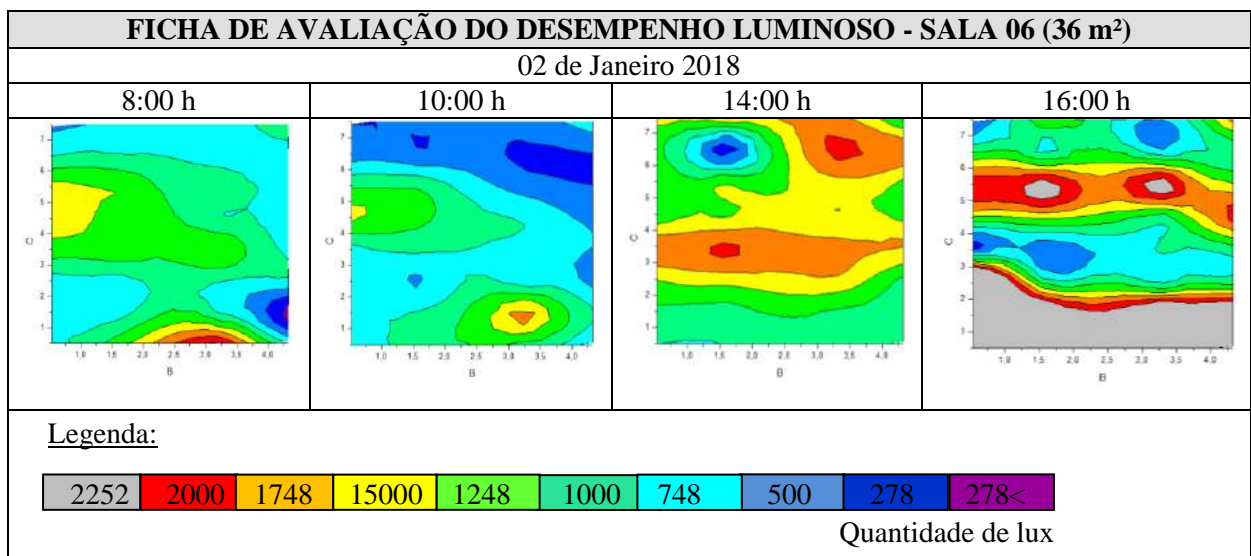
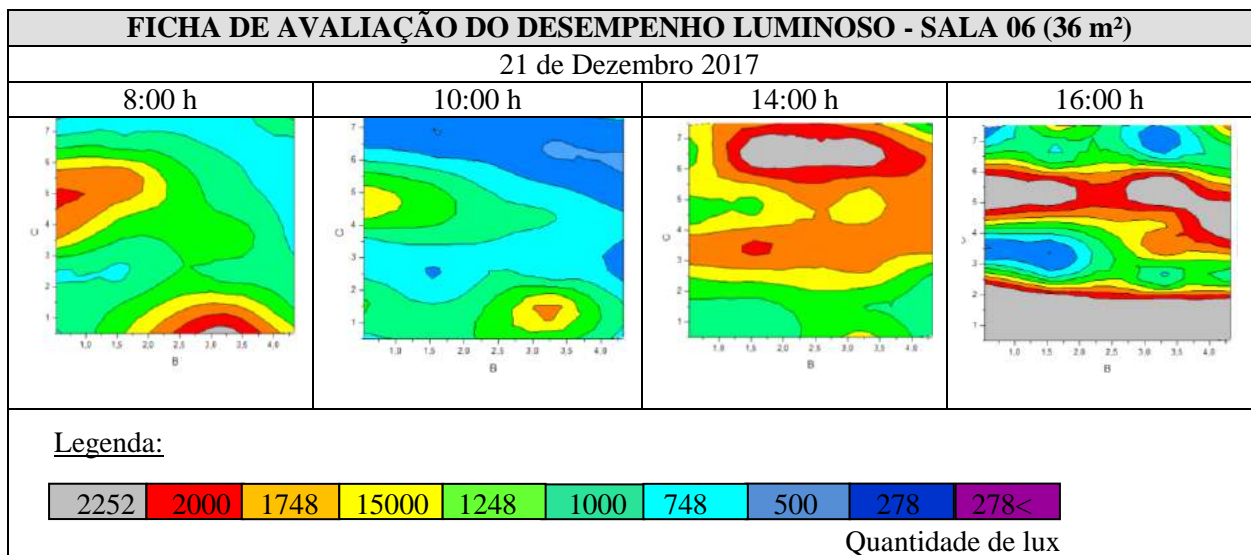
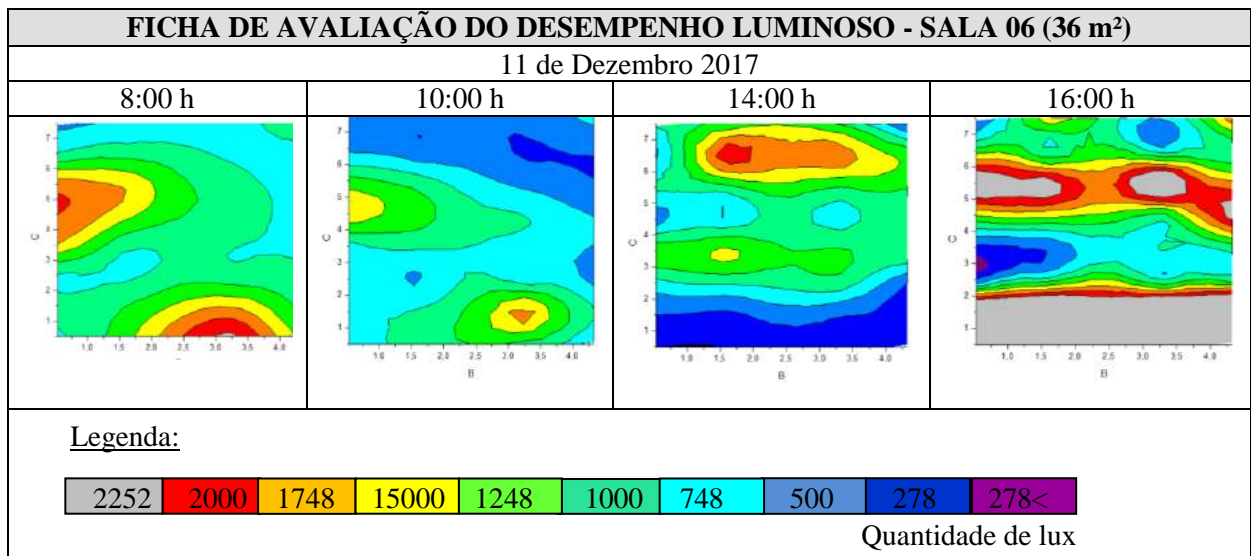


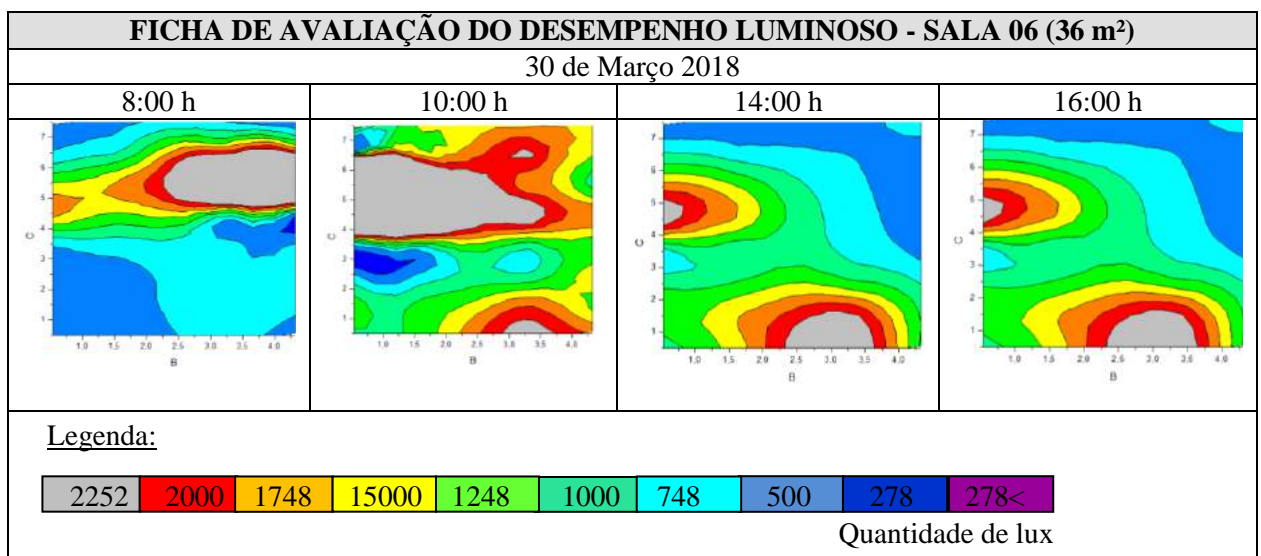
