



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

**INVESTIGAÇÃO DA PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO CONSIDERANDO  
ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL EM AMBIENTES DE ENSINO**  
Fernanda Nascimento Lima

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

**INVESTIGAÇÃO DA PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO  
CONSIDERANDO ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL EM  
AMBIENTES DE ENSINO**

**FERNANDA NASCIMENTO LIMA**

Trabalho de Conclusão de Curso do Mestrado Profissional apresentado 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, na área de concentração de Eficiência Energética.

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

**CAMPO GRANDE**

**AGOSTO / 2023**



Serviço Público Federal  
Ministério da Educação  
**Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**



## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**FERNANDA NASCIMENTO LIMA**

### **INVESTIGAÇÃO DA PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO CONSIDERANDO ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL EM AMBIENTES DE ENSINO**

Redação final do Trabalho de Conclusão de Curso, aprovado pela Banca Examinadora em 08 de agosto de 2023, 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 – (Orientador)**

**Dra. Ana Paula da Silva Milani.**

**Dra. Helena Rodi Neumann.**

**Dr. Sandro Petry Laureano Leme.**

**Dra. Andrea Naguissa Yuba.**

**Dr. Robert Schiaveto de Souza.**

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

\*\*\*\*\*  
UFMS  
É 10!!!  
\*\*\*\*\*



Documento assinado eletronicamente por **Sandro Petry Laureano Leme, Professor do Magisterio Superior**, em 25/10/2023, às 16:54, 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 26/10/2023, às 09:21, 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 **Helena Rodi Neumann, Professora do Magistério Superior**, em 26/10/2023, às 10:45, 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 27/10/2023, às 14:36, 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 **4420241** e o código CRC **7105C427**.

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

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 – Campo Grande - MS

À minha família, especialmente à minha irmã Fabiana e aos amores da minha vida, minha mãe Tânia e meu pai Erley (*in memoriam*), por sempre me apoiarem, incentivarem e despertarem em mim desde cedo a sede do saber, quando ainda não sabia escrever.

## AGRADECIMENTOS

Primeiro agradeço a Deus, o grande arquiteto do universo, pela vida e pelas oportunidades. Por ter me dado forças desde o primeiro até o último dia dessa jornada, pois não é fácil!

À minha família, pelo apoio nos momentos de cansaço, pelas palavras edificantes do saber, e compreensão da minha ausência enquanto eu me dedicava ao desenvolvimento desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Arthur Santos Silva orientador e mentor que resultaram neste trabalho, no qual confiou seu nome. Pelo seu profissionalismo, paciência, competência e por ter me dado a oportunidade de ser sua orientanda, foi uma honra tê-lo ao meu lado. Professor Arthur: minha eterna gratidão. Muito obrigada!

Aos professores que participaram do processo, nas disciplinas e na pesquisa. Ao Prof. Dr. Arthur Santos Silva, Prof<sup>a</sup> Dra. Raphaela Walger da Fonseca e Prof<sup>a</sup> Dra. Helena Rodi Neumann pelas valiosas contribuições no exame de qualificação.

Ao Tássio Luiz dos Santos e Prof. Dr. Arthur Santos Silva coordenador do Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações (LADE) pelo empréstimo dos equipamentos de medição utilizados nesta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Robert Schiaveto de Souza, excelente profissional, ser humano ímpar e diretor da FAENG/UFMS (Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia), pela autorização das visitas e medições nos ambientes de ensino analisados nesta pesquisa, e também pela dedicação, atenção e mentoria que dispensou a mim durante a caminhada, fundamentais para o desenvolvimento e finalização desta pesquisa.

Aos professores, professoras, funcionários e alunos dos cursos de Arquitetura e Urbanismo e Engenharias pela cordialidade e atenção durante a realização das visitas e medições.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Eficiência Energética e Sustentabilidade – Curso de Mestrado Profissional (PPGEES) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, pelo apoio conferido a esta pesquisa.

A todos os que estiveram direta e indiretamente presentes nessa caminhada acadêmica e de vida, muito obrigada!

*“Um grande edifício deve começar com o imensurável, passar pelos meios mensuráveis quando está sendo projetado e, no final, deve ser imensurável.”*

Louis Kahn, 1961.

## RESUMO

Visando a análise otimizada dos níveis de desempenho da iluminação natural em ambientes de ensino, em que a iluminação exige atenção especial por estar relacionada com o processo de ensino-aprendizagem, este estudo investigou a ocorrência de ofuscamento no uso da iluminação natural e artificial em quatro ambientes de ensino universitários da rede pública federal de Campo Grande/MS, por meio de parâmetros de mensuração que foram empregados na caracterização quantitativa do comportamento da iluminação natural. Os edifícios apresentam fachadas com áreas envidraçadas sem proteção solar externa suficiente, o que resulta em problemas de conforto térmico e lumínico e, para evitar desconfortos, os usuários usam proteções solares internas, como persianas, o que limita o acesso à iluminação natural e a conexão com o exterior, qualidade ambiental e ocasional uso da ventilação natural. O acionamento dos sistemas de sombreamento e iluminação artificial foram avaliados por meio de registro fotográfico com relação ao ofuscamento, além de medições para determinar usuários e ambientes, nas condições que motivaram o acionamento (com sistemas de sombreamento abertos) e nas condições resultantes (com sistema de sombreamento totalmente fechados). Foram realizadas medições de iluminâncias e luminâncias, análise dos índices de ofuscamento sobre a área de trabalho dos estudantes, como probabilidade de ofuscamento em iluminação natural (DGP), índice de ofuscamento em iluminação natural (DGI) e razão de luminância alcançados por meio de imagens HDR, e tratamento de imagens nos programas *Aftab Alpha* e *HDR Luminance*. Os resultados apontaram o excesso de brilho externo como fator predominante na limitação do uso da iluminação natural e à vista do exterior, em razão do desconforto luminoso. Por essa razão os alunos têm preferência por usar os sistemas de sombreamento interno uma vez que o sombreamento externo não é suficiente para reduzir o brilho de céu no campo visual dos alunos, com reflexos nos monitores, brilho refletido no entorno e brilho e/ou calor em virtude da entrada de iluminação natural direta.

Palavras-chaves: ofuscamento, iluminação natural, ambientes de ensino, conforto lumínico.

## ABSTRACT

Aiming at an optimized analysis of the performance levels of daylight in teaching environments, in which lighting requires special attention because it is related to the teaching-learning process, this study evaluates the occurrence of glare in the use of daylighting and artificial lighting in four environments of university education of the federal public network of Campo Grande/MS, through measurement parameters that were used in the quantitative characterization of the behavior of daylighting. The buildings have facades with glazed areas without sufficient external solar protection, which results in problems of thermal and light comfort and, to avoid discomfort, users use internal solar protection, such as blinds, which limits access to daylight and the connection with the exterior, environmental quality and occasional use of natural ventilation. The activation of the shading and artificial lighting systems were evaluated by means of photographic records regarding glare, in addition to controls to determine users and environments, under the conditions that motivated the activation (with open shading systems) and under the resulting conditions (with a fully closed shading). Measurements of illuminance and luminance were carried out, analysis of glare indexes on the students' work area, such as glare probability in natural lighting (DGP), glare index in natural lighting (DGI) and luminance ratio achieved through images HDR, and image processing in Aftab Alpha and HDR Luminance programs. The results pointed to excessive external glare as the predominant factor limiting the use of natural lighting and in view of the outside, due to light discomfort. For this reason, students have a preference for using internal shading systems, since external shading is not enough to reduce the sky glare in the students' visual field, with reflections on the monitors, glare reflected in the surroundings and glare and/or heat. due to the entry of direct natural lighting.

Keywords: glare, natural lighting, teaching environments, light comfort.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Refletâncias recomendadas para superfícies e mobiliário de salas de aula (A). Proporção entre a luminância da superfície da tarefa visual e a luminância das superfícies mais significativas de sala de aula (B).....	27
Figura 2. Fontes de iluminação natural .....	30
Figura 3. Diferentes sistemas de iluminação natural .....	31
Figura 4. Imagem Falsecolor e imagem sintética processada pelo programa Aftab Alpha 3.2. ....	42
Figura 5. Diferentes fotografias com seus respectivos EVs que comporão uma imagem HDR .....	43
Figura 6. Diferenças entre: imagem LDR (A) e HDR (B) .....	44
Figura 7. Curvas isolux – iluminação natural - Tarde .....	46
Figura 8. Fluxograma da metodologia de pesquisa .....	49
Figura 9. Localização das salas dos Ateliers da Arquitetura (à direita) e das salas do Complexo Multiuso (à esquerda) /UFMS. Com distâncias das edificações do entorno imediato e a indicação do local dos experimentos .....	50
Figura 10. Imagem externa Atelier 1 - Leste .....	53
Figura 11. Imagem externa Atelier 1 - Oeste .....	53
Figura 12. Imagem interna Atelier 1- Leste .....	53
Figura 13. Imagem interna Atelier 1 - Oeste .....	53
Figura 14. Carta solar fachada Leste .....	54
Figura 15. Carta solar fachada Oeste.....	54
Figura 16. Imagem interna Atelier 2 - Leste .....	54
Figura 17. Imagem externa Atelier 2 - Oeste .....	54
Figura 18. Imagem externa Atelier 2 - Sul .....	55
Figura 19. Carta solar fachada Sul.....	55
Figura 20. Carta solar fachada Oeste.....	55
Figura 21. Imagem interna Sala 11 - Oeste .....	56
Figura 22. Imagem externa Sala 11 - Oeste .....	56

