



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE  
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

# **ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM AMBIENTE DE ENSINO EM RELAÇÃO AO CONFORTO VISUAL E CICLO CIRCADIANO**

**Barbara Ludmilla das Neves de Queiroz**

**2024**

**CAMPO GRANDE|MS**

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL**  
**FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

**ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM AMBIENTE DE  
ENSINO EM RELAÇÃO AO CONFORTO VISUAL E CICLO  
CIRCADIANO**

**BARBARA LUDMILLA DAS NEVES DE QUEIROZ**

Trabalho de conclusão de Curso do Mestrado Profissional apresentado na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração de Eficiência Energética.

**Orientador: Prof. Arthur Santos Silva, Dr. Eng. Civil**

**CAMPO GRANDE**

**SETEMBRO/2024**



FOLHA DE APROVAÇÃO

BARBARA LUDMILLA DAS NEVES DE QUEIROZ

ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM AMBIENTE DE ENSINO EM RELAÇÃO AO CONFORTO VISUAL E CICLO CIRCADIANO

Redação final do Trabalho de Conclusão de Curso, aprovada pela Banca Examinadora em **23 de setembro de 2024**, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.

**BANCA EXAMINADORA:**

- Dr. Arthur Santos Silva (Presidente)
- Dra. Ana Paula da Silva Milani (Interno)
- Dr. Andres Batista Cheung (Interno) (Suplente)
- Dra. Helena Rodi Neumann (Interno) (Suplente)
- Dr. Marcio Jose Sorgato (Externo)

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Marcio José Sorgato, Usuário Externo**, em 25/09/2024, às 15:09, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula da Silva Milani, Professora do Magistério Superior**, em 30/09/2024, às 14:29, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Arthur Santos Silva, Professor do Magisterio Superior**, em 28/10/2024, às 09:20, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufms.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5125108** e o código CRC **2918217B**.

**COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho todos que coloriram a minha jornada acadêmica com sua luz e me apoiaram quando eu achei que já não podia mais.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família que sempre me incentivou em meus estudos, alimentando a minha inspiração e acompanhando de perto a minha jornada acadêmica.

Agradeço a todos os professores e orientadores que passaram em minha vida e em especial ao professor Arthur Santos Silva que me orientou durante o trajeto do mestrado.

Agradeço aos meus amigos que entenderam minha ausência e me apoiaram como puderam, e aos amigos que o mestrado me proporcionou.

Agradeço ao universo e todas as boas energias que me impulsionaram a diante durante esta jornada acadêmica.

O trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS/MEC/Brasil); da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes/Brasil) - Código de Financiamento 001; e da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado do Mato Grosso do Sul (FUNDECT) à bolsa de estudos de pós-graduação.

## EPÍGRAFE

*“Ce que je ferai ici aura au moins le mérite  
de ne ressembler à personne, parce que ce  
sera l'impression de ce que j'aurai ressenti,  
moi tout seul.”*

Claude Monet

## RESUMO

Atualmente, o ser humano permanece cada vez mais tempo em ambientes internos, resultando em uma exposição maior a luz artificial em comparação a luz natural. Esse cenário pode acarretar efeitos prejudiciais, uma vez que a interação com a luz natural desempenha um papel importante na regulação do ciclo circadiano, no alívio de tensões, possuindo ainda propriedades bactericidas e germicidas, além de conferir uma sensação mais agradável e dinâmica. Estudos recentes tornaram possível calcular a quantidade e a qualidade de propriedades relacionadas a iluminação e ao ciclo circadiano como: a razão M/P (Melanopic/Photopic), o Equivalent Melanopic Lux (EML) e as iluminâncias necessárias para o conforto visual e plano de trabalho. O objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade da iluminação natural em salas de aula na cidade de Campo Grande – MS, considerando o ciclo circadiano e conforto visual. Para tanto foi utilizada a metodologia de simulação de salas de aula baseadas nas normas da FNDE, em que os modelos se diferenciavam pelas orientações e material das aberturas. Os ambientes foram modelados no Rhinoceros 7 e simulados com o plugin Alfa. Os resultados foram obtidos pela análise de diversas variáveis como: aberturas com diferentes vidros, diferentes orientações, diferentes dias (21 de junho, 21 de setembro e 21 de dezembro) e horários (9 horas, 11 horas, 14 horas e 16 horas), com céu nublado e claro para a cidade de Campo Grande – MS. Após a análise dos resultados obtidos pelo plugin Alfa, uma metodologia foi desenvolvida a fim de encontrar qual modelo de sala de aula se aproximava mais do modelo ideal proposto. A partir dos resultados pode-se observar que a mudança de vidro no modelo com orientação Sul fez com que ele apresentasse o pior resultado, enquanto o mesmo modelo com vidro diferente apresentava o melhor resultado considerando  $150 \text{ lux} \leq \text{EML} \leq 3000 \text{ lux}$ . Esse resultado deu destaque a importância da avaliação do material utilizado e como ele pode interferir no projeto. A análise do modelo atual de aberturas e sua atuação nas salas de aula de acordo com o conforto visual e ciclo circadiano, serve como um passo inicial para repensar a maneira como projetamos as aberturas e iluminação interna dos ambientes de ensino.

**PALAVRAS-CHAVE:** Iluminação natural, conforto visual, ciclo circadiano, ambiente de ensino

## ABSTRACT

Nowadays, human beings spend more and more time indoors, resulting in greater exposure to artificial light compared to natural light. This scenario can have adverse effects, since interaction with natural light plays an important role in regulating the circadian cycle, relieving tension, and also has bactericidal and germicidal properties, as well as providing a more pleasant and dynamic sensation. Recent studies have made it possible to calculate the quantity and quality of properties related to lighting and the circadian cycle, such as: the M/P (Melanopic/Photopic) ratio, the Equivalent Melanopic Lux (EML) and the illuminances required for visual comfort and work plan. The purpose of this study was to assess the quality of natural lighting in classrooms in the city of Campo Grande - MS, considering the circadian cycle. To this end, the methodology used was to simulate classrooms based on the FNDE standards, in which the models differed in terms of the material of the openings and their orientation. The classroom was modeled using the Rhinoceros 7 program and simulated using the Alfa plugin. The results were obtained by analyzing several variables such as: openings with different glazing, different orientations, different days (June 21, September 21 and December 21) and times (9 a.m., 11 a.m., 2 p.m. and 4 p.m.), with cloudy and clear skies for the city of Campo Grande - MS. After analyzing the results obtained by the ALFA plugin, a methodology was developed in order to find which classroom model was closest to the ideal model proposed. From the results, it can be seen that the change of glass in the model with South orientation was had the worst result, while the same model with different glazing had the best result considering  $150 \text{ lux} \leq \text{EML} \leq 3000 \text{ lux}$ . This result highlighted the importance of evaluating the material used and how it can affect the project. The analysis of the current model of openings and their performance in classrooms according to visual comfort and the circadian cycle, serves as an initial step towards rethinking the way we design openings and internal lighting in classrooms.

**KEYWORDS:** Natural lighting, visual comfort, circadian cycle, educational environment



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1. JUSTIFICATIVA.....	12
1.2. OBJETIVOS.....	13
1.2.1. OBJETIVO GERAL.....	13
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1. LUZ E SEUS ESPECTROS.....	15
2.2. ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL E NATURAL.....	16
2.3. ENERGIA, ILUMINAÇÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	20
2.4. SISTEMA VISUAL.....	23
2.5. CICLO CIRCADIANO.....	26
2.6. FUNDAMENTOS DE CONFORTO VISUAL.....	29
2.7. ARQUITETURA ESCOLAR.....	31
2.8. CONFORTO E DESEMPENHO VISUAL EM AMBIENTES DE ENSINO.....	32
2.9. LEGISLAÇÕES E NORMAS.....	34
2.10. SOFTWARES RELACIONADOS À ILUMINAÇÃO.....	36
3. MÉTODO.....	41
3.1. SELEÇÃO DOS MODELOS DE SALA DE AULA E SUAS ABERTURAS.....	41
3.2. MODELAGEM COMPUTACIONAL.....	43
3.3. CONFIGURAÇÕES DA SIMULAÇÃO.....	52
3.4. INDICADORES DE DESEMPENHO.....	55
4. ANÁLISE DOS INDICADORES DE DESEMPENHO.....	57
4.1. ANÁLISE DA RAZÃO M/P.....	57
4.1.1. ANÁLISE DA RAZÃO M/P PARA LESTE.....	57
4.1.2. ANÁLISE DA RAZÃO M/P PARA NORTE.....	62
4.1.3. ANÁLISE DA RAZÃO M/P PARA OESTE.....	66
4.1.4. ANÁLISE DA RAZÃO M/P PARA SUL.....	70
4.2. ANÁLISE DO EQUIVALENT MELANOPIC LUX (EML).....	75
4.2.1. ANÁLISE DA EML PARA LESTE.....	75
4.2.2. ANÁLISE DA EML PARA NORTE.....	78
4.2.3. ANÁLISE DA EML PARA OESTE.....	81
4.2.4. ANÁLISE DA EML PARA SUL.....	84
4.3. CONFORTO VISUAL E ILUMINAÇÃO NO PLANO DE TRABALHO.....	87
4.3.1. CONFORTO VISUAL E ILUMINAÇÃO NO PLANO DE TRABALHO PARA LESTE.....	87
4.3.2. CONFORTO VISUAL E ILUMINAÇÃO NO PLANO DE TRABALHO PARA NORTE.....	91

4.3.3. CONFORTO VISUAL E ILUMINAÇÃO NO PLANO DE TRABALHO PARA OESTE.....	95
4.3.4. CONFORTO VISUAL E ILUMINAÇÃO NO PLANO DE TRABALHO PARA SUL.....	100
5. ANÁLISE E PONTUAÇÃO DOS MODELOS.....	104
5.1. PONTUAÇÃO FRENTE A RAZÃO M/P .....	105
5.2. PONTUAÇÃO FRENTE AO EQUIVALENT MELANOPIC LUX (EML).....	108
5.2.1. CRITÉRIO DE EML (150 LUX – 3000 LUX) .....	108
5.2.2. CRITÉRIO DE EML (1000 LUX – 3000 LUX) .....	111
5.2.3. PONTUAÇÃO FRENTE AO CONFORTO VISUAL (PHOTOPIC LUX - EV) .....	113
5.3. PONTUAÇÃO FRENTE AO CONFORTO VISUAL NO PLANO DE TRABALHO (PHOTOPIC LUX ) .....	116
5.4. SÍNTESE DOS RESULTADOS .....	119
6. CONCLUSÕES .....	12
REFERÊNCIAS.....	14

## 1. INTRODUÇÃO

A luz possui uma natureza dual, ela se comporta como onda em algumas situações e como partícula em outras (Silveira, 2011). Considerando seu caráter como luz visível, ela é classificada como uma onda eletromagnética, entre a radiação infravermelha e a ultravioleta (Neufert, 2013).

O sistema visual do ser humano tem uma ligação intrínseca com a luz porque é através dela e de suas reflexões que enxergamos o mundo de determinada forma. Nesse sentido, percebe-se que a maior parte das pesquisas relacionadas à luz e ao ser humano estejam relacionadas ao conforto visual. Atualmente, há muito desenvolvimento científico sobre quais condições de iluminação devem ser obtidas para que cada atividade possa ser feita com segurança e desempenho, existindo diversas normas internacionais e até mesmo nacionais, como a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013).

O sol é a fonte primária de iluminação diurna no planeta Terra; entretanto, por motivos como ofuscamento, geração de calor, brilho e desgaste nas superfícies dos materiais, a luz solar direta é evitada nos interiores das edificações. Esse fato pode ser exemplificado na diferença arquitetônica dos povos da antiguidade. Enquanto os egípcios usavam paredes espessas para amenizar a luz equatorial constante e forte, os gregos usavam diversas colunas que, ao mesmo tempo que protegiam o ambiente interno do calor, permitiam a entrada da luz iluminando sua decoração interna (Romero, 2015).

Apenas em 1879 com a criação da lâmpada elétrica por Thomas Edison e a expansão do seu uso na década de 1940, que a iluminação artificial começou a ganhar espaço no dia a dia dos seres humanos. A iluminação artificial modificou hábitos, e as pessoas começaram a passar muitas horas do dia em espaços mal iluminados e trocando o horário de descanso. Esses novos hábitos afetaram a saúde humana de forma negativa (Martau, 2009).

A troca da luz natural pela artificial também se refletiu no ambiente de ensino, em que inicialmente, considerava-se que a iluminação natural desempenhava um papel fundamental no conforto, saúde e aprendizado das crianças. Entretanto, após a Segunda Guerra Mundial, houve uma mudança de perspectiva, e a luz artificial passou

a ser considerada mais favorável devido à sua adaptabilidade e ao conforto visual que proporciona (Bertolotti, 2007).

A Crise do Petróleo da década de 1970 trouxe à tona conceitos relacionados a eficiência energética, afirmando que poupar energia é melhor do que buscar novos meios de oferta (Lamberts; Dutra; Pereira, 2013). Levando em conta apenas a economia termo energética, considerou-se a redução do tamanho das aberturas, contudo, na década seguinte, a iluminação natural ganhou destaque pois o sol é uma fonte inesgotável e gratuita de iluminação (Bertolotti, 2007).

No ano de 1984 é criado no Brasil o PBE – INMETRO e no seguinte o PROCEL - Eletrobrás, sendo considerados os primeiros passos do país em relação a padronização de produtos eficientes energeticamente. Atualmente o país possui regulamentos que incentivam a construção eficiente como o PBE-Edifica e diversas normas técnicas a respeito do assunto. Ademais o Brasil encontra-se entre os maiores produtores e consumidores de energia renovável, impulsionado principalmente pelo uso de energia proveniente das hidrelétricas (EPE, 2022).

Na década de 1990, estudos voltaram a demonstrar que a exposição à luz natural afeta não apenas os aspectos psicológicos e comportamentais, mas também a atenção, o desempenho escolar, a depressão, a sonolência e a saúde física de crianças, adolescentes e adultos (Bertolotti, 2007). E ainda possui a desvantagem dos custos de aquisição de equipamentos, operação e manutenção associados (Lamberts; Dutra; Pereira, 2013).

No ano de 2002, foi descoberto um terceiro tipo de fotorreceptor na retina dos mamíferos que regula o ciclo circadiano por meio da percepção de claro e escuro (Berson, 2002). Esta descoberta levou a questionamentos em relação a como a iluminação baseada para atender apenas ao conforto visual pode estar incompleta (Martau, 2009).

O ciclo circadiano cumpre uma função fundamental na regulação do relógio biológico do corpo humano, coordenando e sincronizando os horários em que cada órgão do corpo desempenha as suas funções. A perda de sincronia pode levar a diversas doenças como câncer, diabetes, obesidade e cardiopatia (Casarin, 2010).

As características de iluminação que afetam o sistema circadiano diferem daquelas que afetam a visão. Enquanto o sistema visual responde a um estímulo de

luz muito rapidamente (em milissegundos), a duração da exposição à luz necessária para afetar o sistema circadiano pode ser de vários minutos (Acosta, 2015).

O sistema circadiano, medido pela supressão aguda de melatonina, é extremamente sensível à luz de comprimento de onda curta (azul), com um pico de sensibilidade espectral em torno de 460 nm, enquanto o sistema visual, medido pela percepção de brilho, é mais sensível ao comprimento médio de onda, porção do espectro visível, com pico em torno de 555 nm. (Acosta, 2015).

Medidas visuais baseadas no espectro de ação da melatonina e outros fotorreceptores não visuais foram propostas como o alfa-optico lx e o Circadian Stimuli (CS) ou Circadian Light (CLA). Esta segunda medida incorpora a sensibilidade melanópica corrigida para a transmitância espectral da lente do olho e a oposição da cor azul-amarela devido à participação de outros fotorreceptores. Isso aponta para o fato de que tanto a quantidade quanto a qualidade do ambiente luminoso interno devem ser abordadas para fornecer um ambiente luminoso interno adequado (Kosir, 2021).

As aberturas da edificação se tornam objeto de estudo pois são elas que estabelecem a iluminação natural dos ambientes internos, definindo as áreas que receberão a luz (Lamberts; Dutra; Pereira, 2013). Atualmente, no Brasil, o Manual de Orientações Técnicas da FNDE – Volume 3, que estabelece diretrizes quanto a edificações escolares, tem como referência as normas da ABNT que considera apenas o conforto visual, sem considerar o ciclo circadiano.

Em 2023 a norma NBR 15215 (ABNT, 2023) foi atualizada e foram acrescentados conceitos relacionados ao ciclo circadiano, entretanto não foi citada nenhuma abordagem relacionada a salas de aula.

## **1.1. JUSTIFICATIVA**

A luz é um elemento vital para os seres humanos, sua presença se faz constante desde a luz natural até em aparelhos eletrônicos. Entretanto não nos atentamos ao fato de que sua qualidade, ou a falta dela, é capaz de interferir na nossa saúde física e mental como um todo. Nas últimas duas décadas estudos mostraram que a luz tem importância fundamental na saúde física humana, e é por meio dela que

o nosso organismo regula nossos ciclos circadianos, responsáveis pelo nosso relógio biológico (Casarin, 2010).

Pesquisar a luz como uma matéria prima arquitetônica, não apenas pela perspectiva técnica visual, mas também relacionada com toda a fisiologia humana, se faz necessário devido ao nosso estilo de vida atual, em que passamos cada vez mais tempo em ambientes fechados.

A importância de pesquisas que abordem a iluminação não apenas pela perspectiva técnica visual, mas também relacionada com toda a fisiologia e saúde humana se mostram importantes pois vão de encontro com o terceiro objetivo para o desenvolvimento sustentável (ODS), saúde e bem-estar, da ONU.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo geral**

O objetivo do trabalho é avaliar a qualidade da iluminação natural em salas de aula na cidade de Campo Grande - MS, considerando indicadores relacionados ao ciclo circadiano e o conforto visual dos ocupantes.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Definição de modelos de salas de aula por meio das normas e diretrizes do FNDE no Brasil;
- Análise computacional dos modelos de sala de aula para a verificação do nível de iluminação que é proporcionado no interior dos ambientes de acordo com o tipo de vidro, orientação e horário;
- Elaboração de uma metodologia para avaliação dos modelos de sala de aula e encontrar qual deles chega mais próximo do modelo ideal para a cidade de Campo Grande – MS.

## **1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO**

O trabalho está dividido em seis capítulos:

- O Capítulo 1 trata da introdução, em que é apresentado o tema, suas problemáticas, objetivos e justificativa.

- No Capítulo 2 está a revisão bibliográfica, apresentando as produções acadêmicas já existentes sobre o tema, abordando os conceitos de luz, iluminação, eficiência energética, conforto visual, ciclo circadiano, arquitetura escolar, as legislações e normas envolvidas, e softwares de iluminação.
- No Capítulo 3 é descrito o método utilizado na pesquisa e simulação, são apresentados os modelos e analisados os seus indicadores de desempenho, em seguida, é apresentada a metodologia para a escolha do modelo mais próximo ao ideal.
- No capítulo 4 são discutidos os indicadores de desempenho referentes a Razão M/P, ao Equivalent Melanopic Lux, e a análise do conforto e desempenho visual.
- No capítulo 5 estão os resultados acerca da pontuação e dos indicadores gerais entre os critérios de desempenho.
- O Capítulo 6 apresenta as conclusões e considerações finais sobre o trabalho.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo de revisão bibliográfica contempla os seguintes temas: luz e seus espectros; iluminação artificial e natural; energia, luz e eficiência energética; sistema visual do ser humano; questões sobre o ciclo circadiano e conforto visual; arquitetura escolar; conforto visual em ambientes de ensino; legislação e normas aplicáveis; softwares aplicáveis à avaliação da iluminação natural.

### 2.1. LUZ E SEUS ESPECTROS

O termo “luz” pode ser considerado uma abreviação de fluxo luminoso, sendo definida como uma parte da potência (ou energia) radiante avaliada visualmente (DiLaura, 2011).

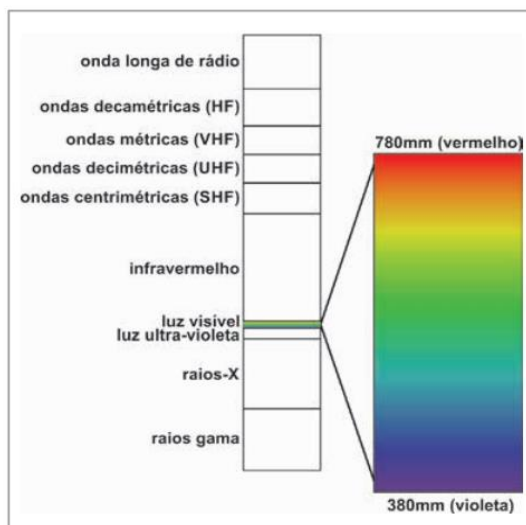
A luz exibe uma dualidade intrínseca, possuindo propriedades ondulatórias e corpusculares. Na área da física, seu estudo se ramifica em três: óptica geométrica, óptica quântica e óptica física. Na geometria óptica a sua natureza dual é indiferente, importando apenas a trajetória dos raios luminosos. Na óptica quântica é considerada a natureza corpuscular da luz. Na óptica física, a luz é considerada uma onda eletromagnética (Silveira, 2011) e é este o conceito adotado em estudos de avaliação da iluminação nas edificações.

Todos os corpos com temperatura acima de  $-273^{\circ}\text{C}$  (0 K) emitem radiação eletromagnética, entretanto, apenas uma pequena parcela do espectro desta radiação é visível ao olho humano. A radiação visível se encontra entre 380 e 780nm de comprimento de onda no espectro eletromagnético, sendo a radiação infravermelha maior que 780nm e a radiação ultravioleta menor que 380nm, como pode ser visto na Figura 1 (Silveira, 2011).

As luzes emitidas podem ter origens primárias e secundárias. As fontes primárias são quando o objeto emite luz própria, podendo ser incandescentes e luminescentes. As secundárias ocorrem quando há reflexão da luz vinda de outra fonte (Capelini, 2019). A luz natural tem origem na luz solar, sendo incandescente, e abrange todos os comprimentos de onda do espectro visível, desde a curta (cor violeta) até a longa (cor vermelha) (Silva; Azerêdo, 2019).



Figura 1 - Faixa do espectro eletromagnético, com destaque para a luz visível.



Fonte: Silveira, 2015

## 2.2. ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL E NATURAL

O planeta Terra tem como fonte primária de iluminação natural o sol, que é direta e determinada, enquanto a luz do céu atua como fonte secundária, por meio dos fenômenos de difusão da atmosfera. Outros corpos também podem refletir a luz recebida, tornando-se uma fonte refletora de luz (Romero, 2015).

O sol como fonte de luz é inconstante devido ao movimento de rotação e translação da Terra, e a inclinação de  $23,5^\circ$  do seu próprio eixo. Como consequência a iluminação pode variar de acordo com o local, estação do ano e hora do dia, além das condições atmosféricas como nebulosidade e poluição.

Essa diferença de iluminação entre diferentes locais em conjunto com a previsibilidade na quantidade e direção solar disponível durante o ano, se reflete principalmente na arquitetura antiga, que utilizava apenas a iluminação natural. Enquanto no hemisfério Norte a luz em conjunto com os bosques forma sombras largas e escuras (Figura 2), no Mediterrâneo a luz amarelada destaca os objetos, os antigos gregos se aproveitavam dessa condição para iluminar as estátuas dos seus deuses, orientando-as para leste (Figura 3). Já no antigo Egito, que fica no deserto equatorial, que possui uma iluminação forte e sombras curtas, as paredes eram grossas com a intenção de suavizar e difundir a luz em diversas reflexões (Figura 4) (Romero, 2015).

Figura 2 - Lago Valkea Mustajärvi na Finlândia, localizado na latitude 61,22° do hemisfério norte.



Fonte: Wikimedia Commons<sup>1</sup>.

Figura 3 - Templo de Hefesto em Atenas, na Grécia, localizado na latitude 37° do hemisfério norte.



Fonte: World History Encyclopedia<sup>2</sup>

Figura 4 - A Esfinge e a pirâmide de Quéfren ao fundo em Cairo, no Egito, localizado na latitude 30° no hemisfério norte.



Fonte: Wikimedia Commons<sup>3</sup>.

Até 1879 o ser humano criou outros meios de iluminação artificial, principalmente para o período noturno, como fogueiras, tochas, velas, lampiões e

---

<sup>1</sup> Wikimedia Commons - Lago Valkea Mustajärvi y zona de Senderismo de Evo (Finlandia) 12 < [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lago\\_Valkea\\_Mustaj%C3%A4rvi\\_y\\_zona\\_de\\_Senderismo\\_d\\_e\\_Evo\\_\(Finlandia\)\\_12.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lago_Valkea_Mustaj%C3%A4rvi_y_zona_de_Senderismo_d_e_Evo_(Finlandia)_12.jpg) >.

<sup>2</sup> World History Encyclopedia < <https://www.worldhistory.org/image/6811/temple-of-hephaestus/> >.

<sup>3</sup> Wikimedia Commons - Egito. Guiza - Esfinge e a pirâmide de Quéfren < [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f7/Egito.\\_Guiza\\_-\\_Esfinge\\_e\\_a\\_pir%C3%A2mide\\_de\\_Qu%C3%A9fren.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f7/Egito._Guiza_-_Esfinge_e_a_pir%C3%A2mide_de_Qu%C3%A9fren.jpg) >.

lâmpadas. A criação do Thomas Edison foi apenas o início de uma revolução, que se expandiu principalmente na década de 1940. A iluminação artificial permitiu que as pessoas passassem mais horas acordadas ou em ambientes mal iluminados, modificando hábitos humanos (Martau, 2009).

A variação na quantidade, direção ao longo do dia, estação e condições climáticas, tornam a iluminação natural em espaços internos desafiadora (DiLaura, 2011). Enquanto a iluminação artificial em relação a natural se adapta mais facilmente às necessidades de conforto visual (Lamberts; Dutra; Pereira, 2013) e os problemas relacionados ao ofuscamento, a geração de calor, ao brilho e ao desgaste nas superfícies dos materiais são solucionados com maior facilidade (Romero, 2015). Estes fatores contribuíram para que a iluminação artificial dominasse a iluminação de interiores durante as décadas de 1940 até 1980 (Bertolotti, 2007).

As lâmpadas mais usadas atualmente para iluminação artificial se dividem entre as lâmpadas de filamento, as fluorescentes, as de descarga de alta intensidade e as de iluminação de estado sólido (DiLaura, 2011) dentre elas as de LED. Para o futuro, já existem pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de novas tecnologias de iluminação como o OLED (diodos orgânicos emissores de luz) e os pontos quânticos (Souza, 2023).

Na década de 1970, com a crise do petróleo, ganhou força o conceito de eficiência energética, que propõe que economizar energia é mais barato do que buscar novos meios de fornecê-la (Lamberts; Dutra; Pereira, 2013). Em um primeiro momento, a estratégia visava diminuir as aberturas como forma de reduzir a carga térmica para o sistema de ar-condicionado. Entretanto, na década seguinte, foi proposto o uso da iluminação natural como forma de eficiência energética, já que o sol é uma fonte inesgotável e gratuita de luz (Bertolotti, 2007).

A iluminação natural é considerada como a mais sustentável da atualidade. A iluminância solar direta num plano normal pode chegar a valores de 100.000 lux, dependendo da latitude, direção solar e clareza do céu. Entretanto, por ser também uma fonte de brilho e calor, a luz difusa do céu e do solo são priorizadas em relação a luz solar direta (DiLaura, 2011). Outra desvantagem da iluminação natural é a entrada de calor, a qual aumenta de acordo com o tamanho da abertura. Nos EUA os gastos de energia com iluminação, ventilação e ar-condicionado chegam a 43% do

uso total de energia primária em edifícios residenciais, motivos que levaram a códigos com restrições a área das janelas (Lee, 2022)

Com o intuito de estudar a distribuição da iluminância do céu, foram desenvolvidos modelos de desempenho da luz natural para serem aplicados em ferramentas de softwares de iluminação natural. São considerados três tipos de céu: claro, parcialmente nublado e nublado (DiLaura, 2011).

No céu claro, a luminância mais alta fica na região circunsolar. Diretamente oposta ao sol, sua luminância é relativamente mais baixa e o céu menos brilhante próximo do horizonte. No céu nublado o sol fica completamente escurecido, sendo o azimute simétrico. O céu no zênite é mais brilhante do que no horizonte, tornando a iluminância vertical na fachada de um edifício é a mesma independente de sua orientação. O céu parcialmente nublado é uma média entre os modelos de céu limpo e céu nublado (DiLaura, 2011).

A iluminação natural tem como vantagens a sua qualidade, já que possui todos os comprimentos de onda, sendo percebida como luz branca; já a iluminação artificial depende do tipo de lâmpada utilizada, e geralmente abrange apenas o espectro visível (DiLaura, 2011). Além disso, a luz natural é considerada um recurso vital para o bem-estar do ser humano, já que influencia no rendimento intelectual, acadêmico, comportamental e psicológico (Bernardi, 2001).

As desvantagens de um ambiente com iluminação artificial são os custos de aquisição de equipamentos, operação e manutenção associados (Lamberts; Dutra; Pereira, 2013), além disso, um ambiente sem vista externa, com vidros opacos, monotonia das formas, cores e mobiliário, falta de manutenção, impessoalidade e impossibilidade de manipulação pelos usuários pode causar insatisfação e ser considerado desumano pelos usuários (Bernardi, 2001).

Atualmente se considera o uso da iluminação natural combinada com a iluminação artificial visando níveis adequados de iluminação, principalmente em horários como o amanhecer e o entardecer, que podem gerar diferenças de iluminação (Lamberts; Dutra; Pereira, 2013).

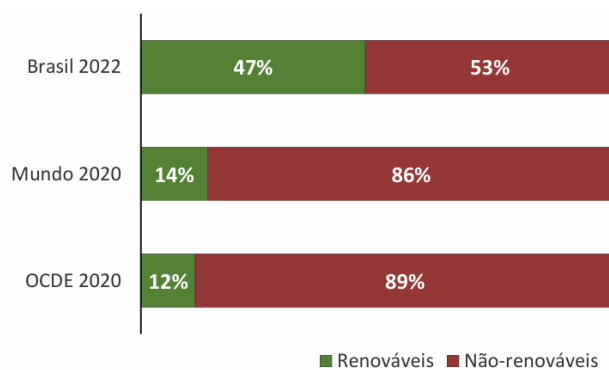
Ainda que as funções de resposta neural e hormonal causadas ou influenciadas pelo sistema circadiano sejam diferentes, estudos mostram que a luz natural e artificial possuem efeitos mensuráveis no sistema circadiano, incluindo mudanças no tempo

circadiano, alerta, temperatura corporal central, frequência cardíaca e produção de cortisol (REA, 2007). Em entrevista, a pesquisadora Mariana Figueró disse acreditar que: atualmente “o objetivo é aprender qual o tipo de luz é mais efetiva para manter os ritmos circadianos sincronizados com o dia solar e com o relógio biológico central” (Casarin, 2010).

### 2.3. ENERGIA, ILUMINAÇÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

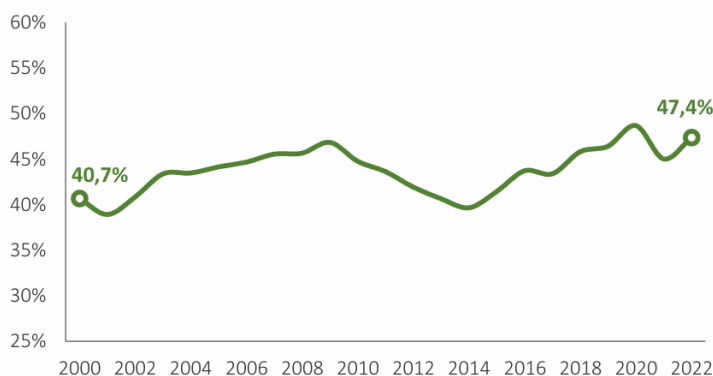
O Brasil nas últimas duas décadas manteve a participação de fontes renováveis na oferta interna de energia em valores maiores que 40% de toda a matriz energética, sendo um destaque em relação ao resto do mundo, como pode-se ver na Figura 5 e 6 (EPE, 2024).

Figura 5 – Comparação internacional da participação das fontes renováveis na oferta de energia interna (OIE)



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

Figura 6 – Comparação internacional da participação das fontes renováveis na oferta de energia interna (OIE)

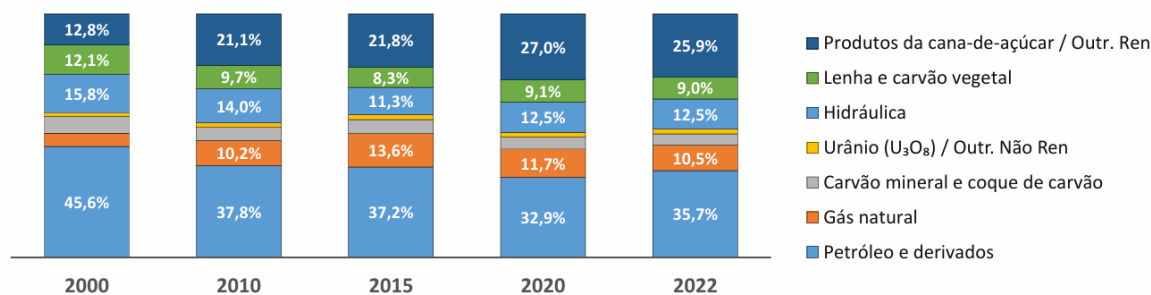


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

O petróleo e seus derivados são a fonte energética não renovável mais utilizada no país desde a década de 2000, e apesar da queda do seu uso ainda conta com

35,7% de participação. Desde a década de 2010 os produtos do setor sucroalcooleiro têm ganhado destaque como fonte renovável de energia. Atualmente as principais fontes renováveis utilizadas no Brasil são os produtos relacionados ao setor sucroalcooleiro, a hidráulica, a eólica e a lixo (Figura 7) (EPE, 2024).

Figura 7 - Consumo energético por fonte

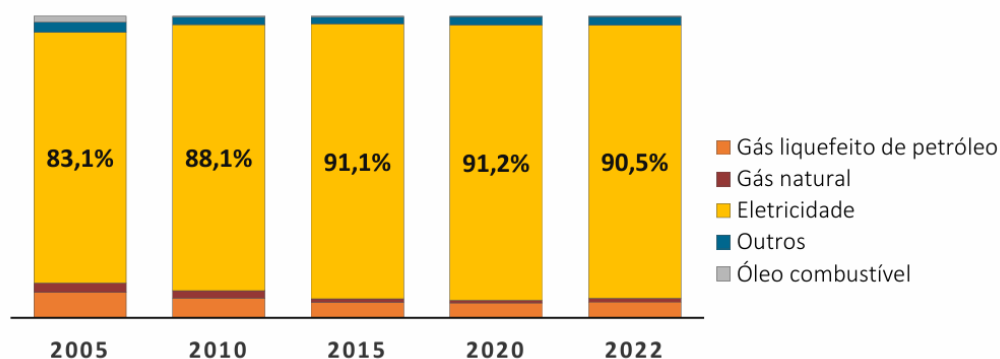


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

O consumo energético se divide em diversos setores, sendo os principais: o residencial, o de serviços e o industrial. A área educacional está inserida no setor de serviços junto com a iluminação pública, água e esgoto, edifícios públicos, saúde, hotéis, restaurantes, escritórios e comércio (EPE, 2024).

O principal consumo final energético do setor de serviços é a eletricidade, que desde 2015 corresponde a mais de 90% de participação (Figura 8). Dividindo o consumo final por segmentos, a área educacional corresponde a menos de 5% de todo o consumo energético no setor de serviços (Figura 9) (EPE, 2024).

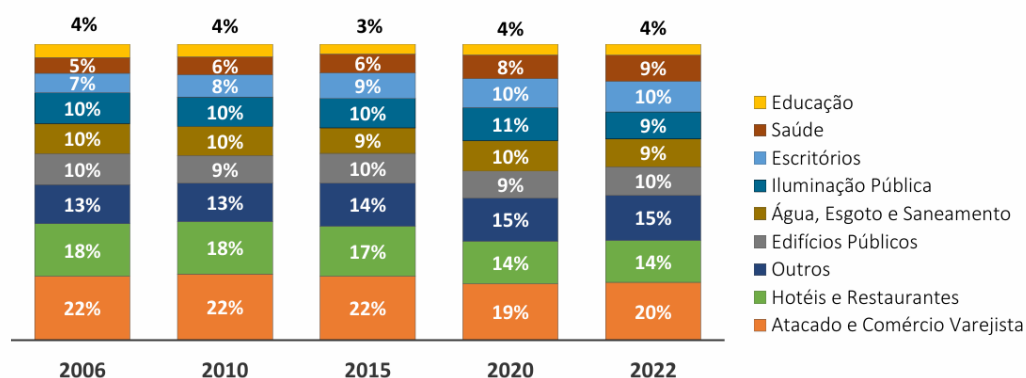
Figura 8 - Evolução do consumo final energético no setor de serviços



Fonte: Empresa de Pesquisas Energética (EPE)

A iluminação corresponde a um valor substancial ao gasto energético, sendo que cerca de 32% da energia elétrica usada nos edifícios comerciais, em âmbito global, corresponde a iluminação (DiLaura, 2011).

Figura 9 – Consumo final energético por segmento no setor de serviços



Fonte: Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE)

No Brasil, o CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável), baseado em dados fornecidos pela Eletrobrás no ano de 2007, constatou que o consumo energético do ar-condicionado representa em torno de 45% e da iluminação de 20% em edifícios comerciais e públicos (Rosa; Fonseca; Pereira, 2019).

Desde a crise do petróleo na década de 1970, os países e órgãos nacionais e internacionais como a ONU, tentam formular metas que protejam o meio ambiente e fomentem a sustentabilidade (DiLaura, 2011).

Em iluminação a sustentabilidade pode ser definida como o encontro entre as necessidades qualitativas da visão com o menor impacto ambiental. Além do gasto energético, a iluminação artificial usa recursos naturais na fabricação de lâmpadas e luminárias como o aço, alumínio, cobre, vidro e plástico (DiLaura, 2011).

Para que uma iluminação sustentável seja possível deve-se: considerar o uso da iluminação natural de qualidade como fonte primária de luz através de aberturas, conectando os usuários ao exterior proporcionando um ambiente mais agradável e saudável; projetar um sistema de iluminação natural e artificial integrado, que a iluminação artificial só entre onde e quando for necessária, conservando a energia e reduzindo a demanda elétrica; utilizar sistemas e equipamentos flexíveis, duráveis e de fácil manutenção; e usar materiais eficientes energeticamente e ambientalmente responsáveis (DiLaura, 2011).

Avanços tecnológicos como foto-controles, em que a sensibilidade a iluminação natural controla o sistema de iluminação, demonstrou que pode auxiliar na otimização do consumo de energia. Um estudo feito em escritórios na Califórnia mostrou que a redução de energia anual passou de 458,5 GWh e de 184,2 MW em momentos de pico de demanda (Rosa; Fonseca; Pereira, 2019).

Certificações e legislações foram criadas como uma maneira de incentivar a eficiência energética, e, em relação a iluminação ela se divide entre a regulamentação dos equipamentos e normas de projeto. As normas estabelecem requisitos mínimos de eficiência energética de novas construções, reduzindo impactos e mantendo sua função, conforto e produtividade (DiLaura, 2011).

No Brasil os programas de etiquetagem relacionados a eficiência energética começaram no ano de 1984 com o PBE- INMETRO, seguido da criação do PROCEL no ano consecutivo. Atualmente contamos com o selo PROCEL, o Método PBE - Edifica, as leis e regulamentos que atuam como incentivadores da eficiência energética tanto nas edificações quanto nos equipamentos elétricos (EPE, 2024).

## **2.4. SISTEMA VISUAL**

O sistema visual humano é constituído dos órgãos visuais e a sua ligação com o cérebro. Os olhos são os principais órgãos visuais, e são capazes de captar e traduzir a radiação luminosa, e focar os objetos, abrangendo um campo visual de aproximadamente 180 graus (Silveira, 2015). Sua estrutura é composta pela esclerótica, membrana conjuntiva, corpo ciliar, córnea, íris, cristalino, humor vítreo, retina e nervo óptico, como podemos ver na Figura 10 (Capelini, 2019).

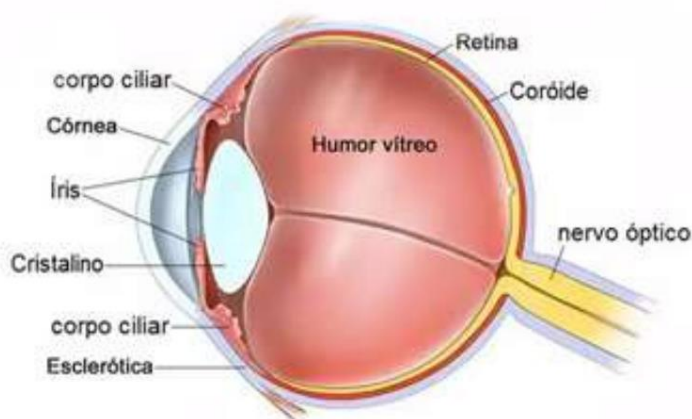
O globo ocular possui uma forma esférica com diâmetro de cerca de 24mm em adultos, mantida pela pressão de líquidos internos e envolto pela membrana esclerótica (Silveira, 2015). A esclerótica é uma membrana fibrosa externa dos olhos, em que se fixam os músculos responsáveis pelo movimento do olho (Capelini, 2019).

A córnea, situada na parte frontal do olho, é uma estrutura gelatinosa e transparente que permite a visualização da íris e da pupila. Sua função principal é proteger os olhos e direcionar os raios de luz que passam pela pupila (Capelini, 2019). Logo atrás da córnea, encontramos o humor aquoso e, posteriormente a pupila, está o cristalino responsável por focar a imagem diretamente na retina (Silveira, 2015). No



interior do globo ocular, preenchendo seu espaço, encontra-se o humor vítreo, também transparente e gelatinoso (Capelini, 2019).

Figura 10 - Representação do globo ocular, em que podemos ver a localização das estruturas ópticas como a córnea, o corpo ciliar, a íris, o cristalino, a esclerótica, o humor vítreo, a retina, o coróide e o nervo óptico.



Fonte: Capelini, 2019.

Silveira (2015, pg. 82) descreve de forma detalhada o funcionamento da íris em conjunto com a retina:

*“Um disco pigmentado, denominado íris, se coloca à frente do cristalino e é dotado de um orifício, a pupila, funcionando como um diafragma regulável. Uma parte muito pequena da luz que entra pela pupila volta a sair, daí sua coloração ser negra. Seu diâmetro varia de 1.5mm a 2mm quando exposta à iluminação muito intensa, e vai até 8mm a 10mm quando a iluminação é extremamente débil. Deste modo, a pupila regula o fluxo luminoso incidente na retina, protegendo-a. À medida que o olho recebe um fluxo luminoso crescente, a pupila vai se estreitando e a retina se torna menos sensibilizada. Esse mecanismo assegura a adaptação visual, permitindo ao olho operar eficientemente tanto em ambientes quase completamente escuros, como sob claridade intensa”.*

A retina é uma membrana fotossensível na qual as imagens são formadas e transformadas em impulsos nervosos. Nela encontram-se os cones e bastonetes (fotorreceptores), os quais podem estar esparsos na retina, contribuindo com a visão periférica, ou ligados à fóvea retiniana propiciando a percepção dos pormenores. Os cones são responsáveis pela visão diurna e colorida, e encontram-se principalmente no centro da fóvea em um número de aproximadamente 7 milhões. Os bastonetes atuam na visão noturna e escotópica, distinguindo apenas tonalidades de cinza (Silveira, 2015). Eles são aproximadamente 100 milhões e apenas um fóton é capaz de ativá-los. Silveira (2015, pg. 83) descreve o processo de ativação dos bastonetes:

*“Os bastonetes são fotorreceptores à base de proteínas, cuja sensibilidade é grande o suficiente para ser ativada até por um simples fóton. Esta proteína chama-se rodopsina (ou púrpura retiniana), ativada pelas chamadas*

*proteínas G (pertencentes a uma família importante na resposta a fatores hormonais). No fenômeno da visão, a rodopsina é uma substância que exerce o papel de aumentar a sensibilidade da retina à luz. Pela ação da própria luz, a rodopsina se decompõe em outra proteína (opsina) e em retinol (aldeído da vitamina A) e este processo induz o início de uma série de reações codificadas bioquimicamente, que estimularão o nervo óptico, começando assim a transmissão dos impulsos nervosos até o cérebro.”*

As células bipolares são responsáveis por levar as informações dos cones e bastonetes para as células ganglionares, e a partir destas as informações vão individualmente para cada fibra nervosa que forma o nervo óptico. A partir do nervo óptico as informações chegam ao córtex visual através dos neurônios. No córtex visual os sinais são processados, e a leitura da informação visual é feita (Silveira, 2015).

A manifestação cromática ocorre da seguinte forma: a luz branca ao atingir o material, é em parte absorvida e em parte refletida. A luz refletida é o que consideramos a cor do objeto e é a radiação que chega aos nossos olhos (Figura 11). As causas da transformação do branco em colorido são: a natureza dos átomos e sua disposição na molécula, composição e estrutura química dos corpos, e a posição da molécula no espaço (Silveira, 2011). Quando a onda eletromagnética refletida do objeto incide nos olhos começa o processo de “visão”, que está exemplificado na Figura 12. As cores são fisiologicamente percebidas pelo contraste de cores entre os cones. O principal contraste feito é o da cor branca, que regula a constância cromática (Silveira, 2015).

A visão cromática pode sofrer algumas alterações devido a distúrbios fisiológicos relacionados aos receptores sensíveis, em especial aos cones. A esse distúrbio chama-se daltonismo, que pode ser classificado entre: deuteranopia, dificuldades com as cores verdes; protanopia, dificuldades com a cor vermelha; tritanopia, dificuldades com amarelo e azul, e daltonismo acromático, em que a pessoa vê apenas tons de preto, cinza e branco (Capelini, 2019).

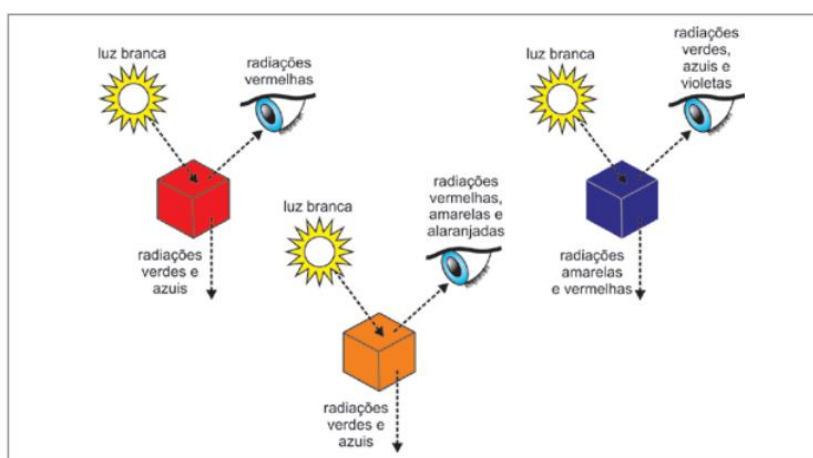
Algumas pesquisas apontam que cores quentes como vermelho, amarelos e laranja provocam sentimentos de excitação, aumento na receptividade aos estímulos externos, e aumento nas respostas emocionais e motoras de uma pessoa, enquanto as cores frias como o violeta, azul e verde provocam efeito calmante (Sahin; Figueiro, 2013)

Figura 11 - Radiações monocromáticas e as cores relacionadas a eles

$\lambda$ (nm)	(nm)
380	violeta
436	azul
495	verde
566	amarelo
589	laranja
627	vermelho
780	

Fonte: Silveira, 2015

Figura 12 - A cor que vemos nos objetos em realidade é a cor-luz que foi refletida pelo objeto a luz branca, enquanto a onda das outras cores foi absorvida.



Fonte: Silveira, 2015

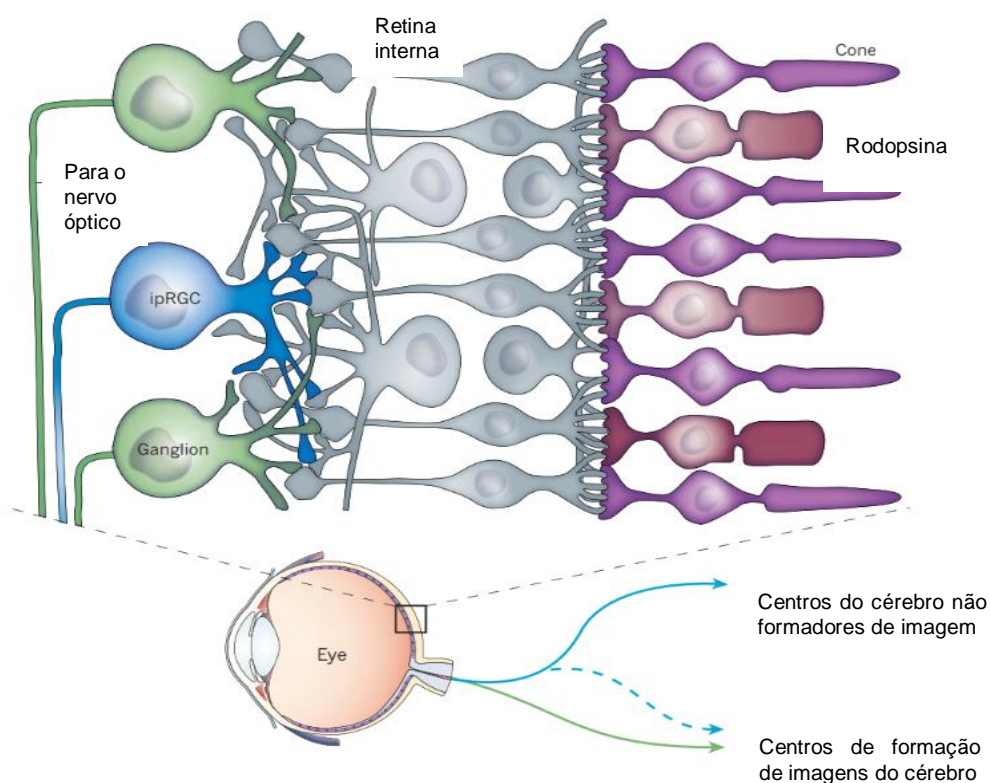
## 2.5. CICLO CIRCADIANO

No início da década de 2000 pesquisas relacionadas à visão indicaram que mamíferos, ainda que “cegos”, ou seja, sem cones e bastonetes, eram capazes de sentir a presença da luz. Essa capacidade de “sentir” a luz vinha acompanhada de um relógio biológico funcional, ao contrário de mamíferos sem olhos, que além de não ter sensibilidade à luz, tinham um relógio biológico disfuncional (Lok, 2011).