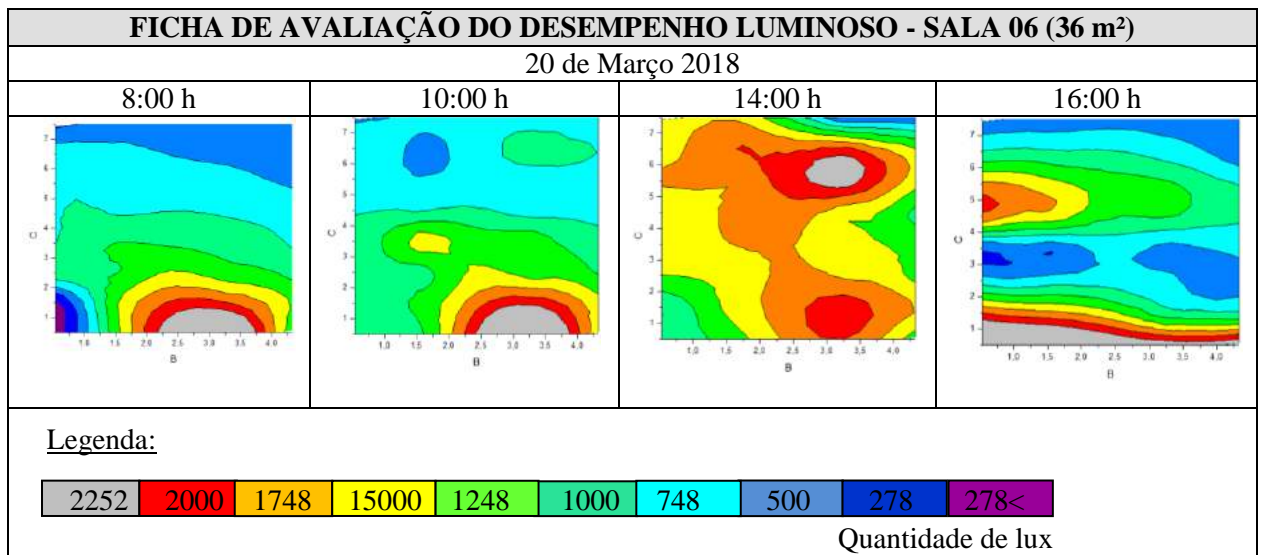
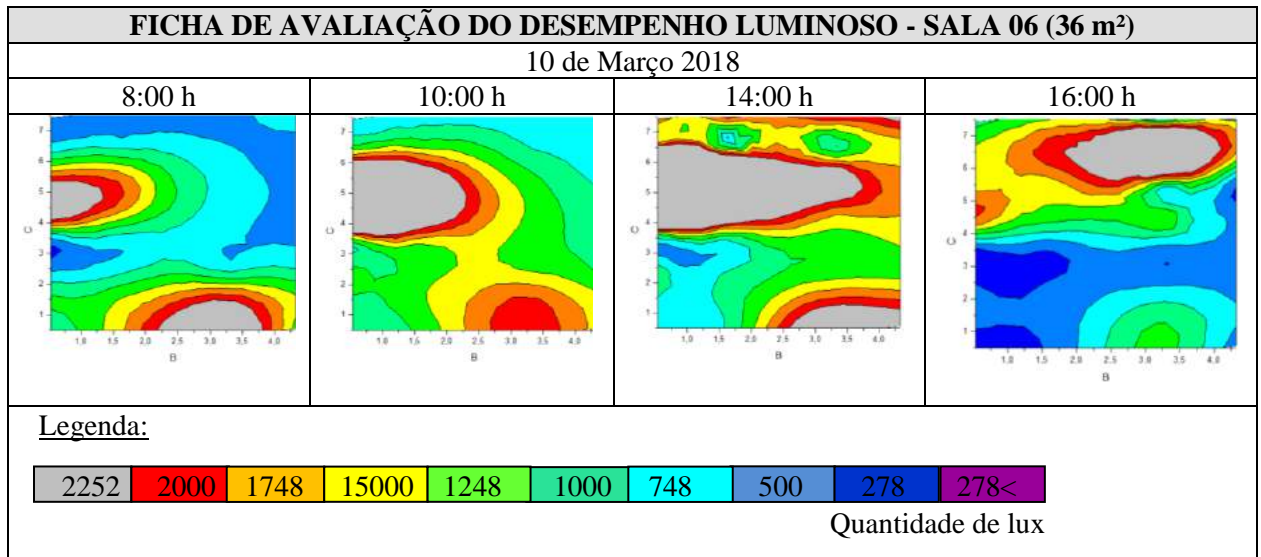


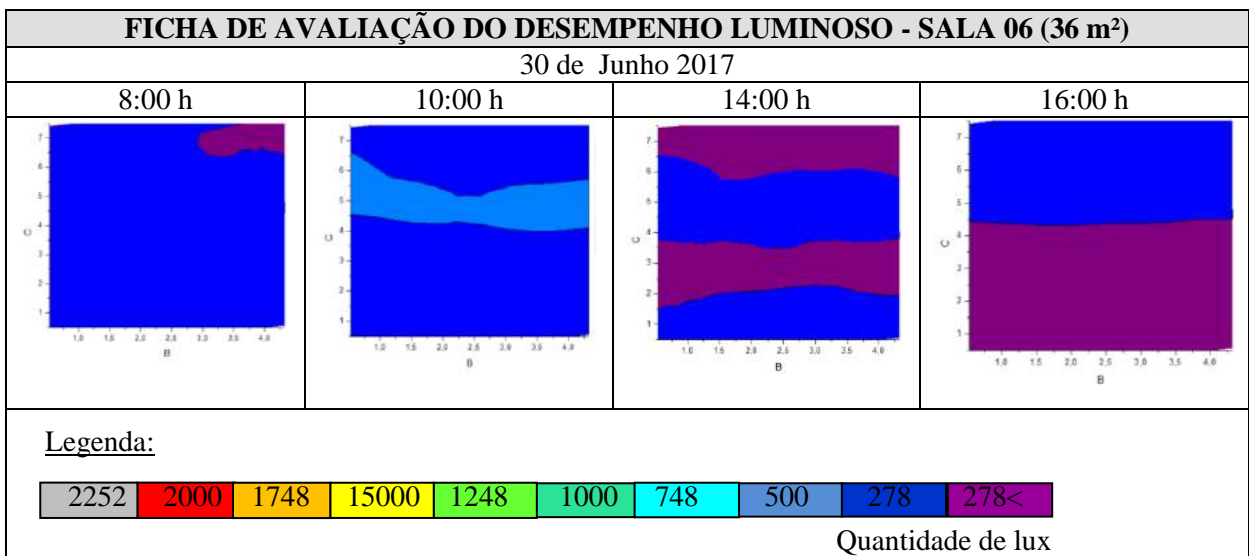