Figura 23. Carta solar fachada Leste .....	56
Figura 24. Imagem interna Sala 12 - Leste.....	57
Figura 25. Imagem externa Sala 12 - Leste. ....	57
Figura 26. Modelo de marcação de pontos de medição .....	59
Figura 27. Luxímetros Minipa e Minolta utilizados.....	61
Figura 28. Cinco fotos e seus respectivos EVs.....	62
Figura 29. Luminancímetro e câmera fotográfica para calibração da câmera digital .....	62
Figura 30. Ajustes da câmera fotográfica Nikon D7000 para a realização do estudo.....	64
Figura 31. Seleção das áreas do campo visual com a ferramenta polígono representadas com linhas vermelhas .....	65
Figura 32. Imagem HDR resultante das 5 fotos registradas em diferentes EV .....	65
Figura 33. Imagem em cores falsas resultante das 5 fotos registradas em diferentes EV .....	65
Figura 34. Análise Estatística .....	66
Figura 35. Método Seleção de Variáveis Backward.....	68
Figura 36. Atelier 1 – períodos: matutino (9h30-10h30) e vespertino (13h15-14h15).....	71
Figura 37. Atelier 1 – Gráficos isolux – 9h30 às 10h30.....	71
Figura 38. Imagem falsecolor no Atelier 1, no período matutino, com: a) iluminação natural e b) artificial .....	74
Figura 39. Iluminâncias Atelier 2 .....	76
Figura 40. Atelier 2 - Gráficos isolux - matutino .....	76
Figura 41. Atelier 2 – Gráficos isolux. - vespertino .....	77
Figura 42. Posição da observadora nas cenas.....	78
Figura 43. Imagem falsecolor matutino- a) natural; b) artificial- Atelier 2.....	79
Figura 44. Iluminâncias Sala 11 .....	80
Figura 45. Sala 11 – Gráficos isolux - matutino.....	81
Figura 46. Sala 11 – Gráficos isolux -vespertino .....	82
Figura 47. Posição do observador.....	83
Figura 48. Imagem falsecolor matutino- a) natural; b) artificial- Sala 11 .....	84

Figura 49. Iluminâncias Sala 12 .....	85
Figura 50. Sala 12 - Gráficos isolux - matutino .....	86
Figura 51. Sala 12 - Gráficos isolux – vespertino .....	87
Figura 52. Posição do observador para medição das luminâncias .....	88
Figura 53. Imagem falsecolor matutino- a) natural; b) artificial- Sala 12.....	89
Figura 54. Modelo 1 de Regressão no Software JAMOVl Versão 2.3 .....	102
Figura 55. Modelo 2 de Regressão no Software JAMOVl Versão 2.3 .....	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Recomendações de refletâncias das superfícies .....	28
Tabela 2. Valores de luminância em fontes luminosas .....	29
Tabela 3. Tipos de aberturas laterais .....	32
Tabela 4. Iluminância por tipos de céu.....	35
Tabela 5. Valores dos principais índices de ofuscamento em função da sensação visual.....	38
Tabela 6. Classificação das zonas de iluminância média interna .....	46
Tabela 7. Distribuição das zonas de classificação.....	47
Tabela 8. Características técnicas dos equipamentos e software utilizados .....	58
Tabela 9. Atividades e tempo de duração cada experimento .....	60
Tabela 10. Ajustes da câmera fotográfica Nikon D7000 para a realização do estudo .....	61
Tabela 11. Valores de luminância obtidos pela câmera e pelo luminômetro .....	63
Tabela 12. Critérios para a interpretação dos valores de correlação .....	67
Tabela 13. Iluminância por pontos – Atelier 1 .....	70
Tabela 14. Porcentagem de classificação do Atelier 1 .....	72
Tabela 15. Valores das médias das medições de luminâncias obtidas em suas três posições no Atelier 1 .....	73
Tabela 16. Iluminância por pontos – Atelier 2 .....	75
Tabela 17. Porcentagem de classificação do Atelier 2.....	77
Tabela 18. Valores das médias das medições de luminâncias obtidas em suas três posições no Atelier 2.....	78
Tabela 19. Iluminância por pontos – Sala 11 .....	79
Tabela 20. Porcentagem de classificação da Sala 11.....	82
Tabela 21. Valores das médias das medições de luminâncias obtidas em suas três posições na Sala 11 .....	83
Tabela 22. Iluminância por pontos – Sala 12 .....	84
Tabela 23. Porcentagem de classificação da Sala 12.....	87

Tabela 24. Valores das médias das medições de luminâncias obtidas em suas três posições na Sala 12 .....	88
Tabela 25. Índices de ofuscamento das cenas dos Atelier 1 e Atelier 2 com iluminação natural .....	90
Tabela 26. Índices de ofuscamento das cenas do Atelier 1 e Atelier 2 com iluminação artificial .....	91
Tabela 27. Índices de ofuscamento das cenas nas salas 11 e 12 com iluminação natural.....	92
Tabela 28. Índices de ofuscamento das cenas das Salas 11 e 12 com iluminação artificial.....	93
Tabela 29. Estruturação de variáveis em planilha para análise estatística .....	98
Tabela 30. Resumo dos Resultados, por ambiente .....	99

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CIE	<i>Comission Internacionale de L'Eclairage</i>
CGI	Índice de ofuscamento
DA	<i>Daylight Autonomy</i>
DGP	<i>Daylight Glare Probability</i>
DGI	<i>Daylight Glare Index</i>
DGIN	Novo índice de ofuscamento em iluminação natural
EV	Valor de exposição (exposure value)
FAENG	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia e Geografia
HDR	<i>High Dynamic Range</i>
IESNA	<i>Illuminating Engineering Society of North America</i>
IRC	Índice de Reprodução de Cor
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LADE	Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações
MS	Mato Grosso do Sul
NBR	Norma Brasileira Regulamentada
OLS	<i>Office Lighting Survey</i>
PPGEES	Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Eficiência Energética e Sustentabilidade
UGR	Índice de ofuscamento unificado
UDI	<i>Useful Daylight Illuminance</i>
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

## LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

L	Luminância
Cd/m <sup>2</sup>	Candela por metro quadrado
Lux	Unidade de medida de iluminância
φ	Fluxo luminoso, em lumen
%	Porcentagem
A	Unidade de área em m <sup>2</sup>
R <sup>2</sup>	Iluminância vertical do olho
sDA	Autonomia de iluminação natural espacial
s	Segundos
f	Distância focal
D	Abertura do diafragma
m	Metros

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>20</b>
1.1	Objetivos.....	21
1.1.1	Objetivos geral .....	21
1.1.2	Objetivos específicos.....	22
1.2	Justificativa.....	22
1.3	Estrutura da dissertação .....	23
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>25</b>
2.1	Considerações sobre conforto visual.....	25
2.1.1	A fadiga visual .....	28
2.1.2	Ofuscamento.....	29
2.2	Sistemas de abertura .....	30
2.2.1	Relação dos usuários com as aberturas .....	33
2.3	Normas técnicas .....	34
2.4	Parâmetros avaliativos de ofuscamento .....	35
2.5	Procedimentos com medições.....	37
2.6	Obtenção de imagens HDR e mapas de luminâncias .....	40
2.6.1	Renderização e representação com cores falsas .....	41
2.7	Procedimentos para calibração de uma câmera digital .....	44
2.8	Estudo das iluminâncias.....	45
2.9	Ponderações sobre o referencial teórico.....	47
<b>3</b>	<b>MÉTODO .....</b>	<b>48</b>
3.1	Pesquisa de campo .....	48
3.2	Análise dos dados do levantamento das características dos ambientes .....	51
3.3	Verificação das obstruções internas e externas dos ambientes .....	52
3.4	Instrumentação e equipamentos .....	57
3.5	Determinação dos pontos de medições .....	58
3.6	Verificação dos luxímetros .....	60
3.6.1	Calibração da câmera digital Nikon D7000 e do luminômetro Minolta .....	61
3.6.2	Registro das luminâncias e a utilização das imagens HDR .....	63
3.7	Tratamento dos dados .....	66

<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>70</b>
4.1	Análise das iluminâncias - Atelier 1	70
4.2	Análise das luminâncias - Atelier 1	72
4.2.1	Estudo das luminâncias e imagens falsecolors – Atelier 1	74
4.3	Análise das iluminâncias - Atelier 2	75
4.4	Análise das luminâncias - Atelier 2	77
4.4.1	Análise das luminâncias e imagens falsecolors – Atelier 2	78
4.5	Análise das luminâncias - Sala 11	82
4.5.1	Estudo das luminâncias e imagens falsecolors – Sala 11	79
4.6	Análise das iluminâncias - Sala 12	84
4.7	Análise das luminâncias – Sala 12	88
4.7.1	Estudo das luminâncias e imagens falsecolors – Sala 12	88
4.8	Análise dos indicadores DGI e DGP	89
4.9	Análise dos mapas isolux	93
4.10	Análise das luminâncias médias	96
4.11	Análise estatística dos dados	97
4.12	Correlação	99
4.13	Probabilidade por regressão linear	101
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>104</b>
5.1	Limitações da pesquisa	106
5.2	Sugestões para futuras pesquisas	107
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>108</b>
	APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES ANALISADOS	115
	APÊNDICE B – IMAGENS FALSECOLORS DOS AMBIENTES	126
	APÊNDICE C – MATRIZ DE CORRELAÇÕES DAS VARIÁVEIS FOTOMÉTRICAS	139

## 1 INTRODUÇÃO

A eficiência energética é um tema muito relevante para o atual contexto global, pois contribui para reduzir as emissões de poluentes na atmosfera e aumenta o nível de conforto ambiental nas edificações (SHAFABI *et al.*, 2020).

Em climas quentes, como no caso do Brasil, as aberturas devem ser projetadas para permitir a entrada da iluminação natural e bloquear o calor para evitar desconforto térmico ou aumentar a necessidade de climatização artificial (WIENOLD *et al.*, 2019). Uma vez que a radiação solar direta chega no plano de trabalho, os usuários usualmente fecham os dispositivos de proteção internos, os quais podem permanecer fechados por horas, dias e até meses após o evento, mesmo após o desaparecimento do desconforto visual causado pelo ofuscamento (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2014).

Tendo em vista que o aproveitamento da iluminação natural traz, necessariamente, todo o espectro da radiação solar, é necessário planejar cuidadosamente o comportamento solar em relação à iluminação e ao calor, e suas dificuldades de combiná-los (RICCIARDI; BURATTI, 2018). No caso dos climas tropicais úmidos, os autores pioneiros na área de conforto ambiental evidenciaram o projeto de aberturas com elementos de sombreamento. Esses elementos obstruem a projeção de céu que coincide com a trajetória do sol (nos momentos de ocupação) e permitem o acesso a uma fração de céu visível suficiente para possibilitar a entrada da luz difusa, alcançadas por meio de medições ou cálculos (OLGYAY, 1963). Dentre eles evidencia-se a abordagem “Sol-Ar”, fundamentada em diagramas da trajetória do sol, tabelas com iluminação natural direta, determinação de obstruções externas e máscara de sombras por meio de projeções estereográficas (OLGYAY, 1963).