Em 2002, o neurocientista David Benson e sua equipe descobriram as células ipRGCs, que ficam na retina (Figura 13) (Lok, 2011) concentradas principalmente na mácula (Nagare, 2021) que detectam a luz e enviam a informação para o núcleo supraquiasmático (Lok, 2011). Estas células estão envolvidas com o ciclo circadiano (Nagare,2021)

O relógio biológico tem função em todos os ritmos do corpo, macro e micro, enquanto o ciclo circadiano é um desdobramento do relógio biológico, atuando em ciclos diários. Um ciclo circadiano desregulado pode trazer malefícios como insônia, indigestão, problemas cardiovasculares, diabetes, obesidade e propensão ao câncer (Casarin, 2010).

Figura 13 - Esquema da retina ocular no qual podemos ver as células ipRGC e as células ganglionares se conectando à retina, que por sua vez se conectam aos cones e às rodopsinas.



Fonte: Lok, 2011

As características de iluminação que afetam o sistema circadiano diferem daquelas que afetam a visão. O sistema circadiano, medido pela supressão aguda de melatonina, é extremamente sensível à luz de comprimento de onda curto (azul), com um pico de sensibilidade espectral em torno de 460 nm, enquanto o sistema visual, medido pela percepção de brilho, é mais sensível ao comprimento de onda médio da porção do espectro visível, com pico em torno de 555 nm (Acosta, 2017).

A intensidade, duração, cor, horário e direção que a luz entra na córnea são variáveis que podem interferir na produção e nos níveis noturnos de melatonina (Nagare, 2021). Enquanto o sistema visual responde a um estímulo de luz muito

rapidamente (em milissegundos), a duração da exposição à luz necessária para afetar o sistema circadiano pode ser de vários minutos (Acosta, 2017).

Variáveis como quantidade, espectro, tempo, duração, padrão e exposição anterior à radiação óptica, afetam a magnitude da resposta de redefinição de fase do ciclo circadiano (DiLaura, 2011)

Quanto maior a exposição à luz durante o dia, menor a sensibilidade do sistema circadiano à luz, medida pela supressão noturna da melatonina e mudança de fase. A luz do dia é indiscutivelmente a fonte de luz ideal para sincronizar o sistema circadiano humano, fornecendo a quantidade certa, espectro, distribuição, duração e tempo necessários para o arrastamento para a hora local (Acosta, 2017).

Resultados de pesquisas indicam que a supressão de melatonina pela luz tem impacto no estado de alerta, mesmo de forma não induzida. Sahin e Figueiró (2013) comentam que foi demonstrado que a exposição de 1000 lux na córnea durante cinco horas reduziu a sonolência subjetiva e diminuiu os movimentos oculares lentos, enquanto o desempenho no teste de vigilância psicomotora melhorou em comparação a luz fraca. Em outra investigação, a exposição curta e brilhante, 7000 lux durante vinte e um minutos, durante o dia deteve a sonolência relacionada a escuridão.

O horário de exposição à radiação solar altera o relógio biológico, se for mais cedo que o normal pode adiantá-lo e se for mais tarde pode atrasá-lo. A radiação ótica entre às 6h e 18h avança o relógio biológico, principalmente pela manhã. Enquanto a exposição entre as 18h e 6h atrasa, com atraso máximo as 2h da manhã. Os efeitos de mudança de fase da radiação óptica também dependem da duração e do padrão de exposição à radiação óptica e variam exponencialmente com a duração. (DiLaura, 2011).

A NBR 15215-3 (ABNT, 2023), que trata da verificação experimental das condições de iluminação natural dos espaços internos, passou por uma atualização em 2023, que passou a incluir métodos para a quantificação de estímulos não visuais como o ciclo circadiano.

Além da influência no ciclo circadiano, outros estudos apontam que a luz é capaz de influenciar em aspectos psicológicos causando enfermidades como o transtorno afetivo sazonal (TAS). As pessoas afetadas pela TAS apresentam uma grande queda em sua energia e resistência física durante o outono e inverno, podendo

experimentar episódios de depressão, sonolência, aumento de apetite e necessidade de afastamento, e sentimentos de desesperança e desespero. Estima-se que apenas nos Estados Unidos 10 milhões de pessoas sofram dessa doença e outros 25 milhões sofram de forma mais branda. Estudos apontam que pessoas expostas a iluminâncias diárias de 2500 lux durante 2 a 4 horas ou 10.000lx durante 30 minutos, apresentaram melhora no quadro da TAS (DiLaura, 2011).

Outro benefício da iluminação é sua capacidade de eliminar diversas espécies de fungos, bactérias, leveduras e vírus quando seu comprimento de onda se encontra entre 180 e 700nm (DiLaura, 2011).

## **2.6. FUNDAMENTOS DE CONFORTO VISUAL**

O conforto visual se relaciona com a qualidade e quantidade de luz e suas variações e distribuições em um ambiente, e está associado ao bem-estar, funcionalidade, ritmo circadiano e desempenho visual. Este conceito considera fatores como iluminância, ofuscamento, contraste e sombreamento de forma que permitam o desenvolvimento das atividades visuais com acuidade e precisão, pouco esforço e riscos de acidentes (Lamberts; Dutra; Pereira, 2013). Jones e Reinhart (2016) acreditam que o objetivo de um projeto de iluminação arquitetônica sobrepassa a produção de ambientes visualmente confortáveis, e adiciona que os ambientes também devem estar livres de desconforto visual. Kowaltowski (1997 apud Bernardi, 2001) admite outros fatores para uma iluminação adequada, como: atividade a ser executada, distância entre o usuário e o objeto e o uso das cores das superfícies.

A iluminância é definida como densidade de fluxo luminoso que atinge um plano (DiLaura, 2011), ou seja, a quantidade de luz que atinge uma superfície por unidade de área. A iluminância está, até certo ponto, relacionada paralelamente com a acuidade visual, pois quando há o aumento da iluminância no plano de trabalho há o aumento do desempenho visual. A relação chega ao limite quando o excesso de iluminância pode causar ofuscamento (Bertolotti, 2007).

O ofuscamento pode ser causado por dois diferentes efeitos, o contraste e a saturação. O ofuscamento pode ser classificado entre desconfortáveis ou perturbadores e inabilitadores. O primeiro traz desconforto, mas não impede o desenvolvimento da atividade, ao contrário do segundo, que causa um impedimento

(Lamberts; Dutra; Pereira, 2013). Jones e Reinhart (2016) ainda citam um terceiro tipo de ofuscamento que seria o ofuscamento velado, que é quando a luz é vista indiretamente através do reflexo, um exemplo seria quando a luz incide na tela do computador dificultando a visão do conteúdo da tela. Em ambientes externos, o ofuscamento é classificado de acordo com seu potencial de produzir imagens residuais ou danos oculares. O ofuscamento também pode ser dividido entre direto e indireto, o direto está conexo a geometria do ambiente visual e o indireto é causado pela reflexão da luz em uma superfície polida. Também existe o ofuscamento causado em superfícies impressas que é gerado pela falta de contraste (Lamberts; Dutra; Pereira, 2013).

O contraste se dá pela relação entre a luminância do objeto e do entorno imediato deste objeto, a saturação ocorre quando há excesso de luz (Lamberts; Dutra; Pereira, 2013). Subsistem três tipos de contraste: contraste de brilho, que resulta da luz emitida de uma superfície, bem como suas sombras, cores e texturas; contraste de padrões, provém da mudança da percepção dos padrões; contraste de cor, vem da justaposição de cores próximas ou complementares (Bertolotti, 2007). O contraste de brilho pode ser mensurado através dos valores relativos de luminância de duas regiões do campo de visão do usuário, em que se usa um medidor de luminância ou se compara os valores em uma imagem calibrada de alta faixa dinâmica (HDR). O brilho velado em um monitor é quantificado pela taxa de contraste CR<sub>v</sub> (Jones; Reinhart, 2016).

O sombreamento depende de fatores como a escala da iluminação vetorial e sua direção. Em um ambiente escolar é desejada uma luz difusa, ou seja, com escala/vetor de baixa intensidade (Lamberts; Dutra; Pereira, 2013).

De acordo com Bertolotti (2007), para que o sistema visual desempenhe adequadamente suas funções é necessário o maior campo visual, maior contraste de luminâncias e maior diferenciação de cores, para que a retina possa reproduzir a melhor imagem. Quanto maior for a iluminação da retina, o desempenho visual será maior e mais rápido. A luminância está relacionada com a quantidade de brilho físico de um objeto, é uma medida do poder de emissão de luz de uma superfície (DiLaura, 2011), e pode ser mensurado por um fotômetro. Enquanto a iluminância se associa a luz que incide no objeto, a luminância se relaciona com a reflexão da luz nesse objeto, com a luz que a nossa visão capta. Quanto maior o contraste de luminâncias, maior o

contraste de cores (Bertolotti, 2007). De acordo com DiLaura (2011), a luminância é importante no projeto e na engenharia de iluminação, pois é um estímulo direto à visão e muitas medidas de desempenho e percepção dependem dela.

Uma iluminação inadequada pode originar problemas de saúde a curto prazo como a fadiga visual que pode causar visão embaçada, dor de cabeça, dificuldade de visão e lacrimejamento, que se persistir por um longo período pode acarretar ao desempenho das pessoas e sua saúde (Bertolotti, 2007).

Para que se elabore um sistema de iluminação adequado, devem ser consideradas as variáveis como qualidade, quantidade, fonte natural ou artificial, e nível de iluminação. Apesar de terem valores quantificáveis, os valores variam conforme as preferências de cada indivíduo. A NBR/ISO CIE 8995 (ABNT, 2013) fixa iluminâncias mínimas para cada tipo de atividade, a fim de evitar fadiga visual, dor de cabeça, irritabilidade e acidentes.

Atualmente, para a tomada de decisão no projeto arquitetônico, existem algumas maneiras de se simular o ambiente luminoso do projeto em questão. O primeiro deles é utilizar métricas baseadas em fotografia, verificando a probabilidade de ofuscamento em relação à luz do dia, através da renderização com base física. O outro são os cálculos de luminância em grade, em que métricas de iluminação natural baseadas no clima são simuladas em pontos únicos no tempo ou anualmente (Jones; Reinhart, 2016).

---

## **2.7. ARQUITETURA ESCOLAR**

A escola é o primeiro local de interação das crianças fora do ambiente familiar, onde ocorre a transmissão de conhecimentos, socialização, amadurecimento e desenvolvimento social, cultural e cognitivo. Uma das interações que ocorre é com o ambiente físico, nele a criança descobre, estabelece e ocupa o espaço (Mosch, 2009).

A aquisição de conhecimento pela criança e a arquitetura escolar possuem relação direta, já que a relação espaço-usuário auxilia a criança a adquirir conhecimento de forma permanente e evolutiva. De acordo com Mosch (2009), espaços maltratados e sensorialmente pobres são como um desrespeito à comunidade escolar, podendo gerar amargura, alienação e revolta em seus usuários. Fatores como temperatura, qualidade do ar, acústica, iluminação e dimensões



funcionais interferem na humanização dos espaços escolares, que influenciam na frequência e comportamento dos estudantes (Kowaltowski, 2011).

De acordo com Alves (2015) os participantes devem ser os protagonistas de qualquer programa de aprendizagem, e o método de aprendizagem deve ser diferente conforme se passam as gerações. Atualmente, os ambientes de ensino precisam ser atrativos e capazes de motivar os estudantes e professores.

Mosch (2009) diz que a humanização da arquitetura considera as necessidades físicas, psíquicas e estruturais do ser humano, que é a principal referência do projeto arquitetônico. Nele são vinculadas as características de aconchego, estética, humanidade e natureza que unem o ser humano à arquitetura.

Infelizmente essa não é a realidade de parte das escolas públicas brasileiras, que historicamente priorizam o número de vagas por estudante em lugar da qualidade do edifício (Kowaltowski, 2011). Para que o projeto das escolas públicas brasileiras apresentasse um espaço arquitetônico de qualidade técnica visando o conforto ambiental e que concordasse com a metodologia aplicada hoje nas escolas, está em elaboração a Série Manual de Orientações Técnicas para Elaboração de Projetos de Edificações Escolares do Ensino Fundamental da FNDE (MEC, 2017).

A série de manuais reuniu normas técnicas, cartilhas de recomendações, estudos técnicos e acadêmicos, com o objetivo de informar os órgãos estaduais e municipais, arquitetos e engenheiros e toda a comunidade sobre o desenvolvimento e construção de projetos arquitetônicos escolares (MEC, 2017).

O Manual de Volume III se divide em duas partes, na primeira trata do desempenho da construção escolar e se aplica a todas as construções financiadas pela FNDE. A segunda parte refere-se à parte arquitetônica das escolas de ensino fundamental, demonstrando os critérios, procedimentos e diretrizes necessários para a elaboração dos projetos de arquitetura escolar (MEC, 2017).

## **2.8. CONFORTO E DESEMPENHO VISUAL EM AMBIENTES DE ENSINO**

A preocupação com a iluminação em salas de aula tem sido uma questão recorrente. Desde o século XIX acreditava-se que a iluminação natural desempenhava um papel fundamental no conforto, saúde e aprendizado das crianças. Foram criadas recomendações relacionadas a orientação e aberturas de salas de aula, que foram

adotadas pelo Reino Unido no decorrer do século XIX (Bertolotti, 2007). Estas primeiras recomendações já indicavam que a área das janelas deveria corresponder a 1/5 da área da sala de aula, ideia que perdurou até a década de 1960 (Wei, 2003).

Entre as décadas de 1900 a 1930 imperou o conceito de “open-air school”, em que as salas de aula possuíam grandes aberturas bilaterais com varandas, que permitiam a ventilação cruzada e a iluminação natural na maior parte do dia. Entre as salas de aula haviam jardins que permitiam aos alunos acesso a uma vista exterior de dentro das salas de aula (Wei, 2003).

Em 1913, após uma reunião da Illuminating Engineering Society no Reino Unido, chegou-se num consenso de que paredes e tetos com alta refletância melhoravam a iluminação natural para atividades como leitura e escrita nas salas de aula, também concordaram a iluminação interna deveria ser a mais difusa possível sem luz direta para evitar problemas de contraste e o superaquecimento no verão (Wei, 2003).

Contudo, após a Segunda Guerra Mundial e a popularização das lâmpadas fluorescentes, deu-se preferência à iluminação artificial pois se adaptava mais facilmente e oferecia conforto visual (Bertolotti, 2007). Em oposição às grandes janelas que geravam ofuscamento e aquecimento desconfortável, foram surgindo salas de aula com janelas menores iluminadas artificialmente (Wei, 2003). Tanto que na década de 1960 surgiram os defensores das escolas sem janelas, que adotava a ventilação mecânica e iluminação elétrica como forma de reduzir os custos, vandalismos e distrações para os estudantes (Bertolotti, 2007).

Durante as décadas de 1960 e 1970 ocorreram estudos comparando estudantes que frequentavam as escolas sem janelas e com janelas. Percebeu-se que a ausência de janela não afetava no desempenho escolar dos alunos, mas causava desconforto, os alunos tinham uma tendência maior a faltarem as aulas (Wei, 2003).

Foi a partir da década de 1980 que a iluminação natural foi reconsiderada, inicialmente como forma de redução do consumo de energia. Na década seguinte, pesquisas desenvolvidas demonstraram que a exposição à luz natural afeta não apenas os aspectos psicológicos e comportamentais, mas também a atenção, o desempenho escolar, a depressão, a sonolência e a saúde física de crianças,

adolescentes e adultos. Isso se deve ao estímulo da vitamina D, a regulação do ciclo circadiano e a prevenção do raquitismo (Bertolotti, 2007).

Atualmente considera-se que um ambiente de ensino atrativo pode colaborar para a motivação de todos os envolvidos da comunidade escolar. Segundo Kowaltowski (2011):

*“Sabe-se que o projeto de ambientes de aprendizado pode ter um impacto significativo na frequência e no comportamento dos alunos. Os funcionários podem se sentir mais valorizados e motivados em edifícios bem projetados, e as pessoas que moram no entorno podem usar as facilidades que se tornam disponíveis com a construção da escola”.*

Além disso variáveis físicas do ambiente, como temperatura, qualidade do ar, acústica, iluminação e dimensões funcionais surtem efeitos no aprendizado e devem ser considerados no projeto arquitetônico.

A adequada iluminação em ambientes construídos possibilita a realização de atividades visuais com precisão e acuidade, reduzindo o esforço e risco para os usuários. Kowaltowski (1997, apud. Bernardi, 2001) também menciona outros fatores a serem considerados para uma iluminação adequada, tais como: a atividade a ser executada, a distância entre o usuário e o objeto, e o uso das cores das superfícies.

De acordo com Bernardi (2001), a construção de um ambiente educacional exige não apenas a observância das normas, mas também a oferta de um espaço seguro, acessível e confortável para os usuários, pois as condições de conforto do ambiente impactam psicologicamente e fisiologicamente os usuários, afetando o seu desempenho.

No Brasil, para garantir a segurança das atividades escolares, existe o Manual de Orientações Técnicas da FNDE – Volume 3, fornecido pelo MEC (MEC, 2017). O Manual tem como referência de orientações técnicas de iluminação as normas da ABNT. O Manual considera o conforto visual, porém sem abordar os estudos recentes sobre iluminação natural, ciclo circadiano que estão sendo revisados atualmente nas novas NBRs de iluminação natural.

## **2.9. LEGISLAÇÕES E NORMAS**

No Brasil, as normas relacionadas a iluminação se dividem entre iluminação natural e artificial. A NBR 5461 (ABNT, 1991) trata principalmente de nomenclaturas, a NBR 5382 (ABNT, 1985) e a NBR 5413 (ABNT, 1992) tratavam de iluminação

artificial, e em 2013 foram substituídas pela NBR/ISO CIE 8995 (ABNT, 2013). A NBR 15215 (ABNT, 2005), dividida em quatro partes foi publicada no ano de 2005 e trata da iluminação natural, suas nomenclaturas, medições e verificações experimentais.

A NBR/ISO CIE 8995-1 (ABNT, 2013) descreve as condições de iluminação interna para locais de trabalho e para atividades visuais, sem especificar como os sistemas de iluminação devem ser projetados. A norma considera, além da iluminância, os limites de desconforto causado pelo ofuscamento e o índice de reprodução de cor mínimo para os locais de trabalho e condições de realização das tarefas.

As principais diferenças entre a NBR/ISO CIE 8995-1 e a NBR 5413 são:

- A NBR/ISO CIE 8995 (ABNT, 2013) é baseada na norma internacional ISO 8995-1 (Lighting of indoor workplaces);
- A NBR 5413 (ABNT, 1992) considerava a idade como fator relevante para o projeto de iluminação, enquanto a NBR/ISO CIE 8995 (ABNT, 2013) desconsidera essa variável;
- A NBR/ISO CIE 8995 (ABNT, 2013) preocupa-se mais com problemas relacionados ao ofuscamento;
- A NBR/ISO CIE 8995 (ABNT, 2013) redefiniu a proposta de refletância, passando a considerar faixas padrão para teto, paredes, pisos e plano de trabalho, diferente da NBR 5413 (ABNT, 1992) que dividia em três grandes grupos de acordo com sua porcentagem;
- A norma anterior analisa apenas a iluminação geral, e a atual estabelece o que é tarefa e entorno imediato, definindo o nível de iluminância para cada área;
- A uniformidade remendada pela NBR 5413 (ABNT, 1992) é de 0,5 enquanto na atual é de 0,7;
- A NBR/ISO CIE 8995 (ABNT, 2013) tem instruções de manutenção para os equipamentos luminosos; apresenta soluções de conforto e segurança; aborda os índices de reprodução e temperatura de cor; e recomendação de grade de cálculos em softwares.

Com relação às salas de aula, a NBR/ISO CIE 8995 (ABNT, 2013) separa as salas de aula em dois tipos: Sala de aula, salas de aula particulares; e Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos. Na primeira ela prevê valores de 300 lux para a iluminância mantida, 19 UGRL para o índice de ofuscamento unificado máximo

e 80 Ra para índice de reprodução de cor mínimo; e, para a segunda, 500 lux, 19 UGRL e 80 Ra.

O anexo A da NBR/ISO CIE 8995-1 (ABNT, 2013) informa o que deve ser considerado como entorno imediato das salas de aula em três tipos de distribuição de mesas: arranjo desconhecido, arranjo flexível e arranjos semelhantes a locais de trabalho que se estendem até os limites da sala. Nos dois primeiros considera-se a área de trabalho a sala inteira, exceto uma faixa marginal de 0,5 m; enquanto no último considera-se a sala inteira. Nos dois últimos, a uniformidade planejada a ser considerada é  $U1 \geq 0,6$  para uma uniformidade mínima de 0,7.

A NBR 15215-4 (ABNT, 2023) expõe as metodologias a serem utilizadas no monitoramento do ambiente construído para avaliações de desempenho e avaliações pós ocupação. A norma foi atualizada no ano de 2023 e em conjunto provieram os conceitos relacionados ao ciclo circadiano, procedimentos para medição do estímulo não visual, calculadora de estímulo circadiano (CS – circadian stimulus), entre outros. Não há nenhuma abordagem específica para salas de aula (ABNT, 2023).

O Manual de Orientações Técnicas da FNDE - Volume 3, ainda que esteja em fase de desenvolvimento, apresenta critérios para que o conforto lumínico seja atendido nos diversos ambientes escolares. Em relação a iluminação natural é proposta uma relação mínima entre as áreas de esquadrias externas e a área de piso do ambiente, para as salas de aula é proposta a relação mínima de 1/5. Para a iluminação artificial são propostos níveis de luminâncias mínimos para cada ambiente, sendo para salas de aula 500 lux (MEC, 2017).

O Manual também orienta que ao utilizar a iluminação natural se considere fatores como a zona bioclimática, o uso de ventos favoráveis, orientação solar, e o bloqueio da luz solar direta para evitar o ofuscamento direto ou refletido, por meio de prateleiras e luz, beirais, cobogós, iluminação zenital, brises e outros (MEC, 2017).

Apenas a NBR 15215-4 é a única norma que contempla os recentes estudos sobre o ciclo circadiano.

## **2.10. SOFTWARES RELACIONADOS À ILUMINAÇÃO**

Existem três mecanismos para elaborar o projeto de iluminação natural: modelos em escala, ferramentas de projeto simplificadas e ferramentas

computacionais. Este último ganhou destaque com os softwares de simulação, em que aspectos qualitativos e quantitativos da luz são avaliados, podendo inclusive adicionar aspectos relacionados como o desempenho térmico e energético (Barbosa, 2021).

As simulações podem ser estáticas ou dinâmicas. A simulação estática avalia a iluminação sob condições específicas de céu, dia, hora. Enquanto a dinâmica avalia o ano inteiro baseado em valores climáticos anuais. Em ambas são solicitados dados como: geometria, área, latitude, posição, orientação e propriedade dos materiais (Barbosa, 2021).

Ainda que as metodologias de simulação da luz natural variem em escala e complexidade, desde o seu entorno, aberturas, fachadas e espaços internos. Todas as ferramentas de simulação estão baseadas fisicamente para avaliar contexto luminoso no espaço e tempo determinados (Ayoub, 2020).

Os softwares de simulação de iluminação natural estimam o desempenho energético luminoso da edificação e a disponibilidade de luz (Barbosa, 2021). A seguir serão apresentados alguns dos softwares que auxiliam na análise da iluminação natural e artificial por meio de simulações em um ambiente interno.

O Apolux é um software desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina pelo professor Anderson Claro, que possibilita a visualização e análise de ambientes em relação às iluminâncias e luminâncias (Lamberts; Dutra; Pereira, 2013). O software utiliza arquivos tridimensionais no formato DXF em conjunto com dados climáticos para a análise, no programa são inseridos dados como materiais e luminárias, e para os cálculos da radiosidade para a determinação da iluminação (Apolux, 2023).

O ClimateStudio é um software que faz diagnósticos térmicos e lumínicos. Ele pode fazer análises climáticas, estudos do sol e sombras, cálculos lumínicos, ofuscamento anual, sombreamento dinâmico, análise da iluminação natural e artificial, entre outros. O programa é integrado ao Rhino e ao Grasshopper (Solemma, 2023).

O DIALux é um software alemão gratuito disponível em 26 idiomas, com 190 fabricantes de iluminação disponíveis e mais de 750 mil usuários. Com ele é possível desenhar, calcular e visualizar o projeto de iluminação de interiores e exteriores (DIALux, 2023).

O DIVA é um software do grupo Solemma que funciona como um plugin para o Rhinoceros. Ele era capaz de analisar a luz do dia e a energia usada em um modelo. Atualmente encontra-se em descontinuação, sendo substituído pelo ClimateStudio (Solemma, 2023).

O Ecotect Analysis é um software que permite a análise e simulação de uma edificação em relação a sua energia total, estudo térmico, consumo de água, radiação solar, luz natural, sombras e reflexos. Foi retirado do mercado desde 2015 pela Autodesk que incorporou essa ferramenta em forma de plug-in no Revit (Autodesk, 2023).

O EnergyPlus é um software gratuito, de código aberto e multiplataforma. Ele lê os arquivos de entrada, que podem ser textos de planilha ou modelados em plugins como OpenStudio, e cria arquivos de planilhas e gráficos (Energyplus, 2023). O software permite a análise da iluminação artificial e natural, integrando-a com o consumo de energia com iluminação e a carga térmica para o sistema de ar-condicionado. Inclusive, por meio do OpenStudio, é possível utilizar o Radiance.

O Honeybee é um plug-in para Grasshopper que faz parte das ferramentas do Ladybug. Ele é capaz de auxiliar nos estudos da luz por meio da análise de iluminância, luz diurna, exposição solar, análise de ofuscamento, radiação solar, e controle da luz artificial. Este plugin é capaz de gerar simulações de iluminação usando o Radiance e modelos de energia usando o OpenStudio e o EnergyPlus (Ladybug tools, 2022).

O Radiance é um software para análise e visualização da luz nos ambientes criado por Greg Ward. Ele é usado por arquitetos e engenheiros para avaliar e prever a iluminação artificial e natural, sua qualidade e aparência. Os arquivos inputs necessários são a geometria, materiais e luminárias do ambiente, hora, data e condições do céu. O Radiance usa o método ray-tracing (com base no método de Monte Carlo) para gerar a simulação e a renderização do ambiente (Radsite, 2019).

O Relux é um software suíço gratuito que simula a iluminação natural e artificial em ambientes internos e externos. Ele está disponível em 26 idiomas, possui mais de um milhão de tipos de luminárias, sensores e objetos 3D para serem usados na simulação, além de ter os cálculos validados pelas normas CIE. O programa é compatível com o CAD e o BIM (Relux, 2023).

O Troplux é um software que tem como diferencial sua adaptação em relação aos trópicos, podendo simular qualquer tipo de céu com o padrão CIE ou IDMP (International daylight measurement program). O programa criado pelo professor Ricardo Cabús da Universidade Federal do Alagoas, também utiliza a metodologia ray-tracing como o Radiance.

A Tabela 1 faz uma comparação das características como mecanismo, desenvolvedor, primeira e última versão, algoritmo de transporte de luz, análise, computação, integração com outros programas e tipo de licença dos programas citados.

Para esta dissertação foi usado o programa Alfa desenvolvido pelo Solemma. Este programa difere de todos os anteriores pois suas simulações computacionais avaliam e preveem os impactos não visuais da iluminação, além da análise de ofuscamento. Para que a análise seja realizada primeiro é feita a modelagem da sala de aula no Rhinoceros 7, um software que se baseia em NURBS para criar modelagens tridimensionais flexíveis (McNeel & associates, 2020). Em seguida as simulações são conduzidas por meio do plugin Alfa. (Solemma, 2021).



Tabela 1 – Características dos softwares de iluminação

Ferramenta	Algoritmo	Desenvolvedor	Primeira/ Última versão	Algoritmo de transporte de luz	Análise	Recurso de processament o	Integração com outros programas	Licença
Apolux <sup>a</sup>		UFSC	1998 - 2023		Visualização fotométrica			Livre
Climate Studio <sup>b</sup>		Solemma			Ofuscamento		Plugin (Rhinceros)	Pago e Educatcional
DIALux	Internal engine	DIAL GmbH	1994 - 2024	BRT FEM	Visualização fotométrica	CPU	Standalone	Livre
DIVA	Radiance e DAYSIM	Solemma e Universidade de Havard	2009- 2022	BRT	Visualização fotométrica, radiométrica e ofuscamento	CPU	Plugin (Rhinceros 3D and Grasshopper)	Pago e Educatcional
Ecotect Analysis	Radiance	Autodesk	2008-2015	BRT FEM	Fotometria e radiometria	CPU	Standalone	Fora de linha
EnergyPlus	Internal Engine	LBNL e US DOE	1996 - 2021	BRT	fotometria, radiometria e ofuscamento	CPU	Standalone	Livre
Honeybee	Radiance, DAYSIM e EnergyPlus	Ladybug Tools	2013 - 2024	FRT BRT BDA FEM	Visualização fotométrica, e radiométrica	CPU	Plugin (Rhinceros 3D and Grasshopper)	Livre
Radiance	Internal engine	Ward, G.J. at LBNL	1989- 2024	BRT BDA	Visualização fotométrica e radiométrica	CPU	Standalone plugin (CAD e BIM)	livre
Relux	Internal engine e Radiance	Relux Informatik AG	1998 - 2024	BRT FEM	Visualização fotométrica, e radiométrica	CPU	Standalone Plugin (Revit)	Livre
Troplux <sup>c</sup>	MatLab	UFAL	1999 - 2020		Fotometria	CPU		Livre

Fonte: Ayoub, 2020; <sup>a, c</sup> Lamberts, Pereira, Dutra, 2014; <sup>b</sup> Solemma, 2024

### 3. MÉTODO

O método foi segmentado em cinco fases: 1) Seleção do modelo de sala de aula; 2) Modelagem da sala de aula escolhida no programa Rhinoceros 7; 3) Simulação dos modelos escolhidos no plugin Alfa; 4) Análise dos indicadores de desempenho; 5) Elaboração de um sistema de pontuação e análise dos modelos.

#### 3.1. SELEÇÃO DOS MODELOS DE SALA DE AULA E SUAS ABERTURAS

O projeto de sala de aula simulado foi desenvolvido com base no modelo disponibilizado pelo FNDE, que define padrões arquitetônicos para diversos ambientes, estruturas e mobiliários de ambientes de ensino, incluindo salas de aula (MEC, 2023). Este modelo foi escolhido por se aproximar de um formato comum de sala de aula no Brasil.

As informações relacionadas à construção, materiais, mobiliário e equipamentos estão apresentadas nas Tabelas 2 e 3, enquanto as dimensões do modelo, incluindo a área total de 46,40m<sup>2</sup> e o pé direito de 3m, que podem ser visualizadas na Figura 14. Conforme diretrizes do FNDE (2017), as janelas correspondem a  $\frac{1}{5}$  da área do piso do ambiente, totalizando 9,28m<sup>2</sup> para este caso específico. Optou-se por duas janelas paralelas no modelo, sendo a maior delas com uma área de 6,56m<sup>2</sup> e a menor com 2,73m<sup>2</sup>, com as medidas claramente representadas na Figura 14.

Tabela 2 – Características e materiais dos elementos construtivos utilizados na simulação computacional

Elemento construtivo	Características e materiais recomendados
Piso	Material de cor clara, liso, porém não escorregadio (porcelanato, cerâmica - PEI $\geq$ 4, piso vinílico, piso monolítico polido tipo granitina, cimento queimado ou outro)
Parede	Material de cor clara, liso, lavável e impermeável (porcelanato, cerâmica, laminado melamínico, pintura ou outro) até a altura mínima de 0,90m (altura do encosto das cadeiras)
Teto	Material de cor clara e liso (pintura sobre laje ou forro)
Esquadrias	Material de fácil manutenibilidade, resistente e que garanta estanqueidade (vidro, alumínio, PVC, madeira tratada). Portas de entrada com visores de vidro, portas com abertura no sentido de saída da sala. Janelas com peitoril médio ou alto

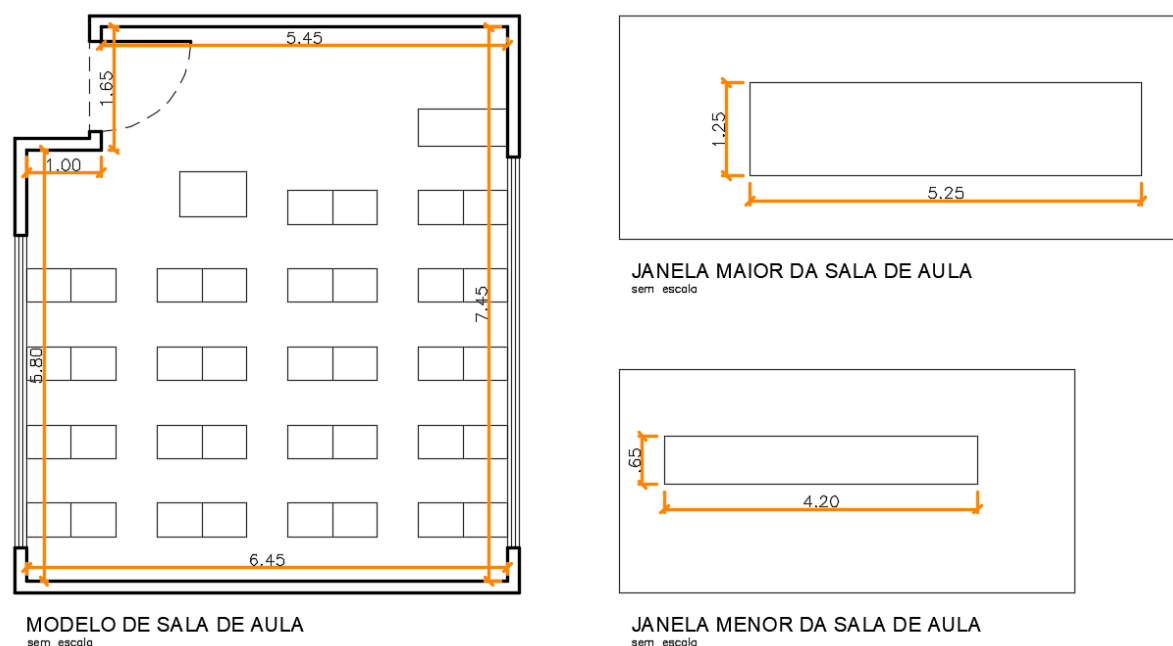
Fonte: MEC (2017)

Tabela 3 – Características e materiais dos mobiliários e equipamentos utilizados na simulação computacional

Mobiliário e equipamentos	Características e materiais recomendados
Mesas para atividades (conjunto aluno)	Material impermeável e lavável (madeira aglomerada revestida)
Cadeiras fixas para alunos (conjunto aluno)	Material resistente e baixa deformação (estrutura em aço, assento e encosto em polipropileno injetado ou compensado anatômico revestido em laminado melamínico)
Mesa para professor (conjunto professor)	Material impermeável e lavável (madeira aglomerada revestida)
Cadeiras fixas para professor (conjunto professor)	Material resistente e baixa deformação (armação em aço, assento e encosto em polipropileno injetado ou compensado anatômico revestido em laminado melamínico)
Prateleiras e/ou armários para material	Material impermeável e lavável (aço, madeira aglomerada revestida)
Quadro de atividades	Tipo lousa magnética, ou quadro-negro, compensado com revestimento em laminado melamínico
Quadro de avisos	Metal, feltro, cortiça
Mural de trabalhos	Metal, feltro, cortiça

Fonte: MEC (2017)

Figura 14 - A esquerda planta baixa do modelo de sala de aula usado nas simulações, a direita as elevações da fachada direita e da fachada esquerda respectivamente.

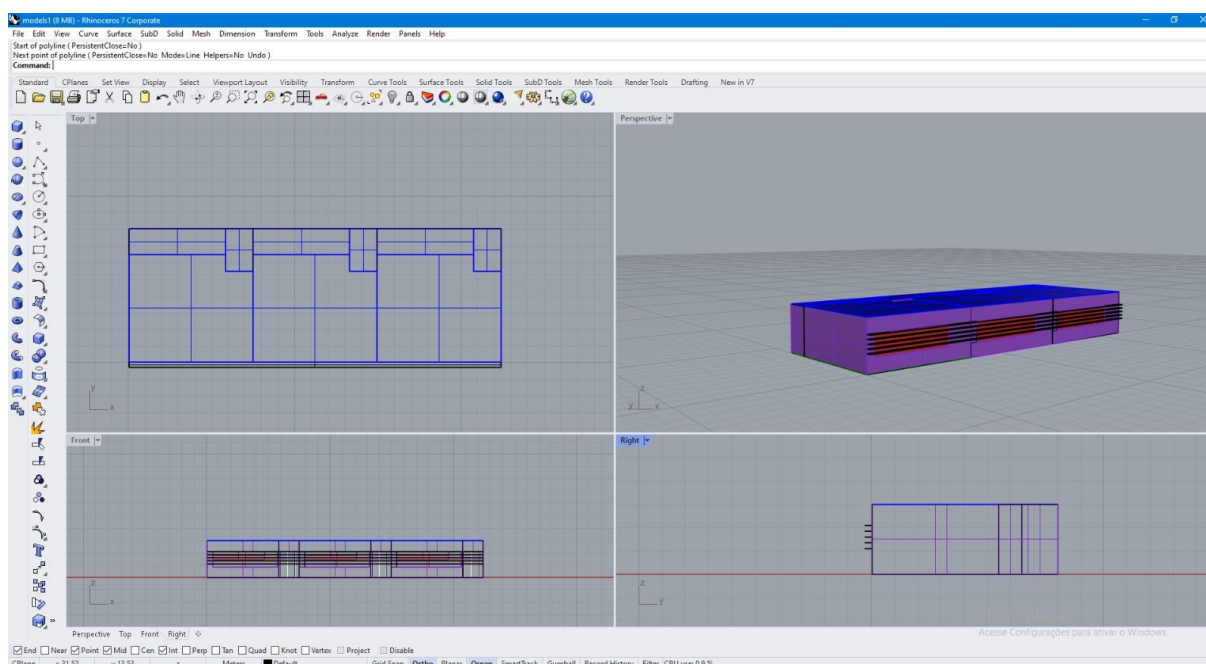


Fonte: própria

### 3.2. MODELAGEM COMPUTACIONAL

A modelagem da sala de aula foi executada no Software Rhinoceros 7, o modelo foi organizado em layers para que, no plugin Alfa, cada layer se transforme em um material diferente (Figura 15). O modelo possui três salas de aula enfileiradas, o qual foi proposto para que a média de insolação recebida em uma sala de aula fosse mais próxima da realidade, onde a proteção solar pode variar dependendo da localização da sala de aula.

Figura 15 – Modelo Norte separado em layers no Rhinoceros



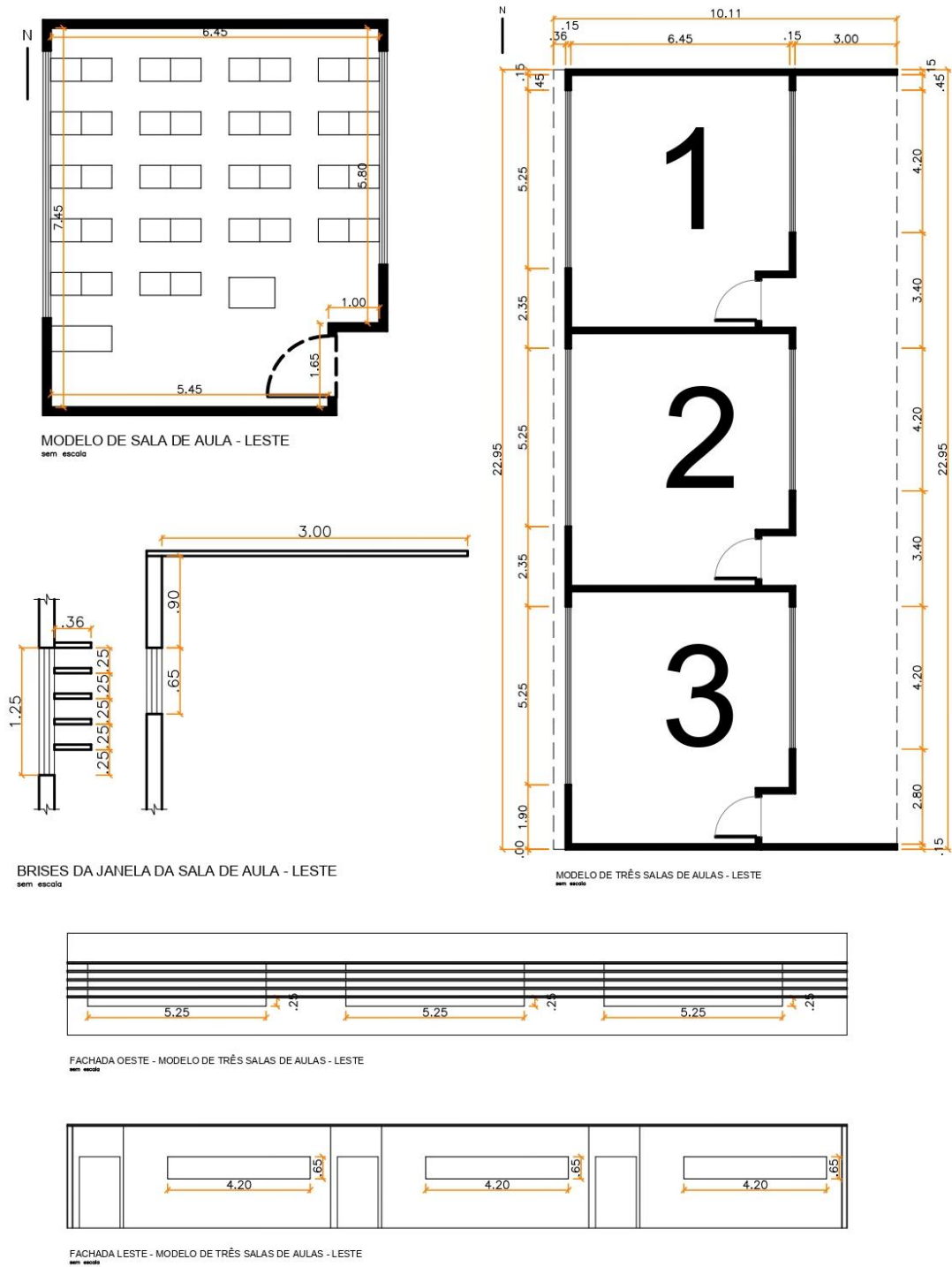
Fonte: Própria

Os modelos se diferenciam entre as orientações principais norte, sul, leste e oeste, pois apesar de apresentarem as mesmas medidas em relação a sala de aula, suas proteções solares se diferenciam de acordo com a sua orientação.

As proteções solares foram projetadas de modo que em períodos críticos como os próximos ao meio dia, as aberturas das salas de aula estivessem protegidas como forma de amenizar a entrada de calor na sala de aula.

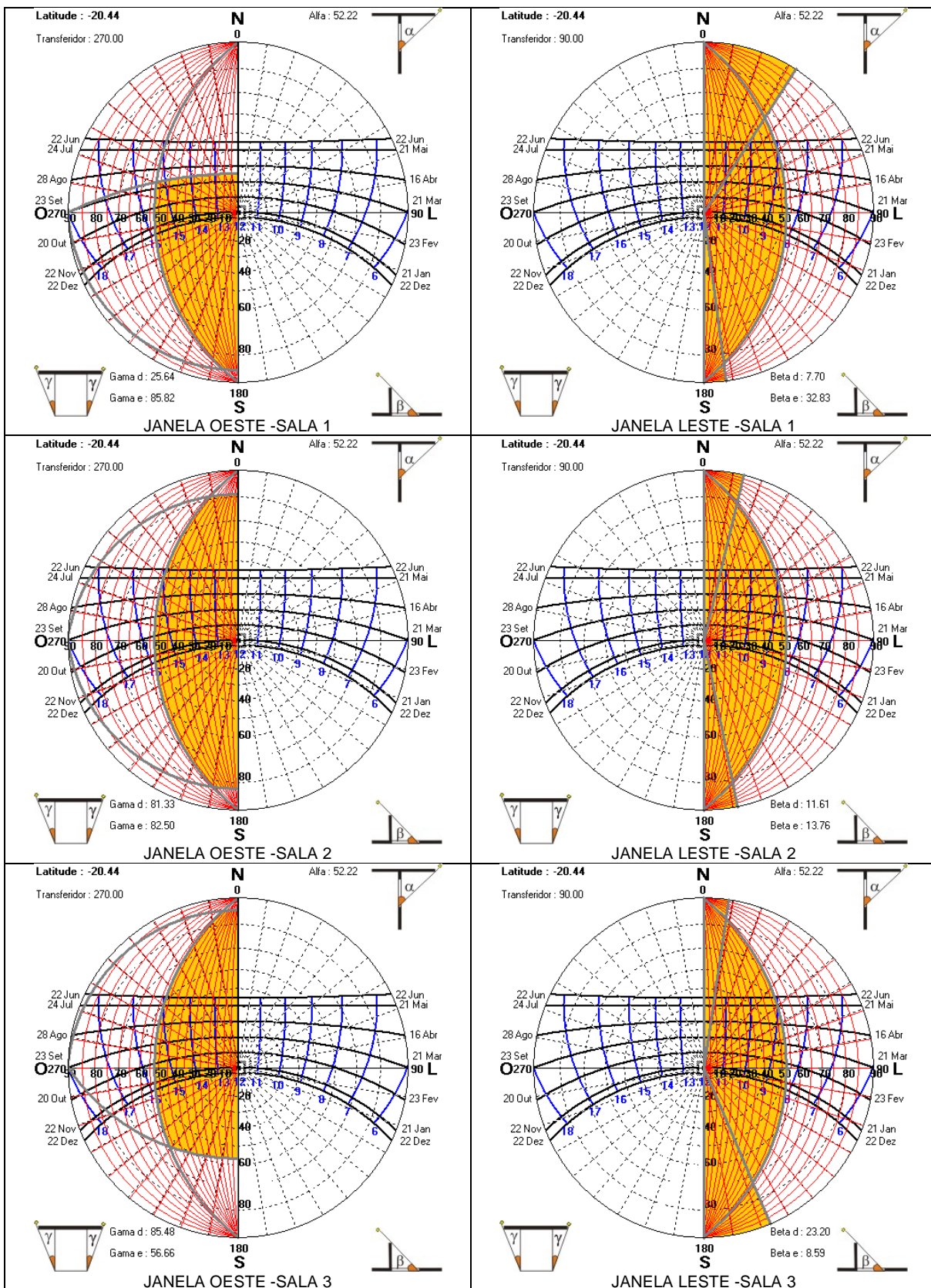
O modelo leste possui aberturas, como portas e janelas, voltadas para leste, com proteção solar avarandada de 3,00m e a abertura maior voltada para oeste protegida por cinco brises de 0,36m na Figura 16. Ambas as proteções solares foram projetadas de acordo com os resultados do software Sol -Ar na Figura 17.