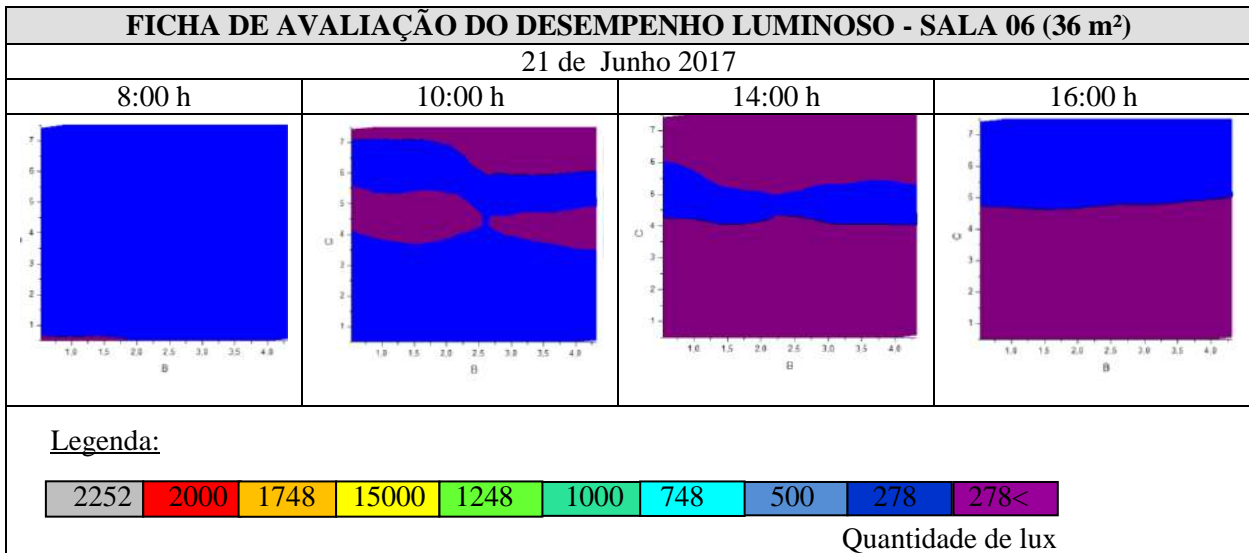
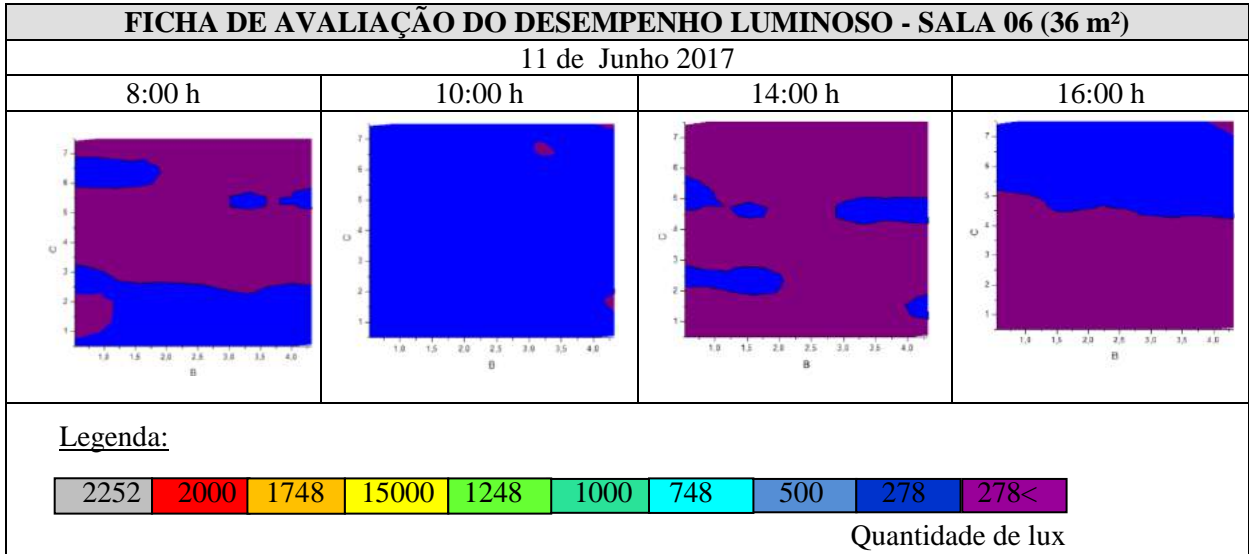
### APÊNDICE 6: Fichas De Avaliação do Desempenho Luminoso *in loco* – SALA 06











APÊNDICE G: Prancha 01 - Coleta e Proposta dos pontos de luz - Tipologia A



APÊNDICE H: Prancha 02 - Coleta e Proposta dos pontos de luz - Tipologia A

APÊNDICE I: Prancha 03 - Coleta e Proposta dos pontos de luz - Tipologia B

APÊNDICE J: Prancha 04 - Coleta e Proposta dos pontos de luz - Tipologia C