Os estudos que abordam questionários subjetivos juntamente com medições de variáveis ambientais são movidos pela necessidade de análise de espaços reais, para se investigar a influência do ofuscamento (excesso de brilho) e sua relação com a qualidade da iluminação natural em ambientes internos (FAKHARI; VAHABI; FAYAZ, 2021).

Para pesquisas locais, o sombreamento da abertura, com parâmetros limitados à iluminância, mostrou-se crucial no uso da iluminação natural. As aberturas sombreadas de tamanho médio ou grande foram sugeridas (para compensar a sombra) com vistas para o Norte ou Sul e aberturas com sistemas de sombreamento móveis direcionados para o Leste, caso contrário, haverá falta ou excesso de luz (INANICI; HASHEMLOO, 2017). De maneira geral, a implementação dessas recomendações tem se mostrado insuficiente ao observar que as pessoas que fazem uso de ambientes climatizados artificialmente, com aberturas devidamente

sombreadas, habitualmente fecham as cortinas e persianas, e deixam de fazer conexão com o exterior, além de perder as funções das aberturas como iluminação natural, qualidade ambiental e casual uso da ventilação natural. Dessa forma, os critérios de desempenho lumínico logo se mostram insuficientes para evitar o desconforto, sendo também necessário se considerar os vários enfoques do ofuscamento.

O ofuscamento é o contraste causado pelo brilho das fontes de luz dentro do campo visual. Segundo Schweiker *et al.*, (2017) esse clarão de desconforto normalmente é definido como uma sensação psicológica que causa distração ou incômodo, sem necessariamente estar associada com a redução da capacidade visual. O desconforto surge da luminância de uma fonte de luz ou contraste de luminância dentro do campo visual do observador que é suficientemente maior do que as condições às quais os olhos são capazes de se adaptar. Para estes autores, os projetistas buscam minimizar o risco de causar desconforto; pode-se estimar o risco de desconforto por ofuscamento por meio de uma série de índices e diferentes procedimentos de cálculo e/ou medições.

Os principais índices de desconforto visual por ofuscamento são o índice de ofuscamento em iluminação natural (DGI); a probabilidade de ofuscamento em iluminação natural ou DGP; o índice de ofuscamento da CIE (*Comission Internationale de L'Eclairage*) (CGI); a probabilidade visual de conforto (VCP); e o *Unified Glare Rating* (UGR), conforme recomendado pela *Society of Lighting* (SLL) e originalmente desenvolvido pela *International Commission on Illumination* (CIE). O UGR descreve o nível de desconforto devido ao brilho de acordo com a luminância, tamanho e localização da fonte de luz e a luminância do fundo (JAKUBIEC; REINHART, 2012).

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

O objetivo desta pesquisa é investigar a probabilidade de ofuscamento em ambientes de ensino devido ao uso da iluminação natural e artificial, por meio de medições *in loco* de grandezas fotométricas.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Identificar as grandezas fotométricas de iluminâncias e luminâncias nos ambientes de ensino avaliados;

- Identificar os fatores que causam ofuscamento em locais com aberturas sombreadas;
- Identificar as variáveis relevantes na análise da qualidade da iluminação natural, assim como promover a discussão metodológica relativa à avaliação de ofuscamento;
- Comparar a avaliação da probabilidade de ofuscamento, mensurada por índices técnicos em ambientes reais.

## 1.2 Justificativa

A comunidade científica internacional vem determinando indicadores para a medição da iluminação natural para avaliar os diferentes aspectos do conforto visual como quantidade de iluminação, distribuição da iluminação, qualidade da iluminação, ofuscamento (excesso de brilho) e a economia de energia (SHAFABI *et al.*, 2020). O método de coleta com medições é movido pela necessidade de análise de espaços reais, para se investigar a influência da iluminação natural em ambientes internos (FAKHARI *et al.*, 2021). As medições de iluminação permitem a avaliação do desempenho da iluminação natural em edifícios educacionais por meio de dados de pesquisa primária (AIMILIUS; HERACLEOUS, 2017).

Contudo, os métodos de avaliação da qualidade da iluminação estão limitados à avaliação da quantidade de iluminação (iluminância e luminância) incidentes nas áreas de tarefas. Dessa forma, pesquisadores como Leccese *et al.* (2020) apontam que os métodos mais antigos vêm sendo complementados por novos, como o uso integrado da tecnologia *High Dynamic Range* (HDR) comumente usada para desenvolver métodos de avaliação da qualidade da iluminação baseados na caracterização direta de valores de luminância e caracterização indireta de valores de iluminância.

Nesta busca por indicadores característicos de iluminação natural, surgiu também o *Daylight Glare Probability* (DGP), elaborado a partir de medições e avaliações pelos usuários, o qual para Reinhart (2014) é considerado o índice mais confiável para avaliação do risco de ofuscamento pela iluminação natural. O DGP foi integrado ao método deste trabalho, que juntamente com as fotografias HDR são tidos como as ferramentas mais relevantes de avaliação do ofuscamento da iluminação natural (MAHMOUDZADEH *et al.*, 2021; ZHANG *et al.*, 2021; KORSAVI *et al.*, 2020).

Nesse sentido, é relevante destacar a compreensão acerca da existência de diferenças entre os índices técnicos de ofuscamento, calculados a partir da probabilidade desse evento ocorrer, com a percepção de ofuscamento de acordo com o que o usuário de um ambiente

identifica. Shafavi *et al.* (2020) salientam que poucos estudos vêm sendo realizados sobre a relação da iluminação natural e a vista exterior, e suas influências no conforto visual.

O estudo também apresenta a análise das variáveis da janela (dimensão, orientação e proteção solar) e da qualidade da vista exterior (distância e amplitude, características da vista e complexidade de informações), para determinar relações e quantificar a relevância de cada uma na qualidade do conforto visual do ambiente. Dessa maneira destaca-se que os índices de ofuscamentos atuais poderiam ser aprimorados pela adição de informações sobre a qualidade lumínica do ambiente (WONG *et al.*,2021).

A partir das pontuações mencionadas acima, a amostra da pesquisa foi limitada a análise de quatro ambientes de ensino, de dois blocos distintos da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, situados no campus Cidade Universitária em Campo Grande/MS.

### **1.3 Estrutura da dissertação**

A dissertação foi estruturada em cinco capítulos: introdução; referencial teórico; método; análise dos resultados e discussões, e conclusão.

No primeiro capítulo foi feita a apresentação do tema, por meio da introdução, onde foram abordadas a justificativa e a problemática da pesquisa, evidenciando a complexidade do estudo sobre ofuscamento em contexto de ambientes de ensino. Também foram mencionados o objetivo geral e os objetivos específicos almejados com a pesquisa.

O capítulo 2 trata do Referencial Teórico que fundamentou a compreensão das temáticas relativas com itens como desempenho lumínico, conforto visual, parâmetros de avaliação de ofuscamento, formas de interação dos usuários com as aberturas. O estudo da Revisão Bibliográfica se fundamentou na compreensão dos assuntos relativos com a temática pertinente ao ofuscamento e iluminação natural, e de sua influência na qualidade lumínica do ambiente, ao longo do dia. Na sequência foram abordados os valores mínimos de iluminâncias horizontais pré-determinados, com destaque para os estudos realizados a nível internacional e nacional acerca da iluminação natural em ambientes reais e medidas dinâmicas de análise do comportamento luminoso.

O capítulo 3 apresenta os procedimentos metodológicos empregados para se atingir os objetivos desta pesquisa, ao definir e caracterizar os ambientes analisados (apresentação dos edifícios estudados, suas tipologias, seu entorno e os ambientes selecionados), além dos métodos de levantamento das informações lumínicas dos ambientes. O método ocorreu por meio da análise do comportamento do ofuscamento com medições e registros fotográficos, com

a finalidade de identificar as principais causas para o fechamento dos dispositivos de sombreamento. O ofuscamento foi avaliado por meio de medições e dos índices de iluminância e luminância (com o uso de luxímetro e luminancímetro) assim como do uso de imagens HDR, com o objetivo de determinar as principais origens do desconforto e medir os principais índices de avaliação de ofuscamento.

O Capítulo 4 apresenta a discussão dos resultados referentes ao risco de ofuscamento que compreende a caracterização da amostra (ambientes e tipos de céu), desempenho luminoso (iluminância, luminância, DGI, DGP), organização espacial (brilho de céu, brilho de céu refletido nas persianas, reflexões do entorno, iluminação artificial refletida, iluminação natural direta) e considerações finais sobre ofuscamento e iluminação natural. Nesta última etapa, os resultados foram combinados com o objetivo de estabelecer uma conexão entre os fatores que causam desconforto com a organização espacial.

Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões que foram organizadas de acordo com os objetivos específicos e gerais, e são complementadas pelas limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo trata da fundamentação teórica e da revisão bibliográfica da pesquisa. Levantam-se questões sobre conforto visual, medidas de análise de ofuscamento, interação do usuário com a abertura, uso de imagens HDR no estudo das luminâncias, e medidas de análises do desempenho lumínico.

### 2.1 Considerações sobre conforto visual

O conforto é definido como “função da relação que o homem estabelece com seu meio-ambiente”, que depende de elementos como “luz, som, calor, uso do espaço e das experiências próprias de cada indivíduo”. Portanto, estaria relacionado “por meio de respostas fisiológicas e de sensações (inclusive de natureza subjetiva de difícil avaliação), de estímulos físicos, objetivos e facilmente mensuráveis” (SUK, 2019).

As causas mais comuns de comprometimento do conforto visual em ambientes de trabalho incluem níveis baixos de iluminação, reflexões, baixo índice de reprodução de cores, falta de privacidade e, especialmente, contraste com o monitor em razão da incidência de iluminação natural direta, pois é pouco provável que devido ao ofuscamento causado pela reflexão da luz solar refletida diretamente na tela do seu computador, um usuário consiga apreciar a vista para o exterior da luz solar refletida diretamente na tela do seu computador (REINHART, 2014). Por outro lado, a fadiga visual pode ser causada por excesso de iluminação ou níveis insuficientes de iluminância, que prejudicam a sensibilidade visual devido à adaptação e contraste de luminâncias e saturação visual que dificultam a visão.

De acordo com Ayub (2019) a uniformidade da iluminação pode ser determinada a partir do cálculo da razão entre uma iluminância média do local e uma iluminância mínima da estação de trabalho para se evitar desconfortos visuais.