Figura 16 - Planta baixa, Fachada oeste e Fachada leste das três salas de aula do modelo Leste



Fonte: Própria

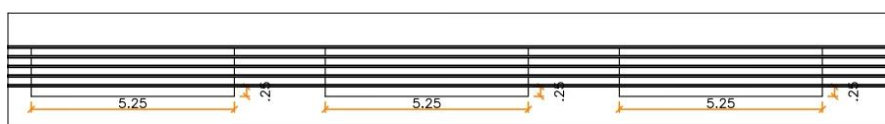
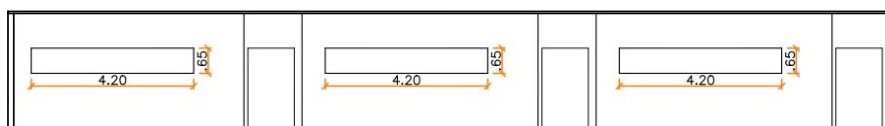
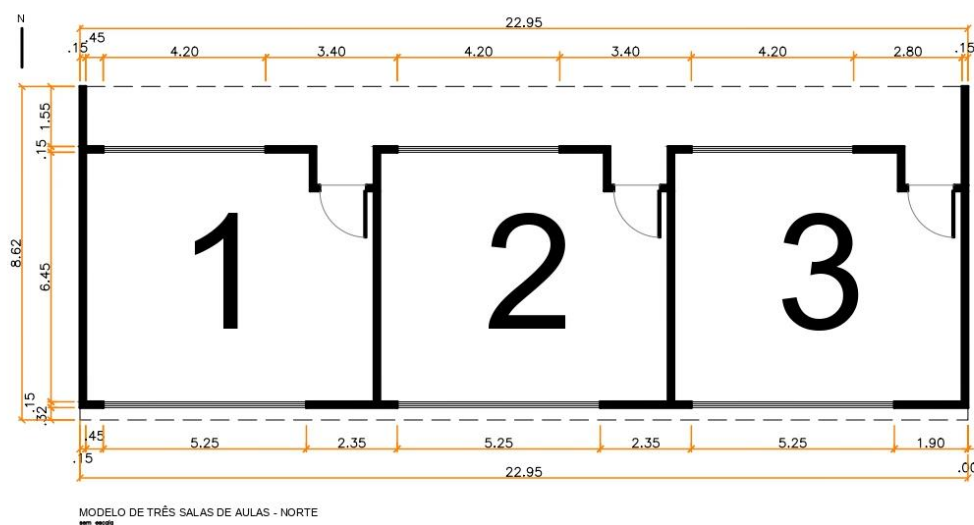
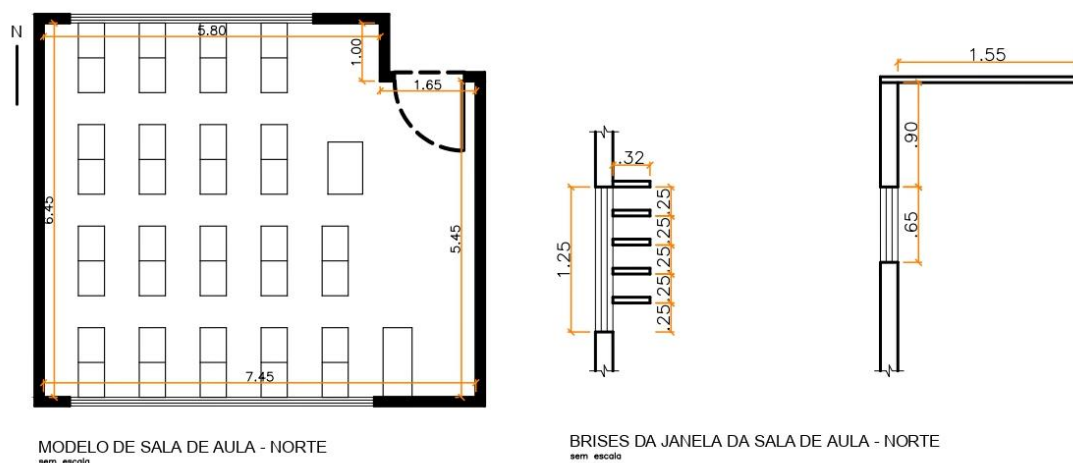
Figura 17 – Proteções solares projetadas do modelo Leste



Fonte: Própria

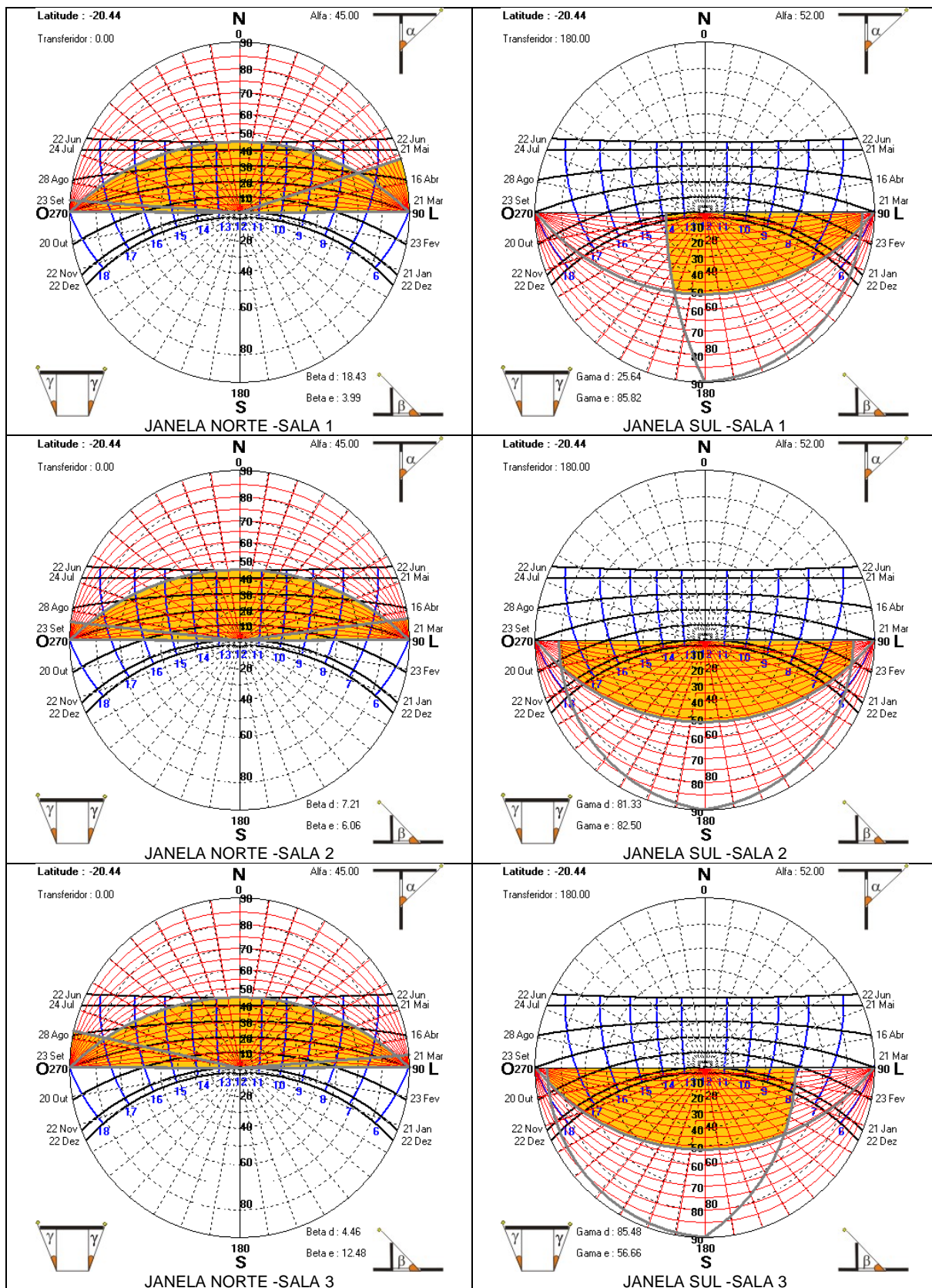
O modelo norte possui a janela menor e a porta voltadas para a orientação norte com proteção solar em forma de varanda de 1,55m, enquanto a janela maior voltada para o sul possui cinco brises do mesmo tamanho de 0,32m, esses detalhes podem ser vistos na Figura 18. As proteções solares foram projetadas de acordo com o programa Sol-Ar e podemos ver seus resultados na Figura 19.

Figura 18 – Planta baixa, Fachada norte e Fachada sul das três salas de aula do modelo Norte



Fonte: Própria

Figura 19 – Proteções solares projetadas do modelo Norte

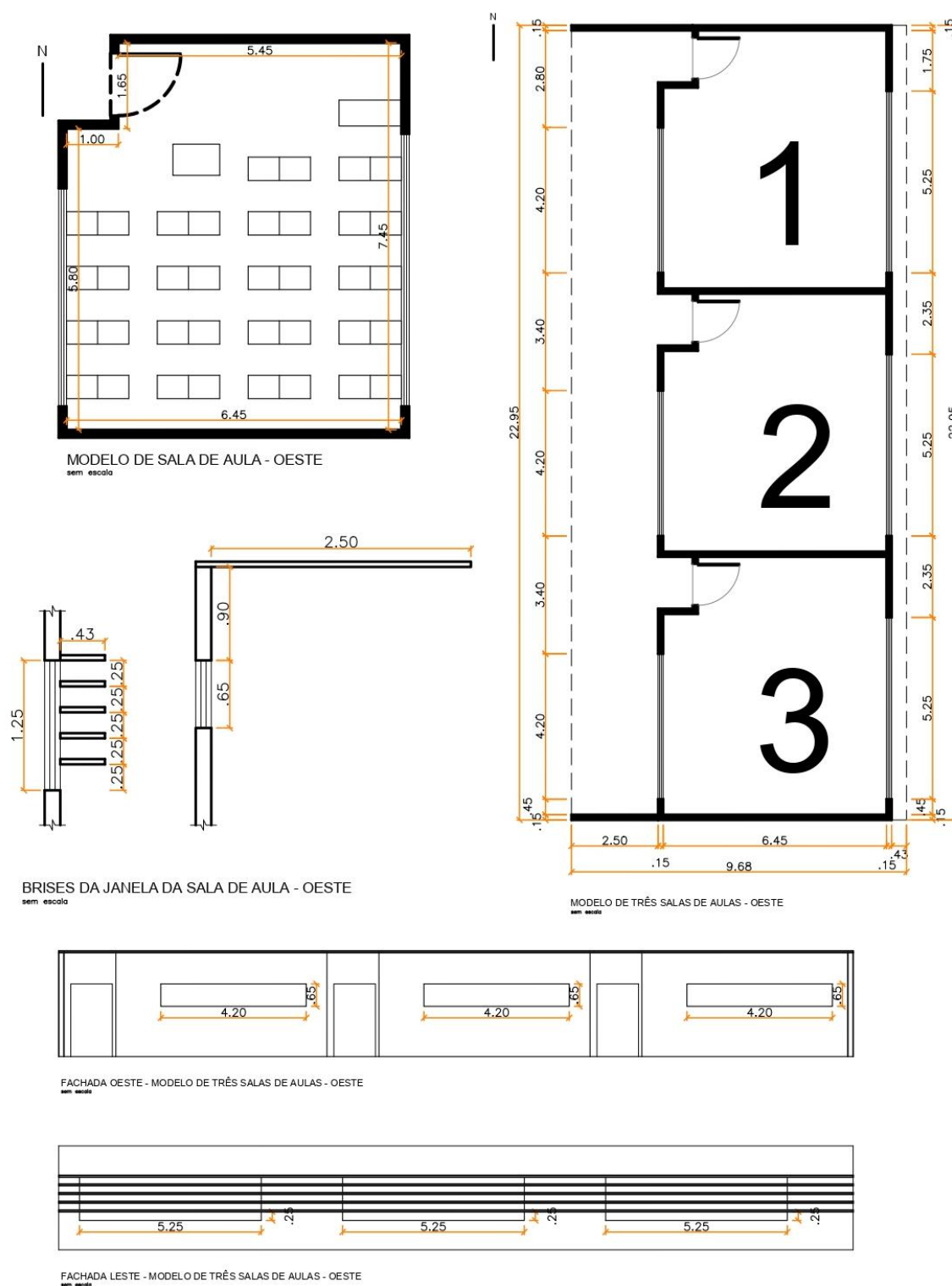


Fonte: Própria



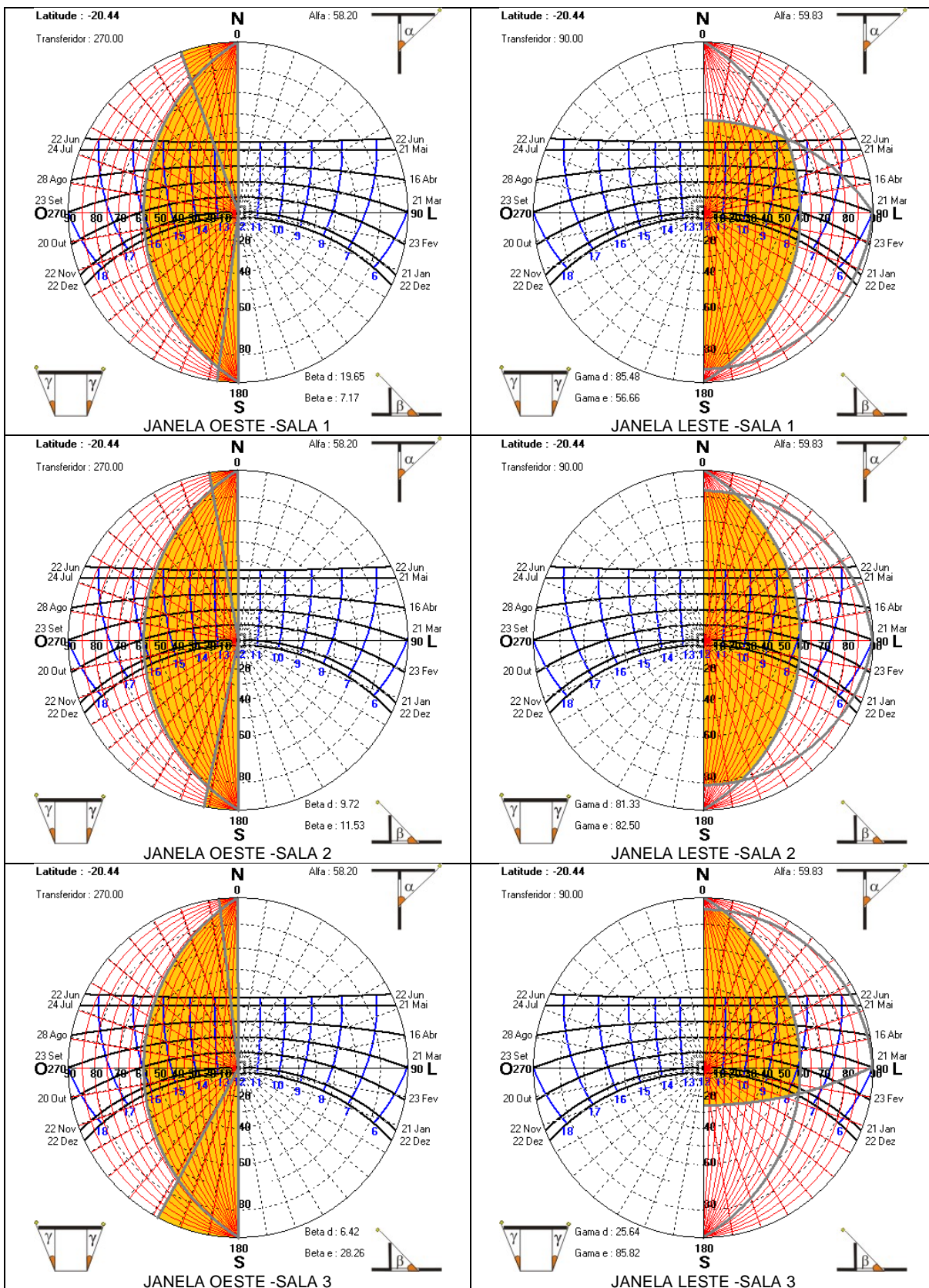
O modelo oeste possui a janela menor voltada para o oeste e proteção solar avarandada com 2,5m, enquanto a janela maior está orientada para o leste e possui proteção solar em formato de cinco brises de 0,43m (Figura 20). Ambas as proteções solares foram projetadas de acordo com os resultados do software Sol-Ar (Figura 21).

Figura 20 - Planta baixa, Fachada oeste e Fachada leste das três salas de aula do modelo Oeste



Fonte: Própria

Figura 21 – Proteções solares projetadas do modelo Oeste



Fonte: Própria

O modelo sul possui a janela menor voltada para o sul com a proteção solar em forma de varanda de 2,00m, a janela menor voltada para o norte possui cinco brises de 0,25m como podemos ver na Figura 22. As proteções solares das janelas foram projetadas com base nos resultados do software Sol-Ar (Figura 23).

Figura 22 - Planta baixa, Fachada norte e Fachada sul das três salas de aula do modelo Sul

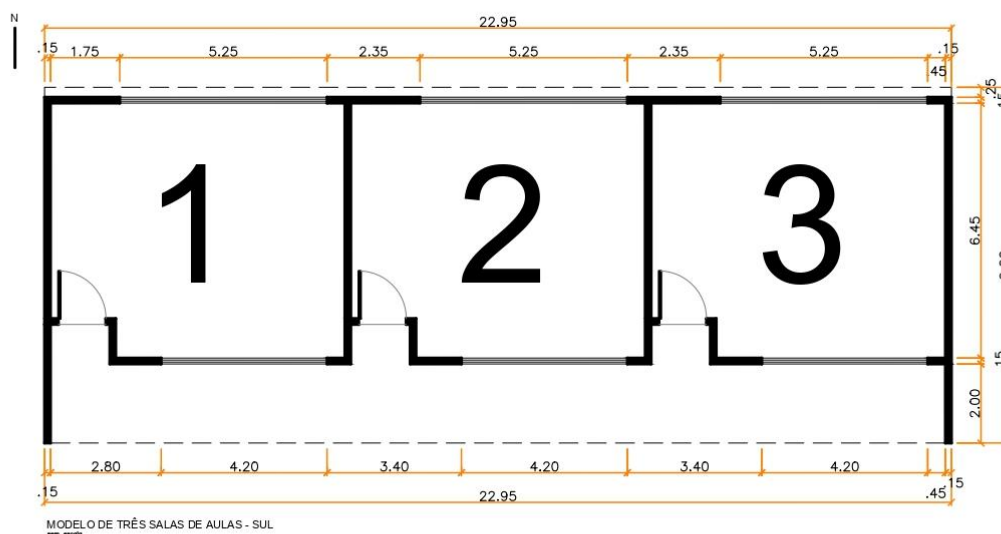
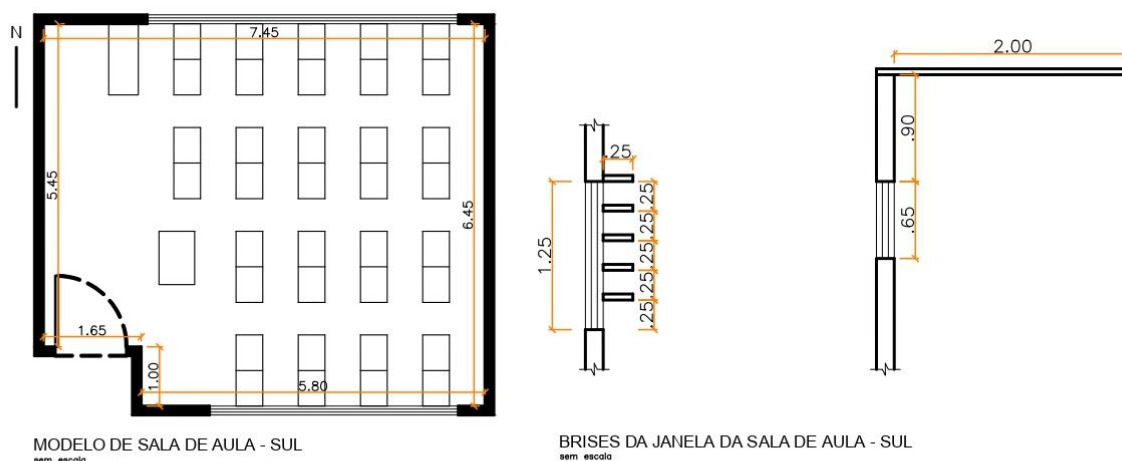
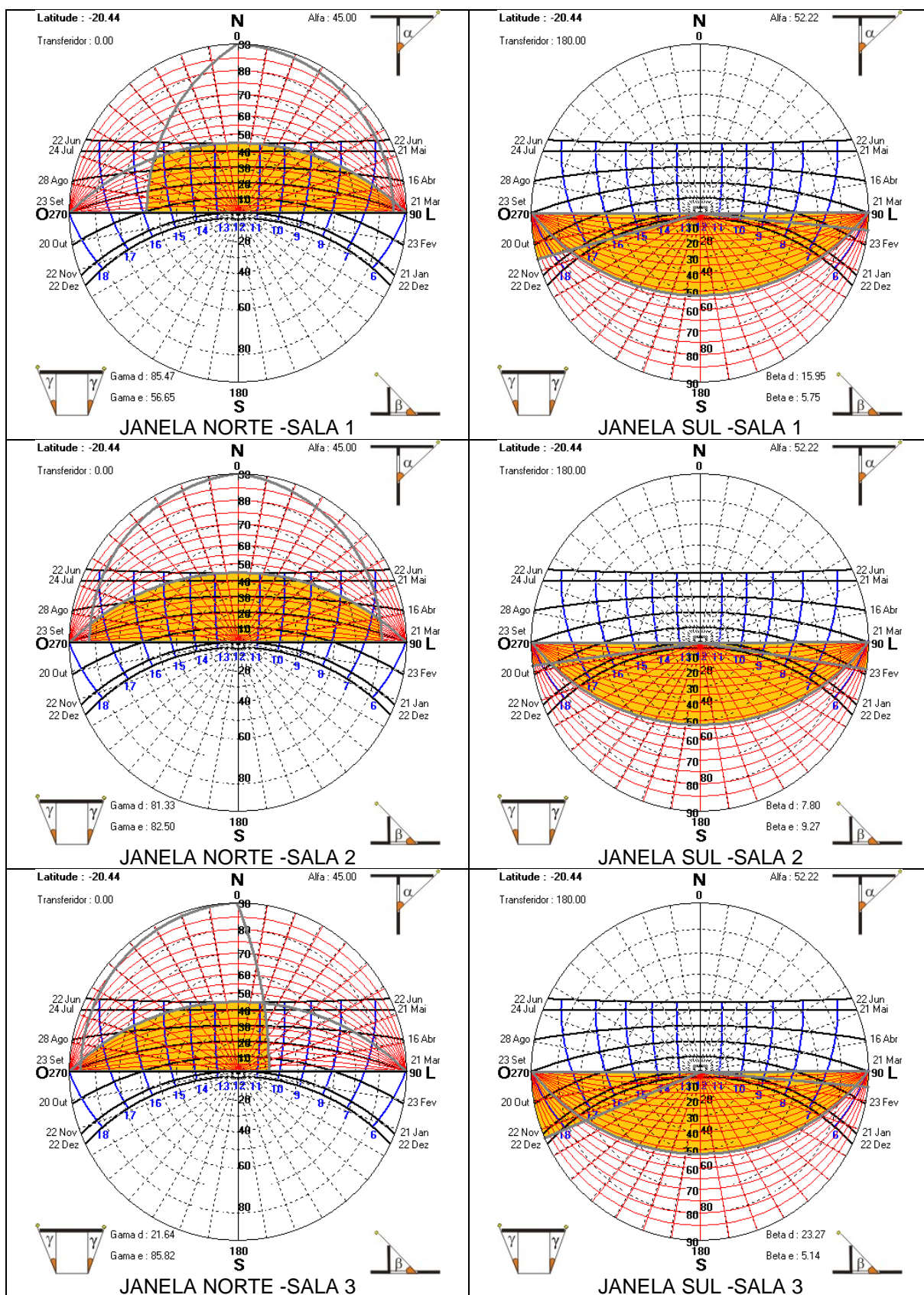


Figura 23 – Proteções solares projetadas do modelo Sul

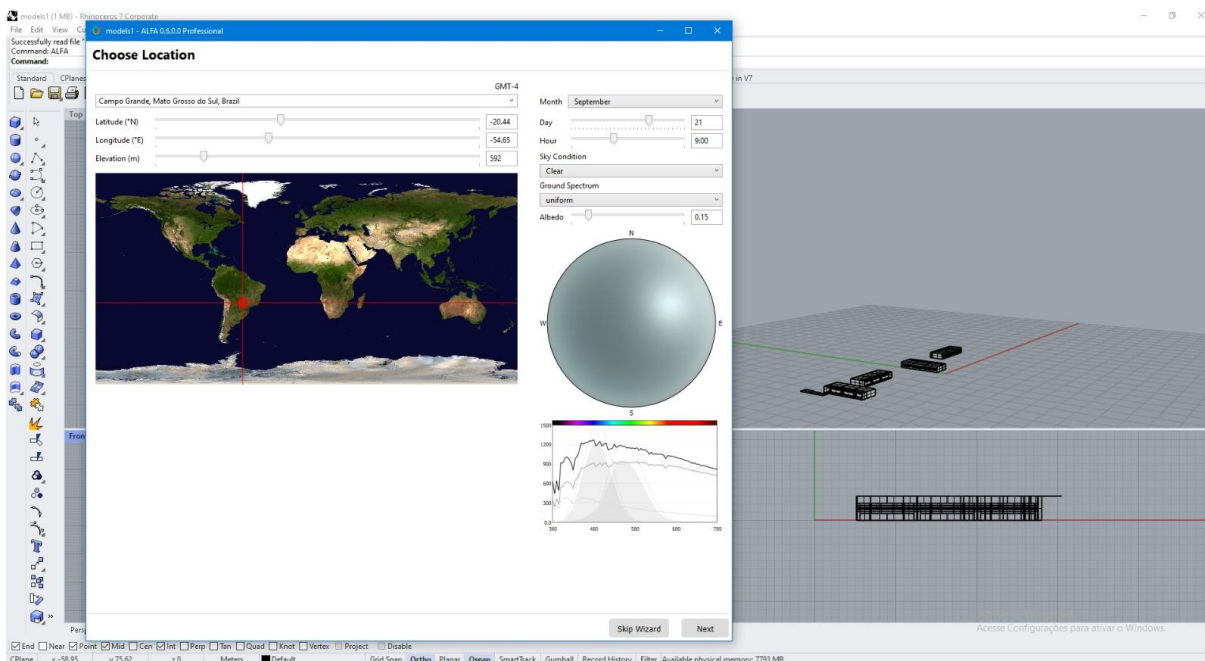


Fonte: Própria

### 3.3. CONFIGURAÇÕES DA SIMULAÇÃO

O software escolhido para a simulação da iluminação natural e de indicadores de estímulos não visuais foi o Alfa, do grupo Solemma. Ele realiza simulações estáticas da iluminação natural por meio da escolha da localização, data, horário, condições do céu (sky condition), espectro terrestre (ground spectrum) e Albedo. Todos os modelos tiveram como referência a cidade de Campo Grande – MS com a latitude de -20,44 e longitude -54,65, espectro terrestre uniforme (uniform) e albedo 0,15 (Figura 24).

Figura 24 – Plugin ALFA inicializado no Rhinoceros



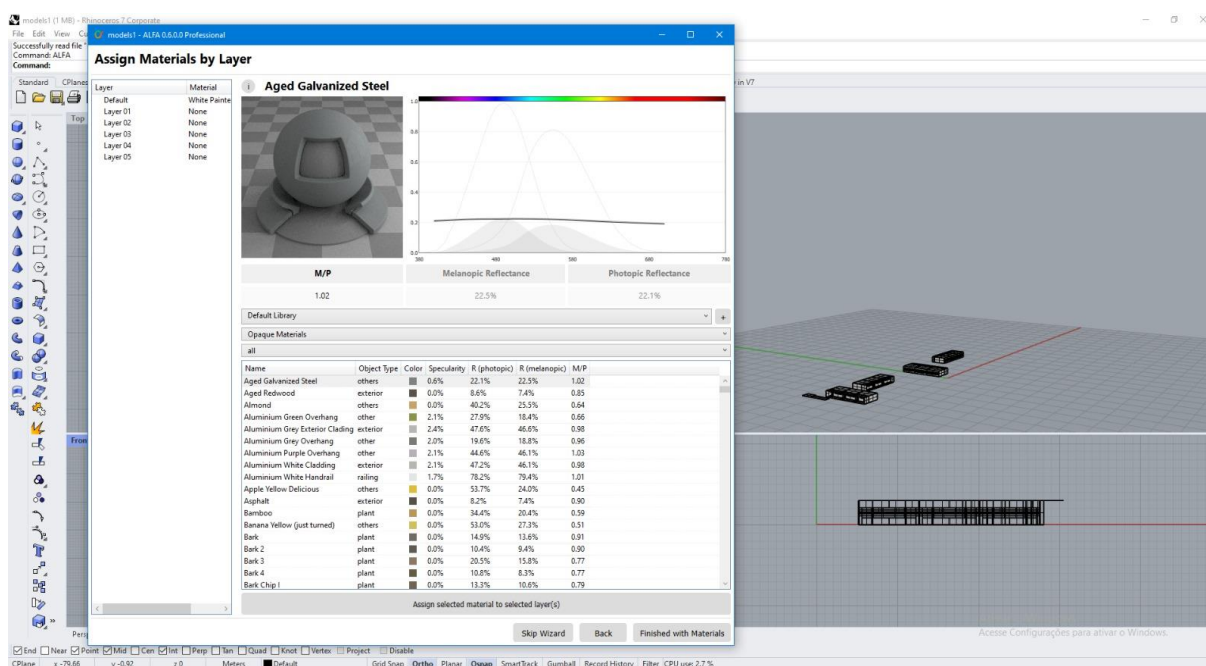
Fonte: Própria

Os dias analisados variaram em três, sendo 21 de junho, 21 de setembro e 21 de dezembro que representam o solstício de inverno, equinócio de primavera e solstício de verão, respectivamente. Os horários variaram em quatro: 9 horas, 11 horas, 14 horas e 16 horas, pois seriam horários que os alunos estariam em sala de aula. As condições de céu variaram entre claro (clear) e nublado (overcast) entre os quatro oferecidos pelo programa Alfa.

Os materiais selecionados para a simulação foram retirados da biblioteca do plugin Alfa (Figura 25). A escolha desses materiais levou em consideração a descrição do material e sua correspondência de tonalidade com os materiais listados na Tabela 2 e 3. Não houve variações de materiais com exceção ao vidro, em que variou de

single Plane Clear 6mm Tvis 88% para Double IGU Clear Tvis 39%. O vidro foi escolhido como variável pois é por onde entra a luz no ambiente. Na Tabela 4, é possível visualizar as propriedades associadas à especularidade, bem como as refletâncias fotópica (R(P)) e melanópica (R(M)), além da relação M/P.

Figura 25 – Biblioteca de materiais do plugin ALFA



Fonte: Própria

Tabela 4– Materiais da biblioteca Alfa usados no modelo e suas propriedades

Elemento construtivo	Material da biblioteca	Propriedades			
		Especularidade	R(P)	R(M)	M/P
Piso	Light Grey Floor Tiles Nonslip	0,2%	41,8%	37,6%	0,90
Parede	White Painted Room Walls	0,4%	81,2%	76,8%	0,95
Teto	White Painted Room Ceiling	0,4%	82,2%	77,4%	0,94
Esquadrias	Light Brown Wooden Doors	2,0%	41,9%	30,2%	0,72
-	-	-	T(P)	T(M)	M/P
Vidro 1	Single Plane Clear 6mm Tvis 88%	-	88,3%	89,0%	1,01
Vidro 2	Double IGU Clear Tvis 39%	-	39%	38,6%	0,99

Obs.: R(P): é a refletância no espectro fotópico; R(M) é a refletância no espectro melanópico; M/P é a razão entre as refletâncias no espectro melanópico e fotópico.

Fonte: Alfa (2024)

A especularidade diz respeito à aparência visual das reflexões especulares dos materiais. Seu valor é expresso em porcentagem, mas vale mencionar que materiais vítreos não apresentam essa propriedade. A refletância, por sua vez, é a proporção entre a radiação eletromagnética incidente em uma superfície e a radiação refletida. A refletância fotópica está associada à sensibilidade visual dos olhos ao espectro

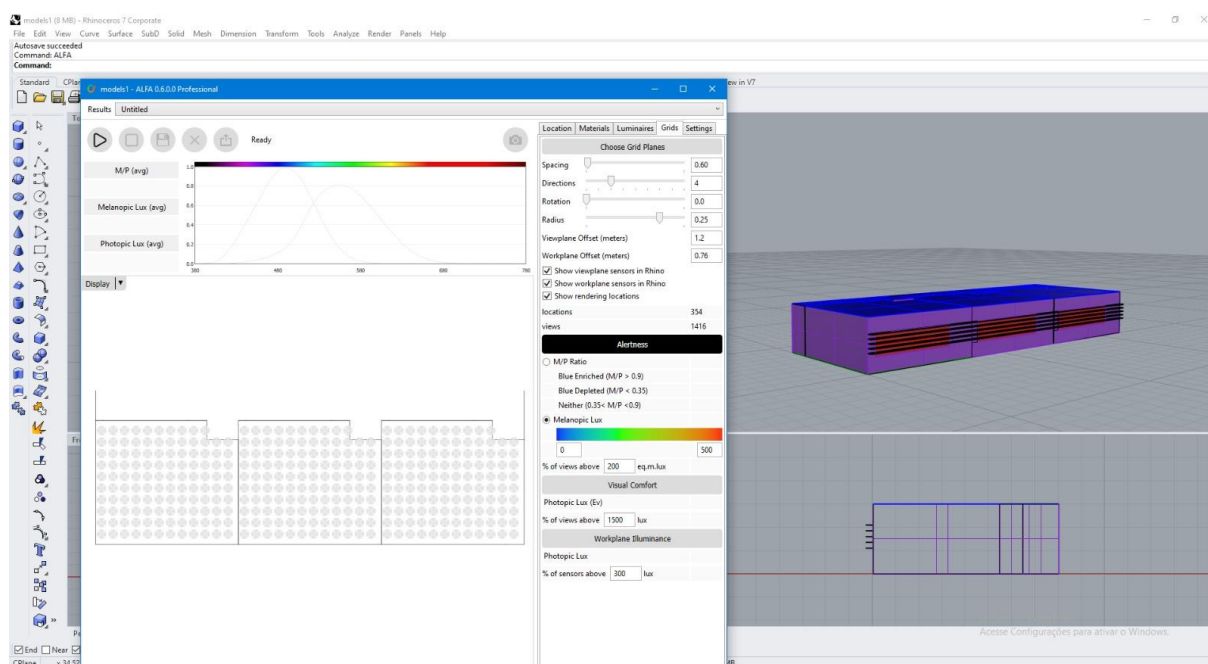
visível da luz, enquanto a refletância melanópica está relacionada à resposta não-visual (KOSIR, 2021). Ambos os valores são expressos em porcentagem.

A razão M/P (melanópicas/fotópicas) é uma medida espectral que, conforme Figueiredo (2022) destaca, "*compara o potencial melanótico, ligado às células ganglionares fotossensíveis (ipRGCs), com a capacidade da fonte de luz de gerar iluminação adequada para a visão de detalhes durante o dia (fotópica)*" (p. 90). É importante observar que tanto os materiais opacos quanto os vítreos possuem essa propriedade.

A NBR 15215-4 (ABNT, 2023) determina que a avaliação de estímulos não visuais deve ser realizada duas vezes: uma sob luz predominantemente natural e outra sob iluminação artificial, em várias horas do dia e épocas do ano se possível, se não, pode-se escolher um dia de céu nublado perto do equinócio (ABNT, 2023).

Os grids foram posicionados a intervalos de 0,60m, de acordo com o espaçamento entre as mesas dos estudantes. Eles foram orientados em quatro direções e definidos a uma altura de 0,76m para o plano de trabalho (workplane) de 1,2 para o plano de visão (viewplane), correspondendo à mesma altura das mesas de tamanho 5 do catálogo do FNDE (2017) (Figura 26). Os parâmetros das configurações do Radiance foram estabelecidos de acordo com a metodologia delineada por Potocnik e Kosir (2021).

Figura 26 – Configuração dos grids no plugin Alfa



Fonte: Própria

No plugin Alfa são gerados quatro gráficos distintos que abordam o estado de alerta, o conforto visual e a iluminação do plano de trabalho. Dois desses gráficos se relacionam ao estado de alerta, abordando a proporção M/P, que analisa a interação entre os componentes azul e amarelo da luz, e a Equivalente Melanopic Lux (EML), que quantifica a absorção de luz pela melanopsina nas células ganglionares fotossensíveis (ipRGCs). Os outros dois gráficos estão relacionados ao conforto visual e à iluminação do plano de trabalho e estão definidos na Tabela 5 (Figueiredo, 2022).

Tabela 5 - Outras configurações de entrada

<p style="text-align: center;">Grids:</p> <p style="text-align: center;">Espaçamento (Spacing): 60,0cm  Direção (Directions): 4  Rotação (Rotation): 0  Raio (Radius): 22,5cm  Plano de visão (Viewplane Offset): 1,2 cm  Plano de Trabalho (Workplane Offset): 76 cm</p>	<p style="text-align: center;">Radiance Settings:</p> <p style="text-align: center;">Ambient bounces (-ab): 8  Limit Weight (-lw): 0,001  Stop run after _passes: 180</p>
---	---

Fonte: Própria

### 3.4. INDICADORES DE DESEMPENHO

A NBR 15215-4 apresenta dois métodos de quantificação da luz para o estímulo não visual, o primeiro se baseia na supressão noturna do hormônio melatonina; e o outro na resposta espectral dos fotorreceptores nos bastonetes, cones e ipRGC (ABNT, 2023).

A ferramenta usada para calcular a medida do estímulo circadiano é a calculadora CS (circadian stimulus). Ela estipula um coeficiente que uma fonte de luz de determinada intensidade e espectro que cause a supressão da melatonina. Sendo que o coeficiente 0 é considerado a supressão mínima e o coeficiente 0,7 a supressão máxima (ABNT, 2023).

A métrica mel-EDI (iluminância de luz do dia equivalente melanópica) adapta a sensibilidade dos cinco fotorreceptores (cone S, cone M, Cone L, rodopsina e melanopsina) com a luz diurna padrão. A mel-EDI foi proposta pela Commission Internationale de L'Eclairage (CIE) como métrica compatível com o sistema internacional de unidades (SI), já que o lux melanópico ainda não é reconhecido (ABNT, 2023).



Na simulação a métrica a ser utilizada é a razão M/P, junto com o equivalente melanopic lux (EML), photopic lux e photopic lux EV.

A razão M/P, por sua vez, corresponde à relação entre as iluminâncias melanópicas e fotópicas, evidenciando a composição espectral da luz. Valores de M/P acima de 0,90 indicam uma predominância de luz azul, o que é recomendado durante o dia. Em contrapartida, valores inferiores a 0,35 denotam uma predominância de luz vermelha, sendo indicados para a noite. Essas métricas ajudam a compreender e ajustar a qualidade da luz em ambientes visuais e não visuais, considerando seus efeitos sobre o ritmo circadiano e o bem-estar (ABNT, 2023).

O indicador *equivalent melanopic lux* (EML) representa a absorção de luz pelos ipRGC através da melanopsina, de acordo com Kosir (2021) é necessário no mínimo 150 EML por quatro horas até o meio-dia

Entretanto, para efeitos mais imediatos e efetivos, estudos mostram que uma exposição de aproximadamente 10000 lux desperta quem tem dificuldades para acordar (Bertolotti, 2007). A exposição entre 1000 e 4000 lux reduziu a sonolência pós-almoço tanto quanto um cochilo (Figueiredo, 2022). No final da tarde, uma exposição intensa de 4000 lux pode ajudar quem tem a fase de dormir adiantada e até melhorar a qualidade do sono. “*Estes estudos indicam que a luz natural, utilizada em horários e quantidades apropriadas, pode auxiliar no tratamento de distúrbios do sono porque fornece os altos níveis de iluminância necessários para manter o sistema circadiano em operação*” (Bertolotti, 2007).

Para que ocorra o conforto visual e a iluminação do plano de trabalho, a norma NBR ISO/CIE 8995-1(ABNT, 2013) recomenda entre 300 e 500 lux de iluminância (mantida ao longo da vida útil) para as salas de aula. Entretanto, iluminâncias acima de 3000 lux são inapropriadas já que podem causar desconforto visual e térmico (Figueiredo, 2022).

## 4. ANÁLISE DOS INDICADORES DE DESEMPENHO

A análise dos indicadores de desempenho é composta pelos resultados das simulações das variáveis de aberturas com elementos de sombreamento em diferentes orientações na cidade de Campo Grande - MS, em um céu nublado e claro, nos dias 21/06, 21/09 e 21/12 (solstício de inverno, equinócio de primavera e solstício de verão) às 9h, 11h, 14h e 16h. Utilizando materiais comuns em sala de aula, variando apenas o vidro. Ao todo foram feitas 192 simulações.

Os resultados obtidos são divididos entre os dias e orientações analisados; pela análise da Razão M/P; análise da Equivalent Melanopic Lux (EML); e análise das iluminâncias no plano de trabalho.

### 4.1. Análise da Razão M/P

A razão M/P indica o estado de alerta dos usuários, a qual no plugin Alfa se considera que quando a razão M/P é maior que 0,9 (cor azul), ocorre um estado de alerta; se a razão for menor que 0,35 (cor laranja) ocorre o relaxamento. Quanto ao resultado intermediário, ele foi considerado neutro, pois não afeta o ciclo circadiano. (Figueiredo, 2022).

#### 4.1.1. Análise da Razão M/P para Leste

De acordo com o Figura 27 em todos os modelos de céu claro de orientação leste os três primeiros horários possuem a média M/P parecidas, com um pico as 11h e uma queda aguda as 16h. A mudança de vidro FS 39% para FS 88% causa variação na razão M/P ficando uma diferença entre 0,01 a 0,02.

Na tabela 6 podemos observar que no horário das 16h, nos dias 21 de junho e 21 de setembro nenhum modelo alcança a razão M/P desejada. No solstício de verão, há semelhanças com os outros dias, com exceção as 16h, em que a média M/P é superior a 0,9 e a porcentagem de luz azul enriquecida também se apresenta maior que 90% em toda a sala de aula.

O Figura 28 nos mostra que os modelos se dividem em dois, aqueles que mantem a razão M/P semelhante nas três primeiras horas, e aqueles em que às 11h apresenta o menor valor. Todos eles apresentam a razão M/P maior que 0,9 e média

mais alta às 16h. Ao contrário do modelo de céu claro, em que as porcentagens dos horários das 9h, 11h e 14h apresentaram a razão M/P e a porcentagem de luz azul em sala de aula com valores mais altos e as 16h, valores mais baixos.

A razão M/P apresenta pouca variação entre os modelos com o mesmo tipo de céu e diferentes modelos de vidro. Os dias de céu claro apresentaram maior razão M/P e maior disponibilidade de luz azul enriquecida do que os dias de céu nublado. A única exceção é o horário das 16h, em que nos dias de céu nublado ocorre um aumento na razão M/P e na porcentagem de luz azul enriquecida, enquanto nos dias de céu claro ocorre uma queda.

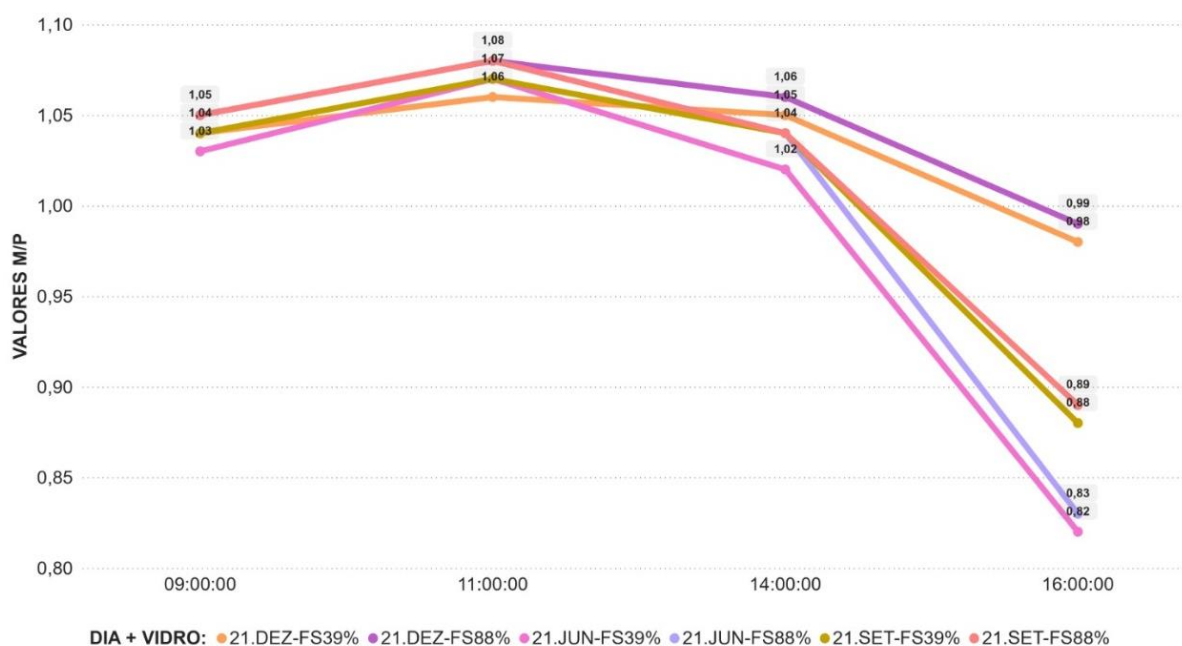
As porcentagens de luz azul variaram muito pouco entre às 9h, 11h e 14h no dia 21/06 com céu claro. Às 16h ocorre uma inversão, onde a porcentagem de luz neutra se sobressai. Nos dias de céu nublado essa inversão não ocorre, inclusive às 16h chega a ser o horário com mais luz mais enriquecida de azul.

A mudança de tipo de céu é mais significativa de todas no modelo Leste, pois, nos três dias analisados houve uma mudança tanto na distribuição da Razão M/P quanto na distribuição percentual de iluminação azul enriquecida. Isso pode ser constatado pois ao mudar o tipo de céu os valores também mudam, e não necessariamente da mesma forma, como também pode inverter valores como ocorre às 16hrs com céu claro possuir valores menores dos outros três horários e em dias nublados apresentar o maior valor dos outros horários.

A mudança de vidro FS 88% para FS 39% produz mudanças especialmente na porcentagem de luz azul enriquecida, sendo a maior delas de 5%.

No modelo leste de céu claro na maioria dos dias e horários analisados a luz azul enriquecida predomina, exceto às 16h dos dias 21/06 e 21/09 (Figura 29). No modelo leste de céu nublado a luz azul enriquecida apresenta uma constante, com a luz neutra chegando no máximo a 20% (Figura 30).

Figura 27 – Razão M/P – Leste – Céu claro



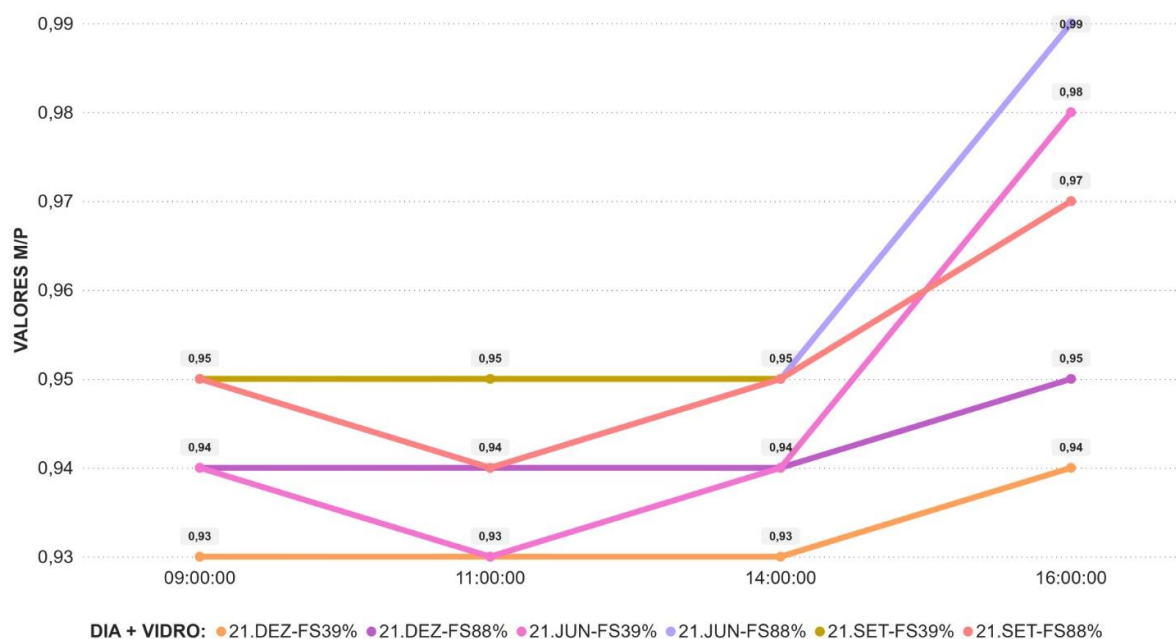
Fonte: Própria (2024)

Tabela 6 - Razão M/P – Leste - Céu claro

Data	Hora	Vidro	Razão M/P	Azul enriquecido (M/P>0,9)	Azul empobrecido (M/P<0,35)	Neutro (0,35<M/P<0,9)
21/06	9h	FS 39%	1,03	99,1%	0%	0,9%
		FS 88%	1,05	99,4%	0%	0,6%
	11 h	FS 39%	1,07	99,5%	0%	0,5%
		FS 88%	1,08	99,6%	0%	0,4%
	14 h	FS 39%	1,02	98,3%	0%	1,7%
		FS 88%	1,04	98,6%	0%	1,4%
16 h	FS 39%	0,82	10,2%	0%	89,8%	
	FS 88%	0,83	13,5%	0%	86,5%	
21/09	9h	FS 39%	1,04	99,3%	0%	0,7%
		FS 88%	1,05	99,3%	0%	0,7%
	11 h	FS 39%	1,07	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,08	99,6%	0%	0,4%
	14 h	FS 39%	1,04	99,1%	0%	0,9%
		FS 88%	1,05	99,2%	0%	0,8%
16 h	FS 39%	0,88	29,2%	0%	70,8%	
	FS 88%	0,89	34,7%	0%	65,3%	
21/12	9h	FS 39%	1,04	99,3%	0%	0,7%
		FS 88%	1,05	99,4%	0%	0,6%
	11 h	FS 39%	1,06	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,08	99,6%	0%	0,4%
	14 h	FS 39%	1,05	99,3%	0%	0,7%
		FS 88%	1,06	99,4%	0%	0,6%
16 h	FS 39%	0,98	91,9%	0%	8,1%	
	FS 88%	0,99	93,9%	0%	6,1%	

Fonte: Própria (2024)

Figura 28 – Razão M/P – Leste – Céu nublado



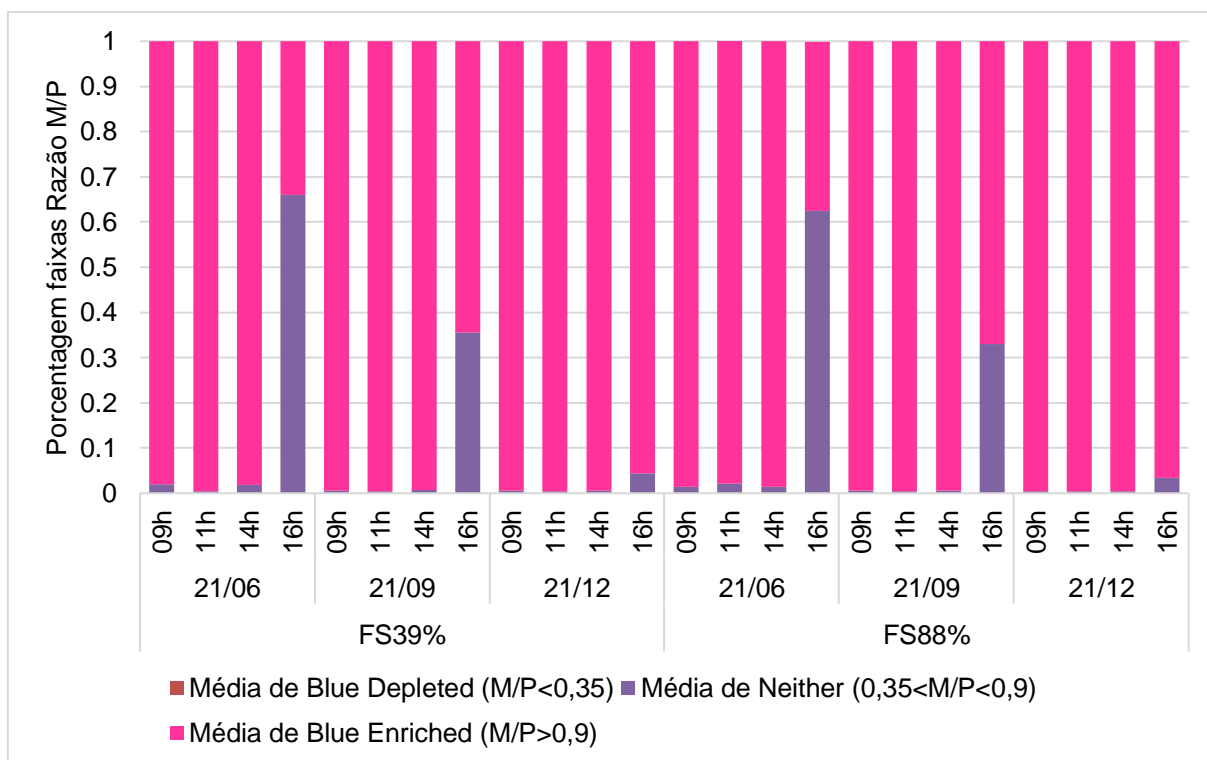
Fonte: Própria (2024)

Tabela 7 - Razão M/P – Leste - Céu nublado

Data	Hora	Vidro	Razão M/P	Azul enriquecido (M/P>0,9)	Azul empobrecido (M/P<0,35)	Neutro (0,35<M/P<0,9)
21/06	9h	FS 39%	0,94	86,9%	0%	13,1%
		FS 88%	0,95	89,5%	0%	10,5%
	11 h	FS 39%	0,93	83%	0%	17%
		FS 88%	0,94	87,2%	0%	12,8%
	14 h	FS 39%	0,94	85,2%	0%	14,8%
		FS 88%	0,95	88,6%	0%	11,4%
16 h	FS 39%	0,98	96,5%	0%	3,5%	
	FS 88%	0,99	98%	0%	2%	
21/09	9 h	FS 39%	0,95	90,9%	0%	9,1%
		FS 88%	0,95	88,5%	0%	11,5%
	11 h	FS 39%	0,95	90,4%	0%	9,6%
		FS 88%	0,94	86,9%	0%	13,1%
	14 h	FS 39%	0,95	90,9%	0%	9,1%
		FS 88%	0,95	88%	0%	12%
16 h	FS 39%	0,97	95,5%	0%	4,5%	
	FS 88%	0,97	93,1%	0%	6,9%	
21/12	9 h	FS 39%	0,93	80,6%	0%	19,4%
		FS 88%	0,94	86,6%	0%	13,4%
	11 h	FS 39%	0,93	79,4%	0%	20,6%
		FS 88%	0,94	84,5%	0%	15,5%
	14 h	FS 39%	0,93	79,7%	0%	20,3%
		FS 88%	0,94	85,7%	0%	14,3%
16 h	FS 39%	0,94	87,4%	0%	12,6%	
	FS 88%	0,95	89,5%	0%	10,5%	

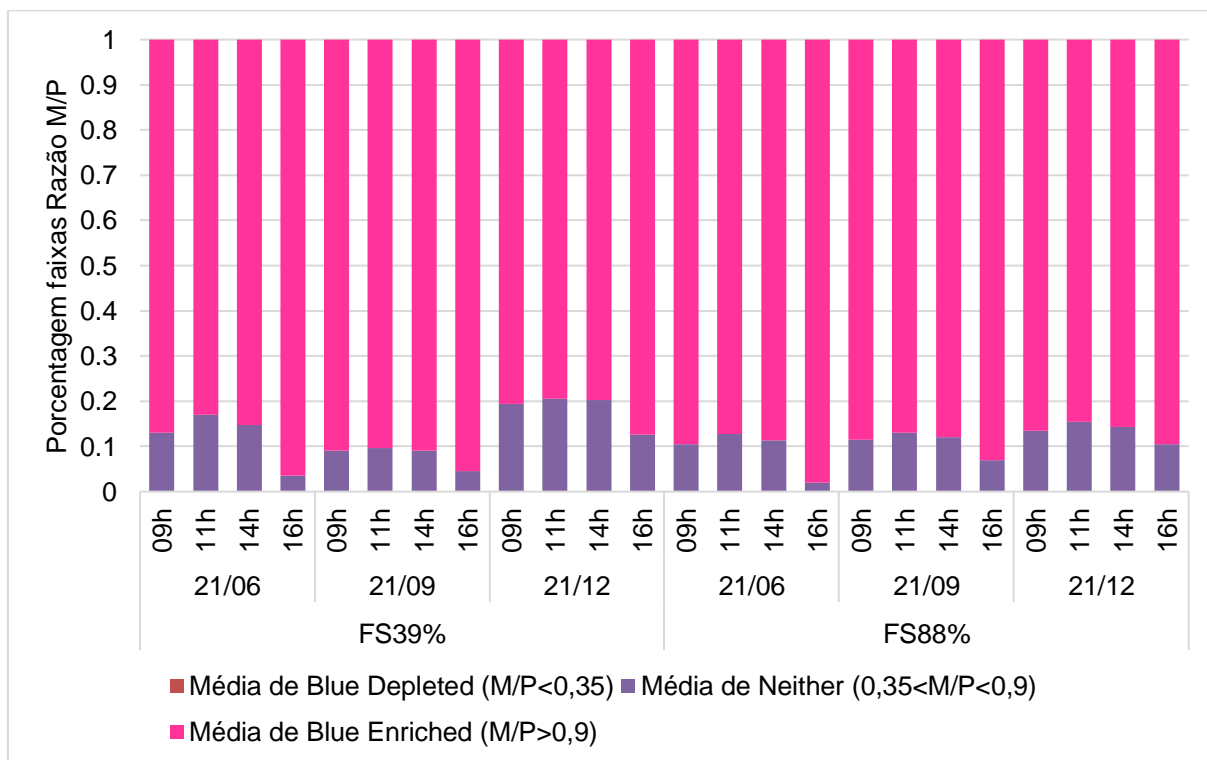
Fonte: Própria (2024)

Figura 29 - Luz azul enriquecida, empobrecida e neutra - Leste - Céu claro



Fonte: Própria (2024)

Figura 30 - Luz azul enriquecida, empobrecida e neutra - Leste - Céu nublado



Fonte: Própria (2024)

#### 4.1.2. Análise da Razão M/P para Norte

A Figura 31 mostra três diferentes trajetórias da Razão M/P. Nos dias 21/09 com vidro FS 39% e 21/12 com vidro FS 88% e FS 39%, as médias dos três primeiros horários são equivalentes com uma queda às 16h. No dia 21/06 com vidro FS 39% e FS 88% ocorre um pico às 11h e uma queda aguda às 16h, com ambos apresentando a mesma média de 0,92. No dia 21/09 com vidro FS 88% as 11h ocorre uma ligeira queda na média, e às 16h ocorre uma queda maior.

De acordo com a Tabela 8 todos os modelos possuem razão M/P acima de 0,90 e, nos dias 21/09 e 21/12, todos os modelos apresentam luz azul enriquecida em mais de 99% da sala de aula, independente do vidro utilizado.

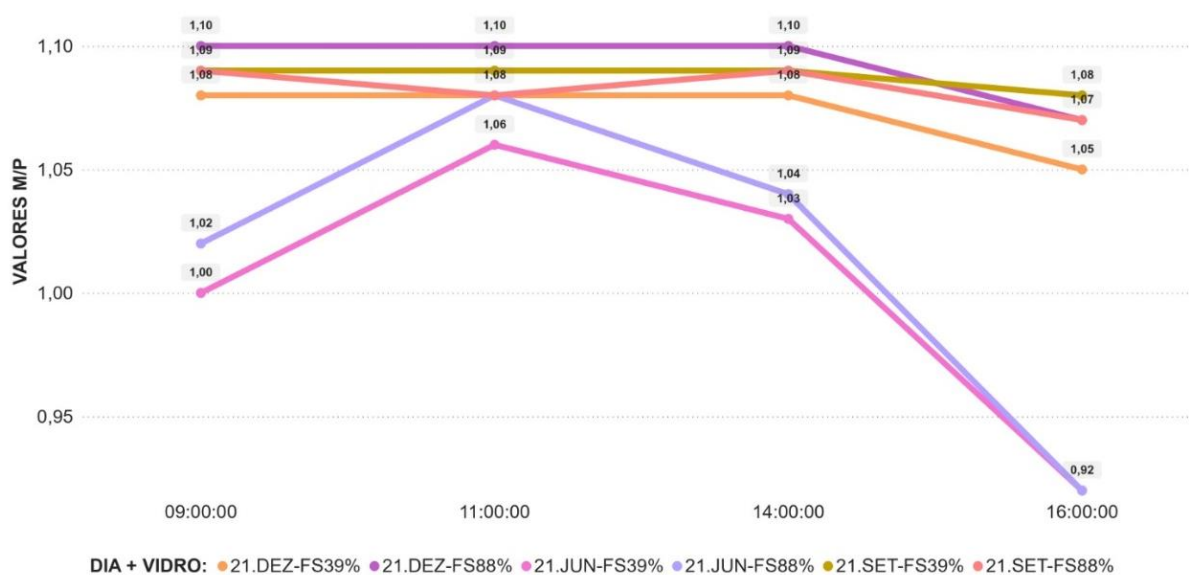
Nos modelos dos dias 21/06 e 21/12 com céu nublado, os três primeiros horários apresentam valores lineares que aumentam às 16h, com exceção do dia 21/06 com vidro FS 88% que o valor cai, passando de 1,00 para 0,92 (Tabela 9). No dia 21/09 ambos modelos apresentam uma ligeira queda na média às 11h, porém no modelo com vidro FS 88% às 14h o valor sobe, enquanto no com o vidro FS 39% a média se mantém, subindo apenas as 16h (Figura 32).

Os dias claros apresentam maiores porcentagens de luz azul enriquecida. Essa proporção se inverte as 16h quando a proporção de luz neutra aumenta nos dias de céu claro e diminui nos dias de céu nublado. Os modelos de céu nublado apresentam menor luz azul enriquecida, variando entre 81% a 92%. O modelo de céu nublado com vidro FS 88% apresenta a porcentagem de azul enriquecido mais de 10% menor nos horários das 9h, 11h e 14h em relação ao mesmo modelo de céu claro, a exceção é as 16h em que a redução foi de cerca de 7% (Tabela 9).

No modelo do dia 21/12, nos dias nublados o alcance da luz azul enriquecida chega a quase 100% da sala de aula, enquanto nos dias nublados ocorre uma redução significativa de mais de 10%.

Apenas no dia 21/06 ocorre um aumento de cerca de 40% na luz neutra as 16h no modelo de céu claro, nos dias restantes a luz neutra não alcança 10% na orientação norte (Figura 33). Na Figura 34 a luz neutra alcança os maiores valores no vidro FS 39%. A mudança de tipo de céu é mais significativa de todas no modelo Norte.

Figura 31 – Razão M/P – Norte – Céu Claro



Fonte: Própria (2024)

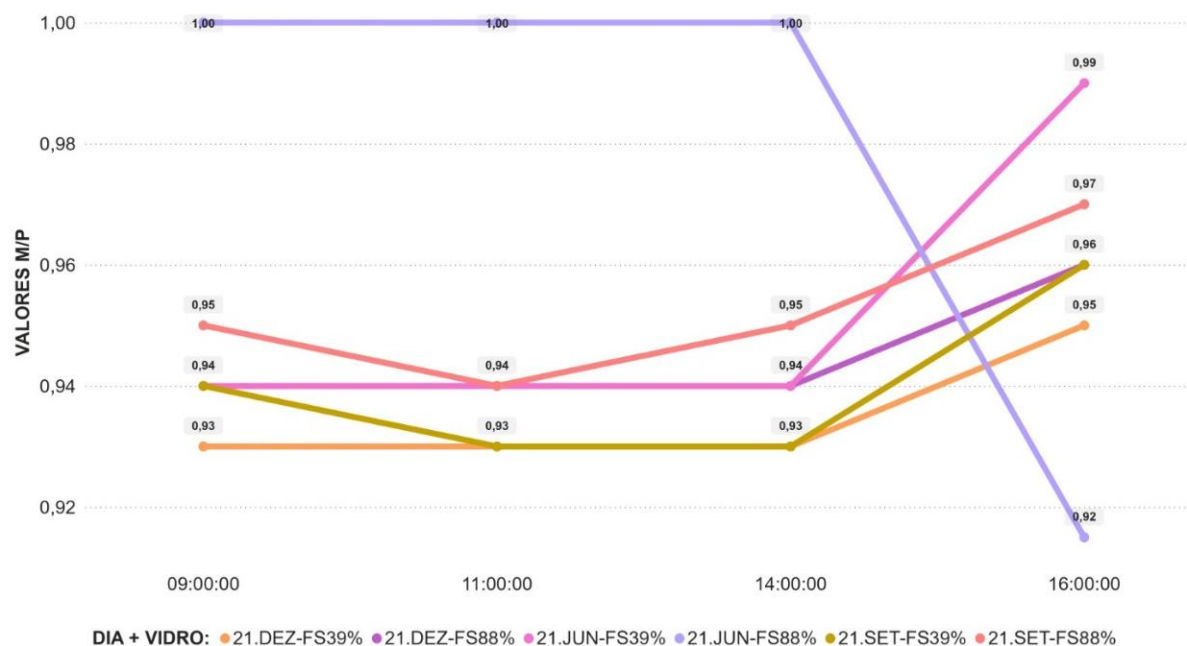
Tabela 8 - Razão M/P – Norte - Céu claro

Data	Hora	Vidro	Razão M/P	Azul enriquecido (M/P>0,9)	Azul empobrecido (M/P<0,35)	Neutro (0,35<M/P<0,9)
21/06	9h	FS 39%	1	97%	0%	3%
		FS 88%	1,02	97,8%	0%	2,2%
	11 h	FS 39%	1,06	99,5%	0%	0,5%
		FS 88%	1,08	99,6%	0%	0,4%
	14 h	FS 39%	1,03	98,0%	0%	2%
		FS 88%	1,04	98,5%	0%	1,5%
16 h	FS 39%	0,92	57,9%	0%	42,1%	
	FS 88%	0,92	61,4%	0%	38,4%	
21/09	9 h	FS 39%	1,09	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,09	99,6%	0%	0,4%
	11 h	FS 39%	1,09	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,08	99,6%	0%	0,4%
	14 h	FS 39%	1,09	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,09	99,6%	0%	0,4%
16 h	FS 39%	1,08	99,5%	0%	0,5%	
	FS 88%	1,07	99,4%	0%	0,6%	
21/12	9 h	FS 39%	1,08	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,1	99,6%	0%	0,4%
	11 h	FS 39%	1,08	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,1	99,6%	0%	0,4%
	14 h	FS 39%	1,08	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,1	99,6%	0%	0,4%
16 h	FS 39%	1,05	99,2%	0%	0,8%	
	FS 88%	1,07	99,4%	0%	0,6%	

Fonte: Própria (2024)



Figura 32 – Razão M/P – Norte – Céu nublado



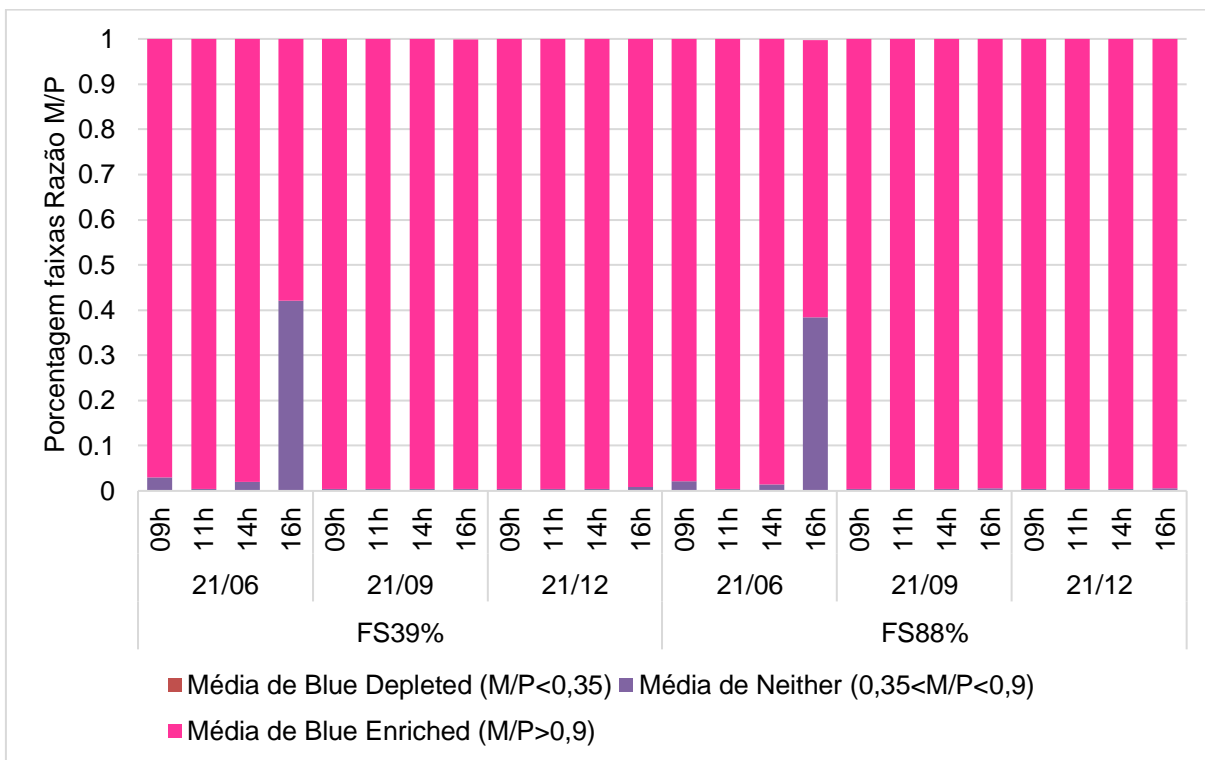
Fonte: Própria (2024)

Tabela 9 - Razão M/P – Norte - Céu nublado

Data	Hora	Vidro	Razão M/P	Azul enriquecido (M/P>0,9)	Azul empobrecido (M/P<0,35)	Neutro (0,35<M/P<0,9)
21/06	9h	FS 39%	0,94	87,4%	0%	12,6%
		FS 88%	0,95	88,5%	0%	11,5%
	11 h	FS 39%	0,94	83,1%	0%	16,9%
		FS 88%	0,95	88%	0%	12%
	14 h	FS 39%	0,94	86,4%	0%	13,6%
		FS 88%	0,95	87,8%	0%	12,2%
16 h	FS 39%	0,99	97,2%	0%	2,8%	
	FS 88%	1	98,2%	0%	1,8%	
21/09	9 h	FS 39%	1,09	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,09	99,6%	0%	0,4%
	11 h	FS 39%	1,09	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,08	99,6%	0%	0,4%
	14 h	FS 39%	1,09	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,09	99,6%	0%	0,4%
16 h	FS 39%	1,08	99,5%	0%	0,5%	
	FS 88%	1,07	99,4%	0%	0,6%	
21/12	9 h	FS 39%	0,94	82,8%	0%	17,2%
		FS 88%	0,95	87,3%	0%	12,7%
	11 h	FS 39%	0,93	81,4%	0%	18,6%
		FS 88%	0,94	86,7%	0%	13,3%
	14 h	FS 39%	0,93	82,8%	0%	17,2%
		FS 88%	0,95	87,1%	0%	12,1%
16 h	FS 39%	0,96	90%	0%	10%	
	FS 88%	0,97	92%	0%	8%	

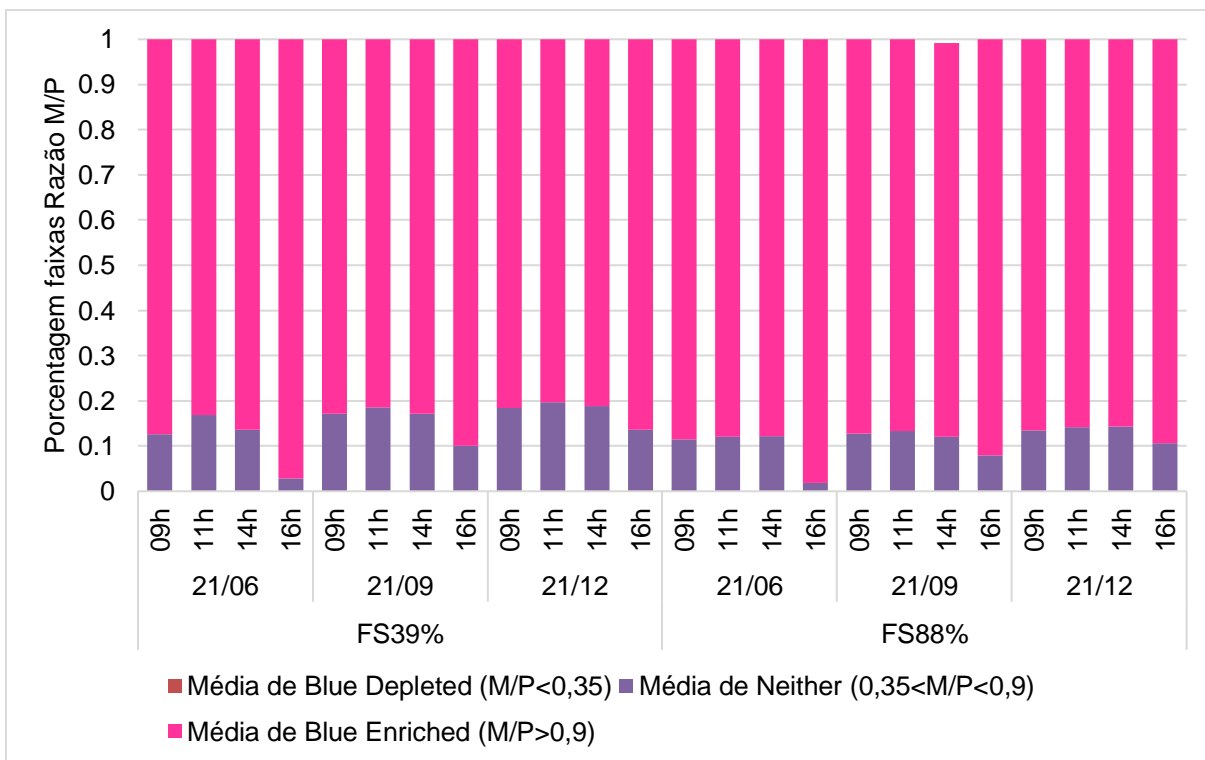
Fonte: Própria (2024)

Figura 33 – Luz azul enriquecida, empobrecido e neutro - Norte - Céu claro



Fonte: Própria (2024)

Figura 34 – Luz azul enriquecida, empobrecido e neutro - Orientação Norte - Céu nublado



Fonte: Própria (2024)

### 4.1.3. Análise da Razão M/P para Oeste

De acordo com a Figura 35 todos os modelos de orientação oeste apresentam curvatura semelhante, com seu ponto mais alto às 11h e seu ponto mais baixo às 16h.

Na Tabela 10 podemos observar que nos dias 21/06 e no dia 21/09 nos horários das 9h, 11h e 14h, as porcentagens de azul enriquecido são mais altas, apenas o horário das 16h é o que apresenta menor porcentagem menor. Já no dia 21/12 a inversão as 16h não ocorre e a luz azul enriquecida apresenta uma queda menor que 5%.

Todos os modelos oeste apresentaram razão M/P acima de 0,9.

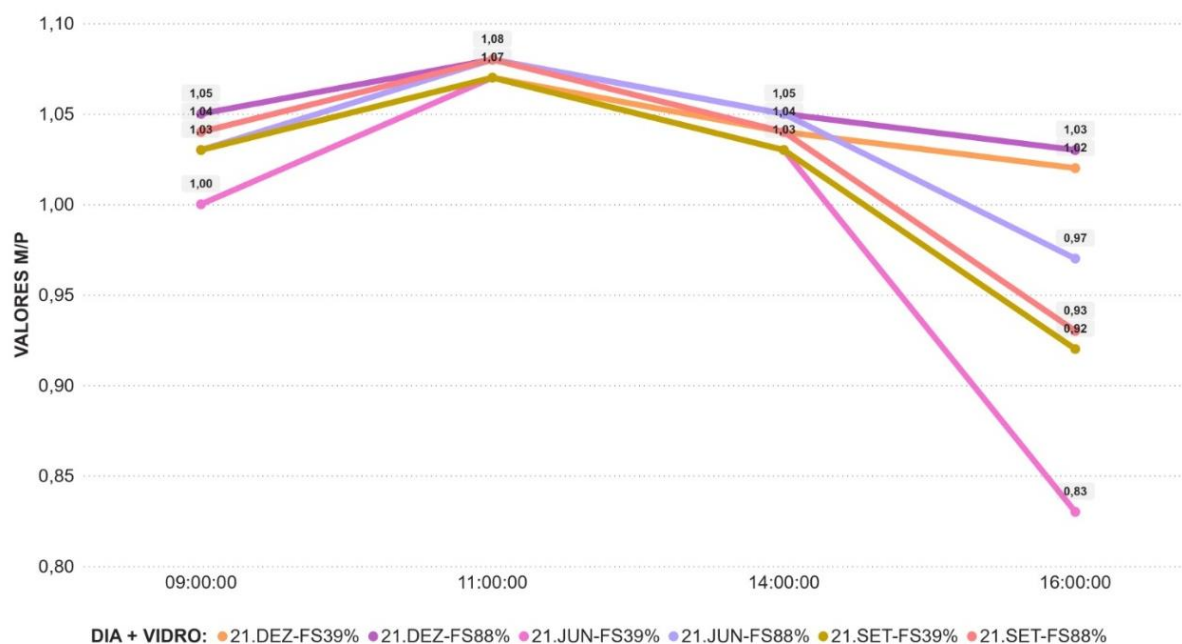
Os dias 21/09 e 21/12 com céu nublado se assemelham, pois, a média M/P possui um valor estável nos três primeiros horários, e apenas às 16h ocorre um aumento na média. No dia 21/06 às 11h ocorre uma queda na média M/P, que volta a subir às 14h e mais ainda às 16h (Figura 36).

Nos dias 21/06 e 21/12, as porcentagens de azul enriquecido variaram, sendo a menor porcentagem às 11h e a maior às 16h. No dia 21/09, os três primeiros horários, se apresentaram valores menores, sendo que as 16h ocorre uma alta na porcentagem (Tabela 11).

No modelo de céu claro (Figura 37) todos os dias as 16h ocorre um aumento da luz neutra, entretanto no modelo com vidro FS 39% no dia 21/06 ocorre um grande pico de luz neutra abrangendo mais de 80% da sala de aula que não se repete nos outros dias. No modelo de céu nublado (Figura 38) os dias de vidro FS 39% os níveis de luz neutra são ligeiramente mais altos.

Mais uma vez o tipo de céu é um influenciador perceptível nos resultados, a diferença que se mostrou nesse modelo em específico foi que o vidro atuou na proporção das mudanças, fazendo com que modelos de vidros diferentes ainda que apresentassem mudanças de acordo com o tipo de céu, essas mudanças ficavam em proporções diferentes de acordo com o modelo de vidro usado.

Figura 35 – Média M/P – Oeste – Céu claro



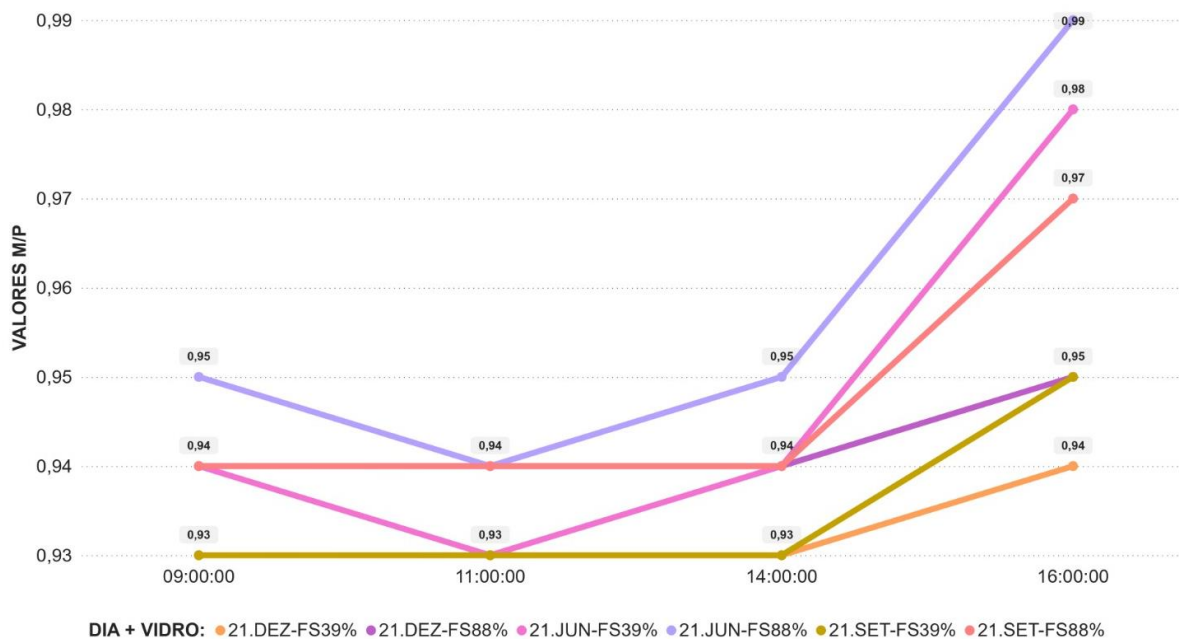
Fonte: Própria (2024)

Tabela 10 - Razão M/P – Oeste - Céu claro

Data	Hora	Vidro	Razão M/P	Azul enriquecido (M/P>0,9)	Azul empobrecido (M/P<0,35)	Neutro (0,35<M/P<0,9)
21/06	9 h	FS 39%	1	97,8%	0%	2,2%
		FS 88%	1,03	99%	0%	1%
	11 h	FS 39%	1,07	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,08	99,6%	0%	0,4%
	14 h	FS 39%	1,03	99,4%	0%	0,6%
		FS 88%	1,05	99,4%	0%	0,6%
16 h	FS 39%	0,83	13,3%	0%	86,7%	
	FS 88%	0,97	82,6%	0%	17,4%	
21/09	9 h	FS 39%	1,03	99,2%	0%	0,8%
		FS 88%	1,04	99,2%	0%	0,8%
	11 h	FS 39%	1,07	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,08	99,6%	0%	0,4%
	14 h	FS 39%	1,03	99,2%	0%	0,8%
		FS 88%	1,04	99,3%	0%	0,7%
16 h	FS 39%	0,92	58,8%	0%	41,2%	
	FS 88%	0,93	63%	0%	37%	
21/12	9 h	FS 39%	1,03	99%	0%	1%
		FS 88%	1,05	99,3%	0%	0,7%
	11 h	FS 39%	1,07	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,08	99,6%	0%	0,4%
	14 h	FS 39%	1,04	99,3%	0%	0,7%
		FS 88%	1,05	99,3%	0%	0,7%
16 h	FS 39%	1,02	95,5%	0%	4,5%	
	FS 88%	1,03	96,7%	0%	3,3%	

Fonte: Própria (2024)

Figura 36 – Média M/P – Oeste – Céu nublado



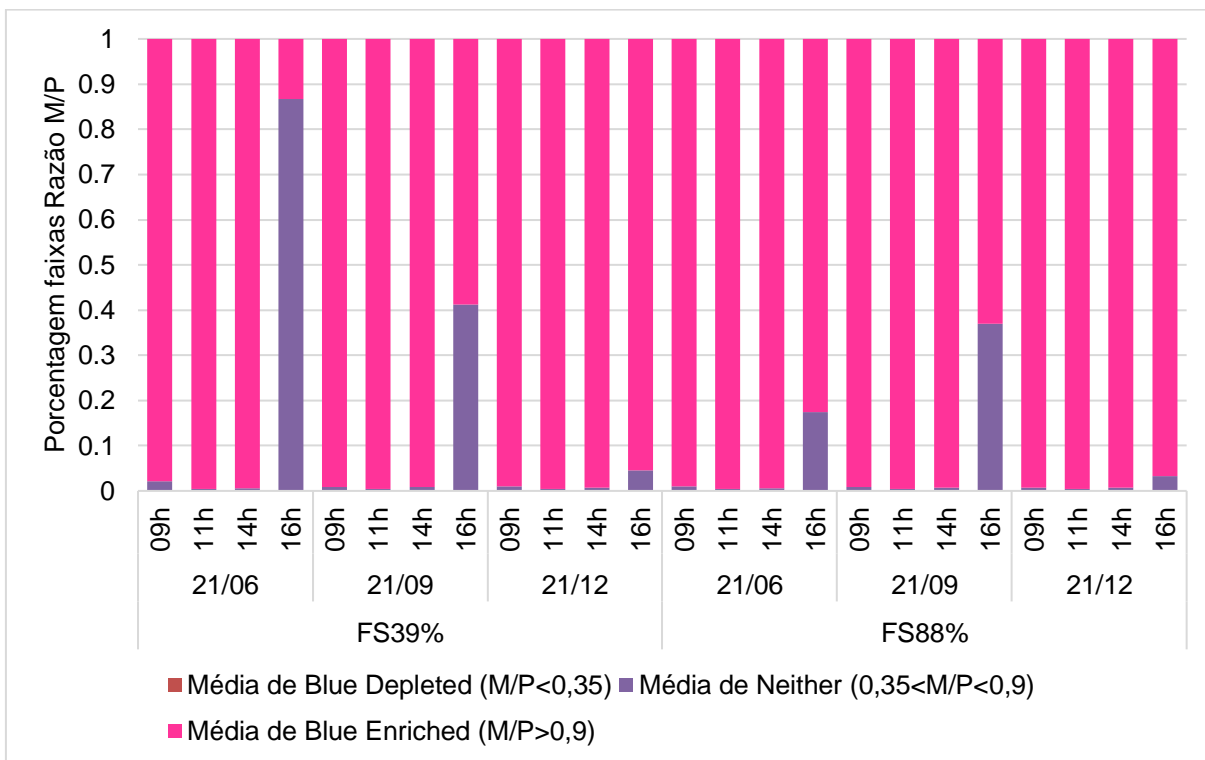
Fonte: Própria (2024)

Tabela 11 - Razão M/P - Oeste- Céu nublado

Data	Hora	Vidro	Razão M/P	Azul enriquecido (M/P>0,9)	Azul empobrecido (M/P<0,35)	Neutro (0,35<M/P<0,9)
21/06	9 h	FS 39%	0,94	83,6%	0%	16,4%
		FS 88%	0,95	87,9%	0%	12,1%
	11 h	FS 39%	0,93	78,5%	0%	21,5%
		FS 88%	0,94	84,5%	0%	15,5%
	14 h	FS 39%	0,94	83,1%	0%	16,9%
		FS 88%	0,95	87,5%	0%	12,5%
16 h	FS 39%	0,98	97,2%	0%	2,8%	
	FS 88%	0,99	97,9%	0%	2,1%	
21/09	9 h	FS 39%	0,93	78,6%	0%	21,4%
		FS 88%	0,94	87,4%	0%	12,6%
	11 h	FS 39%	0,93	76,6%	0%	23,4%
		FS 88%	0,94	85,5%	0%	14,5%
	14 h	FS 39%	0,93	78,4%	0%	21,6%
		FS 88%	0,94	87,1%	0%	12,9%
16 h	FS 39%	0,95	89,7%	0%	10,3%	
	FS 88%	0,97	91,8%	0%	8,2%	
21/12	9 h	FS 39%	0,93	77,5%	0%	22,5%
		FS 88%	0,94	84%	0%	16%
	11 h	FS 39%	0,93	76,2%	0%	23,8%
		FS 88%	0,94	82,9%	0%	17,1%
	14 h	FS 39%	0,93	78,5%	0%	21,5%
		FS 88%	0,94	83,8%	0%	16,2%
16 h	FS 39%	0,94	85,3%	0%	14,7%	
	FS 88%	0,95	89,1%	0%	10,9%	

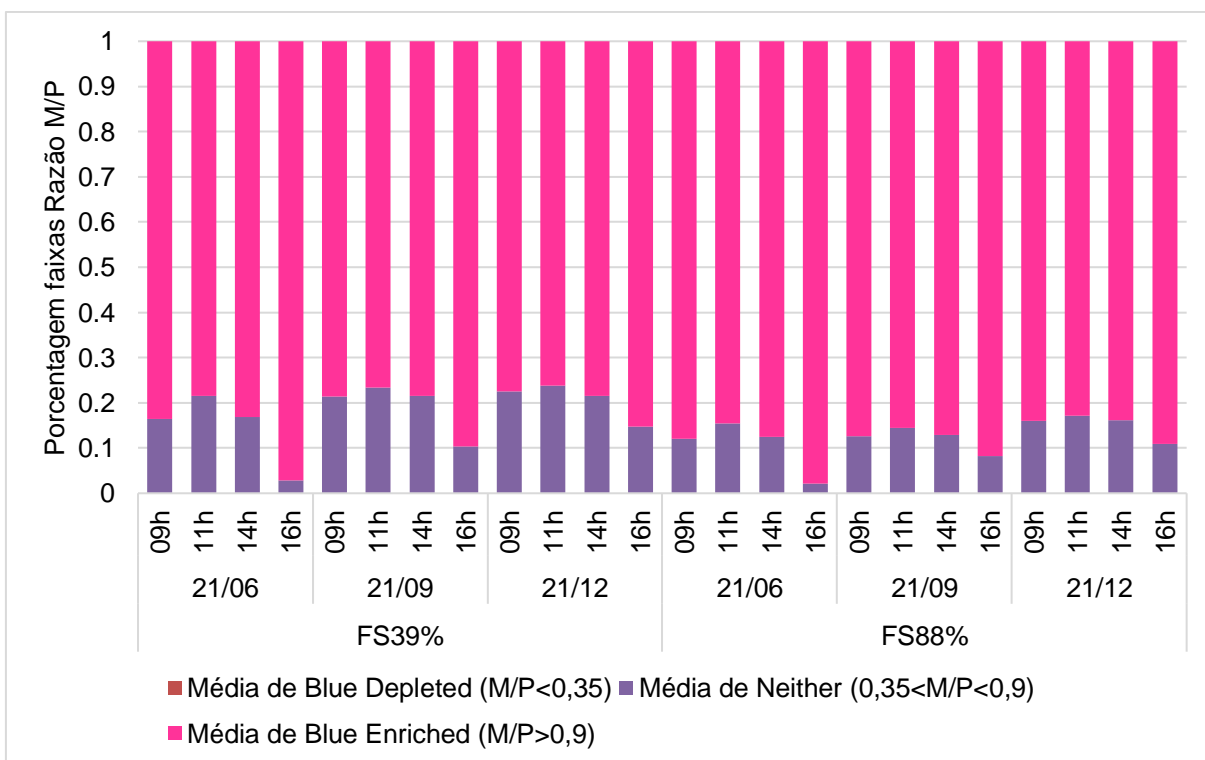
Fonte: Própria (2024)

Figura 37 - Luz azul enriquecida, empobrecido e neutro - Oeste - Céu claro



Fonte: Própria (2024)

Figura 38 - Luz azul enriquecida, empobrecido e neutro - Oeste - Céu nublado



Fonte: Própria (2024)

#### 4.1.4. Análise da Razão M/P para Sul

Os modelos do dia 21/06 apresentam o desenho semelhante, ainda que com valores diferentes para vidros diferentes, ambos com um pico às 11h e uma queda drástica às 16h. No dia 21/09 e no dia 21/12, ambos com vidro FS 39%, apresentam os três primeiros horários com valores lineares, e uma leve queda às 16h. No dia 21/12 com vidro FS 88% também segue o padrão linear nos três primeiros horários, porém a queda às 16h é mais exagerada. No dia 21/09 com vidro FS 88% ocorre um pico às 14h, e às 16h o valor retorna ao mesmo dos dois horários iniciais. Todas as médias apresentam queda às 16h (Figura 39).

Nos modelos de céu claro, no dia 21/06 com vidro FS 88%, os horários das 9h, 11h e 14h apresentam luz azul enriquecida em maior parte da sala de aula, sendo que às 11h chega à 98,9%. Às 16h há uma inversão em que a luz neutra passa a predominar. No dia 21/09 com vidro FS 88% os quatro horários analisados possuem a mesma porcentagem de 99,6% de luz azul enriquecida em sala de aula. Com o filtro FS 39% todos os horários apresentam porcentagem acima de 99% de luz azul enriquecida. No dia 21/12 com vidro FS 88% a porcentagem de luz azul enriquecida em sala de aula todos os horários apresentam o mesmo resultado de 99,6%. Com a mudança para o vidro FS 39%, as porcentagens dos horários das 9h, 11h e 14h se mantiveram os mesmos em relação ao modelo anterior, porém ocorreu uma ligeira queda às 16h (Tabela 12).

Os dias 21/09 e 21/09 de céu nublado apresentam linearidade de valores nos três primeiros horários, e um aumento às 16h, inclusive em ambos dias, os três primeiros valores são iguais quando o vidro é o mesmo. O dia 21/06 é mais inconstante, com o vidro FS 39% os dois primeiros horários apresentam linearidade, às 14h ocorre uma queda, e às 16h um aumento expressivo. Com o vidro FS 88% não ocorre nenhuma linearidade, entre às 9h e 11h ocorre uma queda, seguida de um retorno às 14h e um aumento significativo às 16h (Figura 40).

Todos os modelos analisados apresentam valor azul enriquecido com o maior às 16h e menor às 11h (Tabela 13).

Nos quatro modelos do dia 21/06 às 9h apresentam porcentagem semelhantes de luz azul enriquecida. Nos horários das 11h, 14h e 16h, ocorrem diferenças entre

modelos de céu nublado e céu claro, sendo a mais drástica às 16h, em que no modelo de céu claro a luz predominante passa a ser a neutra.

Nos dias de céu claro do modelo de 21/09, todas as porcentagens estão acima de 99% tanto para o vidro FS 88% quanto para o vidro FS 39%. Nos dias de céu nublado ocorre uma variação entre 78% a 92%. Nos modelos de céu claro do dia 21/12, todos possuem a presença de luz azul enriquecida em mais de 99% da sala de aula. Nos modelos de céu claro essa porcentagem diminui para valores entre 79% e 90%.

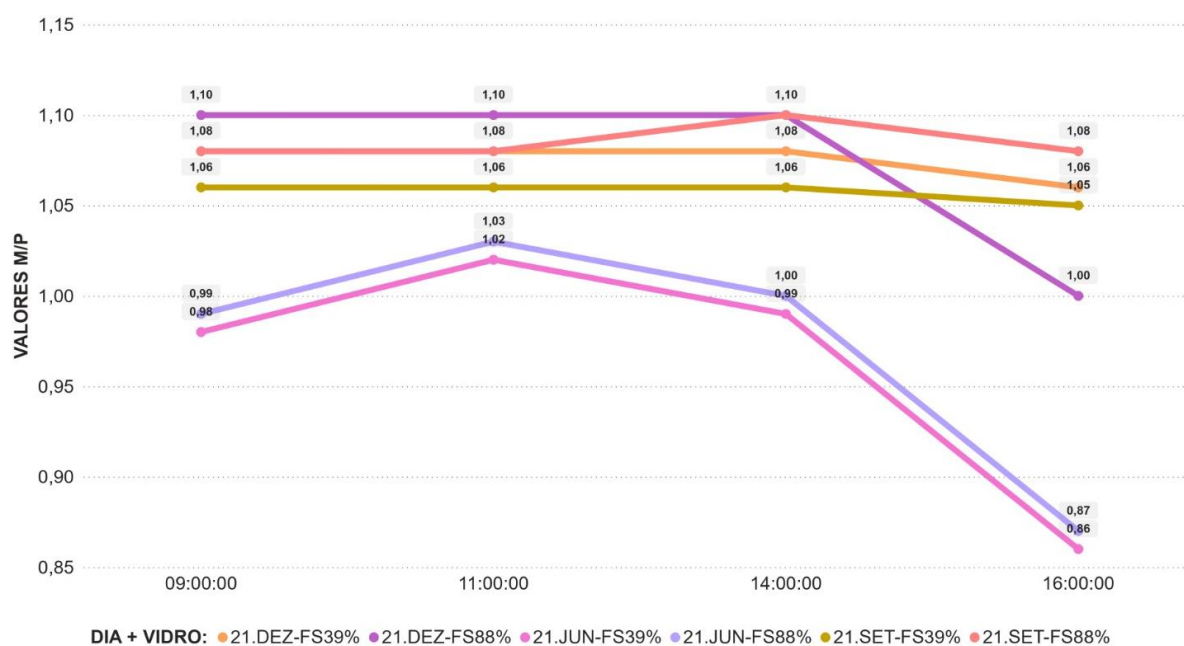
No modelo de céu claro, Figura 41, apenas no dia 21/06 ocorre variações significativas de luz neutra, havendo picos de luz neutra às 16h de cerca de 80% de presença de luz neutra em sala de aula. No modelo de céu nublado (Figura 42) a luz neutra aparece em todos os dias avaliados, com os maiores valores em cerca de 20%.

O modelo sul é o que apresenta mais diferenças entre os modelos apresentados, principalmente em relação ao solstício de inverno.

Analisando a razão M/P, observa-se que o desempenho é indiferente para orientações, tipo de vidro e horário.