Um dos motivos de desconforto visual é o ofuscamento, que é determinado como sendo uma sensação visual causada por uma distribuição transmitida da luz com um brilho excessivo e não controlável ou o contraste entre uma área brilhante e outra escura no campo da visão. Ele causa desconforto ou reduz a capacidade de ver objetos, e por isso é um componente crucial do conforto visual porque dificulta a realização de certas tarefas (BOURNAS; DUBOIS; LAIKE, 2020).

Boutet *et al.* (2020) afirmam que o ofuscamento é classificado em duas categorias: inabilitador e desconfortável. O ofuscamento fisiológico, ou efeito de veladura, que obscurece

a visão dos objetos imediatamente próximos à fonte luminosa, é conhecido como ofuscamento inabilitador. O ofuscamento causado por uma sensação de desconforto visual é chamado de desconforto ou deslumbramento.

Silva (2020) explica que quando uma fonte de luz incide diretamente na visão, o ofuscamento é chamado de direto e quando a fonte de luz vem da reflexão de uma superfície, o ofuscamento passa a ser indireto. O autor também sugere outras considerações a serem ponderadas na classificação da qualidade luminosa como o espectro da radiação, reprodução de cor, temperatura de cor e aceitação do usuário.

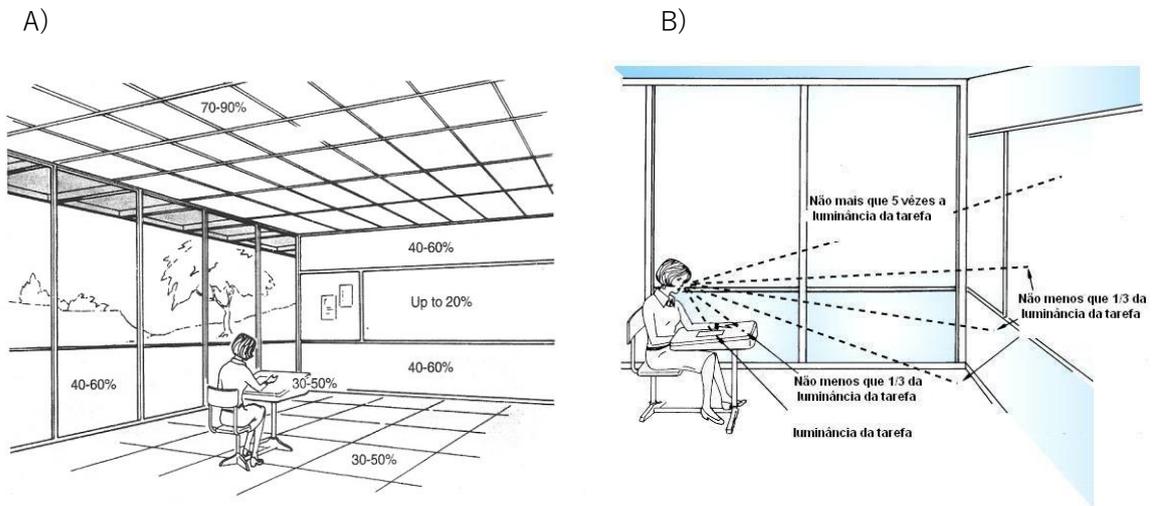
Em virtude da luminância da fonte, da sua forma, de seu ângulo visual e de sua posição em relação à linha de visão, bem como à luminância do resto do campo visual, o ofuscamento pode causar desconforto ou incapacidade de realizar tarefas de forma direta ou por reflexão (SCHWEIKER *et al.*, 2020). O brilho e a luminância dependem da iluminância de “um objeto, de suas propriedades refletivas, e de sua área projetada em um plano perpendicular à direção da visão” (IESNA, 2000). O ofuscamento indireto ocorre quando uma imagem da fonte de luz reflete em uma superfície polida, enquanto o ofuscamento direto ocorre pela visualização direta da luz (DABBAGH; KRARTI, 2021).

O ofuscamento é influenciado pela localização da fonte de ofuscamento e pela proximidade do campo de visão. “*No entanto, um estudo de ofuscamento para uma única janela descobriu que o desconforto não dependia apenas do tamanho e da distância do observador, mas também foi significativamente influenciado pela luz do céu*” (DAY *et al.*, 2019). Além disso, foi observado que os usuários toleram melhor o ofuscamento proveniente do céu do que da iluminação artificial (DAY *et al.*, 2019).

Conforme Olbina e Hu (2018), a iluminação dos ambientes devem apresentar condições favoráveis de visibilidade para as tarefas próprias. Porém, este é um atributo da capacidade visual característica dos indivíduos, a quantidade de iluminação projetada no ambiente ou na superfície de trabalho e, também, da equilibrada distribuição da iluminância no ambiente, evitando-se problemas de adaptação desconfortável da visão em razão dos ofuscamentos (KORSAVI; ZOROMODIAN; TAHSILDOOST, 2016).

Conforme as considerações de Vásquez *et al.* (2011), o manual IESNA (2000) retrata a relevância da refletância das superfícies interiores na distribuição da iluminação e mostra determinadas classificações para piso, parede e teto. A Figura 1, mostra a porcentagem de refletância na superfície de cada região, de um ambiente escolar.

Figura 1. Refletâncias recomendadas para superfícies e mobiliário de salas de aula (A). Proporção entre a luminância da superfície da tarefa visual e a luminância das superfícies mais significativas de sala de aula (B).



Fonte: IESNA (2000).

Para a IESNA (2000) é importante evitar grandes diferenças nos níveis de refletância entre as superfícies da tarefa visual e as superfícies mais significativas da sala de aula (Figura 1.A). As paredes, cortinas e persianas devem ser de cores claras e de mesma refletância. As paredes próximas às janelas devem ter alto nível de refletância para evitar grandes contrastes com as janelas o que pode gerar ofuscamentos. Para refletir luz em superfícies horizontais, os tetos devem ter superfícies altamente refletivas, preferencialmente brancas. O piso deve ser composto por material opaco com refletância aproximada de 30%.

Conforme IESNA (2000), para que não haja desconforto visual, os níveis de luminâncias devem ser mantidos de acordo com os níveis indicados na Figura 1.B. De maneira geral, para se evitar grandes diferenças, a luminância de luminárias e janelas devem ser reduzidas enquanto que das superfícies interiores devem ser aumentadas, maximizando sua refletância ou a quantidade de luz incidente nas mesmas.

A IESNA (2000) estabelece que com relação aos níveis de refletância dos materiais a quantidade de iluminação também se relaciona com os níveis de refletâncias dos materiais para ambientes internos, onde: pisos: 30-50%; plano de trabalho: 20-60%; paredes: 40-60%, luminância de no mínimo metade das do teto e teto: 70 a 90%. Relativo ao conforto visual, para impossibilitar o ofuscamento, a norma determina que a luminosidade da tarefa deva ser cinco vezes maior do que qualquer outra superfície vista diretamente.

De maneira geral, existem várias orientações de limites para a distribuição de luminância no campo visual (Tabela 1), levando em consideração a razão entre a luminância

(brilho) de um objeto e a luminância de seu entorno, conforme condições, referências e superfícies internas (IESNA, 2000). Em geral, é aconselhável que as refletâncias sejam mais altas no teto e mais baixas no piso.

Tabela 1. Recomendações de refletâncias das superfícies

SUPERFÍCIES	IESNA
Teto	80% ou mais
Paredes	50%-70%
Mobília	25%-45%
Piso	20%-40%
Divisória	40%-70%

Fonte: adaptado de IESNA (2000).

Dentre outras técnicas os materiais podem ter suas refletâncias medidas, por meio de:

- Comparação da amostra com uma escala de cores da Alemanha *RAL CLASSIC K5* ou a carta de cores da CIBSE (CIBSE - *Chartered Institution of Buidling Services Engineers*, 2001 apud REINHART, 2014);
- Medição de iluminância e luminância (REINHART, 2014).

Silva (2020) explica que a interferência nos resultados das condições de iluminação sobre a sensação do conforto visual pode ocasionar fadiga visual, esforço físico, estresse e desmotivação. Para Sun e Hong (2017) dentre os aspectos visuais os que podem ser ajustáveis em nível projetual estão os fatores quantitativos da luz, distribuição de luminância, ausência de ofuscamento e contraste. Por essa razão, é fundamental a identificação e avaliação das situações de atividades anômalas, para que possam ser corrigidas, e ocasionar a prevenção de riscos para a saúde, como a fadiga visual e ofuscamento.

### 2.1.1 A fadiga visual

Conforme classificam Vásquez *et al.* (2019), fadiga visual é a manifestação de desconforto, de dor e irritação visual originária dos músculos enfraquecidos interligados ao globo ocular, responsáveis pelos movimentos, focalização e fixação dos olhos. As causas podem ser notadas na intensidade e duração do trabalho físico e mental, aspectos fisiológicos, na iluminação causada pelo excesso de brilho (ofuscamento), ruído (aspectos ambientais), desconforto com o clima, ansiedades ou conflitos, na monotonia, nas mudanças organizacionais e na falta de motivação (AYOUB, 2019).

Para Vásquez *et al.* (2019), como consequência, os resultados podem gerar desde o

aumento do absenteísmo, problemas de relacionamento interpessoal e redução da produtividade. A quantidade adequada de iluminação deve ser determinada entre 10 lux a 1000 lux; caso, esses valores sejam superados, não ocorrerá melhorias, mas sim aumento da fadiga visual o que interfere no bem-estar dos usuários (DOULOS *et al.*, 2019).

Existem também os aspectos não visuais da iluminação, também conhecidos como efeitos biológicos da iluminação que interferem no sistema circadiano ou ritmo circadiano dos seres humanos influenciando os aspectos químicos, biológicos e comportamentais. O sistema circadiano funciona como um relógio biológico interno que regula diversas funções no corpo: ritmo de sono e vigília, temperatura corporal, secreção de hormônios como melatonina, serotonina e cortisol (IESNA, 2011).

A iluminação natural, devido ao seu espectro mais equilibrado, tem possibilidade de interferir de forma mais efetiva na sincronização do ritmo circadiano. Porém esta mudança pode ser feita com o uso de lâmpadas que forneçam quantidade de iluminação suficiente, de forma a conseguir resultados semelhantes à iluminação natural (HAMEDANI *et al.*, 2020).