Figura 39 – Média M/P – Sul – Céu claro



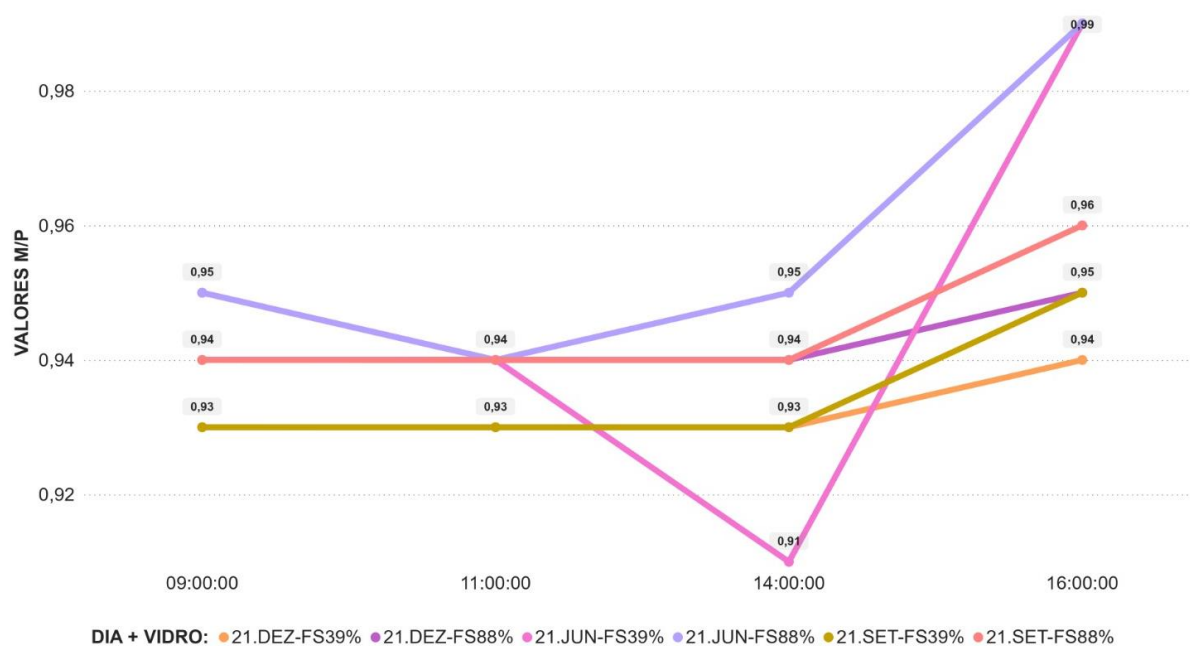
Fonte: Própria (2024)

Tabela 12 - Razão M/P – Sul - Céu claro

Data	Hora	Vidro	Razão M/P	Azul enriquecido (M/P>0,9)	Azul empobrecido (M/P<0,35)	Neutro (0,35<M/P<0,9)
21/06	9 h	FS 39%	0,98	88,9%	0%	11,1%
		FS 88%	0,99	91,2%	0%	8,8%
	11 h	FS 39%	1,02	98,2%	0%	1,2%
		FS 88%	1,03	98,9%	0%	1,1%
	14 h	FS 39%	0,99	94,4%	0%	5,6%
		FS 88%	1	96,5%	0%	3,5%
16 h	FS 39%	0,86	19,1%	0%	80,9%	
	FS 88%	0,87	25,5%	0%	74,5%	
21/09	9 h	FS 39%	1,06	99,4%	0%	0,6%
		FS 88%	1,08	99,6%	0%	0,4%
	11 h	FS 39%	1,06	99,4%	0%	0,6%
		FS 88%	1,08	99,6%	0%	0,4%
	14 h	FS 39%	1,06	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,1	99,6%	0%	0,4%
16 h	FS 39%	1,05	99,5%	0%	0,5%	
	FS 88%	1,08	99,6%	0%	0,4%	
21/12	9 h	FS 39%	1,08	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,1	99,6%	0%	0,4%
	11 h	FS 39%	1,08	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,1	99,6%	0%	0,4%
	14 h	FS 39%	1,08	99,6%	0%	0,4%
		FS 88%	1,1	99,6%	0%	0,4%
16 h	FS 39%	1,06	99,5%	0%	0,5%	
	FS 88%	1,08	99,6%	0%	0,4%	

Fonte: Própria (2024)

Figura 40 – Média MP – Sul – Céu nublado



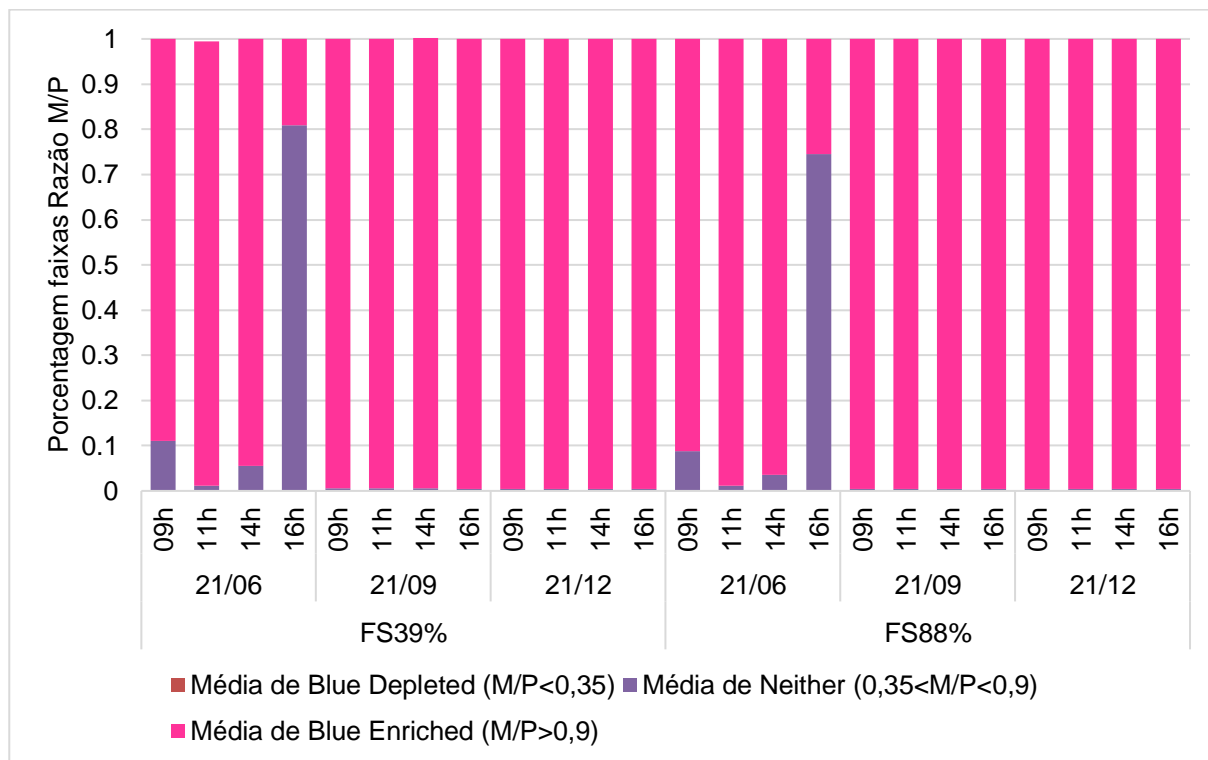
Fonte: Própria (2024)

Tabela 13 - Razão M/P – Sul - Céu nublado

Data	Hora	Vidro	Razão M/P	Azul enriquecido (M/P>0,9)	Azul empobrecido (M/P<0,35)	Neutro (0,35<M/P<0,9)
21/06	9 h	FS 39%	0,95	89,3%	0%	10,7%
		FS 88%	0,95	88,3%	0%	11,7%
	11 h	FS 39%	0,94	86,5%	0%	13,5%
		FS 88%	0,94	85,7%	0%	14,3%
	14 h	FS 39%	0,91	88,1%	0%	11,9%
		FS 88%	0,95	87,9%	0%	12,1%
16 h	FS 39%	0,99	98,3%	0%	1,7%	
	FS 88%	0,99	97,8%	0%	2,2%	
21/09	9 h	FS 39%	0,93	80,8%	0%	19,2%
		FS 88%	0,94	85,5%	0%	14,5%
	11 h	FS 39%	0,93	78,3%	0%	21,7%
		FS 88%	0,94	83,7%	0%	16,3%
	14 h	FS 39%	0,93	80,6%	0%	19,4%
		FS 88%	0,94	85,4%	0%	14,6%
16 h	FS 39%	0,95	89,2%	0%	10,8%	
	FS 88%	0,96	91,6%	0%	8,4%	
21/12	9 h	FS 39%	0,93	79,7%	0%	20,3%
		FS 88%	0,94	85,7%	0%	14,3%
	11 h	FS 39%	0,93	78%	0%	22%
		FS 88%	0,94	84,5%	0%	15,5%
	14 h	FS 39%	0,93	79,5%	0%	20,5%
		FS 88%	0,94	84,8%	0%	15,2%
16 h	FS 39%	0,94	86,6%	0%	13,4%	
	FS 88%	0,95	89,1%	0%	10,9%	

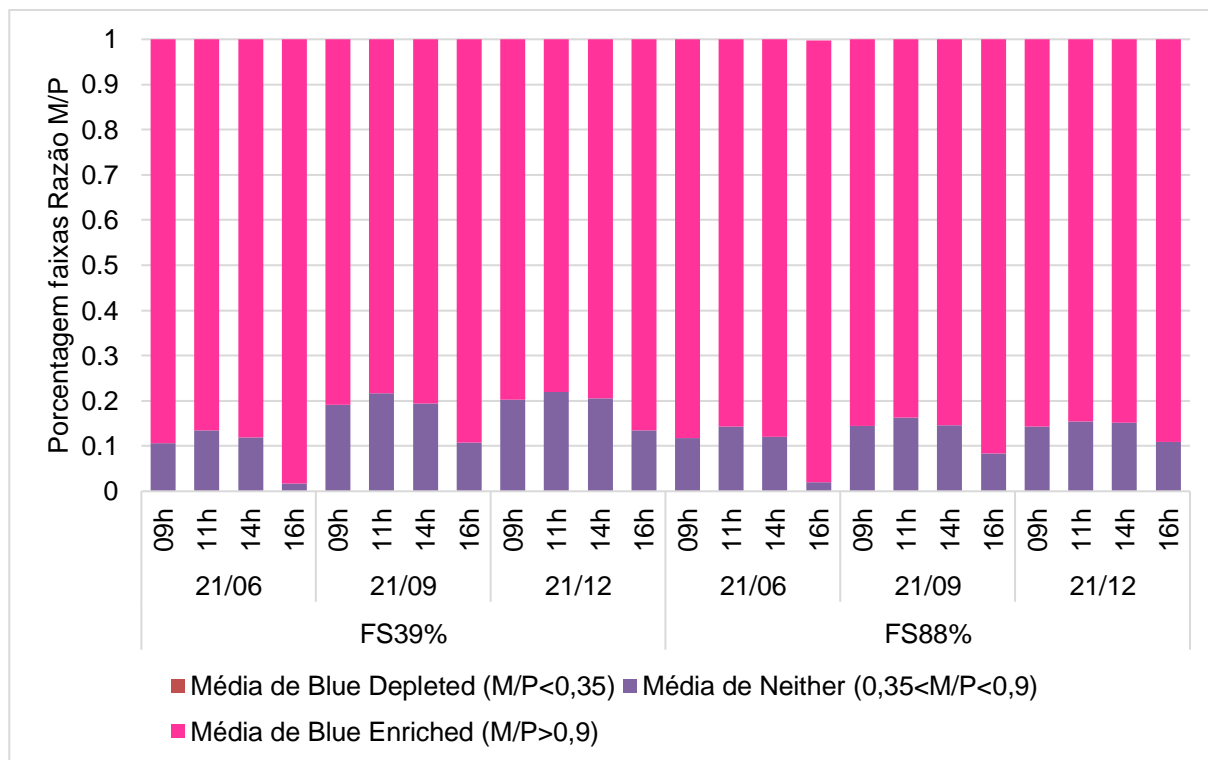
Fonte: Própria (2024)

Figura 41 - Luz azul enriquecida, empobrecida e neutra - Sul - Céu claro



Fonte: Própria (2024)

Figura 42 - Luz azul enriquecida, empobrecida e neutra - Sul - Céu nublado



Fonte: Própria (2024)

## 4.2. Análise do Equivalent Melanopic Lux (EML)

A *equivalent melanopic lux* (EML) representa a absorção de luz pelos ipRGC através da melanopsina, de acordo com KOSIR (2021) é necessário no mínimo 150 lux por quatro horas até o meio-dia. Entretanto é a partir de 1000 lux que os efeitos se tornam mais efetivos e velozes (Bertolotti, 2007). O limite de 3000 lux se dá devido a possibilidade de ocorrência de ofuscamento a partir deste valor.

### 4.2.1. Análise da EML para Leste

De acordo com a Figura 43 a alteração de vidro FS 88% para FS 39% diminui o intervalo da média do EML, que passa de predominantemente entre 1000 lux a 3000 lux com o vidro FS 88% para um valor mais distribuído com uma parte entre 500 lux a 1000 lux e outra entre 1000 lux a 3000 lux (Figura 43).

Em todos os modelos de céu claro, todos eles alcançam o valor mínimo de 150 lux em toda a sala de aula, com o vidro FS 39% predominam as médias entre 500 - 1000 lux e 1000 - 3000 lux e com o vidro FS 88% predomina a média de 1000 - 3000 lux. Em relação as médias acima de 3000 lux, sempre ocorre uma queda na porcentagem, sendo que os modelos com o vidro FS 39% apresentam os menores valores (Tabela 14).

No modelo de céu nublado as médias variam mais do que no modelo de céu claro. Nos modelos FS 39% predominam as médias entre 500 lux a 1000 lux e entre 150 lux e 500 lux. No modelo FS 88% a média entre 1000 lux e 3000 lux é predominante com exceção ao horário das 16h e as 9h do dia 21/06 (Figura 44).

Apenas no horário das 11h à sala inteira alcançou o mínimo de 150 lux para a sala inteira nos dias 21/06 e 21/09 com vidro FS 39. Nos horários das 9h, 11h e 14h com vidro FS 88% a sala inteira alcançou o mínimo de 150 lux para a sala inteira. Exceto as 16h, que possui os valores mais baixos de EML dos quatro horários avaliados. No dia 21/12 com vidro FS 39% os três primeiros horários apresentam 100% da sala de aula com o valor acima de 150 lux, as 16h essa porcentagem cai para 95,9% (Tabela 15).

Podemos notar que no modelo Leste o tipo de céu e o tipo de vidro tem influência nos resultados do fator EML nos modelos estudados.

Figura 43 - Equivalente Melanopic Lux (EML) - Leste - Céu claro

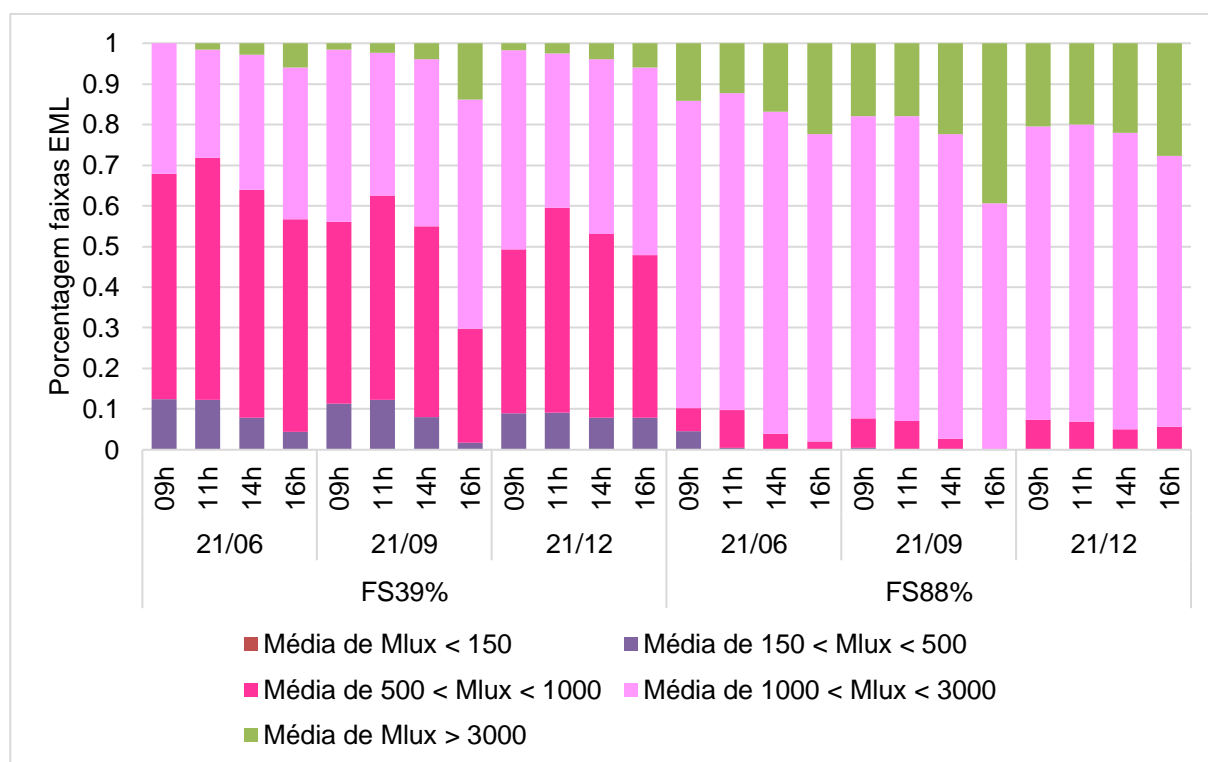
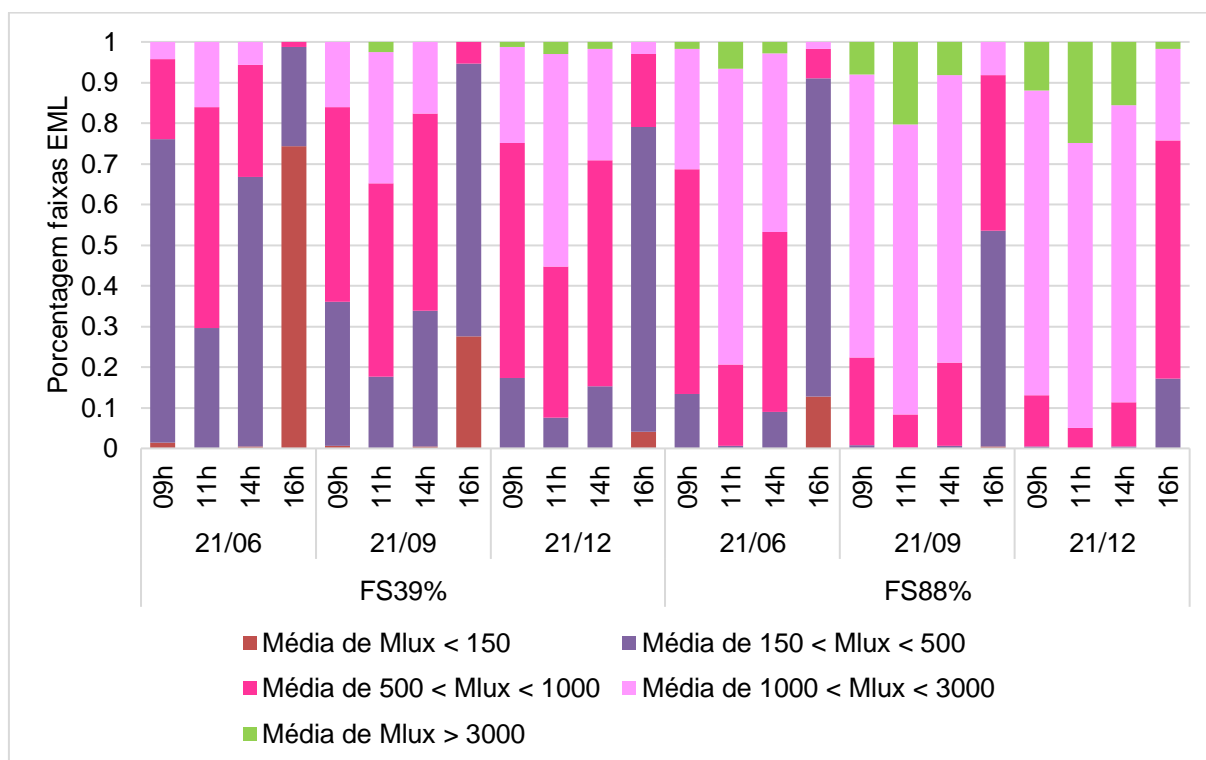


Tabela 14 – Equivalent Melanopic Lux (EML) - Leste – Céu claro

Data	Hora	Vidro	Melanopic lux Acima de 150 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 500 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 1000 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 3000 eq. m. lux
21/06	9 h	FS 39%	100%	87,5%	32,1%	0%
		FS 88%	100%	95,5%	89,8%	14,1%
	11 h	FS 39%	100%	87,8%	28,2%	1,5%
		FS 88%	100%	99,6%	90,3%	12,3%
	14 h	FS 39%	100%	92,1%	36,1%	2,8%
		FS 88%	100%	100%	96,0%	16,9%
16 h	FS 39%	100%	95,6%	43,3%	6%	
	FS 88%	100%	100%	98,0%	22,3%	
21/09	9 h	FS 39%	100%	88,6%	43,9%	1,6%
		FS 88%	100%	99,6%	92,3%	17,9%
	11 h	FS 39%	100%	87,7%	37,4%	2,3%
		FS 88%	100%	99,9%	92,9%	18%
	14 h	FS 39%	100%	91,9%	45,1%	4%
		FS 88%	100%	100%	97,3%	22,4%
16 h	FS 39%	100%	98,2%	70,2%	13,8%	
	FS 88%	100%	100%	99,8%	39,3%	
21/12	9 h	FS 39%	100%	91%	50,7%	1,7%
		FS 88%	100%	99,9%	92,6%	20,4%
	11 h	FS 39%	100%	90,8%	40,5%	2,5%
		FS 88%	100%	100%	93,0%	20%
	14 h	FS 39%	100%	92,2%	47,0%	3,9%
		FS 88%	100%	100%	94,9%	22,1%
16 h	FS 39%	100%	92,2%	52,2%	5,9%	
	FS 88%	100%	100%	94,4%	27,7%	

Fonte: Própria (2024)

Figura 44 - Equivalente Melanopic Lux (EML) - Leste - Céu nublado



Fonte: Própria (2024)

Tabela 15 – Equivalent Melanopic Lux (EML) - Leste– Céu nublado

Data	Hora	Vidro	Melanopic lux Acima de 150 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 500 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 1000 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 3000 eq. m. lux
21/06	9 h	FS 39%	98,6%	23,9%	8,0%	0%
		FS 88%	100%	86,6%	31,4%	1,7%
	11 h	FS 39%	100%	70,4%	21,8%	0%
		FS 88%	100%	99,4%	79,3%	6,6%
	14 h	FS 39%	99,5%	33,2%	10,0%	0%
		FS 88%	100%	91%	46,7%	2,8%
	16 h	FS 39%	25,6%	1,3%	0%	0%
		FS 88%	87,2%	9%	1,7%	0%
21/09	9 h	FS 39%	99,4%	64%	16,1%	0%
		FS 88%	100%	99,2%	77,7%	8%
	11 h	FS 39%	100%	82,3%	34,8%	2,5%
		FS 88%	100%	99,9%	91,7%	20,3%
	14 h	FS 39%	99,6%	66,1%	17,7%	0%
		FS 88%	100%	99,3%	78,9%	8,1%
	16 h	FS 39%	72,5%	5,4%	0%	0%
		FS 88%	99,6%	46,5%	8,2%	0%
21/12	9 h	FS 39%	100%	82,6%	24,9%	1,3%
		FS 88%	100%	99,6%	87,0%	11,9%
	11 h	FS 39%	100%	92,4%	55,2%	3%
		FS 88%	100%	100%	95,0%	24,9%
	14 h	FS 39%	100%	84,8%	29,1%	1,7%
		FS 88%	100%	99,6%	88,6%	15,5%
	16 h	FS 39%	95,9%	21%	3,0%	0%
		FS 88%	100%	82,9%	24,2%	1,7%

Fonte: Própria (2024)

#### 4.2.2. Análise da EML para Norte

No modelo com vidro FS 39% as médias se distribuem principalmente entre 500 lux a 1000 lux e entre 1000 lux a 3000 lux. A mudança de vidro para FS 88% faz predominar a média entre 1000 lux a 3000 lux (Figura 45).

Os modelos de céu claro com o vidro FS 39%, todos os modelos alcançam o mínimo de 150 lux em mais de 99% da sala de aula. Em relação aos valores acima de 500 lux, às 16h é a que apresentam a menor porcentagem. Os valores a partir de 1000 lux encontram-se próximo de 35% a 55% para os horários das 9h, 11h e 14h, enquanto as 16h a porcentagem encontra-se entre 27% a 6,6%. Com a mudança de vidro para FS 88%, em todos os horários, a porcentagem de EML é mais alta do que com o vidro FS 39% (Tabela 16).

O modelo Norte de céu nublado não apresenta uma predominância de valores EML, principalmente com o vidro FS 39%. O que pode ser notado é que principalmente as 16h os valores EML caem expressivamente em relação aos horários anteriores em todos os dias analisados (Figura 46).

No dia 21/06 com vidro FS 39%, apenas no horário das 11h à sala inteira alcançou o mínimo de EML para a sala inteira. As 9h e 14h foi alcançado mais de 99% em ambas salas. A exceção foi o horário das 16h, que possui os valores mais baixos de EML dos quatro horários avaliados. Nenhum dos horários avaliados alcançou níveis acima de 3000 lux. Nos dias 21/09 e 21/12, os três primeiros horários apresentam 100% da sala de aula com valores acima de 150 lux, ocorre uma queda quando analisado os valores acima de 500 lux, seguido de quedas mais amplas a partir de 1000 lux. Já o horário das 16h não alcança 100% da sala de aula os valores acima de 150 lux, ocorrendo uma queda significativa a partir de 500 lux (Tabela 17).

Ao trocar o vidro para FS 88%, o valor mínimo EML é alcançado em toda a sala nos horários das 9h, 11h e 14h e na maior parte da sala as 16h em todos os dias analisados. A maior queda apresenta-se entre os valores de 1000 lux e 3000 lux para os horários das 9h, 11h e 14h, com exceção as 16h que a queda já fica aparente ao analisar os 500 lux (Tabela 17).

Podemos observar que no modelo Norte o vidro e o tipo de céu têm interferência nos resultados. O tipo de céu nublado e o vidro FS39% tem o efeito de diminuir o EML.

Figura 45 - Equivalente Melanopic Lux (EML) - Norte - Céu claro

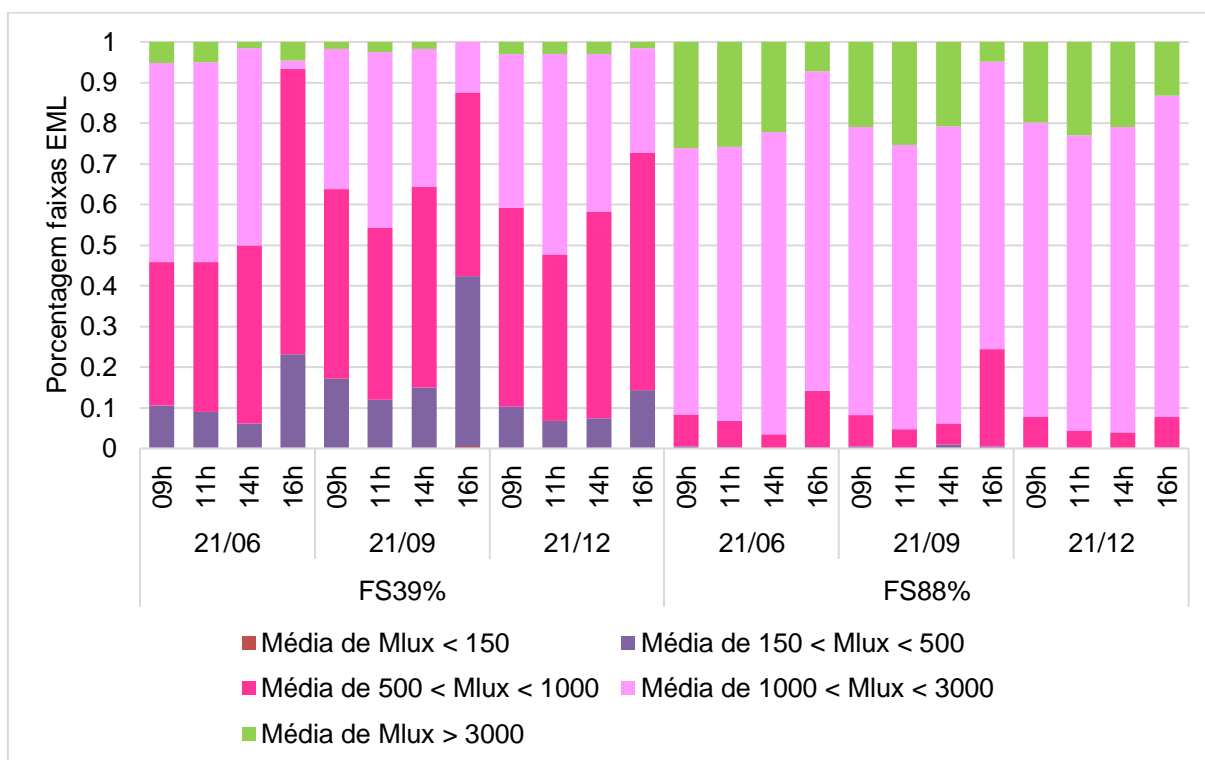


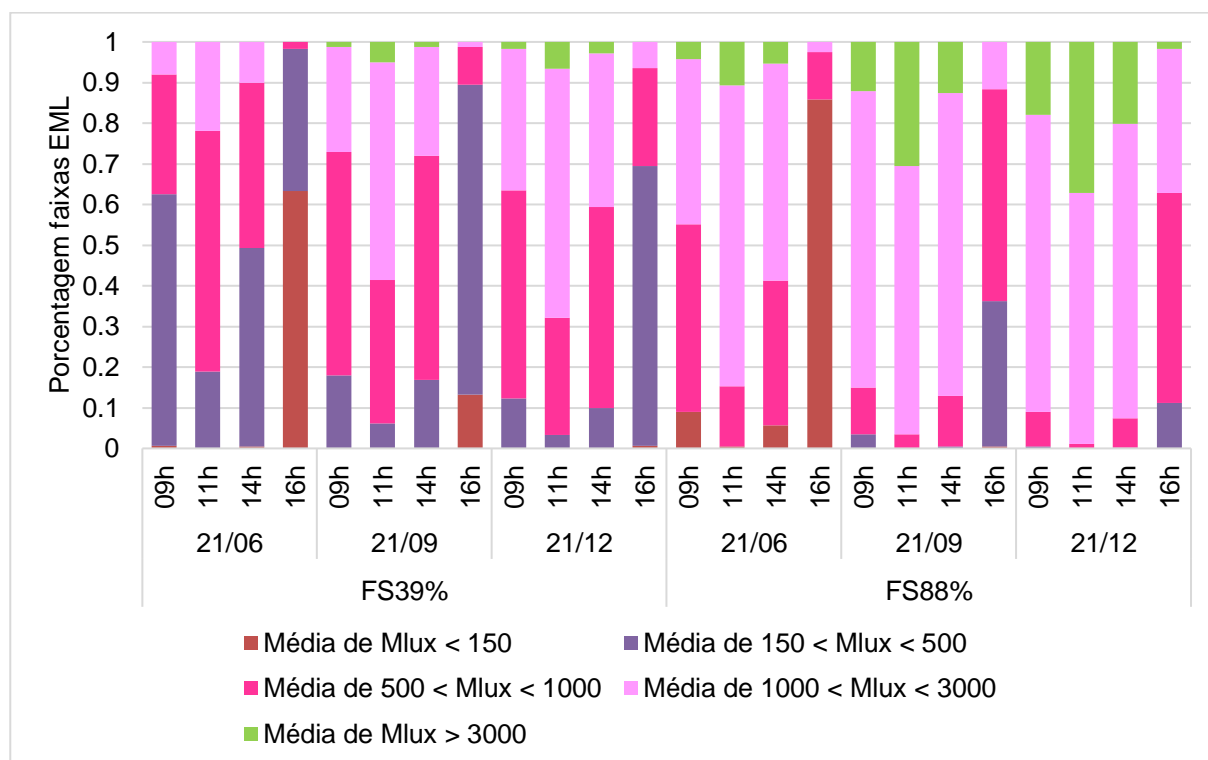
Tabela 16 – Equivalent Melanopic Lux (EML) - Norte – Céu claro

Data	Hora	Vidro	Melanopic lux Acima de 150 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 500 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 1000 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 3000 eq. m. lux
21/06	9 h	FS 39%	100%	89,4%	54,2%	5,2%
		FS 88%	100%	99,6%	91,7%	26,2%
	11 h	FS 39%	100%	91%	54,1%	5,1%
		FS 88%	100%	99,7%	93,3%	25,8%
	14 h	FS 39%	100%	93,9%	50,1%	1,6%
		FS 88%	100%	100%	96,5%	22,2%
16 h	FS 39%	100%	76,9%	6,6%	4,5%	
	FS 88%	100%	99,7%	85,9%	7,2%	
21/09	9 h	FS 39%	100%	82,8%	36,2%	1,7%
		FS 88%	100%	99,6%	91,8%	20,9%
	11 h	FS 39%	100%	88%	45,6%	2,5%
		FS 88%	100%	100%	95,2%	25,4%
	14 h	FS 39%	100%	85,1%	35,6%	1,7%
		FS 88%	100%	99%	93,8%	20,8%
16 h	FS 39%	99,6%	57,7%	12,5%	0%	
	FS 88%	100%	99,5%	75,6%	4,9%	
21/12	9 h	FS 39%	100%	89,7%	40,7%	3%
		FS 88%	100%	100%	92,3%	19,9%
	11 h	FS 39%	100%	93,2%	52,2%	3%
		FS 88%	100%	100%	95,6%	22,9%
	14 h	FS 39%	100%	92,6%	41,8%	3%
		FS 88%	100%	100%	96,0%	20,9%
16 h	FS 39%	100%	85,6%	27,3%	1,5%	
	FS 88%	100%	99,9%	92,3%	13,2%	

Fonte: Própria (2024)



Figura 46 - Equivalente Melanopic Lux (EML) - Norte - Céu nublado



Fonte: Própria (2024)

Tabela 17 – Equivalent Melanopic Lux (EML) - Norte – Céu nublado

Data	Hora	Vidro	Melanopic lux Acima de 150 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 500 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 1000 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 3000 eq. m. lux
\$21/06	9 h	FS 39%	99,4%	37,4%	8,0%	0%
		FS 88%	100%	91%	44,8%	4,3%
	11 h	FS 39%	100%	81,1%	21,8%	0%
		FS 88%	100%	99,6%	84,7%	10,7%
	14 h	FS 39%	99,6%	50,7%	10,0%	0%
		FS 88%	100%	94,4%	58,7%	5,3%
16 h	FS 39%	36,7%	1,7%	0%	0%	
	FS 88%	91,5%	14,2%	2,5%	0%	
21/09	9 h	FS 39%	100%	82,1%	27,0%	1,3%
		FS 88%	100%	99,6%	85,1%	12,1%
	11 h	FS 39%	100%	93,9%	58,5%	5%
		FS 88%	100%	100%	96,5%	30,6%
	14 h	FS 39%	100%	83,1%	28,0%	1,3%
		FS 88%	100%	99,6%	87,1%	12,6%
16 h	FS 39%	86,8%	10,5%	1,3%	0%	
	FS 88%	99,6%	63,8%	11,7%	0%	
21/12	9 h	FS 39%	100%	87,7%	36,6%	1,7%
		FS 88%	100%	99,6%	91,0%	18%
	11 h	FS 39%	100%	96,7%	67,9%	6,6%
		FS 88%	100%	100%	98,9%	37,1%
	14 h	FS 39%	100%	90%	40,6%	2,8%
		FS 88%	100%	99,8%	92,6%	20,1%
16 h	FS 39%	99,3%	30,6%	6,5%	0%	
	FS 88%	100%	88,8%	37,1%	1,7%	

Fonte: Própria (2024)

### 4.2.3. Análise da EML para Oeste

No modelo de céu claro com vidro FS 39% predominam as médias entre 500 lux a 1000 lux e 1000 lux a 3000 lux. Quando ocorre a troca de vidro para FS 88%, cai a porcentagem de médias entre 500 lux a 1000 lux, aumenta a proporção de média 1000 lux a 3000 lux e acima de 3000 lux (Figura 47).

Em todos os modelos de sala de aula simulados o mínimo de 150 lux é atingido em 100%. Com o vidro 39%, em relação aos valores acima de 500 lux, às 16h é a que apresentam a menor porcentagem e às 9h, o maior (Tabela 18). Acima de 3000 lux apresenta maior valor às 16h e menor valor às 14h no dia 21/06. Nos dias 21/09 e 21/12 o maior valor se apresenta as 9h e o menor as 14h e as 16h respectivamente (Tabela 18).

Já com o vidro FS 88% todos os modelos apresentam valores acima de 150 lux em toda a sala de aula. A porcentagem permanece alta em relação aos valores acima de 500 lux e 1000 lux. Ocorrendo uma abrupta queda em relação aos 3000 lux (Tabela 18).

No modelo com o céu nublado não ocorre uma predominância explícita de uma média, ainda que seja possível notar que os valores mais altos estejam no modelo com o vidro FS 88%. As 16h ocorre quedas significativas tanto para o modelo que usa o vidro FS 39% e FS 88% (Figura 48).

Com vidro FS 39%, nos horários das 9h, 11h e 14h em mais de 98% das salas de aula apresentam melanopic lux acima de 150 lux, enquanto as 16hrs a porcentagem cai. Em relação a 500 lux e a 1000 lux, ocorre mais duas quedas (Tabela 19).

Já com o vidro FS 88%, nos dias 21/06 e 21/09 horários de 9h, 11h e 14 h, 100% da sala apresentou EML maior que 150 lux, com exceção as 16h. No dia 21/12 todos os horários alcançam o mínimo de 150 lux. Todos os horários apresentam uma queda significativa a partir dos 1000 lux (Tabela 19).

No modelo oeste o vidro e o tipo de céu tiveram influência significativa nos valores de EML.

Figura 47 - Equivalente Melanopic Lux (EML) - Oeste - Céu claro

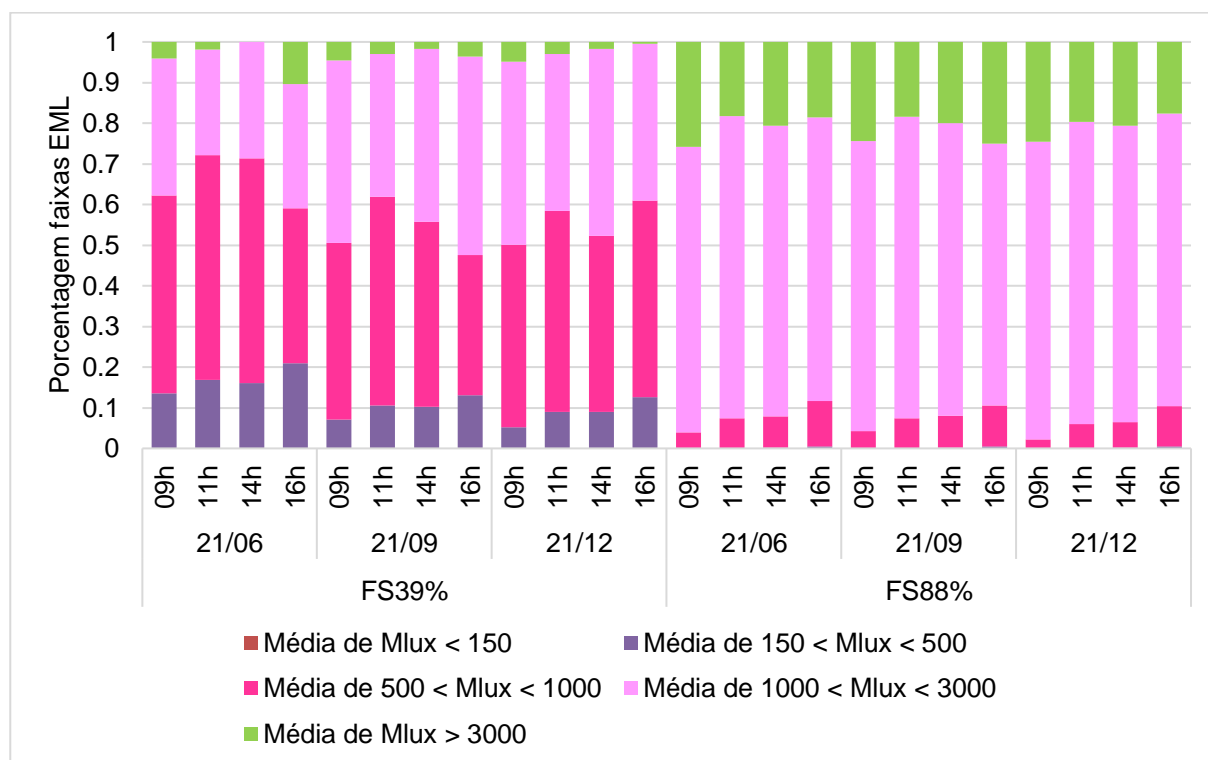


Tabela 18 – Equivalent Melanopic Lux (EML) - Oeste – Céu claro

Data	Hora	Vidro	Melanopic lux Acima de 150 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 500 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 1000 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 3000 eq. m. lux
21/06	9 h	FS 39%	100%	86,5%	37,8%	4%
		FS 88%	100%	100%	96,0%	25,8%
	11 h	FS 39%	100%	83,1%	27,8%	1,8%
		FS 88%	100%	100%	92,9%	18,2%
	14 h	FS 39%	100%	84%	28,6%	0%
		FS 88%	100%	99,8%	92,1%	20,6%
16 h	FS 39%	100%	79,1%	40,9%	10,4%	
	FS 88%	100%	99,6%	88,4%	18,6%	
21/09	9 h	FS 39%	100%	92,9%	49,4%	4,5%
		FS 88%	100%	100%	95,8%	24,4%
	11 h	FS 39%	100%	89,5%	38,1%	3%
		FS 88%	100%	100%	92,6%	18,4%
	14 h	FS 39%	100%	89,8%	44,2%	1,7%
		FS 88%	100%	99,8%	92,0%	20%
16 h	FS 39%	100%	87%	52,5%	3,6%	
	FS 88%	100%	99,6%	89,5%	25,1%	
21/12	9 h	FS 39%	100%	94,8%	49,9%	4,8%
		FS 88%	100%	100%	97,8%	24,6%
	11 h	FS 39%	100%	91%	41,6%	3%
		FS 88%	100%	100%	94,0%	19,6%
	14 h	FS 39%	100%	91,1%	47,7%	1,7%
		FS 88%	100%	99,9%	93,6%	20,6%
16 h	FS 39%	100%	87,4%	39,1%	0,4%	
	FS 88%	100%	99,6%	89,6%	17,7%	

Fonte: Própria (2024)

Figura 48 - Equivalente Melanopic Lux (EML) - Oeste - Céu nublado

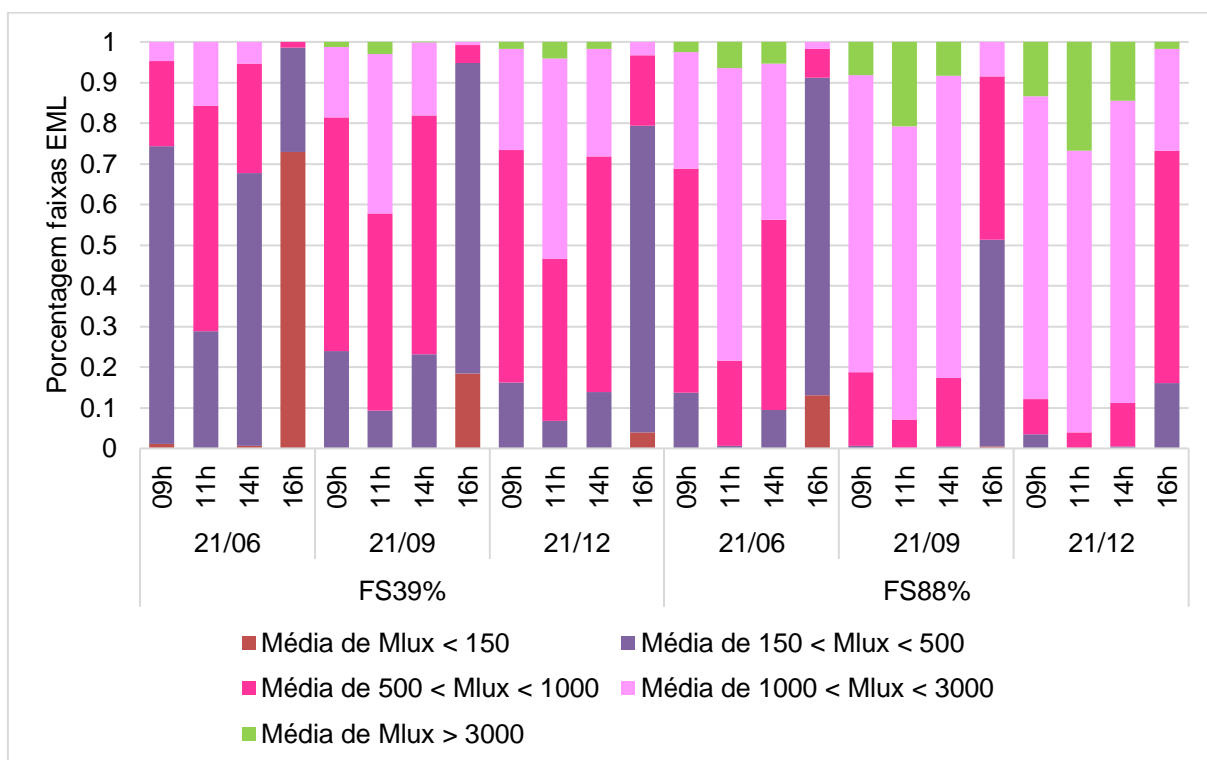


Tabela 19 – Equivalent Melanopic Lux (EML) - Oeste – Céu nublado

Data	Hora	Vidro	Melanopic lux Acima de 150 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 500 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 1000 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 3000 eq. m. lux
21/06	9 h	FS 39%	98,9%	25,6%	4,7%	0%
		FS 88%	100%	86,3%	31,2%	2,5%
	11 h	FS 39%	100%	71,1%	15,8%	0%
		FS 88%	100%	99,4%	78,4%	6,5%
	14 h	FS 39%	99,4%	32,3%	5,4%	0%
		FS 88%	100%	90,5%	43,7%	5,3%
16 h	FS 39%	27%	1,4%	0%	0%	
	FS 88%	86,9%	8,8%	1,7%	0%	
21/09	9 h	FS 39%	100%	76%	18,6%	1,3%
		FS 88%	100%	99,4%	81,2%	8,1%
	11 h	FS 39%	100%	90,7%	42,2%	3%
		FS 88%	100%	100%	92,9%	20,7%
	14 h	FS 39%	100%	76,9%	18,1%	0,1%
		FS 88%	100%	99,6%	82,6%	8,3%
16 h	FS 39%	81,6%	5,2%	0,7%	0%	
	FS 88%	99,6%	48,7%	8,5%	0%	
21/12	9 h	FS 39%	100%	83,8%	26,6%	1,7%
		FS 88%	100%	96,6%	87,9%	13,4%
	11 h	FS 39%	100%	93,2%	53,4%	6,6%
		FS 88%	100%	100%	96,0%	26,8%
	14 h	FS 39%	100%	86,2%	28,1%	2,8%
		FS 88%	100%	99,6%	88,8%	14,5%
16 h	FS 39%	96,1%	20,6%	3,3%	0%	
	FS 88%	100%	84%	26,8%	1,7%	

Fonte: Própria (2024)

#### 4.2.4. Análise da EML para Sul

No modelo de céu claro podemos ver facilmente a diferença entre as médias quando é usado o filtro FS 39%, que são menores, e quando é o filtro FS 88%, que possui médias maiores (Figura 49).

Em todos os modelos com vidro FS 39%, em todas as salas o mínimo de 150 lux é atingido em 100%, com exceção as 16h. Em relação aos valores acima de 500 lux, as 16hrs é a que apresentam a menor porcentagem nos três modelos. A partir de 1000 lux ocorre uma queda considerável em todos os horários, e o mesmo ocorre com 3000 lux. Com o vidro FS 88%, todos os modelos apresentam 150 lux e 500 lux em mais de 99% do total da sala de aula. A partir de 1000 lux os quatro primeiros horários permanecem acima de 89%, enquanto as 16hrs apresenta o menor valor de 69% Em relação a valores acima de 3000 lux, as porcentagens variam de 12% a 37% (Tabela 20).

No modelo com vidro FS 39% não existe uma média predominante, no vidro FS 88% a média predominante fica entre 1000 lux e 3000 lux. Em ambos os modelos as 16h ocorre uma queda expressiva na média (Figura 50).

Em todos os modelos com o vidro FS 39% o mínimo de 150 lux é atingido com exceção as 9h do dia 21/06 e as 16h dos três dias. Inclusive, as 16h do dia 21/06 está fora do padrão pois alcança apenas 36% da sala de aula as 9h com o valor mínimo de 150 lux. A partir dos 500 lux já podemos ver a queda nas porcentagens, que se tornam mais expressivas a partir dos 1000 lux. Acima de 3000 lux nenhuma sala possui porcentagens maiores que 10% (Tabela 21).

Nos horários de 9h,11h e 14h dos dias 21/06 e 21/09 com o vidro FS 88% o nível de 150 lux é alcançado, e no dia 21/12 esse valor é alcançado nos 4 horários analisados. Em relação ao EML acima de 500 lux todos os horários apresentam queda, sendo as mais agudas no dia 21/09, e as mais suaves no dia 21/12 (Tabela 21).

No modelo Sul, como nos outros, o vidro e o tipo de céu influenciaram na porcentagem de EML em sala de aula. Outro ponto destaque que pode-se observar é que nesse modelo o dia e horário da análise tiveram uma influência superior aos outros modelos.

Figura 49 – Equivalente Melanopic Lux (EML) - Sul - Céu claro

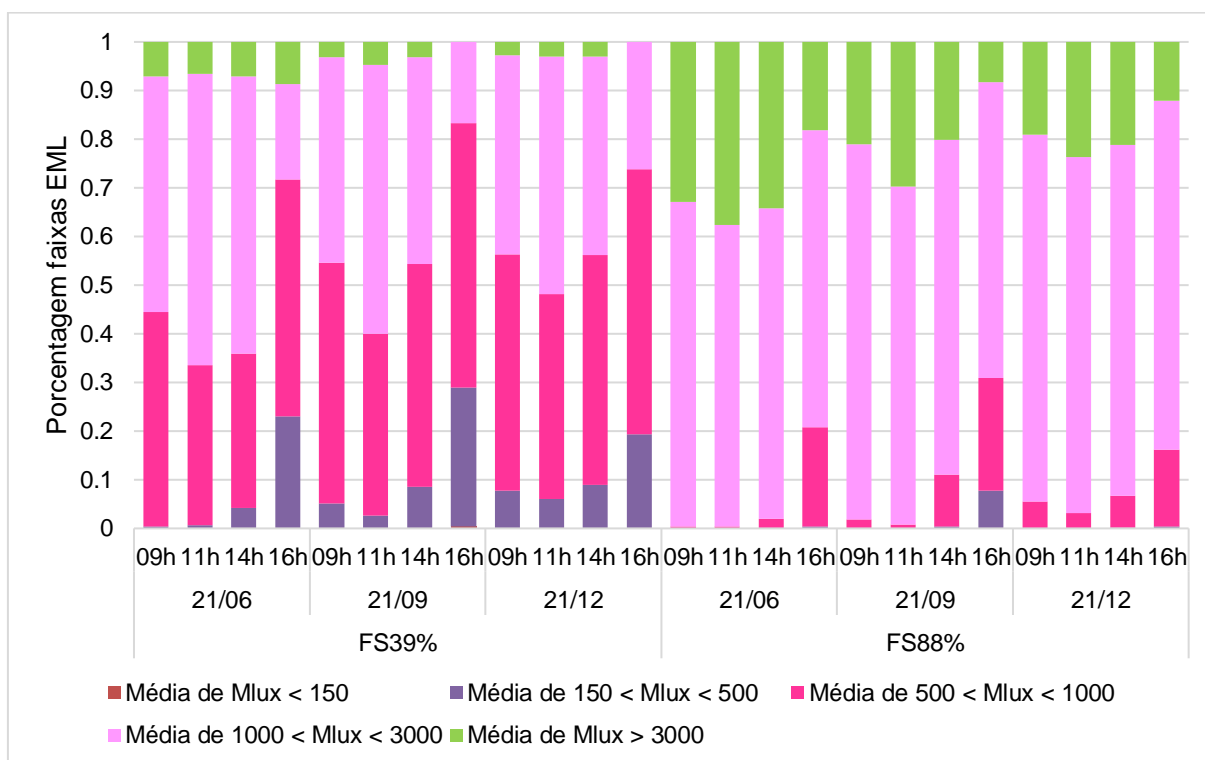


Tabela 20 – Equivalent Melanopic Lux (EML) - Sul – Céu claro

Data	Hora	Vidro	Melanopic lux Acima de 150 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 500 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 1000 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 3000 eq. m. lux
21/06	9 h	FS 39%	100%	99,6%	55,5%	7,1%
		FS 88%	100%	100%	99,6%	32,9%
	11 h	FS 39%	100%	99,4%	66,5%	6,6%
		FS 88%	100%	100%	99,6%	37,6%
	14 h	FS 39%	100%	95,8%	64,1%	7,1%
		FS 88%	100%	100%	98,0%	34,2%
16 h	FS 39%	100%	77%	28,3%	8,7%	
	FS 88%	100%	99,6%	79,2%	18,1%	
21/09	9 h	FS 39%	100%	94,9%	45,4%	3,2%
		FS 88%	100%	100%	98,2%	21%
	11 h	FS 39%	100%	97,4%	60,0%	4,7%
		FS 88%	100%	100%	99,2%	29,7%
	14 h	FS 39%	100%	91,5%	45,6%	3,2%
		FS 88%	100%	99,6%	88,9%	20,1%
16 h	FS 39%	99,6%	71%	16,7%	0%	
	FS 88%	100%	92,3%	69,1%	8,3%	
21/12	9 h	FS 39%	100%	92,2%	43,7%	2,8%
		FS 88%	100%	100%	94,5%	19,1%
	11 h	FS 39%	100%	93,9%	51,8%	3%
		FS 88%	100%	100%	96,8%	23,7%
	14 h	FS 39%	100%	91%	43,8%	3%
		FS 88%	100%	99,9%	93,3%	21,2%
16 h	FS 39%	100%	80,7%	26,2%	0%	
	FS 88%	100%	99,6%	83,8%	12,1%	

Fonte: Própria (2024)

Figura 50 - Equivalente Melanopic Lux (EML) - Sul - Céu nublado

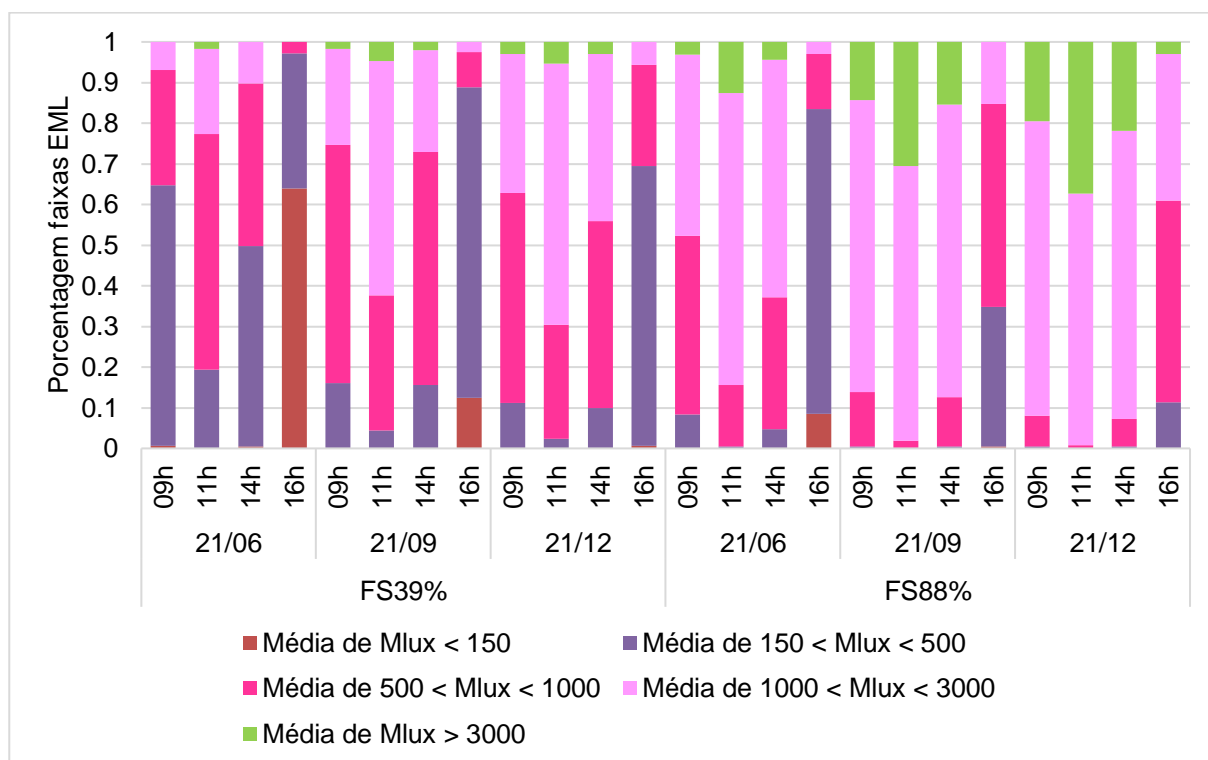


Tabela 21 – Percentual de Equivalent Melanopic Lux (EML) nas faixas de valores – Céu nublado

Data	Hora	Vidro	Melanopic lux Acima de 150 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 500 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 1000 eq. m. lux	Melanopic lux Acima de 3000 eq. m. lux
21/06	9 h	FS 39%	99,4%	35,3%	6,9%	0%
		FS 88%	100%	91,7%	47,7%	3,2%
	11 h	FS 39%	100%	80,6%	22,7%	1,7%
		FS 88%	100%	99,6%	84,4%	12,6%
	14 h	FS 39%	99,6%	50,3%	10,2%	0%
		FS 88%	100%	95,3%	62,8%	4,4%
16 h	FS 39%	36%	2,8%	0%	0%	
	FS 88%	91,5%	16,5%	3,0%	0%	
21/09	9 h	FS 39%	100%	83,9%	25,4%	1,7%
		FS 88%	100%	99,6%	86,1%	14,3%
	11 h	FS 39%	100%	95,6%	62,4%	4,7%
		FS 88%	100%	100%	98,1%	30,5%
	14 h	FS 39%	100%	84,4%	27,0%	2%
		FS 88%	100%	99,6%	87,4%	15,4%
16 h	FS 39%	87,6%	11,2%	2,5%	0%	
	FS 88%	99,6%	65,2%	15,2%	0%	
21/12	9 h	FS 39%	100%	88,8%	37,1%	3%
		FS 88%	100%	99,6%	92,0%	19,5%
	11 h	FS 39%	100%	97,7%	69,6%	5,3%
		FS 88%	100%	100%	99,2%	37,3%
	14 h	FS 39%	100%	90,1%	44,1%	3%
		FS 88%	100%	99,6%	92,7%	21,9%
16 h	FS 39%	99,3%	30,5%	5,6%	0%	
	FS 88%	100%	88,6%	39,0%	3%	

Fonte: Própria (2024)

### **4.3. Conforto Visual e Iluminação no Plano de Trabalho**

De acordo com a norma NBR-ISSO 8995-1 (ABNT, 2013) a iluminância recomendada para o conforto visual em uma sala de aula deve estar no mínimo entre 300 a 500 lux, sendo este último valor a ser considerado na análise. Iluminâncias acima de 3000 lux podem causar ofuscamento, e por isso foi considerada como limite máximo para o conforto visual. O Photopic Lux EV está relacionado ao conforto visual no ambiente como um todo, o Photopic lux está relacionado diretamente ao conforto visual no plano de trabalho.

#### **4.3.1. Conforto Visual e Iluminação no Plano de Trabalho para Leste**

Tanto para o Photopic lux EV quanto para o Photopic lux possuem médias semelhantes, sendo que as médias do primeiro são predominantemente mais altas. Também é possível notar que, em ambas, a mudança de vidro muda a média predominante. Quando o vidro utilizado é FS 39% as médias predominantes estão entre 500 a 1000 lux, e com o vidro FS 88% as médias predominantes estão entre 1000 a 3000 lux (Figuras 51 e 52).

Em todos os modelos analisados com o vidro FS 39% porcentagens entre 80% a 100% para valores acima de 500 lux. Para valores acima de 1000 lux ocorre uma queda significativa de no mínimo 20%. As médias acima de 300 lux são presentes em quase todas as salas em relação ao Photopic lux (Ev), enquanto o Photopic lux elas se apresentam em um terço dos modelos (Tabela 22).

Em relação ao vidro FS 88% todos os modelos atingem cerca de 100% de médias acima de 500 lux tanto para o Photopic lux (Ev) quanto para o Photopic lux. Em relação as médias acima de 1000 lux, ambas apresentam uma queda, sendo que a mais abrupta é a do Photopic lux (Ev). No modelo com vidro FS 88% o ofuscamento ocorre com maior frequência as 16h do que nos modelos com vidro FS 39% (Tabela 22).

Nos modelos com céu nublado, novamente, tanto para o Photopic lux EV quanto para o Photopic lux as médias são semelhantes, sendo que as médias do primeiro são predominantemente mais altas. Nestes modelos as diferenças causadas pela mudança de vidro são mais explicitas, sendo que com vidro FS 39% as médias



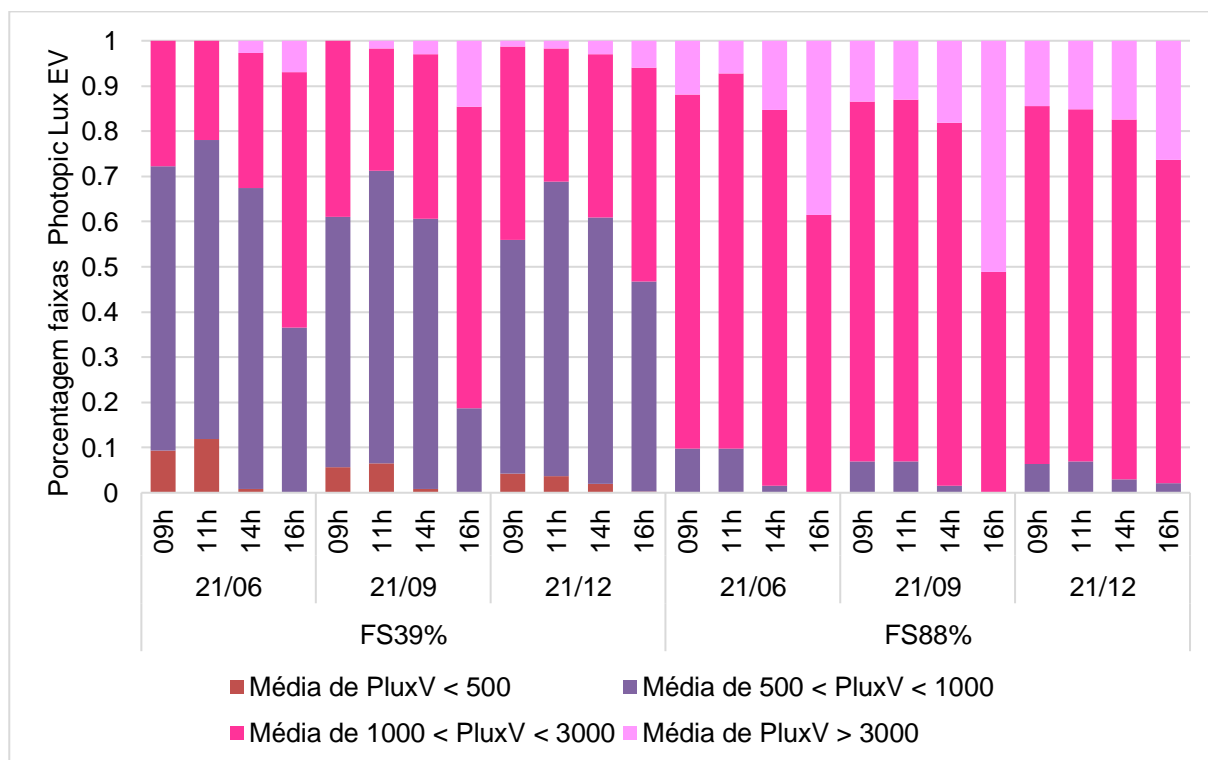
são menores do que com vidro FS 88%. Em todos os modelos analisados às 16h ocorre uma queda significativa na média do photopic lux (Figuras 53 e 54).

Nos modelos com o vidro FS 39% no horário das 16h não apresenta Photopic lux acima de 500 lux. A partir de 1000 lux a porcentagem passa a ser de 0% no Photopic lux para a maioria dos horários avaliados, sendo que no dia 21/06 nenhum horário apresenta valores acima de 0%. O Photopic lux (EV) apresenta valores superiores ao Photopic lux, com exceção as 16h do dia 21/06 que eles apresentam os mesmos valores (Tabela 23). Nenhum dos horários sofre com ofuscamento no plano de trabalho (Tabela 23).

Com o vidro FS 88%, nos horários das 9h, 11h e 14h mais de 90% das salas alcançaram o mínimo de Photopic lux e Photopic lux (Ev) para a sala de aula. A partir dos valores acima de 1000 lux as porcentagens passam a cair em diferentes proporções. Nenhum dos horários sofre com ofuscamento no plano de trabalho (Tabela 23).

No modelo Leste podemos notar que o Photopic lux e o Photopic lux (Ev) são influenciados pelo tipo de céu, pelo vidro utilizado e pelo horário do dia.

Figura 51 - Photopic Lux EV – Leste - Céu Claro



Fonte: Própria (2024)

Figura 52 - Photopic Lux – Leste - Céu Claro

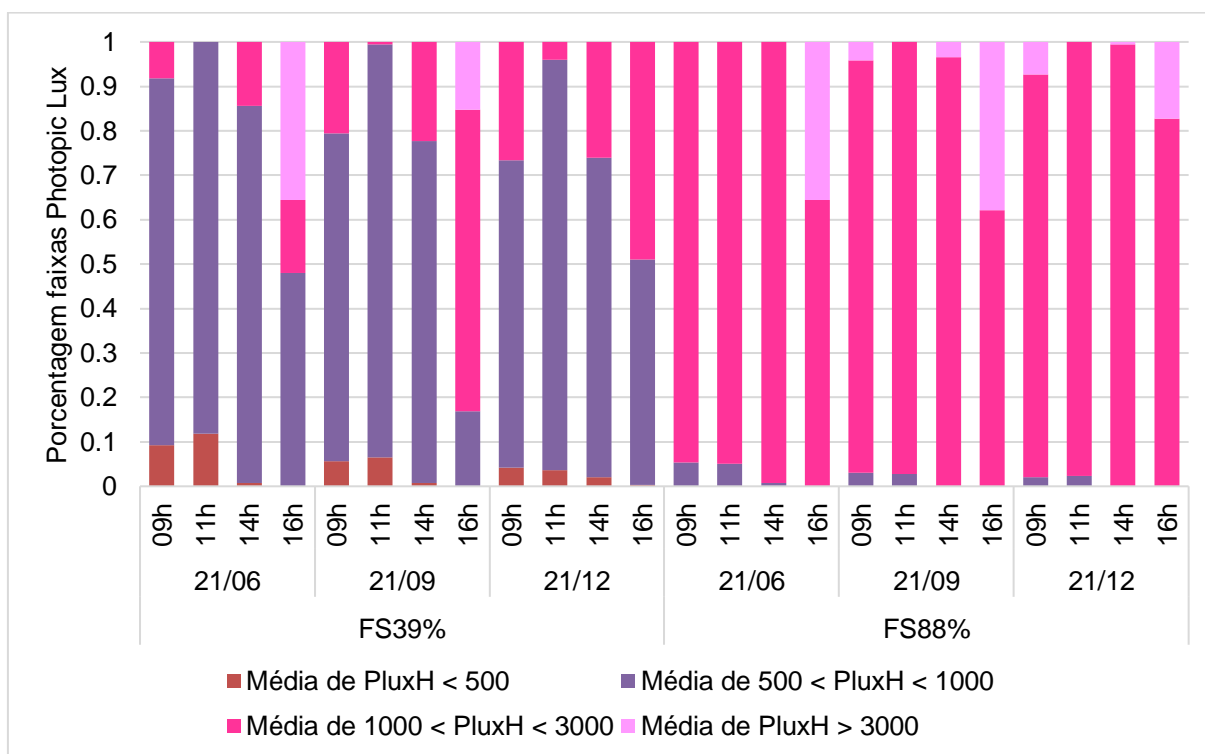
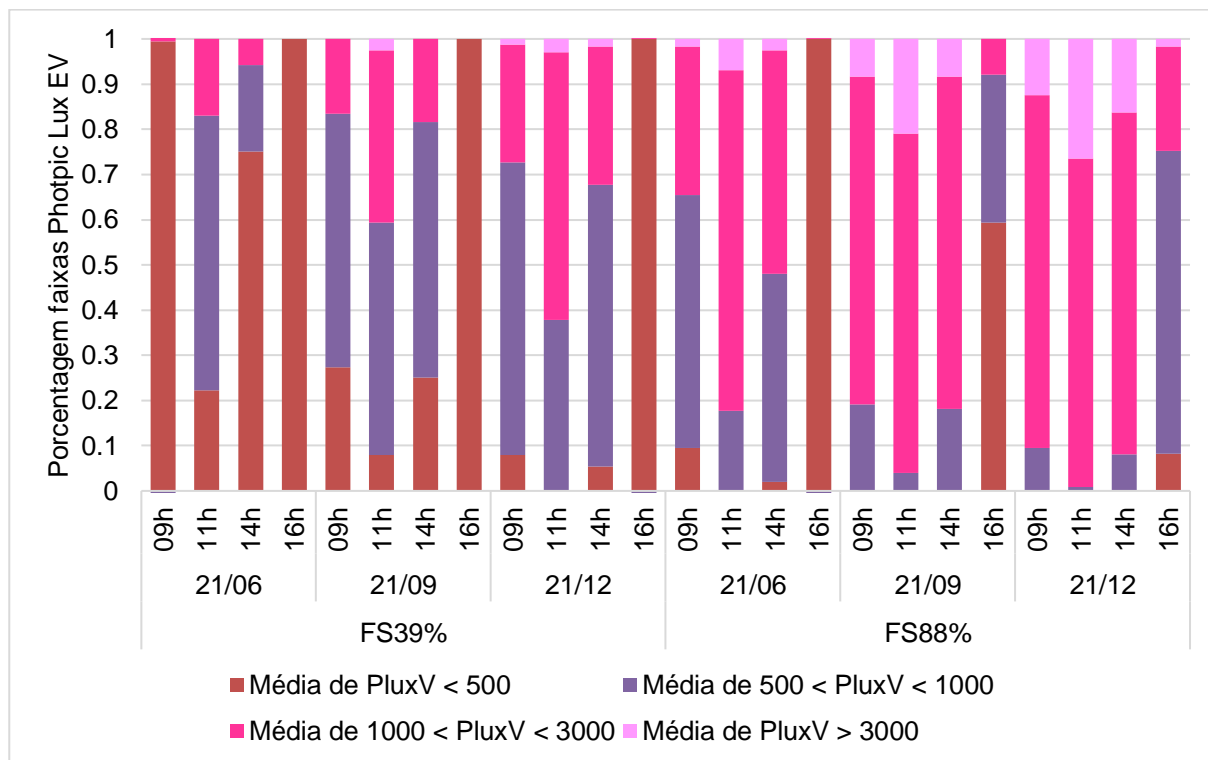


Tabela 22 - Conforto Visual e Iluminação no Plano de Trabalho – Leste - Céu claro

Data	Hora	Vidro	Photopic lux (Ev) Acima de 500 lux	Photopic lux Acima de 500 lux	Photopic lux (Ev) Acima de 1000 lux	Photopic lux Acima de 1000 lux	Photopic lux (Ev) Acima de 3000 lux	Photopic lux Acima de 3000 lux
21/06	9 h	FS 39%	87,8%	90,7%	27,7%	8,2%	0%	0%
		FS 88%	99,9%	100%	90,2%	94,6%	11,9%	0%
	11 h	FS 39%	87,4%	88,1%	22,0%	0%	0%	0%
		FS 88%	100%	100%	90,2%	94,9%	7,3%	0%
	14 h	FS 39%	95,6%	99,2%	32,6%	14,4%	2,7%	0%
		FS 88%	100%	100%	98,4%	99,2%	15,3%	0%
16 h	FS 39%	99,8%	100%	63,5%	52,0%	7%	35,6%	
	FS 88%	100%	100%	100%	100%	38,5%	35,6%	
21/09	9 h	FS 39%	89,2%	94,4%	38,9%	20,6%	0%	0%
		FS 88%	100%	100%	93,1%	96,9%	13,4%	4,2%
	11 h	FS 39%	87,1%	93,5%	28,8%	0,6%	1,7%	0%
		FS 88%	100%	100%	93,0%	97,2%	13,1%	0%
	14 h	FS 39%	94,1%	99,2%	39,4%	22,3%	3%	0%
		FS 88%	100%	100%	98,4%	100%	18,1%	3,4%
16 h	FS 39%	100%	100%	81,3%	83,1%	14,6%	15,3%	
	FS 88%	100%	100%	100%	100%	51,1%	37,9%	
21/12	9 h	FS 39%	91,9%	95,8%	44,1%	26,6%	1,3%	0%
		FS 88%	100%	100%	93,6%	98,0%	14,4%	7,3%
	11 h	FS 39%	91%	96,3%	31,1%	4,0%	1,7%	0%
		FS 88%	100%	100%	93,0%	97,7%	15,1%	0%
	14 h	FS 39%	93,4%	98%	39,1%	26,0%	3%	0%
		FS 88%	100%	100%	97,0%	100,0%	17,4%	0,6%
16 h	FS 39%	95,1%	99,7%	53,2%	48,9%	5,9%	0%	
	FS 88%	100%	100%	97,9%	100,0%	26,3%	17,2%	

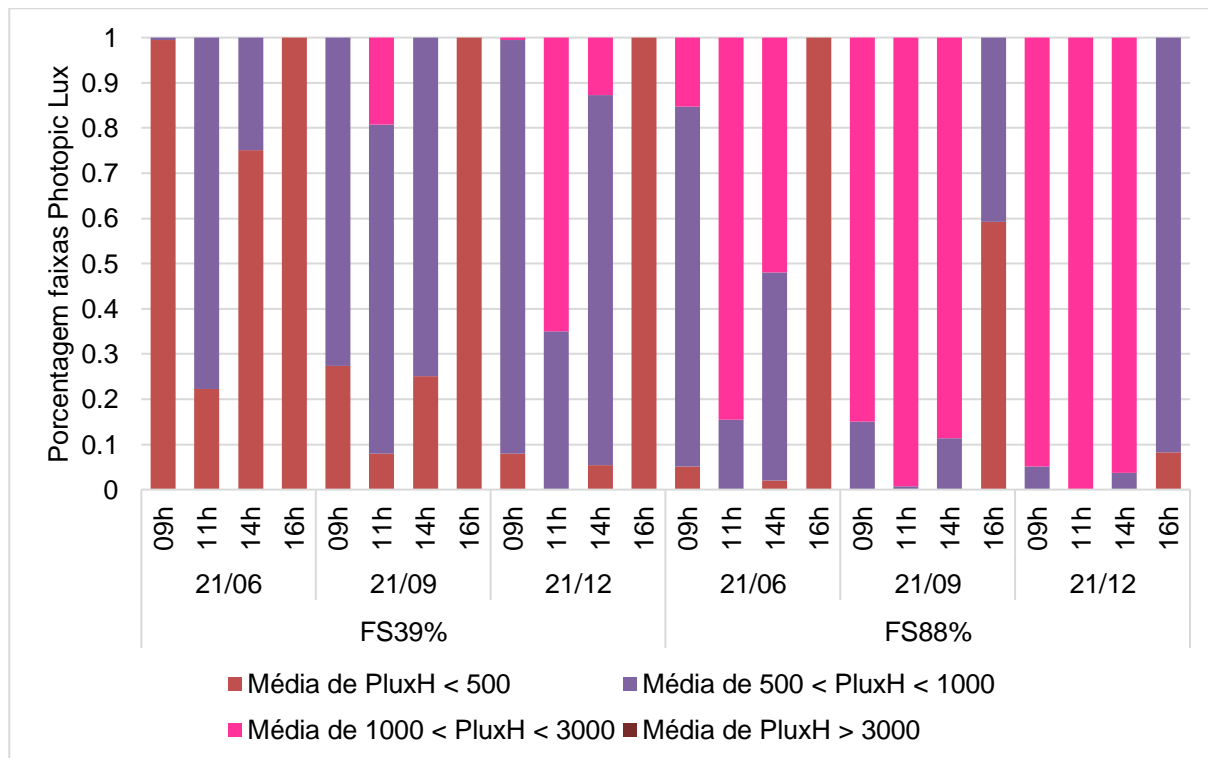
Fonte: Própria (2024)

Figura 53 - Photopic Lux (Ev) - Leste- Céu Nublado



Fonte: Própria (2024)

Figura 54 - Photopic Lux - Leste – Céu Nublado



Fonte: Própria (2024)

Tabela 23 - Conforto Visual e Iluminação no Plano de Trabalho – Leste - Céu nublado

Data	Hora	Vidro	Photopic lux (Ev) Acima de 500 lux	Photopic lux Acima de 500 lux	Photopic lux (Ev) Acima de 1000 lux	Photopic lux Acima de 1000 lux	Photopic lux (Ev) Acima de 3000 lux	Photopic lux Acima de 3000 lux
21/06	9 h	FS 39%	26%	0,6%	4.4%	0.0%	0%	0%
		FS 88%	90,5%	94,9%	34.5%	15.3%	1,7%	0%
	11 h	FS 39%	78,3%	77,7%	17.0%	0.0%	0%	0%
		FS 88%	99,6%	100%	82.3%	84.5%	6,9%	0%
	14 h	FS 39%	38,1%	24,9%	5.8%	0	0%	0%
		FS 88%	94,2%	98%	52.0%	52.0%	2,5%	0%
16 h	FS 39%	0%	0%	0.0%	0.0%	0%	0%	
	FS 88%	8,3%	0%	1.3%	0.0%	0%	0%	
21/09	9 h	FS 39%	66,9%	72,6%	16.5%	0.0%	0%	0%
		FS 88%	99,6%	100%	80.9%	85.0%	8,3%	0%
	11 h	FS 39%	85,8%	92,1%	40.7%	19.2%	2,5%	0%
		FS 88%	100%	100%	96.0%	99.2%	20,9%	0%
	14 h	FS 39%	69,6%	74,9%	18.4%	0.0%	0%	0%
		FS 88%	99,9%	100%	81.9%	88.7%	8,3%	0%
16 h	FS 39%	5,4%	0%	0.0%	0.0%	0%	0%	
	FS 88%	49,1%	40,7%	7.9%	0.0%	0%	0%	
21/12	9 h	FS 39%	86,2%	92,1%	27.3%	0.6%	1,3%	0%
		FS 88%	100%	100%	90.5%	94.9%	12,4%	0%
	11 h	FS 39%	97,7%	100%	62.1%	65.0%	3%	0%
		FS 88%	100%	100%	99.2%	100.0%	26,5%	0%
	14 h	FS 39%	90,2%	94,6%	32.3%	12.7%	1,7%	0%
		FS 88%	100%	100%	91.9%	96.3%	16,3%	0%
16 h	FS 39%	22,2%	0%	3.0%	0.0%	0%	0%	
	FS 88%	86,3%	91,8%	24.8%	0.0%	1,7%	0%	

Fonte: Própria (2024)

#### 4.3.2. Conforto Visual e Iluminação no Plano de Trabalho para Norte

Ambos os gráficos são semelhantes no modelo Norte de céu claro, contudo o gráfico de Photopic lux EV possui médias mais altas no geral. Em ambos os modelos quando usado o vidro FS 88% as médias se apresentam mais altas (Figuras 55 e 56).

Nos modelos com o vidro FS 39%, as porcentagens para o Photopic Lux EV variam de 96,5% a 49,9% no plano de visão e de 97,5% a 20,1% para o Photopic Lux no plano de trabalho em relação as médias acima de 500 lux. A partir de 1000 lux os valores caem, sendo que o Photopic Lux é o que diminui mais proporcionalmente. A partir de 3000 lux a porcentagem do Photopic lux passa a ser majoritariamente 0%, enquanto os valores do Photopic lux (Ev) variam de 4,6% a 0% (Tabela 24).

Com o vidro 88%, todos os modelos apresentam photopic lux acima de 500 lux em 100% das salas, com exceção do Photopic lux EV as 16hrs no dia 21/09. As porcentagens ainda se mantem altas quando avaliamos os valores acima de 1000 lux, variando de 71,5% a 98,7% para Photopic lux (Ev) e de 59% a 99,4%. A partir de 3000

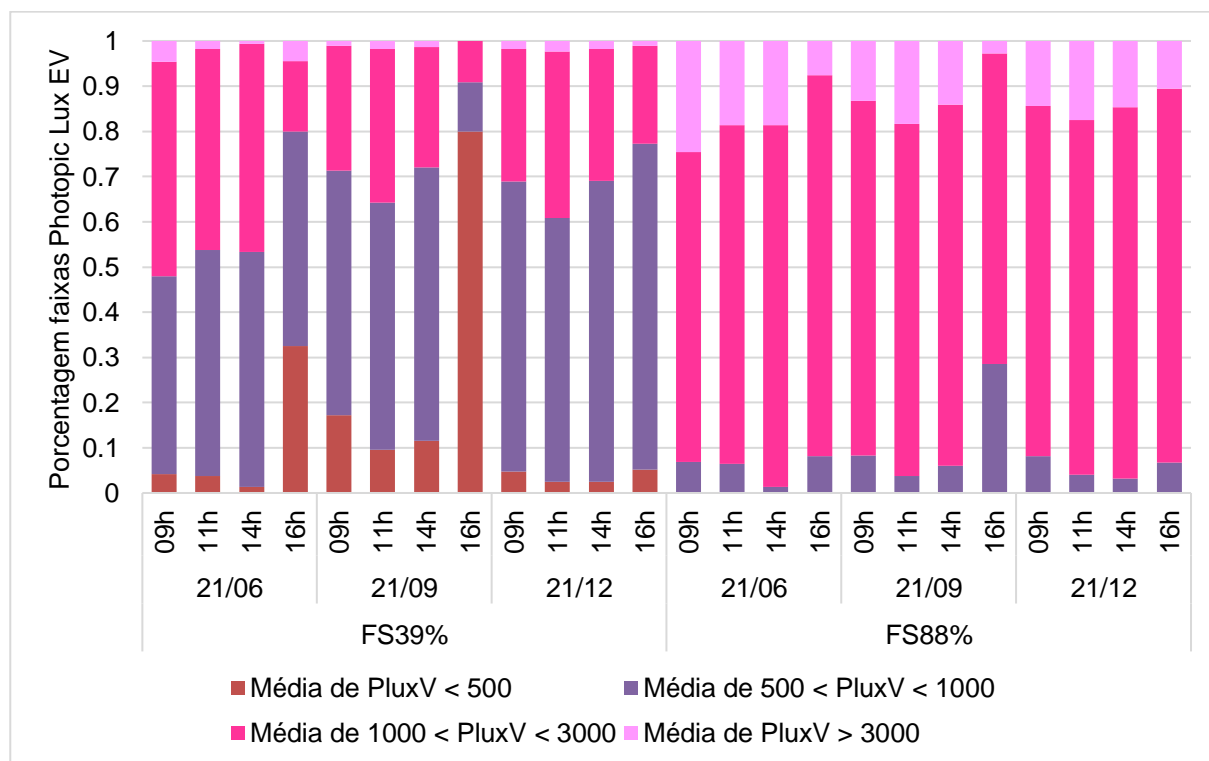
lux a percentagem do Photopic lux passa a ser majoritariamente 0%, enquanto os valores do Photopic lux (Ev) variam de 24,6% a 0% (Tabela 24).

Ambos os gráficos são semelhantes, contudo, o gráfico de Photopic Lux (Ev) possui médias mais altas no geral. Em ambos os modelos quando usado o vidro FS 88% as médias se apresentam mais altas. As 16h ocorre uma queda mais abrupta na média de todos os modelos (Figuras 57 e 58).

Em todos os modelos analisados, tanto para o Photopic lux quanto para o Photopic lux (Ev), com o vidro FS 39%, a percentagem de sala de aula que alcança níveis superiores a 500 lux atinge seu pico as 11h e seu valor mínimo as 16h. As percentagens de valores acima de 1000 lux diminuem sem alguma proporção aparente. Em relação as percentagens acima de 3000 lux há uma predominância de 0% em relação ao Photopic lux (Tabela 25).

Podemos perceber que no modelo Norte o tipo de vidro e os horários são os principais influenciadores nos resultados.

Figura 55 - Photopic Lux EV - Norte – Céu Claro



Fonte: Própria (2024)

Figura 56 - Photopic Lux - Norte – Céu Claro

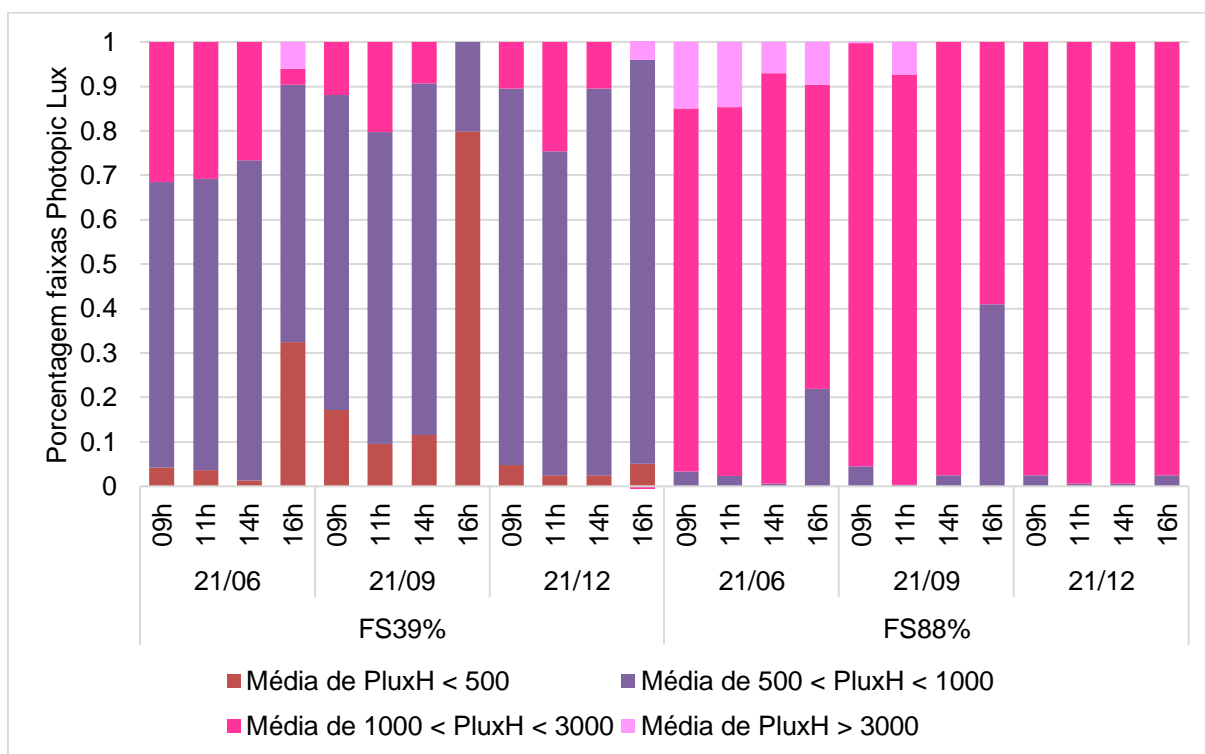
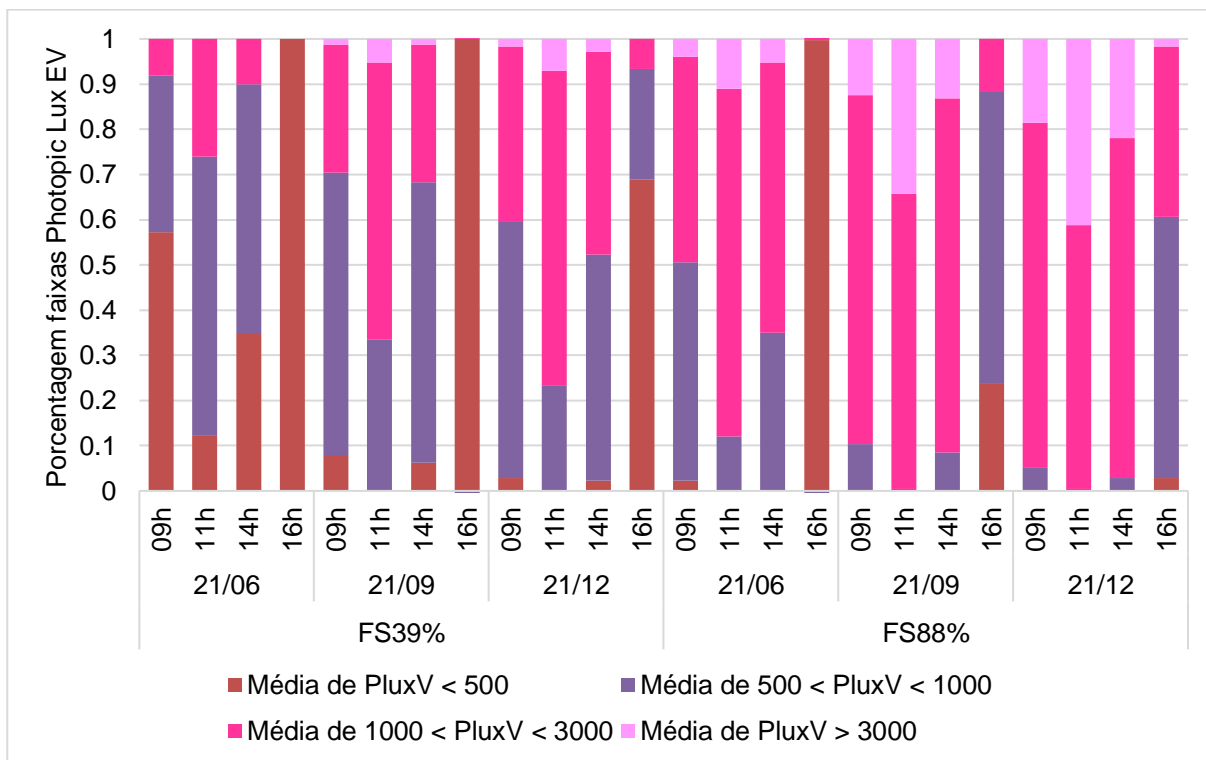


Tabela 24 - Conforto Visual e Iluminação no Plano de Trabalho – Norte - Céu claro

Data	Hora	Vidro	Photopic lux (Ev) Acima de 500 lux	Photopic lux Acima de 500 lux	Photopic lux (Ev) Acima de 1000 lux	Photopic lux Acima de 1000 lux	Photopic lux (Ev) Acima de 3000 lux	Photopic lux Acima de 3000 lux
21/06	9 h	FS 39%	90,9%	95,8%	52.1%	31.6%	4,6%	0%
		FS 88%	100%	100%	93.1%	96.6%	24,6%	15%
	11 h	FS 39%	91,1%	96,3%	46.3%	30.8%	1,7%	0%
		FS 88%	100%	100%	93.5%	97.7%	18,6%	14,7%
	14 h	FS 39%	96,5%	98,6%	46.6%	26.6%	0,6%	0%
		FS 88%	100%	100%	98.7%	99.4%	18,6%	7,1%
16 h	FS 39%	84,7%	67,5%	20.1%	9.6%	4,5%	9,6%	
	FS 88%	100%	100%	91.8%	78.0%	7,6%	9,6%	
21/09	9 h	FS 39%	80,4%	82,8%	28.7%	11.9%	1,1%	0%
		FS 88%	100%	100%	91.7%	95.5%	13,3%	0,3%
	11 h	FS 39%	86,5%	90,4%	35.8%	20.3%	1,7%	0%
		FS 88%	100%	100%	96.2%	99.7%	18,3%	7,3%
	14 h	FS 39%	83,8%	88,4%	28.0%	9.3%	1,3%	0%
		FS 88%	100%	100%	94.0%	97.5%	14,1%	0%
16 h	FS 39%	49,9%	20,1%	9.1%	0.0%	0%	0%	
	FS 88%	99,6%	100%	71.5%	59.0%	2,8%	0%	
21/12	9 h	FS 39%	89,2%	95,2%	31.1%	10.5%	1,7%	0%
		FS 88%	100%	100%	91.9%	97.5%	14,4%	0%
	11 h	FS 39%	93,4%	97,5%	39.1%	24.6%	2,3%	0%
		FS 88%	100%	100%	96.0%	99.4%	17,5%	0%
	14 h	FS 39%	92,7%	97,5%	31.0%	10.5%	1,7%	0%
		FS 88%	100%	100%	96.8%	99.4%	14,7%	0%
16 h	FS 39%	85,7%	94,9%	22.7%	4.0%	1,1%	0%	
	FS 88%	100%	100%	93.3%	97.5%	10,6%	0%	

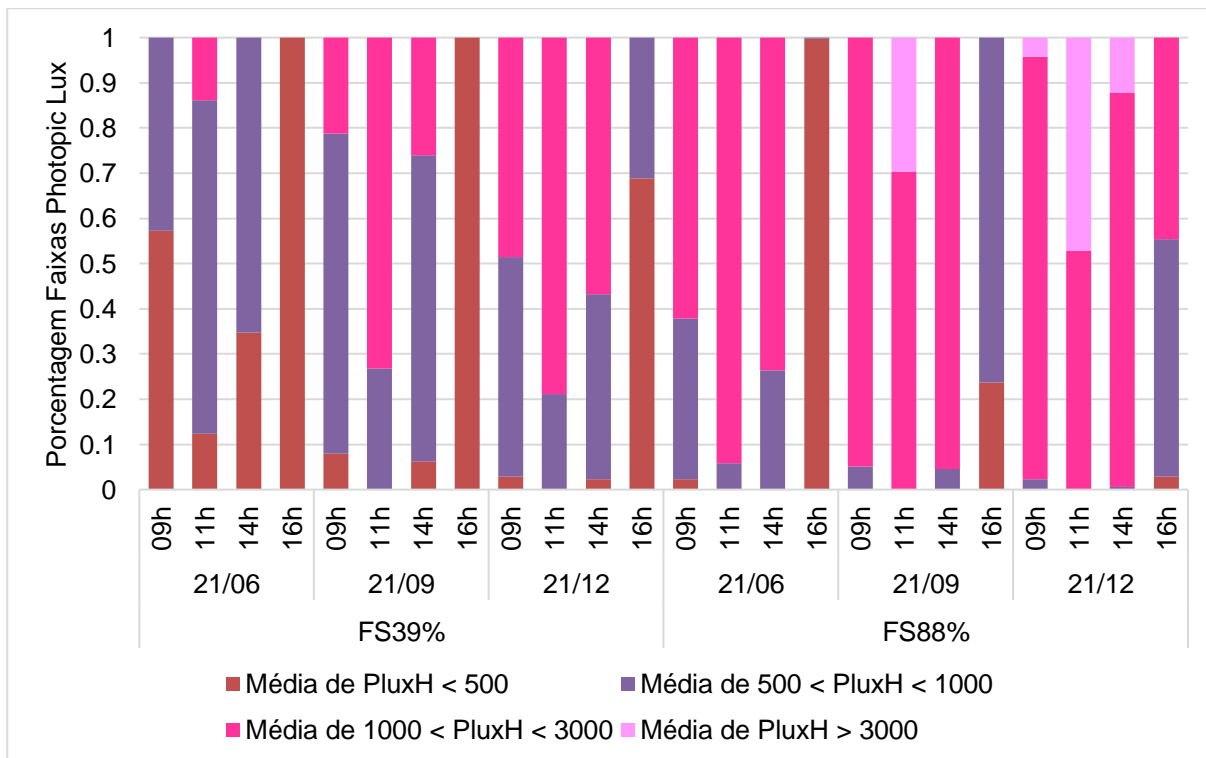
Fonte: Própria (2024)

Figura 57 - Photopic Lux EV –Norte - Céu Nublado



Fonte: Própria (2024)

Figura 58 - Photopic Lux – Norte - Céu Nublado



Fonte: Própria (2024)

Tabela 25- Conforto Visual e Iluminação no Plano de Trabalho – Norte - Céu nublado

Data	Hora	Vidro	Photopic lux (Ev) Acima de 500 lux	Photopic lux Acima de 500 lux	Photopic lux (Ev) Acima de 1000 lux	Photopic lux Acima de 1000 lux	Photopic lux (Ev) Acima de 3000 lux	Photopic lux Acima de 3000 lux
21/06	9 h	FS 39%	41%	42,7%	8.1%	0.0%	0%	0%
		FS 88%	94,2%	97,7%	49.4%	62.1%	3,9%	0%
	11 h	FS 39%	83,7%	87,6%	26.0%	13.8%	0%	0%
		FS 88%	99,9%	100%	87.9%	94.1%	11,1%	0%
	14 h	FS 39%	56,9%	65,3%	10.0%	0.0%	0%	0%
		FS 88%	98,3%	100%	65.0%	73.7%	5,2%	0%
16 h	FS 39%	1,3%	0%	0.0%	0.0%	0%	0%	
	FS 88%	12,1%	0,3%	1.7%	0.0%	0%	0%	
21/09	9 h	FS 39%	85,1%	92,1%	29.6%	21.2%	1,3%	0%
		FS 88%	100%	100%	89.6%	94.9%	12,4%	0%
	11 h	FS 39%	98,9%	100%	66.6%	73.2%	5,2%	0%
		FS 88%	100%	100%	99.6%	100.0%	34,2%	29,7%
	14 h	FS 39%	87,7%	93,8%	31.7%	26.0%	1,3%	0%
		FS 88%	100%	100%	91.5%	95.5%	13,1%	0%
16 h	FS 39%	10,4%	0%	1.3%	0.0%	0%	0%	
	FS 88%	67,7%	76,3%	11.7%	0.0%	0%	0%	
21/12	9 h	FS 39%	91,9%	97,2%	40.5%	48.6%	1,7%	0%
		FS 88%	100%	100%	94.7%	97.7%	18,6%	4,2%
	11 h	FS 39%	99,6%	100%	76.6%	78.8%	7%	0%
		FS 88%	100%	100%	99.6%	100.0%	41,2%	47,2%
	14 h	FS 39%	94,2%	97,7%	47.7%	56.8%	2,8%	0%
		FS 88%	100%	100%	97.2%	99.4%	22%	12,1%
16 h	FS 39%	33,3%	31,1%	6.6%	0.0%	0%	0%	
	FS 88%	91,9%	97,2%	39.3%	44.6%	1,7%	0%	

Fonte: Própria (2024)

#### 4.3.3. Conforto Visual e Iluminação no Plano de Trabalho para Oeste

Tanto para o Photopic lux (Ev) quanto para o Photopic lux possuem médias semelhantes, sendo que as médias do primeiro são predominantemente mais altas. Quando ocorre a troca de vidro FS 39% para FS 88%, as médias de ambos modelos variam, passando de predominantemente entre 500 lux a 1000 lux para entre 1000 lux a 3000 lux (Figuras 59 e 60).

As porcentagens de Photopic lux (Ev) com o vidro FS 39% variam entre 81,6% a 97,2% no modelo Oeste com céu claro para valores a partir de 500 lux, para o Photopic lux essas porcentagens variam de 79,7% a 100%. A partir de 1000 lux, as porcentagens caem mais de 40% do valor total tanto para o Photopic lux (Ev) e Photopic lux. A partir de 3000 lux ocorre uma nova queda para ambos e as porcentagens de Photopic lux chegam a 0% na maior parte dos modelos analisados (Tabela 26).



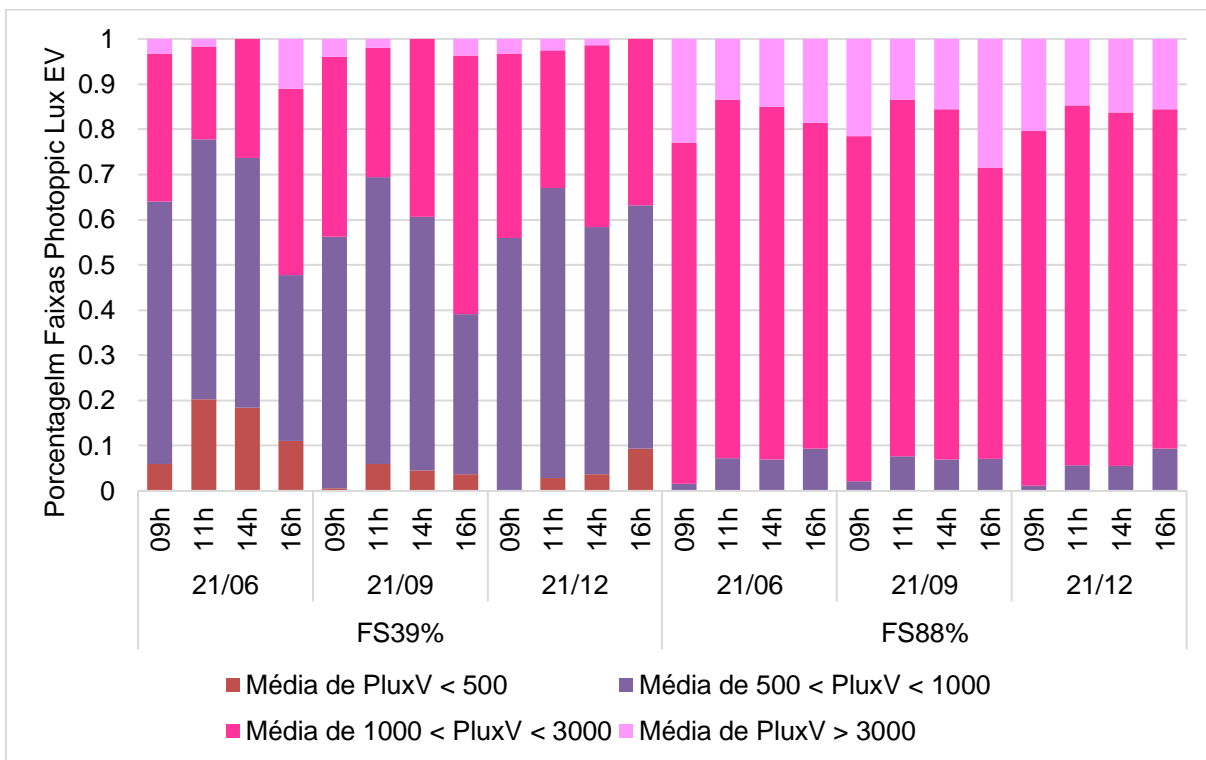
Ao mudar o vidro para FS 88% as porcentagens se elevam sendo todos os modelos 100% acima de 500 lux. A partir de 1000 lux a queda das porcentagens é pequena, não chegando a 10%. Em relação as porcentagens acima de 3000 lux, elas se reduzem significativamente chegando até mesmo a 0% no Photopic lux (Tabela 26).