### **2.1.2 Ofuscamento**

De acordo com as compreensões de Lamberts *et al.* (2014), a definição de ofuscamento está relacionada com a variação de iluminação, causando desconforto e até perda de visão em razão do excesso de brilho refletido nas superfícies e tempo de exposição à grandes claridades.

A Illuminating Engineering Society of North America – IESNA (2000) também estabelece duas formas de provocar o ofuscamento, são elas: fontes de iluminação artificial e natural. A primeira é causada pelo excesso de iluminação da fonte de luz ou sua localização, diante do campo de trabalho. Por sua vez, a segunda é ocasionada pela iluminação natural e tipos de céus, sendo os índices de ofuscamento regulados nos intervalos de 5000,0 lux a 120.000,0 lux de iluminância horizontal. A tabela 2 mostra valores de luminância de determinadas fontes luminosas, com os limites que o olho humano aceita para não sofrer ofuscamento e nem prejudicar a retina.

Tabela 2. Valores de luminância em fontes luminosas

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

Fonte: Adaptado de Santana (2018).

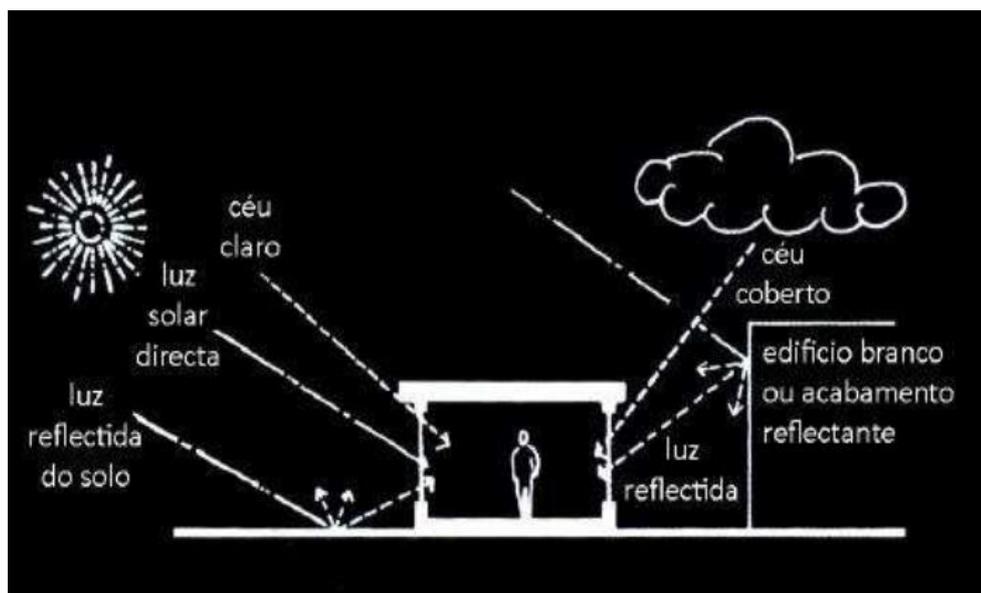
Em seus estudos Wong *et al.* (2021) apontam que um dos principais aspectos da iluminação natural está relacionado com a sazonalidade (variação de luminosidade natural de acordo com a época do ano e a hora do dia, clima e tipos de céus), com a qualidade do ar, com a refletividade das superfícies internas, com o sítio, considerando as características físicas e geográficas do terreno e entorno da edificação.

## 2.2 Sistemas de abertura

Para Ayoub (2019) a localização, orientação, tamanho das aberturas, tipos de materiais do envidraçamento e os sistemas de sombreamento influenciam na distribuição da iluminação natural dentro das edificações. A IESNA (2012) recomenda sempre que possível posicionar aberturas no plano do teto para facilitar o controle do ofuscamento e a distribuição da iluminação no interior dos recintos.

Segundo Dabbagh e Krarti (2021) a iluminação natural que transpassa uma janela (Figura 2) pode ser derivada de diferentes fontes: iluminação solar direta, iluminação refletida do solo, céu claro, céu parcialmente encoberto, vegetação e edifícios. A depender da fonte, a iluminação varia tanto em quantidade e carga térmica, quanto em fatores qualitativos de: cor, eficácia e difusão.

Figura 2. Fontes de iluminação natural.

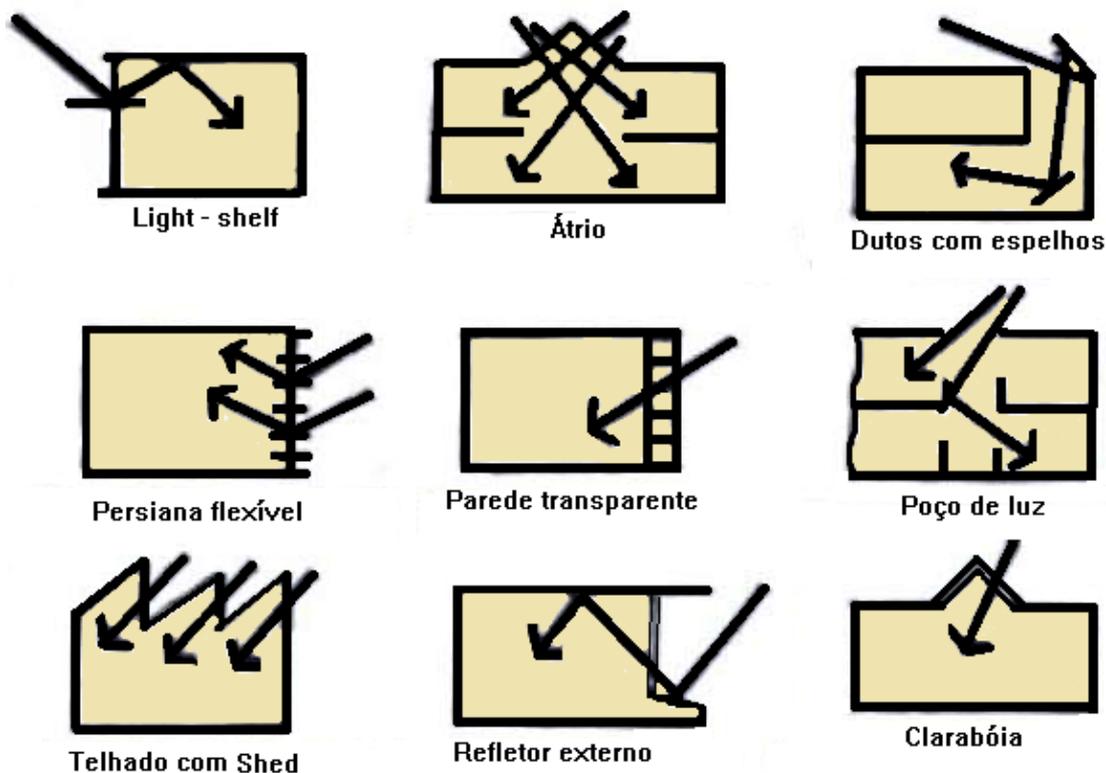


Fonte: Lima (2017).

A iluminação natural nos ambientes internos é originária de aberturas localizadas nas regiões verticais e horizontais (NASROLLAHI; SHOKRY, 2020). Conforme Lu *et al.* (2020) existem diferentes configurações de aberturas como: lateral, zenital, inclinada com luz direta do sol, indireta e outras. Para Mahić *et al.* (2017) estes sistemas têm como finalidade fornecer determinada quantidade de iluminação aos ambientes e promover bom desempenho visual para os mesmos, cada formato oferece diferentes distribuições e qualidade de iluminação no interior das edificações. A orientação das aberturas é um aspecto determinante na qualidade da iluminação natural obtida (KHLEDJ; BENCHEIKH, 2021).

Para Reinhart (1997) existe uma variedade de sistemas para controlar e direcionar a iluminação que adentra no interior dos ambientes (Figura 3). A finalidade principal destes sistemas ou estratégias de iluminação natural não se resume apenas em maximizar os níveis de iluminação dentro de uma edificação, mas também otimizar a qualidade da iluminação no recinto e por conseguinte melhorar o conforto visual dos usuários.

Figura 3. Diferentes sistemas de iluminação natural



Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.* (1997).

Segundo Mahić *et al.* (2017) existem aberturas laterais e zenitais, no entanto o sentido deste estudo está direcionado para a primeira classificação. Estes autores salientam que as aberturas laterais apresentam variações desde as dimensões (comprimento  $\times$  altura  $\times$  largura) até as localizações e peitoris (Tabela 3).

Tabela 3. Tipos de aberturas laterais

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

Fonte: Adaptado de Mahić *et al.* (2017).

A IESNA (2000) categoriza a iluminação artificial em iluminação direta (fluxo luminoso emitido para baixo), indireta (fluxo luminoso ascendente), semidireta (fluxo luminoso de 60% a 90% por cento para baixo), semi-indireta (fluxo luminoso de 60% a 90% por cento para cima) e uniforme (quando a distribuição do fluxo luminoso ascendente e descendente se correspondem, variando entre 40% a 60%).

De acordo com Vilcekova *et al.* (2017), quando houver a integração da iluminação natural com a artificial deve-se seguir uma técnica classificada como Iluminação Artificial Suplementar para Interiores (IASPI), conforme a qual um dos requisitos é utilizar a iluminação natural como fonte principal. O método envolve a subdivisão do ambiente em zonas de iluminância, determinando os locais deficientes, para que a iluminação artificial seja complementar da iluminação natural. Para tanto, as zonas dependem dos tipos de aberturas, do tipo de céu e período, e uma vez determinados os locais deficientes, determina-se as estratégias de intervenção que diminuam o consumo de energia.

Segundo Vilcekova *et al.* (2017) um dos equipamentos que contribuem para redução do consumo energético luminoso são os dimerizadores, que controlam o ajuste gradativo dos níveis de iluminância caso haja aumento ou diminuição da iluminação natural no ambiente. Esse tipo de sistema é programável para controlar a potência da lâmpada por meio de fotocélulas, o que viabiliza o aumento da vida útil dela, assim como a uniformidade lumínica do ambiente.