Ambos os gráficos são semelhantes, contudo o gráfico de Photopic lux (Ev) possui médias mais altas no geral. Em ambos os modelos quando usado o vidro FS 88% as médias se apresentam mais altas. As 16h ocorre uma queda mais abrupta na média de todos os modelos (Figura 61 e 62).

No modelo Oeste com o céu nublado com o vidro FS 39% nenhuma sala de aula alcança 100% de valores acima de Photopic lux (Ev) e no Photopic lux apenas seis modelos analisados atingem 100%. Todas as porcentagens caem nos valores acima de 1000 lux, algumas chegando a 0%. Em relação a valores acima de 3000 lux, todas as porcentagens caem novamente, sendo que para Photopic lux todas apresentam valores de 0% (Tabela 27).

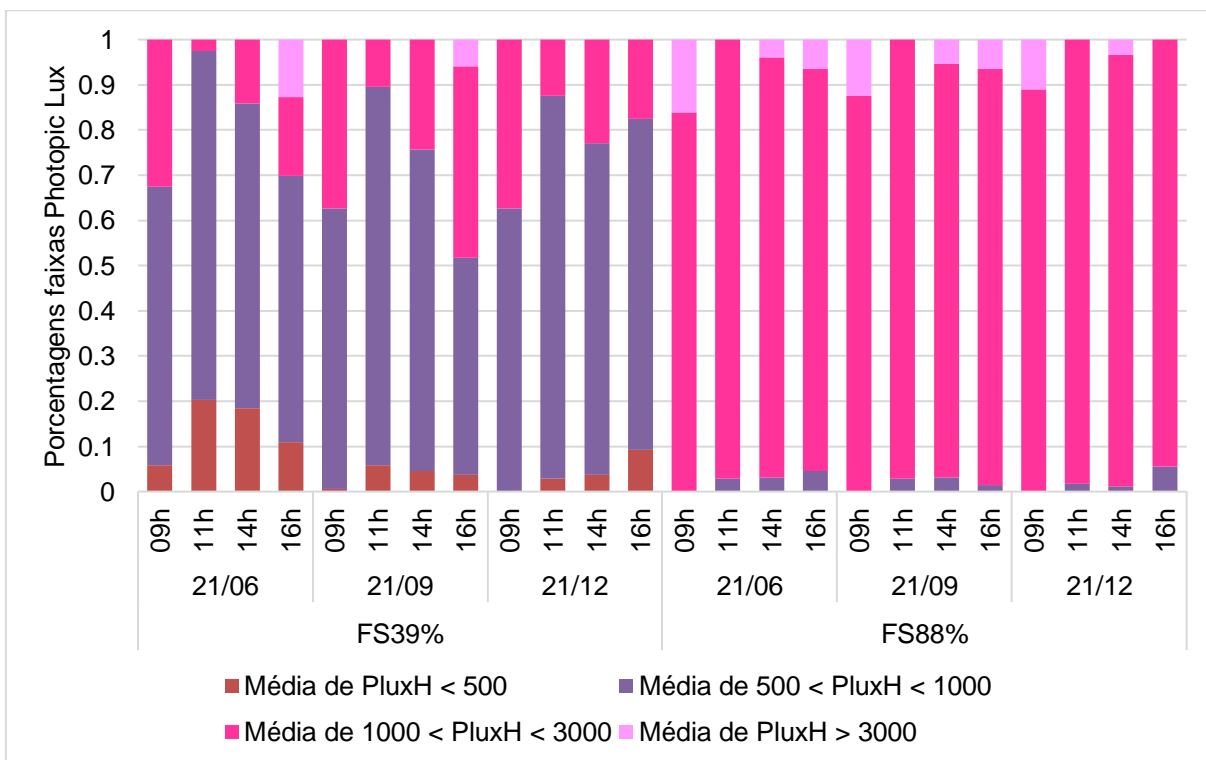
Trocando o vidro para FS 88% as porcentagens se elevam em relação aos modelos com vidro FS 39%, tanto para o Photopic lux (Ev) e Photopic lux. Em relação aos valores acima de 500 lux as menores porcentagens se apresentam sempre as 16h. Entre 500 lux e 1000 lux apresenta uma queda em diferentes proporções nas porcentagens. Em relação ao Photopic lux acima de 3000 lux apenas o dia 21/12 as 11h apresenta valor superior a 0% (Tabela 27).

Figura 59 - Photopic Lux (Ev) - Oeste – Céu Claro



Fonte: Própria (2024)

Figura 60 - Photopic Lux – Oeste - Céu Claro



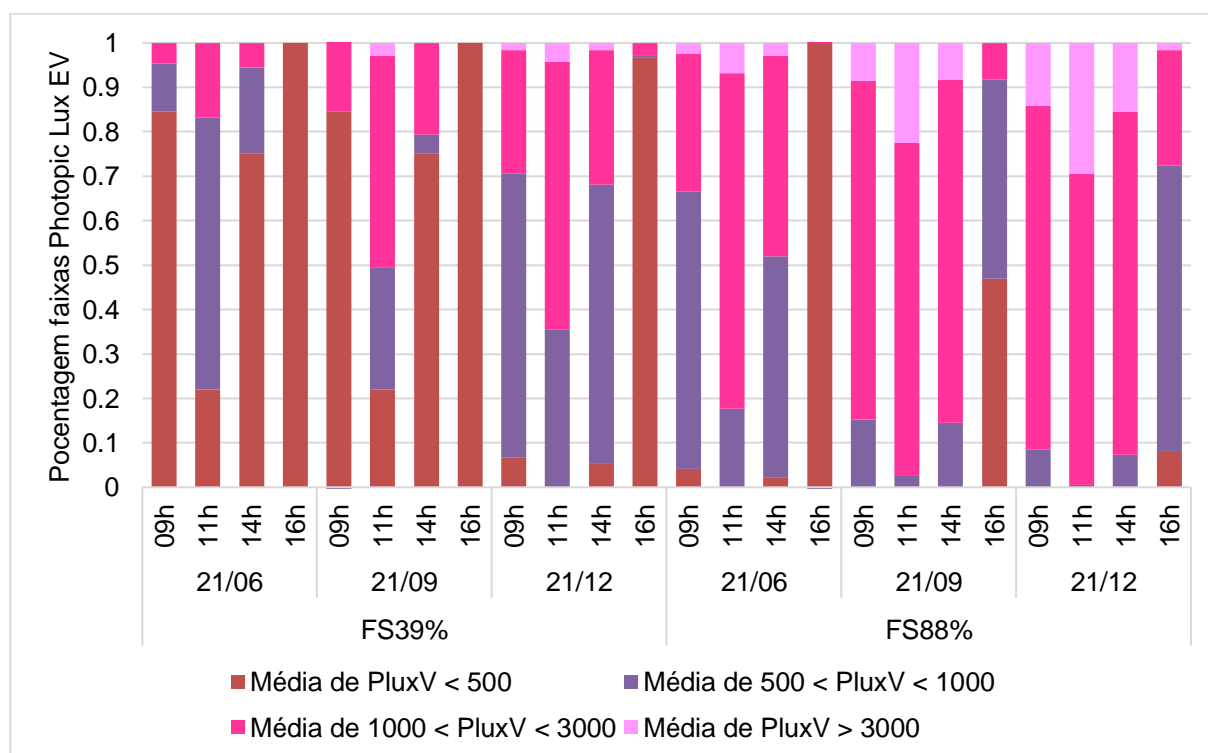
Fonte: Própria (2024)

Tabela 26- Conforto Visual e Iluminação no Plano de Trabalho – Oeste - Céu claro

Data	Hora	Vidro	Photopic lux (Ev) Acima de 500 lux	Photopic lux Acima de 500 lux	Photopic lux (Ev) Acima de 1000 lux	Photopic lux Acima de 1000 lux	Photopic lux (Ev) Acima de 3000 lux	Photopic lux Acima de 3000 lux
21/06	9 h	FS 39%	88,1%	94,1%	35.9%	32.5%	3,2%	0%
		FS 88%	100%	100%	98.4%	100.0%	22,9%	16,1%
	11 h	FS 39%	81,6%	79,7%	22.2%	2.5%	1,7%	0%
		FS 88%	100%	100%	92.7%	97.2%	13,5%	0%
	14 h	FS 39%	84,7%	81,6%	26.3%	14.1%	0%	0%
		FS 88%	100%	100%	93.1%	96.9%	15%	4%
16 h	FS 39%	88,1%	89%	52.2%	30.2%	11%	12,7%	
	FS 88%	100%	100%	90.6%	95.5%	18,6%	6,5%	
21/09	9 h	FS 39%	94,7%	99,4%	43.8%	37.3%	4%	0%
		FS 88%	100%	100%	97.9%	100.0%	21,5%	12,4%
	11 h	FS 39%	89,2%	94,1%	30.6%	10.5%	2%	0%
		FS 88%	100%	100%	92.3%	97.2%	13,5%	0%
	14 h	FS 39%	90,7%	95,5%	39.3%	24.3%	0%	0%
		FS 88%	100%	100%	93.1%	96.9%	15,6%	5,4%
16 h	FS 39%	90,7%	96,3%	60.9%	48.3%	3,7%	5,9%	
	FS 88%	100%	100%	92.9%	98.6%	28,5%	6,5%	
21/12	9 h	FS 39%	97,2%	100%	44.1%	37.3%	3,2%	0%
		FS 88%	100%	100%	98.8%	100.0%	20,4%	11%
	11 h	FS 39%	91,4%	97,2%	33.0%	12.4%	2,5%	0%
		FS 88%	100%	100%	94.3%	98.3%	14,7%	0%
	14 h	FS 39%	92,2%	96,3%	41.6%	22.9%	1,4%	0%
		FS 88%	100%	100%	94.4%	98.9%	16,3%	3,4%
16 h	FS 39%	88,4%	90,7%	36.8%	17.5%	0%	0%	
	FS 88%	99,9%	100%	90.7%	94.4%	15,5%	0%	

Fonte: Própria (2024)

Figura 61 - Photopic Lux EV –Oeste - Céu Nublado



Fonte: Própria (2024)

Figura 62 - Photopic Lux – Oeste- Céu Nublado

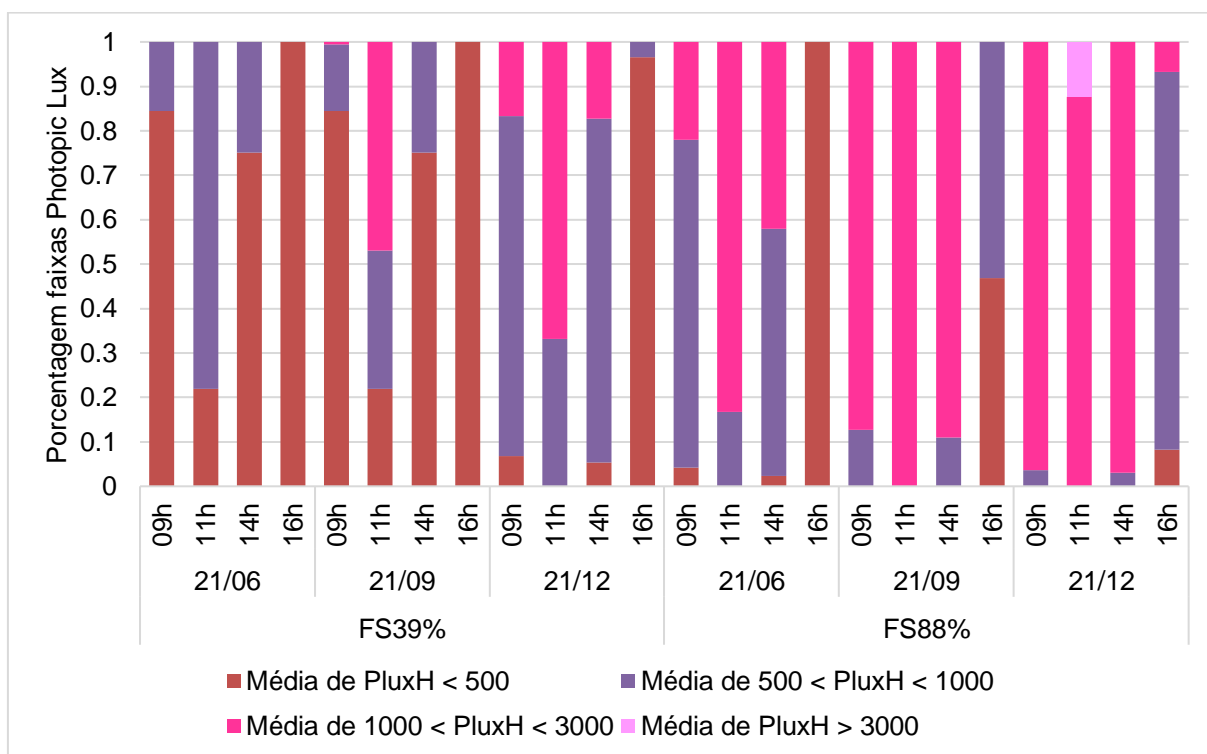


Tabela 27 - Conforto Visual e Iluminação no Plano de Trabalho - Céu nublado - Oeste

Data	Hora	Vidro	Photopic lux (Ev) Acima de 500 lux	Photopic lux Acima de 500 lux	Photopic lux (Ev) Acima de 1000 lux	Photopic lux Acima de 1000 lux	Photopic lux (Ev) Acima de 3000 lux	Photopic lux Acima de 3000 lux
21/06	9 h	FS 39%	28%	15,5%	4.7%	0.0%	0%	0%
		FS 88%	90,5%	95,8%	33.5%	22.0%	2,5%	0%
	11 h	FS 39%	77,5%	78%	16.7%	0.0%	0%	0%
		FS 88%	99,6%	100%	82.3%	83.3%	6,8%	0%
	14 h	FS 39%	36,4%	24,9%	5.5%	0.0%	0%	0%
		FS 88%	94,1%	97,7%	48.0%	42.1%	3%	0%
16 h	FS 39%	0,8%	0%	0.0%	0.0%	0%	0%	
	FS 88%	7,8%	0%	1.6%	0.0%	0%	0%	
21/09	9 h	FS 39%	81,6%	81,4%	20.8%	0.6%	1,1%	0%
		FS 88%	99,6%	100%	84.7%	87.3%	8,5%	0%
	11 h	FS 39%	94,8%	98,6%	50.6%	46.9%	3%	0%
		FS 88%	100%	100%	97.5%	100.0%	22,5%	0%
	14 h	FS 39%	81,8%	83,1%	20.6%	0.0%	0%	0%
		FS 88%	99,9%	100%	85.5%	89.0%	8,3%	0%
16 h	FS 39%	5,2%	0%	0.0%	0.0%	0%	0%	
	FS 88%	52,2%	53,1%	8.3%	0.0%	0%	0%	
21/12	9 h	FS 39%	88,6%	93,2%	29.4%	16.7%	1,7%	0%
		FS 88%	100%	100%	91.5%	96.3%	14,1%	0%
	11 h	FS 39%	98,3%	100%	64.4%	66.9%	4,2%	0%
		FS 88%	100%	100%	99.5%	100.0%	29,5%	12,4%
	14 h	FS 39%	90%	94,6%	31.9%	17.2%	1,7%	0%
		FS 88%	100%	100%	92.7%	96.9%	15,4%	0%
16 h	FS 39%	22%	3,4%	3.0%	0.0%	0%	0%	
	FS 88%	87,1%	91,8%	27.5%	6.8%	1,7%	0%	

Fonte: Própria (2024)

#### 4.3.4. Conforto Visual e Iluminação no Plano de Trabalho para Sul

As médias do Photopic lux (Ev) são ligeiramente maiores do que a do Photopic lux. Quando é usado o vidro FS 39% a média predominante varia de 500 lux a 1000 lux, ao trocar pelo vidro FS 88% as médias predominantes variam de 1000 lux a 3000 lux (Figuras 63 e 64).

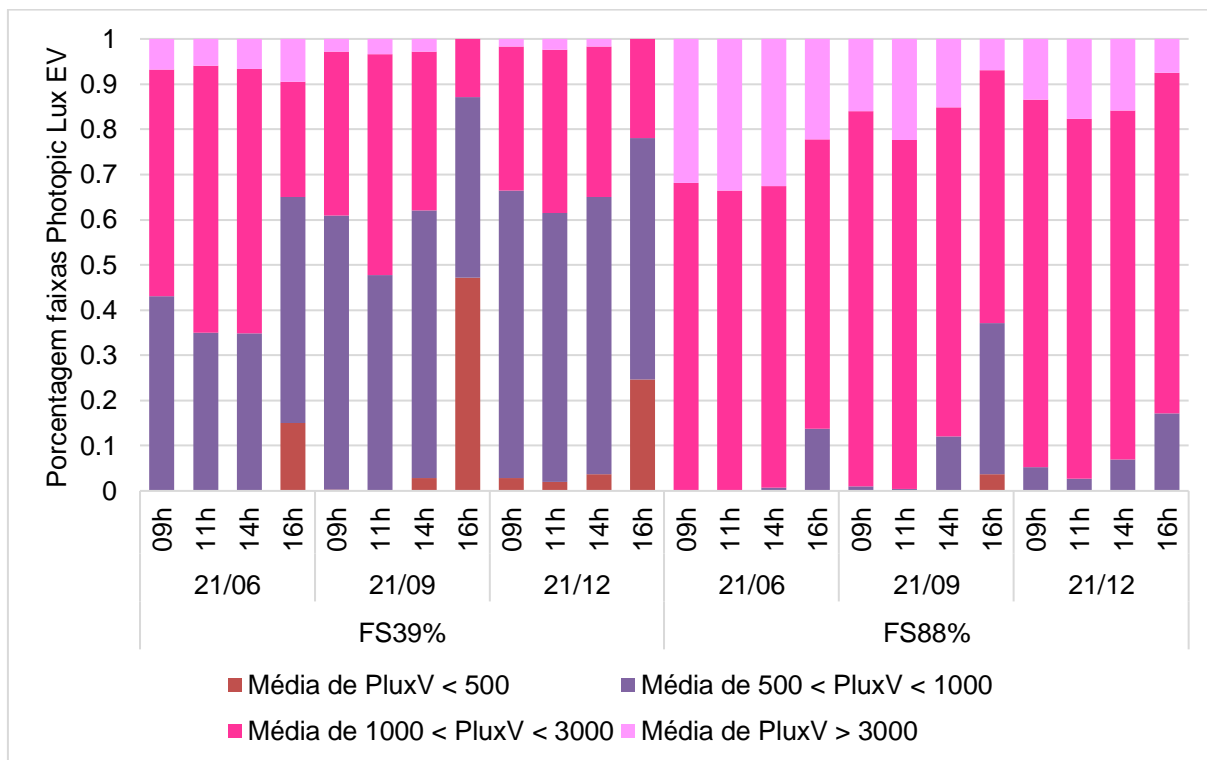
O modelo Sul com céu claro e vidro FS 39% apresenta porcentagens acima de 90% nos horários das 9h, 11h e 14 para os valores de Photopic lux (Ev) acima de 500 lux, com uma queda para 68,1% as 16h. Os valores para o Photopic lux são ligeiramente mais altos do que o Photopic lux (Ev) atingindo mais de 95% das salas de aula nos horários das 9h, 11h e 14h, e uma queda as 16h chegando a 52,8%. Para valores acima de 3000 lux ocorre uma queda em todos as porcentagens, chegando a 0% de Photopic lux no dia 21/12 (Tabela 28).

Com o vidro FS 88% as porcentagens são maiores em relação das com o vidro FS 39%. Para o Photopic lux (Ev) acima de 500 lux todas as porcentagens são 100% com excessão as 16h do dia 21/09 e 21/12. No Photopic lux todas as porcentagens encontram-se em 100%. As porcentagens acima de 1000 lux apresentam uma pequena queda, sendo mais significativa as 16h. A quedas mantem para os valores acima de 3000 lux, sendo que no dia 21/12 nenhum modelo apresentou valores acima de 3000 lux (Tabela 28).

A média predominante nos dois gráficos para o modelo Sul com céu nublado fica entre 1000 lux a 3000 lux com o vidro FS 88%, oscilando entre 500 lux a 1000 lux e menor que 500 lux com o vidro FS 39%, principalmente as 16h (Figuras 65 e 66).

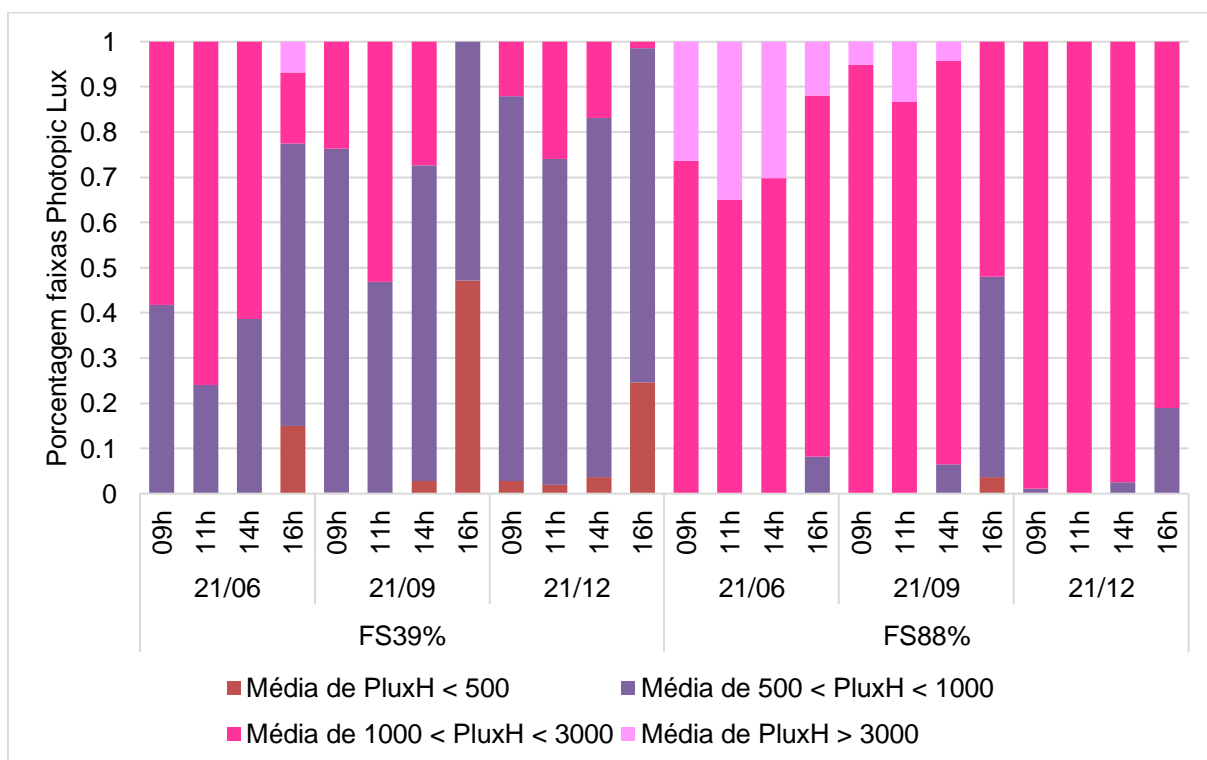
O dia 21/06 com vidro FS 39% apresenta as porcentagens mais baixas, variando de 41,2% a 1,7% para Photopic lux (Ev) e de 49,2% a 0% para Photopic lux. O dia 21/12 apresenta as maiores porcentagens, variando de 99,6% a 34,2% para Photopic lux (Ev) e de 97,5% a 31,6%. Em relação aos valores acima de 1000 lux, todos apresentam uma queda significativa na porcentagem. Para o Photopic lux todos apresentam porcentagem igual a 0% nos valores acima de 3000 lux, para o Photopic lux (Ev) esses valores oscilam de 0% a 5,5%. Ao trocar o vidro FS 39% para o FS 88% as porcentagens se elevam, ainda que o dia 21/06 continue apresentando os menores resultados e o dia 21/12 os maiores (Tabela 29).

Figura 63 - Photopic Lux EV - Sul – Céu Claro



Fonte: Própria (2024)

Figura 64 - Photopic Lux - Sul – Céu Claro



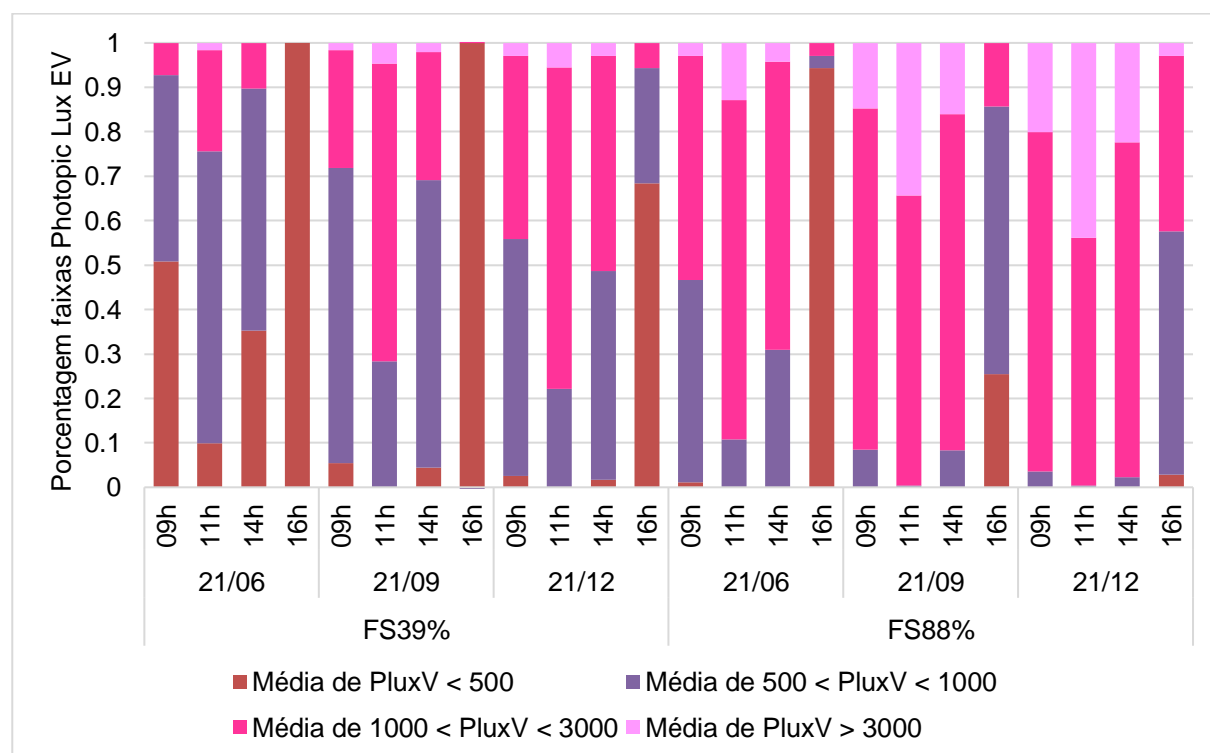
Fonte: Própria (2024)

Tabela 28 - Conforto Visual e Iluminação no Plano de Trabalho – Sul - Céu claro

Data	Hora	Vidro	Photopic lux (Ev) Acima de 500 lux	Photopic lux Acima de 500 lux	Photopic lux (Ev) Acima de 1000 lux	Photopic lux Acima de 1000 lux	Photopic lux (Ev) Acima de 3000 lux	Photopic lux Acima de 3000 lux
21/06	9 h	FS 39%	100%	100%	56.9%	58.2%	6,8%	0%
		FS 88%	100%	100%	100.0%	100.0%	31,9%	26,3%
	11 h	FS 39%	99,6%	100%	65.0%	76.0%	5,9%	0%
		FS 88%	100%	100%	100.0%	100.0%	33,5%	35%
	14 h	FS 39%	98,9%	100%	65.1%	61.3%	6,6%	0%
		FS 88%	100%	100%	99.3%	100.0%	32,5%	30,2%
16 h	FS 39%	82,6%	85%	34,9%	22,6%	9,5%	6,8%	
	FS 88%	100%	100%	86.3%	91.8%	22,2%	11,9%	
21/09	9 h	FS 39%	97,1%	99,7%	39.1%	23.7%	2,8%	0%
		FS 88%	100%	100%	99.0%	100.0%	16%	5,1%
	11 h	FS 39%	99,2%	100%	52.3%	53.1%	3,4%	0%
		FS 88%	100%	100%	99.5%	100.0%	22,4%	13,3%
	14 h	FS 39%	91,7%	97,2%	37.9%	27.4%	2,8%	0%
		FS 88%	100%	100%	88.0%	93.5%	15,2%	4,2%
16 h	FS 39%	68,1%	52,8%	12,9%	0%	0%	0%	
	FS 88%	92,2%	96,3%	62.9%	52.0%	6,9%	0%	
21/12	9 h	FS 39%	92,4%	97,2%	33.5%	12.1%	1,7%	0%
		FS 88%	100%	100%	94.8%	98.9%	13,5%	0%
	11 h	FS 39%	94,1%	98%	38.5%	26.0%	2,4%	0%
		FS 88%	100%	100%	97.3%	100.0%	17,7%	0%
	14 h	FS 39%	90,8%	96,3%	34.9%	16.9%	1,7%	0%
		FS 88%	100%	100%	93.0%	97.5%	15,9%	0%
16 h	FS 39%	79,9%	75,4%	22.0%	1.4%	0%	0%	
	FS 88%	99,6%	100%	82.8%	81.1%	7,5%	0%	

Fonte: Própria (2024)

Figura 65 - Photopic Lux EV – Sul – Céu Nublado



Fonte: Própria (2024)

Figura 66 - Photopic Lux - Sul – Céu Nublado

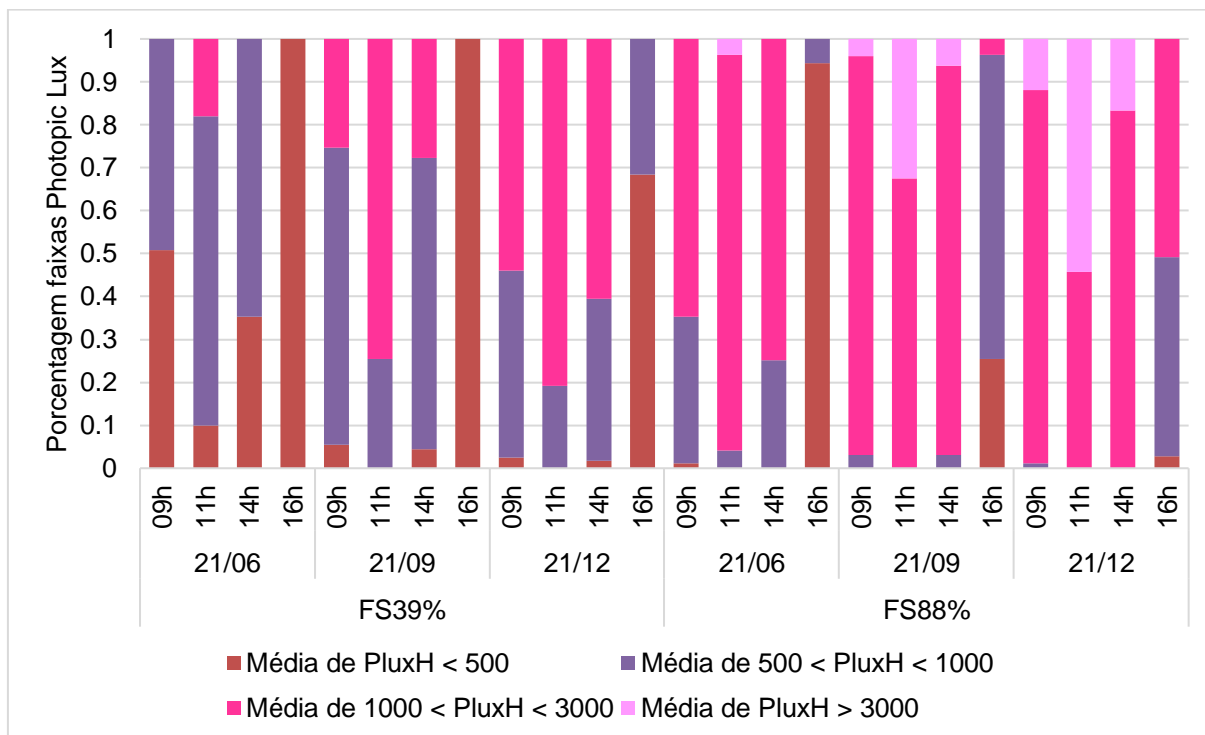


Tabela 29 - Conforto Visual e Iluminação no Plano de Trabalho – Sul - Céu nublado

Data	Hora	Vidro	Photopic lux (Ev) Acima de 500 lux	Photopic lux Acima de 500 lux	Photopic lux (Ev) Acima de 1000 lux	Photopic lux Acima de 1000 lux	Photopic lux (Ev) Acima de 3000 lux	Photopic lux Acima de 3000 lux
21/06	9 h	FS 39%	41,2%	49,2%	7.3%	0.0%	0%	0%
		FS 88%	95,6%	98,9%	53.4%	64.7%	3%	0%
	11 h	FS 39%	84,1%	90,1%	24.4%	18.1%	1,7%	0%
		FS 88%	100%	100%	89.3%	95.8%	12,8%	3,7%
	14 h	FS 39%	56,3%	64,7%	10.3%	0.0%	0%	0%
		FS 88%	98,9%	100%	69.1%	74.9%	4,2%	0%
16 h	FS 39%	1,7%	0%	0.0%	0.0%	0%	0%	
	FS 88%	15,5%	5,6%	3.0%	0.0%	0%	0%	
21/09	9 h	FS 39%	88,6%	94,6%	28.2%	25.4%	1,7%	0%
		FS 88%	100%	100%	91.6%	96.9%	14,7%	4%
	11 h	FS 39%	99,4%	100%	71.7%	74.6%	4,7%	0%
		FS 88%	100%	100%	99.6%	100.0%	34,3%	32,5%
	14 h	FS 39%	88,6%	95,5%	30.9%	27.7%	2%	0%
		FS 88%	100%	100%	91.7%	96.9%	16,1%	6,2%
16 h	FS 39%	11,1%	0%	1.7%	0.0%	0%	0%	
	FS 88%	69,8%	74,6%	14.3%	3.7%	0%	0%	
21/12	9 h	FS 39%	93,5%	97,5%	44.2%	54.0%	3%	0%
		FS 88%	100%	100%	96.4%	98.9%	20,1%	11,9%
	11 h	FS 39%	99,6%	100%	77.8%	80.8%	5,5%	0%
		FS 88%	100%	100%	99.6%	100.0%	43,9%	54,2%
	14 h	FS 39%	94,8%	98,3%	51.4%	60.5%	3%	0%
		FS 88%	100%	100%	97.7%	100.0%	22,4%	16,7%
16 h	FS 39%	34,2%	31,6%	5.7%	0.0%	0%	0%	
	FS 88%	92,5%	97,2%	42.4%	50.8%	3%	0%	

Fonte: Própria (2024)



## 5. ANÁLISE E PONTUAÇÃO DOS MODELOS

No capítulo anterior foi possível notar que a iluminação na sala de aula pode sofrer as mais diversas variações durante um dia. Considerando esse fato, dificilmente é possível encontrar um modelo em que os valores ideais sejam encontrados em 100% da sala de aula nos três dias e quatro horários avaliados. Para se encontrar o modelo ideal foi elaborada uma métrica para as quatro variáveis de iluminação: Média M/P, EML, Photopic lux EV e Photopic lux.

Na Tabela 30 está exemplificado como foram criadas as siglas que foram usadas nas tabelas com os resultados. A primeira letra indica a orientação do modelo, seguida de duas letras CC e CN que indicam céu claro ou céu nublado, os próximos dois caracteres indicam o tipo de vidro, podendo ser FS39 ou FS88, por fim os três ou quatro últimos caracteres apontam o horário da simulação. A seguir será explicado como foi feita a métrica de cada variável e a pontuação de cada modelo simulado na Tabela 30.

Tabela 30 – Siglas de cada modelo simulado por dia

Orientação	Céu	Vidro	Horários			
			9h	11h	14h	16h
Leste	Claro	FS 88%	LCCFS889H	LCNCFS8811H	LCCFS8814H	LCCFS8816H
		FS39%	LCCFS399H	LCNCFS3911H	LCCFS3914H	LCCFS3916H
	Nublado	FS 88%	LCNFS889H	LCNFS8811H	LCNFS8814H	LCNFS8816H
		FS39%	LCNFS399H	LCNFS3911H	LCNFS3914H	LCNFS3916H
Oeste	Claro	FS 88%	OCCFS889H	OCNCFS8811H	OCCFS8814H	OCCFS8816H
		FS39%	OCCFS399H	OCNCFS3911H	OCCFS3914H	OCCFS3916H
	Nublado	FS 88%	OCNFS889H	OCNFS8811H	OCNFS8814H	OCNFS8816H
		FS39%	OCNFS399H	OCNFS3911H	OCNFS3914H	OCNFS3916H
Norte	Claro	FS 88%	NCCFS889H	NCNCFS8811H	NCCFS8814H	NCCFS8816H
		FS39%	NCCFS399H	NCNCFS3911H	NCCFS3914H	NCCFS3916H
	Nublado	FS 88%	NCNFS889H	NCNFS8811H	NCNFS8814H	NCNFS8816H
		FS39%	NCNFS399H	NCNFS3911H	NCNFS3914H	NCNFS3916H
Sul	Claro	FS 88%	SCCFS889H	SCNCFS8811H	SCCFS8814H	SCCFS8816H
		FS39%	SCCFS399H	SCNCFS3911H	SCCFS3914H	SCCFS3916H
	Nublado	FS 88%	SCNFS889H	SCNFS8811H	SCNFS8814H	SCNFS8816H
		FS39%	SCNFS399H	SCNFS3911H	SCNFS3914H	SCNFS3916H

Obs.: As siglas estão organizadas da seguinte forma: a primeira letra refere-se à orientação, a segunda e a terceira ao tipo de céu, a quarta e quinta letras seguidas dos números está relacionada ao tipo de vidro, os últimos caracteres se referem ao horário.

Fonte: Própria (2024)

### 5.1. Pontuação frente a Razão M/P

O indicador da Razão M/P considera as porcentagens de luz azul enriquecida ( $M/P > 0,9$ ) em sala de aula com valores positivos, pois a luz azul auxilia no “despertar” do aluno, a luz neutra tem o valor zero pois não atua de forma significativa no usuário, e a luz azul empobrecida com valores negativos pois tem o efeito relaxante no usuário.

A Razão M/P é presente em toda a sala de aula, e os valores da luz azul enriquecida, luz neutra e luz azul empobrecida se completam. Considerando isso, podemos ver na Tabela 31, que as porcentagens que variaram de 100% até 50% de luz azul enriquecido receberam pontuações de 6 a 1, e quando variaram de 50% a 0 foram consideradas predominantemente neutras, recebendo a pontuação 0. Nenhum modelo apresentou luz azul empobrecida, mas como é a luz indesejada para a atividade escolar, ela foi considerada com pontuação negativa entre 100% a 50%, e quando entre 50% a 0% é considerada 0.

Tabela 31 – Pontuação de acordo com a porcentagem da razão M/P em sala de aula

Azul enriquecido ( $M/P > 0,9$ )						Neutro ( $0,35 < M/P < 0,9$ )	Azul empobrecido ( $M/P < 0,35$ )					
100	95	90	85	80	75	$50\% \leq x < 0\%$	75	75	80	85	90	95
$\% \leq$	$\% \leq$	$\% \leq$	$\% \leq$	$\% \leq$	$\% \leq$		$\% \leq$	$\% \leq$	$\% \leq$	$\% \leq$	$\% \leq$	$\% \leq$
$x <$	$x <$	$x <$	$x <$	$x <$	$x$	$50\% \leq x < 0$	$x$	$x <$	$x <$	$x <$	$x <$	$x <$
95	90	85	80	75	<50		<50	80	85	90	95	100
%	%	%	%	%	%		%	%	%	%	%	%
6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6

Fonte: Própria (2024)

O maior valor da Média M/P para o céu nublado no dia 21/06 foi de 18 pontos na orientação sul com vidro FS 39%, e nas orientações leste, norte e sul para o vidro FS 39% e para o céu claro na orientação norte com vidro FS 88% foi de 21 pontos (Tabelas 32 e 33).

O maior valor da Média M/P para o céu nublado no dia 21/09 foi de 21 pontos na orientação leste com vidro FS 39%, e nas orientações norte e sul para o vidro FS 88% e para o céu claro na orientação sul com vidro FS 39% foi de 24 pontos (Tabelas 34 e 35).

O maior valor da Média M/P para o céu nublado no dia 21/12 foi de 16 pontos na orientação norte com vidro FS 88%, e com exceção a orientação leste, no dia de céu claro todas as outras orientações apresentaram 24 pontos independente do vidro utilizado (Tabelas 36 e 37).

Tabela 32 – Resultado da Razão M/P no dia 21/06 com céu nublado

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCNFS 399H	LCNFS 3911H	LCNFS 3914H	LCNFS 3916H	17	LCNFS 889H	LCNFS 8811H	LCNFS 8814H	LCNFS 8816H	18
NCN FS399 H	NCN FS399 11H	NCN FS391 4H	NCN FS391 6H	17	NCNFS 889H	NCNFS 8811H	NCNFS 8814H	NCNFS 8816H	18
OCN FS399 H	OCN FS391 1H	OCN FS391 4H	OCN FS391 6H	14	OCNF S889H	OCNF S8811 H	OCNF S8814 H	OCNF S8816 H	17
SCN FS399 H	SCN FS391 1H	SCN FS391 4H	SCN FS391 6H	18	SCNFS 889H	SCNFS 8811H	SCNFS 8814H	SCNFS 8816H	18

Fonte: Própria (2024)

Tabela 33 – Resultado da Razão M/P no dia 21/06 com céu claro

Modelo				Resulta do	Modelo				Resultad o
LCCFS 399H	LCCFS 3911H	LCCFS 3914H	LCCFS 3916H	18	LCCFS 889H	LCCFS 8811H	LCCFS 8814H	LCCFS 8816H	18
NCC FS399 H	NCC FS399 11H	NCCFS 3914H	NCC FS391 6H	19	NCCFS 889H	NCCFS 8811H	NCCFS 8814H	NCCFS 8816H	19
OCC FS399 H	OCC FS391 1H	OCC FS391 4H	OCC FS391 6H	18	OCCF S889H	OCCF S8811 H	OCCF S8814 H	OCCF S8816 H	21
SCC FS399 H	SCC FS391 1H	SCC FS391 4H	SCCFS 3916H	15	SCCFS 889H	SCCFS 8811H	SCCFS 8814H	SCCFS 8816H	17

Fonte: Própria (2024)

Tabela 34 – Resultado da Razão M/P no dia 21/09 com céu nublado

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCNFS 399H	LCNFS 3911H	LCNFS 3914H	LCNFS 3916H	21	LCNFS 889H	LCNFS 8811H	LCNFS 8814H	LCNFS 8816H	17
NCN FS399 H	NCN FS399 11H	NCN FS391 4H	NCN FS391 6H	13	NCNFS 889H	NCNFS 8811H	NCNFS 8814H	NCNFS 8816H	17
OCN FS399 H	OCN FS391 1H	OCN FS391 4H	OCN FS391 6H	10	OCNF S889H	OCNF S8811 H	OCNF S8814 H	OCNF S8816 H	17
SCN FS399 H	SCN FS391 1H	SCN FS391 4H	SCN FS391 6H	13	SCNFS 889H	SCNFS 8811H	SCNFS 8814H	SCNFS 8816H	16

Fonte: Própria (2024)

Tabela 35 – Resultado da Razão M/P no dia 21/-09 com céu claro

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCCFS 399H	LCCFS 3911H	LCCFS 3914H	LCCFS 3916H	18	LCCFS 889H	LCCFS 8811H	LCCFS 8814H	LCCFS 8816H	18
NCC FS399 H	NCC FS399 11H	NCCFS 3914H	NCC FS391 6H	24	NCCFS 889H	NCCFS 8811H	NCCFS 8814H	NCCFS 8816H	24
OCC FS399 H	OCC FS391 1H	OCC FS391 4H	OCC FS391 6H	19	OCCF S889H	OCCF S8811 H	OCCF S8814 H	OCCF S8816 H	19
SCC FS399 H	SCC FS391 1H	SCC FS391 4H	SCCFS 3916H	24	SCCFS 889H	SCCFS 8811H	SCCFS 8814H	SCCFS 8816H	24

Fonte: Própria (2024)

Tabela 36 – Resultado da Razão M/P no dia 21/12 com céu nublado

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCNFS 399H	LCNFS 3911H	LCNFS 3914H	LCNFS 3916H	11	LCNFS 889H	LCNFS 8811H	LCNFS 8814H	LCNFS 8816H	15
NCN FS399 H	NCN FS399 11H	NCN FS391 4H	NCN FS391 6H	13	NCNFS 889H	NCNFS 8811H	NCNFS 8814H	NCNFS 8816H	16
OCN FS399 H	OCN FS391 1H	OCN FS391 4H	OCN FS391 6H	10	OCNF S889H	OCNF S8811 H	OCNF S8814 H	OCNF S8816 H	13
SCN FS399 H	SCN FS391 1H	SCN FS391 4H	SCN FS391 6H	10	SCNFS 889H	SCNFS 8811H	SCNFS 8814H	SCNFS 8816H	14

Fonte: Própria (2024)

Tabela 37 – Resultado da Razão M/P no dia 21/12 com céu claro

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCCFS 399H	LCCFS 3911H	LCCFS 3914H	LCCFS 3916H	23	LCCFS 889H	LCCFS 8811H	LCCFS 8814H	LCCFS 8816H	23
NCC FS399 H	NCC FS399 11H	NCCFS 3914H	NCC FS391 6H	24	NCCFS 889H	NCCFS 8811H	NCCFS 8814H	NCCFS 8816H	24
OCC FS399 H	OCC FS391 1H	OCC FS391 4H	OCC FS391 6H	24	OCCF S889H	OCCF S8811 H	OCCF S8814 H	OCCF S8816 H	24
SCC FS399 H	SCC FS391 1H	SCC FS391 4H	SCCFS 3916H	24	SCCFS 889H	SCCFS 8811H	SCCFS 8814H	SCCFS 8816H	24

Fonte: Própria (2024)

## 5.2. Pontuação frente ao Equivalent Melanopic Lux (EML)

### 5.2.1. Critério de EML (150 lux – 3000 lux)

De acordo com Kosir (2021) é necessário que o *Equivalent melanopic lux* (EML) seja de no mínimo 150 lux por quatro horas até o meio-dia. Considerando que a partir de 3000 lux ocorre ofuscamento, o valor ideal mínimo para uma sala de aula varia de 150 lux a 3000 lux considerando o EML.

Para fazer a métrica das porcentagens considerou-se que os valores que saiam do intervalo ideal perderiam pontos na mesma proporção se não alcançassem o valor mínimo de 150 lux e ultrapassassem o valor máximo de 3000 lux, e se ocorressem os dois fenômenos ao mesmo tempo, seria feita uma dupla perda de pontuação. A pontuação varia de 0 a -6, com 0 sendo para a porcentagem de 100% entre 150 lux e 3000 lux, e variando de -1 a -6 entre os valores que saem deste intervalo (Tabela 38). Quanto maior a distância do intervalo ideal menor a pontuação.

Tabela 38 - Pontuação de acordo com a porcentagem de EML na sala de aula (150 lux a 3000 lux)

Acima de 25% EML < 150 lux	=20% - 25% EML < 150 lux	=15 - 20% EML ≤ 150 lux	= 10% - 15% EML < 150 lux	= 5% -10% EML < 150 lux	Até 5% EML < 150 lux	150 lux ≤ EML ≤ 3000 lux	Até 5% EML > 3000 lux	= 5% -10% EML > 3000 lux	= 10% - 15% EML > 3000 lux	= 15%-20% EML > 3000 lux	=20% - 25% EML > 3000 lux	Acima de 25% EML > 3000 lux
-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6

Fonte: Própria (2024)

No modelo de céu nublado o valor mais alto no dia 21/06 é com o vidro FS 88% com orientação sul, com o céu claro é com o vidro FS 39% orientação leste (Tabelas 39 e 40).

Tabela 39 – Resultado do intervalo 150 lux a 3000 lux no dia 21/06 com céu nublado

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCNFS 399H	LCNFS 3911H	LCNFS 3914H	LCNFS 3916H	-8	LCNFS 889H	LCNFS 8811H	LCNFS 8814H	LCNFS 8816H	-7
NCN FS399 H	NCN FS399 11H	NCN FS391 4H	NCN FS391 6H	-8	NCNFS 889H	NCNFS 8811H	NCNFS 8814H	NCNFS 8816H	-17
OCN FS399 H	OCN FS391 1H	OCN FS391 4H	OCN FS391 6H	-8	OCNF S889H	OCNF S8811 H	OCNF S8814 H	OCNF S8816 H	-8
SCN FS399 H	SCN FS391 1H	SCN FS391 4H	SCN FS391 6H	-9	SCNFS 889H	SCNFS 8811H	SCNFS 8814H	SCNFS 8816H	-7

Fonte: Própria (2024)

Tabela 40 – Resultado do intervalo 150 lux a 3000 lux no dia 21/06 com céu claro

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCCFS 399H	LCCFS 3911H	LCCFS 3914H	LCCFS 3916H	-4	LCCFS 889H	LCCFS 8811H	LCCFS 8814H	LCCFS 8816H	-15
NCC FS399 H	NCC FS399 11H	NCCFS 3914H	NCC FS391 6H	-6	NCCFS 889H	NCCFS 8811H	NCCFS 8814H	NCCFS 8816H	-20
OCC FS399 H	OCC FS391 1H	OCC FS391 4H	OCC FS391 6H	-5	OCCF S889H	OCCF S8811 H	OCCF S8814 H	OCCF S8816 H	-19
SCC FS399 H	SCC FS391 1H	SCC FS391 4H	SCCFS 3916H	-8	SCCFS 889H	SCCFS 8811H	SCCFS 8814H	SCCFS 8816H	-22

Fonte: Própria (2024)

No modelo de céu nublado o valor mais alto no dia 21/09 é com o vidro FS 39% com orientação sul, com o céu claro é com o vidro FS 39% orientação norte, oeste e sul (Tabela 41 e 42).