## **2.2.1 Relação dos usuários com as aberturas**

A iluminação natural é essencial para que um objeto se torne visível e, segundo Lim *et al.* (2017) é também responsável por preparar o corpo e a mente para as ações a serem realizadas. Com esse entendimento, este tópico discorre acerca das condições de iluminação para que os ocupantes pratiquem suas tarefas sem impactos negativos, especialmente em sua fisiologia humana e no meio ambiente.

De acordo com Vilcekova *et al.* (2017) a frequência de operação de janelas, persianas e iluminação artificial é maior no momento da chegada ou saída dos usuários no recinto, com frequência de 5,7 vezes para abaixar as persianas e 5,5 vezes para levantar as persianas. Frequentemente as persianas são posicionadas de maneira a assegurar iluminação natural difusa e vistas para o exterior até que haja desconforto (DABBAGH; KRARTI, 2021). Já os ajustes dos *brises* são preferencialmente corretivos para se obter conforto e não há ajustes preventivos (FUTRELL *et al.*, 2017). Os dispositivos fechados podem levar dias, semanas ou mesmo meses até que sejam reabertos (OLBINA; HU, 2018). Mesmo que a radiação solar tenha mudado

drasticamente durante o período, as persianas tendem a continuarem fixas durante o decorrer da semana (QIU *et al.*, 2020).

A interação dos usuários com os sistemas de aberturas pode ter diversas motivações como: brilho ou ofuscamento (SALAMATI *et al.*, 2020); busca por privacidade (SUN e HONG (2017); vista para o exterior (KOO *et al.*, 2020); orientações de fachada e respectivo período de exposição à iluminação direta ao longo do tempo (KHLEDJ; BENCHEIKH, 2021); autonomia do usuário onde as ações de acionamento são habitualmente desempenhadas pelas mesmas pessoas, com perfis de liderança ou influência (BOYCE *et al.*, 2006); preferências pessoais (ACOSTA *et al.*, 2019); tipo de uso: o acionamento das persianas em ambientes de escritório é 20% maior do que em ambientes de ensino (MAHMOUDZADEH *et al.*, 2021); a probabilidade maior de acionamento das persianas na chegada ao ambiente é maior do que em outros períodos do dia (VILCEKOVA *et al.*, 2017); facilidade de acionamento do sistema: usuários tendem a ser mais ativos se os sistemas de controle forem de fácil manuseio (RODRIGUEZ *et al.*, 2017); automação: persianas com controle remoto são usadas três vezes mais do que as manuais (ZHANG *et al.*, 2021); satisfação com o resultado: usuários insatisfeitos frequentemente rejeitam o sistema (XUE e MAC, 2017), ainda que seja com controle automático onde a correção é feita manualmente pelos próprios usuários conforme monitoramento de Reinhart (2014).

### **2.3 Normas técnicas**

De acordo com Vásquez *et al.* (2019) os ambientes de ensino exigem normas e recomendações que possam assegurar os níveis adequados para os usuários desses espaços, como professores e alunos. Como os recomendados pelo *The Lighting Handbook* da IESNA (2000). Conforme o livro, as características desses edifícios educacionais estão em contínuas transformações com oportunidades de inovação do sistema de iluminação e melhorias no aproveitamento da iluminação natural em tais ambientes.

As normas e manuais concernentes à iluminação de ambientes escolares são determinadas pelo Illuminating Engineering Society of North America – IESNA (2000), e no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 8995-1, que determina todos os requisitos para que os usuários desempenhem suas atividades visuais de forma eficiente com qualidade, conforto e segurança durante o período de trabalho.

Vásquez *et al.* (2019) afirmam que a iluminação de ambientes de ensino precisa de dimensionamento adequado de forma que os planos horizontais e verticais recebam a

quantidade adequada de iluminação para a efetivação de suas atividades visuais.

De acordo com Lima (2017) as principais inserções na norma 8995:1 estão relacionadas especialmente com a adoção de tarefas e de fatores quantitativos, como o controle de ofuscamentos e reprodução mínima de cor na realização das tarefas. Outro aspecto relevante se relaciona com a iluminação natural e a manutenção do sistema de iluminação.

As circunstâncias dos tipos de céus estão relacionadas com a distribuição espacial da iluminação. Dessa forma, é relevante identificar os tipos de céu na qualidade e quantidade de iluminação natural em ambientes construídos. Conforme as compreensões de Amorim *et al.* (2017) em razão da grande quantidade de variações a *Commission Internationale De L'Eclairage* (CIE) publicou a Norma 15469(E)/CIE S011/E:20033 (ISO, 2004), descrevendo os tipos de céus sob esse extenso leque de variações, mas determinando-os em três tipos de céus, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4. Iluminância por tipos de céu.

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

Fonte: ISO 15469:2004 (E) / CIE S011/E:20033, adaptado pela autora (2021).

Quanto aos ambientes educacionais, a ISO/CIE 8995-1/2013 e IESNA (2000) levantam aspectos quantitativos e qualitativos da iluminação relacionados aos níveis de refletâncias dos materiais para ambientes internos. A primeira determina 500 lux na superfície de trabalho e 300 lux no entorno imediato, já a segunda fixa a quantidade de 300 – 500 lux para as salas de aula.

## 2.4 Parâmetros avaliativos de ofuscamento

Bakmohammadi e Noorzai (2020) consideram dois tipos de ofuscamentos: o ofuscamento por contraste, ocorre quando a diferença entre a luminância do objeto e do entorno imediato não admite a percepção dos detalhes ou de informação, como, por exemplo, a situação de desconforto gerado pela visualização do rosto de um indivíduo tendo ao fundo uma janela; ou o ofuscamento por saturação que ocorre quando a luminância é exagerada, gerando perda parcial da visão.

Reinhart (2014) considera que o desconforto também depende da posição que o

observador ocupa em relação à fonte perturbadora e a possibilidade de existência de outras fontes perturbadoras dentro do campo visual. Para Reinhart (2014) quanto mais próxima do observador a fonte luminosa estiver mais haverá intensidade de brilho; e quanto mais distante a fonte luminosa estiver, menor será sua perturbação. De maneira geral, fontes relativamente grandes e excessivamente brilhantes aumentam a probabilidade de ofuscamentos, ou seja, de desconforto.

Para Bakmohammadi e Noorzai (2020) as medidas avaliativas de ofuscamento se relacionam com a iluminância e a luminância e as mais relevantes são: iluminância, índice de ofuscamento e iluminação natural (DGI), novo índice de ofuscamento em iluminação natural (DGIN), índice de ofuscamento (CGI) da CIE (*Comission Internationale de L'Eclairage*), índice de ofuscamento unificado (UGR), probabilidade visual de conforto (VCP), probabilidade de ofuscamento em iluminação natural (DGP) e probabilidade de ofuscamento em iluminação natural (DGPadaptativo).

O índice de ofuscamento por iluminação natural (DGI - *Daylight Glare Index*), denominado de equação de Cornell, foi elaborado por Hopkinson (1972) e está baseado numa série de pesquisas na Inglaterra. De acordo com Tregenza e Loe (2015), o DGI representa uma correlação entre a luminância (brilho), ângulo sólido da fonte de ofuscamento e luminância média no campo de visão. Contudo, o DGI não é tido como confiável quando existe incidência solar direta ou reflexões especulares no campo de visão, tal fato se justifica em razão do brilho de céu de Konstantzos e Tzempelikos (2017) não levar em conta esses aspectos. Tal índice representa baixa probabilidade de ofuscamento mesmo diante da luz direta, em virtude de ter sido desenvolvido pela luz solar difusa.

Conforme Konstantzos *et al.* (2015) o DGI foi elaborado por meio de pesquisas com seres humanos para caracterização do ofuscamento segundo uma escala múltipla de critérios (aceitável, limite, não aceitável) e de validação do limite deste índice baseando-se na opinião de usuários, *in loco*, levando em conta a escala: muitíssimo restritivo, muito restritivo, concordo, muito permissivo, muitíssimo permissivo.

Segundo Jakubiec e Reinhart (2012) o DGIN é uma adaptação do DGI que considera a luminância da janela, luminância de adaptação e luminância exterior. O DGIN não foi validado com usuários, também não considera as reflexões especulares e as fontes de luminância direta, demanda uma informação geométrica complexa, e seu uso é questionável.

De acordo com Jakubiec e Reinhart (2012) o índice de ofuscamento da CIE (CGI) é retratado pela luminância da fonte, ângulo sólido da fonte, índice de posição de Guth, iluminância no olho em razão de todas as fontes, luminância vertical no olho devido à luz inter

refletida e iluminância vertical no olho. Valores acima de 28 são intoleráveis, enquanto aqueles abaixo de 13 são imperceptíveis (JAKUBIEC; REINHART, 2012).

Segundo Reinhart *et al.* (2014), índice de probabilidade de conforto visual o (VCP - *Visual Comfort Probability*) corresponde ao percentual de usuários que aceitam o sistema de iluminação, sentindo-se confortáveis. O índice tem como base avaliações de ofuscamento desconfortável para diferentes tamanhos, luminâncias, números de fontes de ofuscamento, campo de visão e luminância de fundo, sendo útil para avaliar os sistemas de iluminação segundo o percentual de aceitação dos usuários, tendo como critério a percepção de brilho da luz direta (IESNA, 2000).

Conforme Jakubiec e Reinhart (2012) o emprego do VCP para avaliações de iluminação natural oferece resultados diferentes em relação aos outros sistemas porque foi desenvolvido especificamente para a iluminação artificial.

De acordo com Konstantzos *et al.* (2015) o índice de ofuscamento unificado (UGR – *Unified Glare Ratio*) é uma simplificação do CGI, que foi desenvolvido em resposta às dificuldades no cálculo da iluminação direta necessária para o CGI. Para Wienold *et al.* (2019) este preceito desconsidera a iluminação direta e apresenta a escala numérica de classificação do CGI, onde os valores acima de 28 são tidos como intoleráveis e abaixo de 13 são considerados imperceptíveis. “*As condições exatas de teste e pesquisa com usuários que levam a derivação da UGR não são claramente discutidas no relatório técnico divulgado pela CIE*” (JAKUBIEC; REINHART, 2012).

Segundo Christoffersen (2009) a probabilidade de ofuscamento por iluminação natural (DGP – *daylight glare probability*) é um índice empírico, em razão da iluminância vertical do olho, ângulo sólido da fonte, luminância da fonte e índice de posição, e são determinados como a luz solar direta e as reflexões especulares no cálculo do DGP. “*Em cenas com brilho excessivo, o desconforto pode ser determinado mesmo sem uma mudança significativa do contraste visual*” (JAKUBIEC; REINHART, 2012).

## **2.5 Procedimentos com medições**

Nas aferições dos índices de avaliação de ofuscamento (SALAMATI *et al.*, 2020), as medições ambientais favorecem a caracterização de condutores das ações dos usuários na relação à sistema, como cortinas e persianas (REINHART, 2014), possibilitando a identificação de aspectos como o controle das persianas e os baixos índices de desligamento da iluminação artificial em ambientes de ensino (OLBINA, 2018).

O protocolo da IEA sobre procedimentos de monitoramento para avaliação do desempenho luminoso em edificações, elaborado por Christoffersen (2009), é um exemplo de protocolo que deve ser seguido para medições de luminância e iluminância. Para esse tipo de avaliação na maioria das vezes os luminancímetros e os luxímetros são necessários, no entanto, a utilização de fotografias do tipo *High Dynamic Range* (HDR) pode auxiliar.

Mesmo em situações em que a cena é altamente contrastada, as fotografias HDR oferecem o maior nível de detalhes possível (TREGENZA; LOE, 2015) sendo indicadas para análise de ofuscamento (HARA, 2018; INANICI, 2013; VÁSQUEZ *et al.*, 2019).

Trata-se de um método para fundir imagens HDR usando várias fotografias com diferentes tempos de exposição (INANICI, 2004; JAKUBIEC; REINHART, 2014), que permite o registro de grandes valores de luminância (JAMROZIK *et al.*, 2019). Para o registro das fotografias deve ser utilizada uma câmera que tenha função de resposta capaz de "fundir sequências de fotografia em uma única imagem HDR" (REINHART 2014), ou podem ser produzidos por meio de uma sequência de fotos em uma câmera compacta padrão (TABADKANI *et al.*, 2020). Para isso, são necessárias fotografias com diferentes tempos de exposição (TREGENZA; LOE, 2015). Para obter uma curva de resposta da câmera adequada, a imagem HDR deve rigorosamente representar uma maior amplitude de valores de intensidade encontrados em cenas reais (VAJÃO, 2015).

Jakubiec e Reinhart (2012) sugeriram na elaboração de imagens HDR usar programa específico para calibrar a imagem. Para registrar as imagens, uma câmera fotográfica digital com tripé deve ser usada e o fator de exposição deve ser ajustado entre -2 e +2 (JAMROZIK *et al.*, 2019). As imagens devem ser baixadas e abertas no programa *Aftab Alpha* (HARAS, 2018). As fotos são unidas nesta plataforma, em seguida, Haras (2018) diz que é possível inserir o valor de luminância em um ponto de calibração da imagem. O programa HDR *Luminance* pode editar e aumentar a dimensão de uma imagem (CARDOSO, 2020). O componente *Glare Analysis* do *Aftab Alpha*, integrado na plataforma, pode produzir imagens com vários critérios de ofuscamento (HARAS, 2018). Imagens de alta resolução podem ajudar a identificar o DGP (KHLEDJ; BENCHEIKH, 2021). Conforme mostrado na Tabela 2-2, adaptada de Bian *et al.* (2018), o DGP, o DGI e a iluminância vertical do olho são classificados e correlacionados de acordo com os critérios imperceptível, perceptível, perturbador e intolerável.

Christoffersen (2009) salienta que o DGP é relacionado a um percentual de indivíduos que se sentem desconfortáveis em relação à iluminação natural. O DGP indica a probabilidade de ocorrência de ofuscamento gerada pela iluminação natural baseada na iluminação vertical

no plano da face do indivíduo, evidenciando uma significativa correlação com a percepção visual dos usuários (Tabela 5).

Tabela 5. Valores dos principais índices de ofuscamento em função da sensação visual.

	<b>Imperceptível</b>	<b>Perceptível</b>	<b>Desconfortável</b>	<b>Intolerável</b>
<b>DGI</b>	< 18	18-24	24 -31	> 31
CGI	< 13	13-22	22 -28	> 28
UGR	< 13	13-22	22 -28	> 28
VCP	80 - 100	60-80	40 - 60	< 40
<b>DGP</b>	< 0.35	0.35- 0.40	0.40 - 0.45	> 0.45

Fonte: Adaptado de Reinhart (2014).

Dos índices apresentados pela Tabela 1, apenas o DGI e o DGP (destacados de amarelo) foram desenvolvidos considerando a presença de fontes luminosas de dimensões relevantes dentro do campo visual como, por exemplo, uma janela com visualização do céu.

Conforme Wienold *et al.* (2019) em 95% do horário de ocupação os valores DGP devem ser menores ou iguais à classificação do “imperceptível”, enquanto em 5% restante do horário de ocupação o DGP médio deve ser menor ou igual ao valor médio “perceptível”.

Para Wienold *et al.* (2019) o índice foi obtido por meio de um experimento com três dimensões de janelas, com três dispositivos de sombreamento do tipo persiana. No ambiente foram instalados dois sensores de iluminância e luminância, uma câmera com um sensor de medição da iluminância vertical ao nível do olho, e uma estação meteorológica para medição da iluminância total difusa e irradiância. Conforme Wienold *et al.* (2019) o DGP apresenta uma melhor correlação  $R^2=0,94$  a probabilidade de indivíduos perturbados do que a iluminância vertical do olho  $R^2=0,77$ .

Segundo Reinhart (2014) o DGP apresenta o melhor desempenho dentre os demais processos em ambientes com incidência de iluminação solar direta, e normalmente relaciona a iluminação solar direta com o ofuscamento, que é computado ainda que não exista contraste excessivo, mas que tenha luminância excessiva dentro do campo de visão. Jakubiec e Reinhart (2012) afirmam que o DGP é a medida com maior robustez, alcançando boas respostas para a maioria das situações simuladas com iluminação natural, incidência de iluminação natural direta e fontes de luminância especular.

Para Reinhart (2014) em condições de iluminação solar difusa, o DGP, DGI, UGR e CGI são bem correlacionados e foram obtidos resultados similares para a simulação computacional. O CGI é a métrica que apresenta maior robustez entre os três princípios

mencionados, faz uma previsão mais sólida em casos de altos níveis de desconforto (JAKUBIEC; REINHART, 2012).

Há outro indicador denominado DGP adaptativo que, de acordo com Wienold *et al.* (2019), leva em consideração o fechamento do sistema de proteção pelos usuários quando o ofuscamento atinge o índice de 0,45, considerado como perturbador. Reinhart (2012) considera que existe um aumento da área iluminada para 100% com a autonomia de iluminação natural (DA) de 72,01% com o DGP adaptativo no controle do acionamento das persianas. Para Jakubiec e Reinhart (2012) a autonomia de iluminação natural se refere ao percentual de horas do ano em que o nível mínimo de iluminância requerido é mantido somente com a iluminação natural. Já o conceito de zona adaptativa diminui o número de horas com o ofuscamento intolerável ao ano e aumenta a média de disponibilidade de iluminação natural (JAKUBIEC; REINHART, 2012).

É possível comparar as simulações de ofuscamento com outras técnicas de análise do ofuscamento, como fotografias HDR (*High Dynamic Range*), que fornecem uma visão do ambiente para um determinado dia, hora e condição do céu) e medições realizadas usando um luminômetro (FERNANDES, 2016).

Os modelos de simulação da iluminação natural evoluíram nos últimos anos, os quais simulam como os usuários mudam os controles de iluminação artificial e dispositivos de proteção internos.

## **2.6 Obtenção de imagens HDR e mapas de luminâncias**

Por meio de técnicas fotográficas são aplicados procedimentos para gerar imagens HDR (*High Dynamic Range*) com câmeras fotográficas digitais para se obter mapas de luminâncias. Regina e Takazaki (2015) explicam que as dimensões do sensor de uma câmera devem ser consideradas, pois quanto maior for o sensor, mais luz será capturada e uma imagem com maior definição será obtida, mesmo com uma densidade de pixel menor. Isso resulta em fotos de melhor qualidade e capacidade de ampliar sem perder resolução. Assim, é fundamental esclarecer que a resolução, que é determinada pela densidade de pixels, é um fator relacionado ao tamanho do sensor e que a qualidade da imagem é melhor com maior resolução.

Fator também de grande relevância é o controle da incidência da iluminação sobre o sensor da câmera fotográfica. Para Regis e Takazaki (2015), tal controle é a base da fotografia, podendo ocorrer de três maneiras: pelo tempo de exposição (*shutter speed*), pelo valor de exposição (*exposure value – EV*) e pelo valor *f-stop*. Segundo Regis e Takazaki (2015), o tempo

de exposição corresponde a velocidade do obturador e possibilita o controle do tempo e o sensor fica exposto à iluminação, normalmente em segundos (1 s, 2 s, 4 s, 6 s, etc) ou frações de segundos ( $1/2$  s,  $1/4$  s,  $1/8$  s, etc); quanto maior o tempo, mais incidência de iluminação ocorrerá sobre o sensor.

Conforme Regis e Takazaki (2015), o valor *f-stop* é a relação entre a distância focal ( $f$ ) e o diâmetro de abertura do diafragma ( $D$ ), e determina a fração de iluminação que atravessa a lente e atinge o sensor. As relações do *f-stop* são essencialmente uma escala que determina a parcela de iluminação aceita na câmera considerando a abertura do diafragma e a distância focal da lente.

O valor de exposição (EV) de acordo com Tabadkani *et al.* (2018) é o resultado das combinações da conjunção entre o *f-stop* e o tempo de exposição (*shutter speed*) que leva a uma mesma exposição e, também se relaciona com a quantidade de iluminação que incide sobre o sensor da câmera. A ISO 5800 (1987) determina o EV 0 que é o valor de exposição igual a zero, para  $f/1$  e tempo de exposição de 1 s. Dessa forma, quanto maior o valor de exposição EV, maior será a quantidade de iluminação que incidirá sobre o sensor.