Tabela 41 – Resultado do intervalo 150 lux a 3000 lux no dia 21/09 com céu nublado

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCNFS 399H	LCNFS 3911H	LCNFS 3914H	LCNFS 3916H	-9	LCNFS 889H	LCNFS 8811H	LCNFS 8814H	LCNFS 8816H	-10
NCN FS399 H	NCN FS399 11H	NCN FS391 4H	NCN FS391 6H	-7	NCNFS 889H	NCNFS 8811H	NCNFS 8814H	NCNFS 8816H	-13
OCN FS399 H	OCN FS391 1H	OCN FS391 4H	OCN FS391 6H	-7	OCNF S889H	OCNF S8811 H	OCNF S8814 H	OCNF S8816 H	-10
SCN FS399 H	SCN FS391 1H	SCN FS391 4H	SCN FS391 6H	-6	SCNFS 889H	SCNFS 8811H	SCNFS 8814H	SCNFS 8816H	-14

Fonte: Própria (2024)

Tabela 42 - Resultado do intervalo 150 lux a 3000 lux no dia 21/09 com céu claro

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCCFS 399H	LCCFS 3911H	LCCFS 3914H	LCCFS 3916H	-6	LCCFS 889H	LCCFS 8811H	LCCFS 8814H	LCCFS 8816H	-19
NCC FS399 H	NCC FS399 11H	NCCFS 3914H	NCC FS391 6H	-4	NCCFS 889H	NCCFS 8811H	NCCFS 8814H	NCCFS 8816H	-17
OCC FS399 H	OCC FS391 1H	OCC FS391 4H	OCC FS391 6H	-4	OCCF S889H	OCCF S8811 H	OCCF S8814 H	OCCF S8816 H	-20
SCC FS399 H	SCC FS391 1H	SCC FS391 4H	SCCFS 3916H	-4	SCCFS 889H	SCCFS 8811H	SCCFS 8814H	SCCFS 8816H	-18

Fonte: Própria (2024)

No modelo de céu nublado o valor mais alto no dia 21/12 é com o vidro FS 39% com orientação leste e oeste, com o céu claro é com o vidro FS 39% orientação sul (Tabelas 43 e 44).

Tabela 43 – Resultado do intervalo 150 lux a 3000 lux no dia 21/12 com céu nublado

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCNFS 399H	LCNFS 3911H	LCNFS 3914H	LCNFS 3916H	-4	LCNFS 889H	LCNFS 8811H	LCNFS 8814H	LCNFS 8816H	-13
NCN FS399 H	NCN FS399 11H	NCN FS391 4H	NCN FS391 6H	-5	NCNFS 889H	NCNFS 8811H	NCNFS 8814H	NCNFS 8816H	-16
OCN FS399 H	OCN FS391 1H	OCN FS391 4H	OCN FS391 6H	-4	OCNF S889H	OCNF S8811 H	OCNF S8814 H	OCNF S8816 H	-13
SCN FS399 H	SCN FS391 1H	SCN FS391 4H	SCN FS391 6H	-5	SCNFS 889H	SCNFS 8811H	SCNFS 8814H	SCNFS 8816H	-16

Fonte: Própria (2024)

Tabela 44 - Resultado do intervalo 150 lux a 3000 lux no dia 21/12 com céu claro

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCCFS 399H	LCCFS 3911H	LCCFS 3914H	LCCFS 3916H	-5	LCCFS 889H	LCCFS 8811H	LCCFS 8814H	LCCFS 8816H	-21
NCC FS399 H	NCC FS399 11H	NCCFS 3914H	NCC FS391 6H	-4	NCCFS 889H	NCCFS 8811H	NCCFS 8814H	NCCFS 8816H	-17
OCC FS399 H	OCC FS391 1H	OCC FS391 4H	OCC FS391 6H	-4	OCCF S889H	OCCF S8811 H	OCCF S8814 H	OCCF S8816 H	-18
SCC FS399 H	SCC FS391 1H	SCC FS391 4H	SCCFS 3916H	-3	SCCFS 889H	SCCFS 8811H	SCCFS 8814H	SCCFS 8816H	-17

Fonte: Própria (2024)

### 5.2.2. Critério de EML (1000 lux – 3000 lux)

Entretanto outras pesquisas apontam que a exposição a 1000 lux durante cinco horas reduziu o quadro de sonolência subjetiva em comparação a luz fraca (FIQUEIRÓ, 2013). Como é importante que o aluno se mantenha atento durante a aula também foi analisado os valores nessa situação.

Com o valor ideal no intervalo entre 1000 lux a 3000 lux, o método de medição segue a mesma fórmula do modelo anterior, substituindo os 150 lux para 1000 lux (Tabelas 45).

Tabela 45 - Pontuação de acordo com a porcentagem de EML na sala de aula (1000 lux a 3000 lux)

Acima de 25% EML < 1000 lux	=20% - 25% EML < 1000 lux	=15 - 20% EML ≤ 1000 lux	= 10% - 15% EML < 1000 lux	= 5% - 10% EML < 1000 lux	Até 5% EML < 1000 lux	1000 lux ≤ EML ≤ 3000 lux	Até 5% EML > 3000 lux	= 5% - 10% EML > 3000 lux	= 10% - 15% EML > 3000 lux	= 15% - 20% EML > 3000 lux	=20% - 25% EML > 3000 lux	Acima de 25% EML > 3000 lux
-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6

Fonte: Própria (2024)

Com a redução do intervalo, também ocorreu a redução nos valores dos resultados. Os modelos com maiores resultados para o dia 21/06 nublado foram com vidro FS 39% e orientação leste, norte e oeste. Para o dia claro foi com o vidro FS 88% e orientação leste (Tabelas 46 e 47).

Tabela 46 - Resultado do intervalo 1000 lux a 3000 lux no dia 21/06 com céu nublado

Modelo				Resultado	Modelo				Resultado
LCNFS 399H	LCNFS 3911H	LCNFS 3914H	LCNFS 3916H	-24	LCNFS 889H	LCNFS 8811H	LCNFS 8814H	LCNFS 8816H	-27
NCN FS399 H	NCN FS399 11H	NCN FS391 4H	NCN FS391 6H	-24	NCNFS 889H	NCNFS 8811H	NCNFS 8814H	NCNFS 8816H	-28
OCN FS399 H	OCN FS391 1H	OCN FS391 4H	OCN FS391 6H	-24	OCNF S889H	OCNF S8811 H	OCNF S8814 H	OCNF S8816 H	-28
SCN FS399 H	SCN FS391 1H	SCN FS391 4H	SCN FS391 6H	-25	SCNFS 889H	SCNFS 8811H	SCNFS 8814H	SCNFS 8816H	-27

Fonte: Própria (2024)



Tabela 47 - Resultado do intervalo 1000 lux a 3000 lux no dia 21/06 com céu claro

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCCFS 399H	LCCFS 3911H	LCCFS 3914H	LCCFS 3916H	-28	LCCFS 889H	LCCFS 8811H	LCCFS 8814H	LCCFS 8816H	-19
NCC FS399 H	NCC FS399 11H	NCCFS 3914H	NCC FS391 6H	-30	NCCFS 889H	NCCFS 8811H	NCCFS 8814H	NCCFS 8816H	-27
OCC FS399 H	OCC FS391 1H	OCC FS391 4H	OCC FS391 6H	-29	OCCF S889H	OCCF S8811 H	OCCF S8814 H	OCCF S8816 H	-27
SCC FS399 H	SCC FS391 1H	SCC FS391 4H	SCCFS 3916H	-32	SCCFS 889H	SCCFS 8811H	SCCFS 8814H	SCCFS 8816H	-30

Fonte: Própria (2024)

Os modelos com maiores resultados para o dia 21/09 com céu nublado foram com vidro FS 39% e orientação leste, e com vidro FS 88% com orientação norte e oeste. Para o dia claro foram com o vidro FS 88% e orientação norte e oeste (Tabelas 48 e 49).

Tabela 48 - Resultado do intervalo 1000 lux a 3000 lux no dia 21/09 com céu nublado

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCNFS 399H	LCNFS 3911H	LCNFS 3914H	LCNFS 3916H	-25	LCNFS 889H	LCNFS 8811H	LCNFS 8814H	LCNFS 8816H	-27
NCN FS399 H	NCN FS399 11H	NCN FS391 4H	NCN FS391 6H	-28	NCNFS 889H	NCNFS 8811H	NCNFS 8814H	NCNFS 8816H	-25
OCN FS399 H	OCN FS391 1H	OCN FS391 4H	OCN FS391 6H	-27	OCNF S889H	OCNF S8811 H	OCNF S8814 H	OCNF S8816 H	-25
SCN FS399 H	SCN FS391 1H	SCN FS391 4H	SCN FS391 6H	-27	SCNFS 889H	SCNFS 8811H	SCNFS 8814H	SCNFS 8816H	-26

Fonte: Própria (2024)

Tabela 49 - Resultado do intervalo 1000 lux a 3000 lux no dia 21/09 com céu claro

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCCFS 399H	LCCFS 3911H	LCCFS 3914H	LCCFS 3916H	-30	LCCFS 889H	LCCFS 8811H	LCCFS 8814H	LCCFS 8816H	-25
NCC FS399 H	NCC FS399 11H	NCCFS 3914H	NCC FS391 6H	-27	NCCFS 889H	NCCFS 8811H	NCCFS 8814H	NCCFS 8816H	-25
OCC FS399 H	OCC FS391 1H	OCC FS391 4H	OCC FS391 6H	-28	OCCF S889H	OCCF S8811 H	OCCF S8814 H	OCCF S8816 H	-28
SCC FS399 H	SCC FS391 1H	SCC FS391 4H	SCCFS 3916H	-27	SCCFS 889H	SCCFS 8811H	SCCFS 8814H	SCCFS 8816H	-29

Fonte: Própria (2024)

O modelo com maior resultado para o dia 21/12 com céu nublado foi com vidro FS 88% e orientação oeste. Para o dia claro foram com o vidro FS 88% e orientação norte (Tabelas 50 e 51).

Tabela 50 - Resultado do intervalo 1000 lux a 3000 lux no dia 21/12 com céu nublado

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
<b>LCNFS</b> 399H	<b>LCNFS</b> 3911H	<b>LCNFS</b> 3914H	LCNFS 3916H	-27	<b>LCNFS</b> 889H	<b>LCNFS</b> 8811H	<b>LCNFS</b> 8814H	<b>LCNFS</b> 8816H	-27
<b>NCN</b> FS399 H	<b>NCN</b> FS399 11H	<b>NCN</b> FS391 4H	NCN FS391 6H	-28	<b>NCNFS</b> 889H	<b>NCNFS</b> 8811H	<b>NCNFS</b> 8814H	<b>NCNFS</b> 8816H	-27
<b>OCN</b> FS399 H	<b>OCN</b> FS391 1H	<b>OCN</b> FS391 4H	OCN FS391 6H	-27	<b>OCNF</b> S889H	<b>OCNF</b> S8811 H	<b>OCNF</b> S8814 H	<b>OCNF</b> S8816 H	-26
<b>SCN</b> FS399 H	<b>SCN</b> FS391 1H	<b>SCN</b> FS391 4H	SCN FS391 6H	-28	<b>SCNFS</b> 889H	<b>SCNFS</b> 8811H	<b>SCNFS</b> 8814H	<b>SCNFS</b> 8816H	-27

Fonte: Própria (2024)

Tabela 51 - Resultado do intervalo 1000 lux a 3000 lux no dia 21/12 com céu claro

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
<b>LCCFS</b> 399H	<b>LCCFS</b> 3911H	<b>LCCFS</b> 3914H	<b>LCCFS</b> 3916H	-29	<b>LCCFS</b> 889H	<b>LCCFS</b> 8811H	<b>LCCFS</b> 8814H	<b>LCCFS</b> 8816H	-29
<b>NCC</b> FS399 H	<b>NCC</b> FS399 11H	<b>NCCFS</b> 3914H	<b>NCC</b> FS391 6H	-28	<b>NCCFS</b> 889H	<b>NCCFS</b> 8811H	<b>NCCFS</b> 8814H	<b>NCCFS</b> 8816H	-23
<b>OCC</b> FS399 H	<b>OCC</b> FS391 1H	<b>OCC</b> FS391 4H	<b>OCC</b> FS391 6H	-28	<b>OCCF</b> S889H	<b>OCCF</b> S8811 H	<b>OCCF</b> S8814 H	<b>OCCF</b> S8816 H	-26
<b>SCC</b> FS399 H	<b>SCC</b> FS391 1H	<b>SCC</b> FS391 4H	SCCFS 3916H	-27	<b>SCCFS</b> 889H	<b>SCCFS</b> 8811H	<b>SCCFS</b> 8814H	<b>SCCFS</b> 8816H	-25

Fonte: Própria (2024)

### 5.2.3. Pontuação frente ao Conforto Visual (Photopic lux - EV)

Os valores de conforto visual já estão formalizados na NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), e o valor mínimo varia entre 300 lux a 500 lux. Para esta avaliação foi escolhido o valor de 500 lux. O intervalo avaliado será entre 500 lux a 3000 lux, e seguirá a mesma proposta da métrica do modelo do EML (Tabela 52).

O maior valor do dia 21/06 com céu nublado é na orientação sul com vidro FS 88%. Em relação ao céu claro o maior valor é na orientação leste com vidro FS 39% (Tabelas 53 e 54).

Tabela 52 - Pontuação de acordo com a porcentagem de Photopic lux EV na sala de aula

Acima de 25% x < 500 lux	=20% - 25% x < 500 lux	=15 - 20% x < 500 lux	=10 - 15% x < 500 lux	=5 - 10% x < 500 lux	Até 5% x < 500 lux	500 lux ≤ EML ≤ 3000 lux	Até 5% x > 3000 lux	= 5% - 10% x > 3000 lux	= 10% - 15% x > 3000 lux	= 15% - 20% x > 3000 lux	=20% - 25% x > 3000 lux	Acima de 25% x > 3000 lux
-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6

Fonte: Própria (2024)

Tabela 53 - Resultado do Photopic lux EV no dia 21/06 com céu nublado

Modelo				Resultado	Modelo				Resultado
LCNFS 399H	LCNFS 3911H	LCNFS 3914H	LCNFS 3916H	-23	LCNFS 889H	LCNFS 8811H	LCNFS 8814H	LCNFS 8816H	-15
NCN FS399 H	NCN FS399 11H	NCN FS391 4H	NCN FS391 6H	-22	NCNFS 889H	NCNFS 8811H	NCNFS 8814H	NCNFS 8816H	-15
OCN FS399 H	OCN FS391 1H	OCN FS391 4H	OCN FS391 6H	-23	OCNF S889H	OCNF S8811 H	OCNF S8814 H	OCNF S8816 H	-16
SCN FS399 H	SCN FS391 1H	SCN FS391 4H	SCN FS391 6H	-23	SCNFS 889H	SCNFS 8811H	SCNFS 8814H	SCNFS 8816H	-13

Fonte: Própria (2024)

Tabela 54 - Resultado do Photopic lux EV no dia 21/06 com céu claro

Modelo				Resultado	Modelo				Resultado
LCCFS 399H	LCCFS 3911H	LCCFS 3914H	LCCFS 3916H	-9	LCCFS 889H	LCCFS 8811H	LCCFS 8814H	LCCFS 8816H	-15
NCC FS399 H	NCC FS399 11H	NCCFS 3914H	NCC FS391 6H	-13	NCCFS 889H	NCCFS 8811H	NCCFS 8814H	NCCFS 8816H	-15
OCC FS399 H	OCC FS391 1H	OCC FS391 4H	OCC FS391 6H	-19	OCCF S889H	OCCF S8811 H	OCCF S8814 H	OCCF S8816 H	-16
SCC FS399 H	SCC FS391 1H	SCC FS391 4H	SCCFS 3916H	-14	SCCFS 889H	SCCFS 8811H	SCCFS 8814H	SCCFS 8816H	-23

Fonte: Própria (2024)

O maior valor do dia 21/09 com céu nublado é na orientação oeste com vidro FS 88%. Em relação ao céu claro o maior valor é na orientação oeste com vidro FS 39%, e na orientação norte com vidro FS 88% (Tabelas 55 e 56).

Tabela 55 - Resultado do Photopic lux EV no dia 21/09 com céu nublado

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCNFS 399H	LCNFS 3911H	LCNFS 3914H	LCNFS 3916H	-22	LCNFS 889H	LCNFS 8811H	LCNFS 8814H	LCNFS 8816H	-17
NCN FS399 H	NCN FS399 11H	NCN FS391 4H	NCN FS391 6H	-17	NCNFS 889H	NCNFS 8811H	NCNFS 8814H	NCNFS 8816H	-18
OCN FS399 H	OCN FS391 1H	OCN FS391 4H	OCN FS391 6H	-18	OCNF S889H	OCNF S8811 H	OCNF S8814 H	OCNF S8816 H	-15
SCN FS399 H	SCN FS391 1H	SCN FS391 4H	SCN FS391 6H	-16	SCNFS 889H	SCNFS 8811H	SCNFS 8814H	SCNFS 8816H	-18

Fonte: Própria (2024)

Tabela 56 - Resultado do Photopic lux EV no dia 21/09 com céu claro

Modelo				Resulta dos	Modelo				Resulta dos
LCCFS 399H	LCCFS 3911H	LCCFS 3914H	LCCFS 3916H	-13	LCCFS 889H	LCCFS 8811H	LCCFS 8814H	LCCFS 8816H	-16
NCC FS399 H	NCC FS399 11H	NCCFS 3914H	NCC FS391 6H	-20	NCCFS 889H	NCCFS 8811H	NCCFS 8814H	NCCFS 8816H	-12
OCC FS399 H	OCC FS391 1H	OCC FS391 4H	OCC FS391 6H	-12	OCCF S889H	OCCF S8811 H	OCCF S8814 H	OCCF S8816 H	-18
SCC FS399 H	SCC FS391 1H	SCC FS391 4H	SCCFS 3916H	-13	SCCFS 889H	SCCFS 8811H	SCCFS 8814H	SCCFS 8816H	-17

Fonte: Própria (2024)

O maior valor do dia 21/12 com céu nublado é na orientação norte e sul com vidro FS 39%. Em relação ao céu claro o maior valor é na orientação oeste com vidro FS 39% (Tabelas 57 e 58).

Tabela 57 - Resultado do Photopic lux EV no dia 21/12 com céu nublado

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCNFS 399H	LCNFS 3911H	LCNFS 3914H	LCNFS 3916H	-17	LCNFS 889H	LCNFS 8811H	LCNFS 8814H	LCNFS 8816H	-17
NCN FS399 H	NCN FS399 11H	NCN FS391 4H	NCN FS391 6H	-15	NCNFS 889H	NCNFS 8811H	NCNFS 8814H	NCNFS 8816H	-18
OCN FS399 H	OCN FS391 1H	OCN FS391 4H	OCN FS391 6H	-16	OCNF S889H	OCNF S8811 H	OCNF S8814 H	OCNF S8816 H	-17
SCN FS399 H	SCN FS391 1H	SCN FS391 4H	SCN FS391 6H	-15	SCNFS 889H	SCNFS 8811H	SCNFS 8814H	SCNFS 8816H	-19

Fonte: Própria (2024)

Tabela 58 - Resultado do Photopic lux EV no dia 21/12 com céu claro

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCCFS 399H	LCCFS 3911H	LCCFS 3914H	LCCFS 3916H	-12	LCCFS 889H	LCCFS 8811H	LCCFS 8814H	LCCFS 8816H	-17
NCC FS399 H	NCC FS399 11H	NCCFS 3914H	NCC FS391 6H	-13	NCCFS 889H	NCCFS 8811H	NCCFS 8814H	NCCFS 8816H	-13
OCC FS399 H	OCC FS391 1H	OCC FS391 4H	OCC FS391 6H	-11	OCCF S889H	OCCF S8811 H	OCCF S8814 H	OCCF S8816 H	-17
SCC FS399 H	SCC FS391 1H	SCC FS391 4H	SCCFS 3916H	-14	SCCFS 889H	SCCFS 8811H	SCCFS 8814H	SCCFS 8816H	-14

Fonte: Própria (2024)

### 5.3. Pontuação frente ao Conforto Visual no Plano de Trabalho (Photopic lux)

Para o conforto visual no plano de trabalho os valores de conforto visual são os mesmos para o conforto visual do ambiente que já estão formalizados na NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), e o valor mínimo varia entre 300 lux a 500 lux. Para esta avaliação foi escolhido o valor de 500 lux.

O intervalo avaliado será entre 500 lux a 3000 lux, e seguirá a mesma proposta da métrica do modelo do EML e no modelo Photopic lux EV (Tabela 59).

Tabela 59 - Pontuação de acordo com a porcentagem de Photopic lux na sala de aula

Acim a de 25% x < 500 lux	=20 % - 25%	=15 - 20%	=10 - 15%	=5 - 10%	Até 5% x < 500 lux	500 lux ≤ EML ≤ 300 0 lux	Até 5% x > 3000 lux	= 5% - 10%	= 10% -	= 15% -	= 20% -	Acim a de 25% x > 3000 lux	
	x < 500 lux	x < 500 lux	x < 500 lux	x < 500 lux			x > 3000 lux	x > 3000 lux	x > 3000 lux	x > 3000 lux	x > 3000 lux		
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6

Fonte: Própria (2024)

O maior resultado de conforto visual no plano de trabalho com céu nublado é para a orientação norte com vidro FS 88%. Analisando o céu claro o maior resultado fica na orientação leste com vidro FS 88% (Tabelas 60 e 61).

Tabela 60 - Resultado do Photopic lux no dia 21/06 com céu nublado

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCNFS 399H	LCNFS 3911H	LCNFS 3914H	LCNFS 3916H	-23	LCNFS 889H	LCNFS 8811H	LCNFS 8814H	LCNFS 8816H	-9
NCN FS399 H	NCN FS399 11H	NCN FS391 4H	NCN FS391 6H	-22	NCNFS 889H	NCNFS 8811H	NCNFS 8814H	NCNFS 8816H	-7
OCN FS399 H	OCN FS391 1H	OCN FS391 4H	OCN FS391 6H	-23	OCNF S889H	OCNF S8811 H	OCNF S8814 H	OCNF S8816 H	-8
SCN FS399 H	SCN FS391 1H	SCN FS391 4H	SCN FS391 6H	-20	SCNFS 889H	SCNFS 8811H	SCNFS 8814H	SCNFS 8816H	-8

Fonte: Própria (2024)

Tabela 61 - Resultado do Photopic lux no dia 21/06 com céu claro

Modelo				Resulta dos	Modelo				Resulta dos
LCCFS 399H	LCCFS 3911H	LCCFS 3914H	LCCFS 3916H	-12	LCCFS 889H	LCCFS 8811H	LCCFS 8814H	LCCFS 8816H	-5
NCC FS399 H	NCC FS399 11H	NCCFS 3914H	NCC FS391 6H	-7	NCCFS 889H	NCCFS 8811H	NCCFS 8814H	NCCFS 8816H	-11
OCC FS399 H	OCC FS391 1H	OCC FS391 4H	OCC FS391 6H	-17	OCCF S889H	OCCF S8811 H	OCCF S8814 H	OCCF S8816 H	-7
SCC FS399 H	SCC FS391 1H	SCC FS391 4H	SCCFS 3916H	-6	SCCFS 889H	SCCFS 8811H	SCCFS 8814H	SCCFS 8816H	-21

Fonte: Própria (2024)

O maior resultado de conforto visual no plano de trabalho com céu nublado é para a orientação leste e oeste com vidro FS 88%. Analisando o céu claro o maior resultado fica na orientação norte com vidro FS 88% (Tabelas 62 e 63).

Tabela 62 - Resultado do Photopic lux no dia 21/09 com céu nublado

Modelo				Resulta dos	Modelo				Resulta dos
LCNFS 399H	LCNFS 3911H	LCNFS 3914H	LCNFS 3916H	-21	LCNFS 889H	LCNFS 8811H	LCNFS 8814H	LCNFS 8816H	-6
NCN FS399 H	NCN FS399 11H	NCN FS391 4H	NCN FS391 6H	-12	NCNFS 889H	NCNFS 8811H	NCNFS 8814H	NCNFS 8816H	-11
OCN FS399 H	OCN FS391 1H	OCN FS391 4H	OCN FS391 6H	-15	OCNF S889H	OCNF S8811 H	OCNF S8814 H	OCNF S8816 H	-6
SCN FS399 H	SCN FS391 1H	SCN FS391 4H	SCN FS391 6H	-9	SCNFS 889H	SCNFS 8811H	SCNFS 8814H	SCNFS 8816H	-15

Fonte: Própria (2024)

Tabela 63 - Resultado do Photopic lux no dia 21/09 com céu claro

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCCFS 399H	LCCFS 3911H	LCCFS 3914H	LCCFS 3916H	-9	LCCFS 889H	LCCFS 8811H	LCCFS 8814H	LCCFS 8816H	-8
NCC FS399 H	NCC FS399 11H	NCCFS 3914H	NCC FS391 6H	-15	NCCFS 889H	NCCFS 8811H	NCCFS 8814H	NCCFS 8816H	-3
OCC FS399 H	OCC FS391 1H	OCC FS391 4H	OCC FS391 6H	-7	OCCF S889H	OCCF S8811 H	OCCF S8814 H	OCCF S8816 H	-6
SCC FS399 H	SCC FS391 1H	SCC FS391 4H	SCCFS 3916H	-8	SCCFS 889H	SCCFS 8811H	SCCFS 8814H	SCCFS 8816H	-15

Fonte: Própria (2024)

O maior resultado de conforto visual no plano de trabalho com céu nublado é para a orientação leste com vidro FS 88%. Analisando o céu claro o maior resultado fica na orientação norte e sul com vidro FS 88%, sendo únicos a atingir 100% dos horários o valor ideal entre 500 lux a 3000 lux (Tabelas 64 e 65).

Tabela 64 - Resultado do Photopic lux no dia 21/12 com céu nublado

Modelo				Resulta dos	Modelo				Resulta dos
LCNFS 399H	LCNFS 3911H	LCNFS 3914H	LCNFS 3916H	-10	LCNFS 889H	LCNFS 8811H	LCNFS 8814H	LCNFS 8816H	-2
NCN FS399 H	NCN FS399 11H	NCN FS391 4H	NCN FS391 6H	-9	NCNFS 889H	NCNFS 8811H	NCNFS 8814H	NCNFS 8816H	-11
OCN FS399 H	OCN FS391 1H	OCN FS391 4H	OCN FS391 6H	-10	OCNF S889H	OCNF S8811 H	OCNF S8814 H	OCNF S8816 H	-5
SCN FS399 H	SCN FS391 1H	SCN FS391 4H	SCN FS391 6H	-8	SCNFS 889H	SCNFS 8811H	SCNFS 8814H	SCNFS 8816H	-14

Fonte: Própria (2024)

Tabela 65 - Resultado do Photopic lux no dia 21/12 com céu claro

Modelo				Resulta do	Modelo				Resulta do
LCCFS 399H	LCCFS 3911H	LCCFS 3914H	LCCFS 3916H	-4	LCCFS 889H	LCCFS 8811H	LCCFS 8814H	LCCFS 8816H	-7
NCC FS399 H	NCC FS399 11H	NCCFS 3914H	NCC FS391 6H	-7	NCCFS 889H	NCCFS 8811H	NCCFS 8814H	NCCFS 8816H	0
OCC FS399 H	OCC FS391 1H	OCC FS391 4H	OCC FS391 6H	-4	OCCF S889H	OCCF S8811 H	OCCF S8814 H	OCCF S8816 H	-4
SCC FS399 H	SCC FS391 1H	SCC FS391 4H	SCCFS 3916H	-8	SCCFS 889H	SCCFS 8811H	SCCFS 8814H	SCCFS 8816H	0

Fonte: Própria (2024)

#### **5.4. Síntese dos resultados**

Primeiro vamos contabilizar as tabelas analisadas para chegar ao resultado final. Tanto a Tabela 66 como a 67 apresentam os resultados, sendo que a primeira considera o EML mínimo de 150 lux, e a segunda de 1000 lux.



Tabela 66 - Pontuação para  $150 \text{ lux} \leq \text{EML} \leq 3000 \text{ lux}$ 

Datas			21/jun					21/set					21/dez				
Indicadores			Razão M/P	EML	PhL EV	PhL	Total	Razão M/P	EML	PhL EV	PhL	Total	Razão M/P	EML	PhL EV	PhL	Total
Leste	Nublado	39%	17	-8	-23	-23	-37	21	-9	-22	-21	-31	11	-4	-17	-10	-20
		88%	18	-7	-15	-9	-13	17	-10	-17	-6	-16	15	-13	-17	-2	-17
	Claro	39%	18	-4	-9	-12	-7	18	-6	-13	-9	-10	23	-5	-12	-4	2
		88%	18	-15	-15	-5	-17	18	-19	-16	-8	-25	23	-21	-17	-7	-22
Norte	Nublado	39%	17	-8	-22	-22	-35	13	-7	-17	-12	-23	13	-5	-15	-9	-16
		88%	18	-17	-15	-7	-21	17	-13	-18	-11	-25	16	-16	-18	-11	-29
	Claro	39%	19	-6	-13	-7	-7	24	-4	-20	-15	-15	24	-4	-13	-7	0
		88%	19	-20	-15	-11	-27	24	-17	-12	-3	-8	24	-17	-13	0	-6
Oeste	Nublado	39%	14	-8	-23	-23	-40	10	-7	-18	-15	-30	10	-4	-16	-10	-20
		88%	17	-8	-16	-8	-15	17	-10	-15	-6	-14	13	-13	-17	-5	-22
	Claro	39%	18	-5	-19	-17	-23	19	-4	-12	-7	-4	24	-4	-11	-4	5
		88%	21	-19	-16	-7	-21	19	-20	-18	-6	-25	24	-18	-17	-4	-15
Sul	Nublado	39%	18	-9	-23	-20	-34	13	-6	-16	-9	-18	10	-5	-15	-8	-18
		88%	18	-7	-13	-8	-10	16	-14	-18	-15	-31	14	-16	-19	-14	-35
	Claro	39%	15	-8	-14	-6	-13	24	-4	-13	-8	-1	24	-3	-14	-8	-1
		88%	17	-22	-23	-21	-49	24	-18	-17	-15	-26	24	-17	-14	0	-7

Fonte: Própria (2024)

Tabela 67 - Pontuação para 1000 lux ≤ EML ≤ 3000 lux

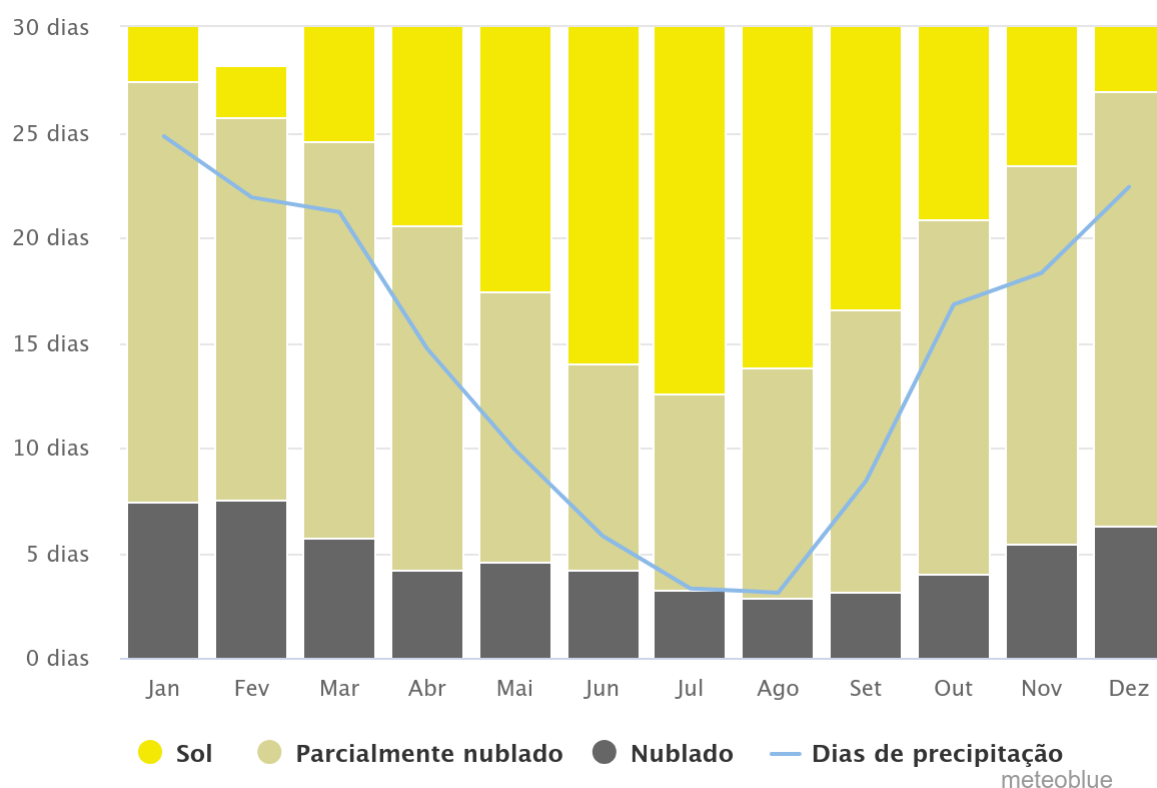
Datas			21/jun					21/set					21/dez				
Indicadores			Razão M/P	EML	PhL EV	PhL	Total	Razão M/P	EML	PhL EV	PhL	Total	Razão M/P	EML	PhL EV	PhL	Total
Leste	Nublado	39%	17	-24	-23	-23	-45	21	-25	-22	-21	-47	11	-27	-17	-10	-43
		88%	18	-27	-15	-9	-27	17	-27	-17	-6	-33	15	-27	-17	-2	-31
	Claro	39%	18	-28	-9	-12	-37	18	-30	-13	-9	-34	23	-29	-12	-4	-22
		88%	18	-19	-15	-5	-28	18	-25	-16	-8	-31	23	-29	-17	-7	-30
Norte	Nublado	39%	17	-24	-22	-22	-44	13	-28	-17	-12	-44	13	-28	-15	-9	-39
		88%	18	-28	-15	-7	-30	17	-25	-18	-11	-37	16	-27	-18	-11	-40
	Claro	39%	19	-30	-13	-7	-33	24	-27	-20	-15	-38	24	-28	-13	-7	-24
		88%	19	-27	-15	-11	-42	24	-25	-12	-3	-16	24	-23	-13	0	-12
Oeste	Nublado	39%	14	-24	-23	-23	-49	10	-27	-18	-15	-50	10	-27	-16	-10	-43
		88%	17	-28	-16	-8	-38	17	-25	-15	-6	-29	13	-26	-17	-5	-35
	Claro	39%	18	-29	-19	-17	-44	19	-28	-12	-7	-28	24	-28	-11	-4	-19
		88%	21	-27	-16	-7	-36	19	-28	-18	-6	-33	24	-26	-17	-4	-23
Sul	Nublado	39%	18	-25	-23	-20	-40	13	-27	-16	-9	-39	10	-28	-15	-8	-41
		88%	18	-27	-13	-8	-31	16	-26	-18	-15	-43	14	-27	-19	-14	-46
	Claro	39%	15	-32	-14	-6	-46	24	-27	-13	-8	-24	24	-27	-14	-8	-25
		88%	17	-30	-23	-21	-34	24	-29	-17	-15	-37	24	-25	-14	0	-15

Fonte: Própria (2024)

Para encontrar o resultado final foi feita a análise de quantos dias ensolarados e quantos dias nublados tem a cidade de Campo Grande -MS. Para tanto foram coletados dados do Meteoblue.

De acordo com a meteoblue (Figura 67) os meses de junho e setembro são mais ensolarados, e o mês de dezembro mais nublado. Considerando esses fatores, para a soma final vamos usar o resultado céu claro para junho e setembro e céu nublado para dezembro.

Figura 67 – Céu nublado, sol e dias de precipitação



Os melhores resultados considerando  $150 \text{ lux} \leq \text{EML} \leq 3000 \text{ lux}$  temos a fachada Sul com vidro FS 39%, seguido das fachadas leste e norte também com o vidro FS 39% (Tabela 68). Agora quando consideramos  $1000 \text{ lux} \leq \text{EML} \leq 3000 \text{ lux}$  a fachada leste com vidro FS 88% é a que apresenta melhor resultado, seguida da norte e oeste também com vidro FS 88% (Gráfico 69).

Os piores resultados considerando  $150 \text{ lux} \leq \text{EML} \leq 3000 \text{ lux}$  foram a fachada sul com vidro FS 88%, seguido da fachada oeste e norte também com vidro FS 88% (Tabela 68). Enquanto os piores resultados com  $1000 \text{ lux} \leq \text{EML} \leq 3000 \text{ lux}$  foram a

fachada sul FS 88%, seguida das fachadas oeste e leste com vidro FS 39% (Tabela 59).

Tabela 68 - Resultado final considerando  $150 \text{ lux} \leq \text{EML} \leq 3000 \text{ lux}$

		21/06 - claro	21/09 - claro	21/12 - nublado	Total
Leste	FS39%	-7	-10	-20	-37
	FS88%	-17	-25	-17	-59
Norte	FS39%	-7	-15	-16	-38
	FS88%	-27	-8	-29	-64
Oeste	FS39%	-23	-4	-20	-47
	FS88%	-21	-25	-22	-68
Sul	FS39%	-13	-1	-18	-32
	FS88%	-49	-26	-35	-110

Fonte: Própria (2024)

Tabela 69 - Resultado final considerando  $1000 \text{ lux} \leq \text{EML} \leq 3000 \text{ lux}$

		21/06 -claro	21/09 - claro	21/12 - nublado	Total
Leste	FS39%	-37	-34	-43	-114
	FS88%	-28	-31	-31	-90
Norte	FS39%	-33	-38	-39	-110
	FS88%	-42	-16	-40	-98
Oeste	FS39%	-44	-28	-43	-115
	FS88%	-36	-33	-35	104
Sul	FS39%	-46	-24	-41	-111
	FS88%	-34	-37	-46	-117

Fonte: Própria (2024)

## 6. CONCLUSÕES

A dissertação teve como objetivo avaliar a iluminação natural nas salas de aula da cidade de Campo Grande – MS considerando indicadores relacionados ao ciclo circadiano, Razão M/P e Equivalent Melanopic Lux (EML), e relacionadas ao conforto visual, Photopic lux e Photopic Lux (EV). Para isso foram definidos modelos de sala de aula baseados nas normas e diretrizes do FNDE, os quais foram analisados em diferentes orientações, norte, sul, leste e oeste, em três diferentes dias, 21 de junho, 21 de setembro e 21 de dezembro, e com vidros de materiais diferentes, FS 88% e FS 39%.

Para a análise foram utilizados o programa Sol-Ar como auxiliar no projeto dos brises, o programa Rhinoceros possibilitou a modelagem da sala de aula, com suas aberturas e brises, enquanto o Alfa, plugin do Rhinoceros, foi responsável pela saída dos dados: Razão M/P, EML, Photopic lux e Photopic Lux (EV).

Os resultados gerados pelo plugin ALFA foram organizados e tabelados, e após análises dos resultados desenvolveu-se uma metodologia para avaliar qual sala de aula apresenta a melhor média de iluminação de acordo com a bibliografia considerando os quatro indicadores avaliados: a Razão M/P, EML, Photopic lux e Photopic Lux (EV).

Quando considerado o critério de  $150 \text{ lux} \leq \text{EML} \leq 3000 \text{ lux}$ , a fachada Sul com vidro FS 39% apresentou o melhor resultado, e a mesma fachada Sul apresentou o pior resultado, porém com o vidro FS 88%. Podemos interpretar esse resultado de forma que como o material utilizado, no caso o vidro, pode interferir de forma determinante no conforto da sala de aula, até mais que a orientação.

Quando considerado o critério de  $1000 \text{ lux} \leq \text{EML} \leq 3000 \text{ lux}$ , a fachada leste com vidro FS 88% é a que apresenta o melhor resultado, e a pior fachada novamente é a Sul FS 88%.

Trabalhar com a luz natural sempre se mostrou como um desafio, mas ignorá-la é ir em contra a natureza humana e ao desenvolvimento sustentável. Atualmente novos programas tornaram possível uma avaliação mais complexa de como podemos usar a iluminação nos ambientes internos. Criando a possibilidade de questionar e refinar a maneira como pensamos em aberturas e iluminação interna. Até hoje as

recomendações nacionais como a FNDE orientam utilizar a regra de 1/5 da área de sala de aula como área de aberturas para as salas de aula, uma regra que foi proposta no Reino Unido no século XIX.

Esta dissertação se apresenta como um início de questionamento sobre as aberturas das salas de aula, mostrando como é o seu desempenho frente aos novos critérios de iluminação natural, considerando o ciclo circadiano do ser humano. Neste trabalho pode-se concluir que a escolha do vidro influencia mais que a escolha da fachada se considerarmos as quatro variáveis envolvidas (razão M/P, EML, Photopic lux e Photopic lux (Ev))

Como limitações do trabalho e sugestão de futuros do temas seria possível avaliar outras variáveis que não foram contempladas como alteração de materiais e cores, outros formatos de aberturas e brises, e até mesmo acrescentando iluminação artificial. Poderiam ser feitas pesquisas que analisassem mais profundamente como se comporta a luz durante 24 horas do dia, já que cada modelo foi analisado em apenas quatro horários fixos. Também poderia ser verificada a correspondência entre a simulação feita pelo plugin Alfa condiz com a realidade, utilizando equipamentos de verificação na mesma data e hora da simulação. Poderia ser feita uma análise detalhada da iluminação da sala de aula que o plugin Alfa oferece, que não foi apresentada nesta dissertação.

## REFERÊNCIAS

- ACOSTA, I. FIGUEIRO, M. **Analysis of circadian stimulus allowed by daylighting in hospital rooms.** Lighting Research and Technology, 2015
- ALVES, F., **Gamefication: como criar experiencias de aprendizagens engajadoras.** 2ª edição. São Paulo: DVS Editora, 2015.
- APOLUX. **Conceito geral da simulação no Apolux IV.** 2023. Disponível em: <foton.arq.ufsc.br> Acesso em: 8 out. 2024
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5461: Iluminação.** Rio de Janeiro: 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5382: Verificação de iluminância de interiores.** Rio de Janeiro: 1985.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413: Iluminância de interiores.** Rio de Janeiro: 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR/ISO CIE 8995: Iluminação em ambientes de trabalho.** Rio de Janeiro: 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215: Iluminação natural.** Rio de Janeiro: 2023.
- AUTODESK. **Autodesk Ecotect Analysis.** 2023. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/pt-pt/arquitetura-e-engenharia/autodesk-ecotect-analysis/>> Acesso em: 19 set. 2023
- AUTODESK. **Perguntas frequentes sobre a descontinuação do Ecotect Analysis.** 2023. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/PTB/Ecotect-Analysis-Discontinuation-FAQ.html>> Acesso em: 19 set. 2023
- AYOUB, M. **A review on machine learning algorithms to predict daylighting inside buildings.** Solar Energy. Elsevier, 2020
- BARBOSA, N. M. S., **A simulação computacional em iluminação natural: uma avaliação da usabilidade de software.** Tese de Doutorado. Área de concentração: Tecnologias. UFAL, Maceió, 2021
- BERNARDI, N. **Avaliação da interferência comportamental do usuário para a melhoria do conforto ambiental em espaços escolares: Estudo de caso em Campinas – SP.** Campinas, 2001.
- BERSON, D. M.; DUNN, F. A.; MOTA HARU, T. **Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock.** Science, v. 2002, n. 295, p. 1070-1073, 2002.

BERTOLOTI, D. **Iluminação natural em projetos de escolas: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia.** Dissertação de Mestrado. Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura. FAUUSP, São Paulo, 2007.

CAPELINI, Luiz Fernando. **O funcionamento do olho humano: uma sequência didática para o ensino de óptica geométrica no ensino médio.** 2019. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019.

CASARIN, R. **Mariana Figueró: A luz e a sua relação com a saúde.** Lume Arquitetura, São Paulo, SP, Edição:44, Pgs. 8-12, Jun/Jul 2010.

DIALUX. **Con DIALux le simplificamos el diseño de iluminación.** 2023. Disponível em: <<https://www.dialux.com/es-ES/>> Acesso em: 19 set. 2023

DILAURA, D. L., HOUSER, K.W., MISTRICK, R. G., STEFFY, G.R. **The Lighting Handbook.** 10ª Edição. Nova Iorque, NY: Illuminating Engineering Society, 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, **Atlas da Eficiência Energética – Relatório de indicadores.** 2024. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-788/Atlas%20da%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20Brasil%202023.pdf>> Acesso em: 10 mai. 2024

ENERGYPLUS. **EnergyPlus.** 2023. Disponível em: <<https://energyplus.net/>> Acesso em: 20 set. 2023

FIGUEIREDO, E. C. **Abordagem do ritmo circadiano no projeto de iluminação natural em edifícios de escritórios.** Rev. Sítio Novo, Palmas, TO, Edição especial, Pgs. 83-98, Mar 2022.

JONES, N.L., REINHART, C.F., **Experimental validation of ray tracing as a means of image-based visual discomfort prediction.** Building and Environment. Elsevier, 2016.

KOSIR, M., POTOČNIK, J. **Influence of geometrical and optical building parameters on the circadian daylighting of an office.** Journal of Building Engineering. Elsevier, 2021.

KOWALTOWSKI, D.C.C.K. Et al **O Processo de Projeto em Arquitetura.** 1ª edição. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2011.

LADYBUG. **Honeybee.** 2022. Disponível em: <<https://www.ladybug.tools/honeybee.html>> Acesso em: 19 set. 2023

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** 3ª Edição. Florianópolis, SC: 2013

LEE, E.S., MATUSIAK, B.S., GLEISLER-MORODER, D., SELKOWITZ, S.E., HESCHONG, L., **Advocating for view and daylight in buildings: Next steps.** Energy & Buildings. Elsevier, 2021.



LOK, C. **Seeing without seeing**. Nature. Vol. 469. Pgs: 284-285, Jan. 2011

MARTAU, B.T. **A luz além da visão: iluminação e sua relação com a saúde e bem-estar de funcionárias de lojas de rua e de shopping centers em Porto Alegre**. Nr fl.: 504. Área de concentração: Arquitetura e Construção. UNICAMP, Campinas, 2009.

McNELL & ASSOCIATES. **New in Rhino 7**. 2020. Disponível em: <<https://www.rhino3d.com/7/new/>>. Acesso em: 23 abr. 2023

METEOBLUE. **Dados históricos simulados de clima e tempop para Campo Grande**. Disponível em: <[https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/campo-grande\\_brasil\\_3467747](https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/campo-grande_brasil_3467747)> Acesso em: 24 mai 2024

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, **Manual de Orientações Técnicas. Elaboração de Projetos de Edificações Escolares do Ensino Fundamental**. Volume III. 2017. Disponível em: <[https://www.fnde.gov.br/phocadownload/programas/pro\\_infancia/Manuais/volume\\_3-manual\\_elaboracao\\_projetos\\_ed\\_escolares\\_fundamental\\_desenvolvimento.pdf](https://www.fnde.gov.br/phocadownload/programas/pro_infancia/Manuais/volume_3-manual_elaboracao_projetos_ed_escolares_fundamental_desenvolvimento.pdf)>. Acesso em: abr 2023

MOSCH, M.E., **O processo projetivo na arquitetura: o ensino do projeto de escolas**. Tese de Doutorado. Área de concentração: Engenharia Civil. UNICAMP, Campinas, 2009

NAGARE, R., REA, M. S., FIGUERÓ, M. G., **Spatial sensitivity of human circadian response: Melatonin suppression from on-axis and off-axis light exposures**. Neurobiology of Sleep and Circadian Rhythms. Elsevier, 2021.

NEUFERT, E. **Arte de projetar em arquitetura**. Tradução: Benelia Franco. São Paulo: Gustavo Gili: 2013.

RADSITE. About Radiace. 2019. Disponível em: <<https://www.radiance-online.org/about>> Acesso em: 19 set. 2023

REA, M. S., FIGUERÓ, M.G., BULLOUGH, J.D., BIERMAN, A. **A model of phototransduction by the human circadian system**. Brain Research Reviews. Elsevier, 2007.

RELUX. **ReluxDesktop – Diseño profesional de luces y sensores**. 2023. Disponível em: <<https://relux.com/es/relux-desktop.html>> Acesso em: 19 set. 2023

ROMERO, M.A.B. **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público**. Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília, 2015

ROSA, F. F., FONSECA, R. W., PEREIRA, F.O.R., **Impacto do contexto urbano na disponibilidade de luz natural no ambiente interno e no consumo energético de iluminação artificial**. XV ENCAC / XI ELACAC, João Pessoa, pg. 2814-2823, set, 2019

SAHIN, L., FIGUEIRO, M.G., **Alerting effects of short-wavelength (blue) and long-wavelength (red) lights in the afternoon**. Physiology and Behavior. Elsevier, 2013.

SILVA, A. L., AZERÊDO, J., **O uso da iluminação natural como diretriz nos projetos de arquitetura escolar.** XV ENCAC / XI ELACAC, João Pessoa, pg. 2876 – 2885, set, 2019

SILVEIRA, L. M., **Introdução à teoria da cor.** 1ª edição. Curitiba: Editora UFTPR, 2011

SILVEIRA, L. M., **Introdução à teoria da cor.** 2ª edição. Curitiba: Editora UFTPR, 2015

SOLEMMA. **Adaptative Lighting for Alertness.** 2021. Disponível em: <<https://www.solemma.com/alfa>>. Acesso em: 23 de abr. 2023.

SOLEMMA. **ClimateStudio.** 2023. Disponível em: <<https://www.solemma.com/climatestudio>>. Acesso em: 23 de set. 2023.

SOUZA, E.. **"Como iluminaremos nossos interiores no futuro?"** 09 Abr 2023. ArchDaily Brasil. Acessado 15 Mar 2024. <<https://www.archdaily.com.br/br/998008/how-will-we-illuminate-our-interiors-in-the-future>> ISSN 0719-8906

WEI, W., NG, E., **A review of the development of daylight in schools.** Lighting research and Technology, Vol. 35 (2) , p. 111-125, Sage Journals, 2003.

---