Para Carvalho (2020) mantendo o EV 0, garantirá que a mesma quantidade de iluminação incidirá sobre o sensor, seja qual for o *f-stop*. Por exemplo, para  $f/1.4$ , o tempo de EV deve ser de 2s, para EV0. Tal fato ocorre porque a mudança na abertura de  $f/1$  para  $f/4$  significa diminuir pela metade a região de abertura da objetiva, sendo preciso dobrar o tempo de exposição para possibilitar a passagem da mesma quantidade de iluminação. No entanto, mesmo com EV 0, pode acontecer da fotografia ficar muito clara ou escura devido a alta variação de brilho, gerando perda de detalhes. Por exemplo, quando uma cena registrada for do interior de um ambiente com uma janela ao fundo. Isso ocorre devido a região da cena utilizada como referência pelo fotômetro e também, da sensibilidade em escala linear do sensor à iluminação. Ao contrário da sensibilidade do sistema visual que ocorre em escala logarítmica, o que resulta na percepção dos detalhes (REGIS; TAKAZAKI, 2015).

Os valores dos métodos de um ponto em uma hora baseados em valores de iluminância são mostrados em uma grade no plano de trabalho. Aqueles que pensam em luz podem produzir renderizações e imagens com cores falsas que, juntamente com uma imagem, fornecem resultados numéricos (PETERSON, 2015).

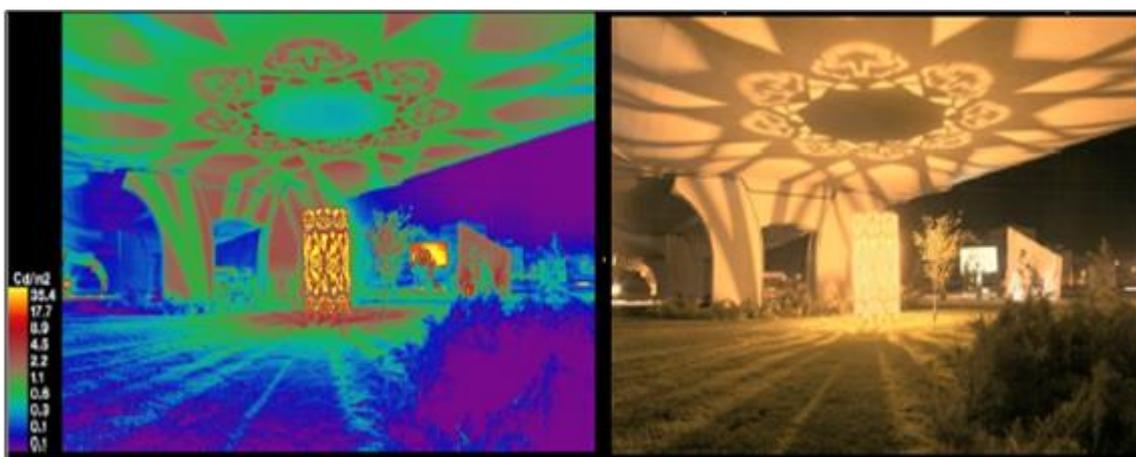
### **2.6.1 Renderização e representação com cores falsas**

*Imagens High Dynamic Range* (HDR) ou alto alcance dinâmico é a mais recente forma

de reprodução digital da iluminação. Para Mangkuto *et al.* (2017) uma imagem HDR é capaz de armazenar mais informação sobre iluminação do que qualquer outra forma de tecnologia pregressa. A imagem HDR representa o campo onde a fotografia, a programação, a computação gráfica e a engenharia se afunilam, e que vem sendo estudada por diversos ângulos, impulsionando o aparecimento de novas técnicas, novos métodos e algoritmos para tratar dados de imagens (MAHIĆ *et al.*, 2017).

Para Suk *et al.* (2017) o uso do método de imagens HDR tem por finalidade aproximar o registro fotográfico da percepção visual do homem, haja vista que o olho humano consegue notar contrastes de até 1:1000, já que as fotos tradicionais, com baixo alcance dinâmico, chamadas de LDRs, possuem contrastes onde de 1:255. Segundo Reinhart *et al.* (2014) os *pixels* de uma imagem HDR apresentam uma quantidade maior de informação do que as disponibilizadas pelos tradicionais meios de apresentação, de 24 bpp; dessa forma para sua visualização, a gama dinâmica é comprimida para se ajustar ao meio de reprodução, por meio de um mapa de tonalidades (*tonemapping*). Para Hara (2018), *softwares* como o *Aftab Alpha* auxiliados por comandos *Radiance* aplicam a imagem original na geração de imagens de falsas cores (*falsecolors*) e de linhas, representando a distribuição de luminosidades (luminância ou iluminância). A Figura 4 mostra um exemplo de imagem *falsecolor* e da imagem real HDR, determinadas pelo programa *Aftab Alpha 3.2*.

Figura 4. Imagem *Falsecolor* e imagem sintética processada pelo programa *Aftab Alpha 3.2*



Fonte: <http://aftabsoft.net/aftab-alpha.php> (2020).

Para Shafavi *et al.* (2020) em uma única fotografia HDR há fotografias de múltipla exposição feitas para registrar a variação da luminância dentro de uma cena. Posteriormente é utilizado um programa computacional para mesclar estas fotografias em uma única imagem HDR, aplicando-se uma curva de resposta da sensibilidade com relação à luminância por pixel

da câmera. Para Carvalho (2020) o processo de utilização de uma imagem HDR, pode ser: a informação fotométrica precisa de uma escala do pixel; imagem de false color associada com a escala de distribuição de luminâncias; isolinhas de luminância; estudo visual ajustando a exposição das diferentes escalas; demonstração de resultados.

De acordo com Korsavi, Montazami e Mumovic (2020) para se realizar a composição de imagens HDR's a partir de fotos, recomenda-se usar no mínimo 5 imagens para composição de uma imagem HDR: com duas sub expostas e duas sobrepostas, com aberturas de no máximo 2 *f-stops* entre elas, em relação à imagem referência. Para Renhart (2014), uma forma de se conseguir as fotografias e produzir uma imagem HDR, é manter o *f/stop* e mudar o tempo de exposição para intervalos unitários. Segundo este autor, a diferença de exposição de 1 EV consiste em aumentar ou reduzir a exposição em duas vezes.

A Figura 5 apresenta uma sequência de cinco fotografias com exposições em intervalos de 1.0 ponto, onde é possível notar que o tempo de exposição é duplicado conforme a exposição vai aumentando em 1.0 ponto.

Figura 5. Diferentes fotografias com seus respectivos EVs que comporão uma imagem HDR.



Fonte: Hara (2018).

No entanto para Regis e Takazaki (2015) é possível se produzir uma fotografia HDR a partir de somente três fotos com intervalos de 1 EV. Para Shafavi *et al.* (2020), outra maneira é fazer o registro da cena com valores determinados de exposição (EV) para que cada imagem

corresponda com os intervalos lumínicos. Após isso, é necessário utilizar um *software* para se combinar as fotografias tiradas em distintas exposições e se criar uma imagem HDR (DAY *et al.*, 2018). O resultado da associação dessas imagens é uma imagem mais detalhada, similar ao percebido pelos olhos humanos (SUK *et al.*, 2019).

A Figura 6, mostra duas fotografias onde é possível perceber diferenças consideráveis entre uma foto comum (LDR) na imagem A, e uma foto HDR, na imagem B.

Figura 6. Diferenças entre: imagem LDR (A) e HDR (B).



Fonte: Hara (2018).

De acordo com Hara (2018), na imagem LDR, capturada pela câmera, existe perda de detalhes em razão da elevada exposição, enquanto a imagem HDR mostra mais informações. Além de obter uma imagem similar ao visto pelo olho, um modelo de utilização da imagem HDR consiste na obtenção de luminâncias e de iluminância. Além do mais, ao vincular com fotografias obtidas por meio de uma lente grande ocular, é possível determinar o campo visual do usuário.

Para Regis e Takazaki (2015), é importante compreender a necessidade de usar uma máquina fotográfica digital profissional ou semiprofissional devido a necessidade de realizar determinadas funções, como o tempo de exposição e a velocidade de disparo, básicos para o registro de fotografia com EV. Também é relevante que a câmera seja acoplada em um tripé para impedir qualquer movimentação que venha alterar seu campo de visão e prejudicar a captura da imagem (HARA, 2018).

## 2.7 Procedimentos para calibração de uma câmera digital

Segundo Tabadkani *et al.* (2020), para que os valores de uma imagem HDR sejam aceitáveis é necessário, antes de tudo, calibrar a câmera fotográfica. Tal processo consiste em relacionar os valores de luminância aferidos pelo luminômetro com os das imagens HDR para se conseguir valores confiáveis de luminância. Para Carvalho (2020), a calibração ocorre

a partir de fotografias tiradas em diferentes tempos de exposição de superfícies com cores variadas sem precisar saber suas refletâncias. As superfícies devem ser perpendiculares ao objeto. Após as aferições com o luminômetro, é realizado o registro das fotos em diferentes valores de exposição. O manual do *Aftab Alpha* orienta os seguintes valores de exposição: EV 7.0, EV 9.9, EV 12.8, EV 15.9, EV 18.9 e EV 21.9 para obter brilhos.

Para Reinhart (2014) são propostos diferentes tempos de exposição, mantendo-se o *f/stop* constantes; além de um tripé para a tomada de fotos. Reinhart (2012) recomenda também o controle da câmera, preferencialmente conectada a um computador e comandada por programa específico. Também recomenda que a câmera esteja na função manual, já que é preciso alterar os valores de exposição.

Para Carvalho (2020) a partir das fotos é que são geradas as imagens HDR's por meio de *softwares* como o *Aftab Alpha* - programa utilizado por Carvalho (2020) em sua tese de Doutorado, para a correção das luminâncias da imagem HDR. Segundo Hara (2018) normalmente esse procedimento é muito semelhante na maioria dos programas: as regiões da imagem HDR são selecionadas, e correspondem com a medição realizada com o luminômetro, e insere-se o valor da luminância do luminômetro. Após essa etapa, efetua-se a conferência das luminâncias, selecionando-se as regiões correspondentes com a medição feita com o luminômetro. Finaliza-se, com a comparação dos valores da cena real e da imagem HDR, que devem estar bastante próximos, aceitando-se uma variação de  $\pm 10\%$ , (TABADKANI *et al.*, 2020).

Normalmente, para os estudos que consideram a medição das iluminâncias por meio de imagens HDR's são utilizadas câmeras profissionais pela necessidade de controle de algumas funções como por exemplo, o tempo de exposição, velocidade de disparo, balanço de branco e do uso de lente específica para este formato de estudo (CARVALHO, 2020).

## **2.8 Estudo das iluminâncias**

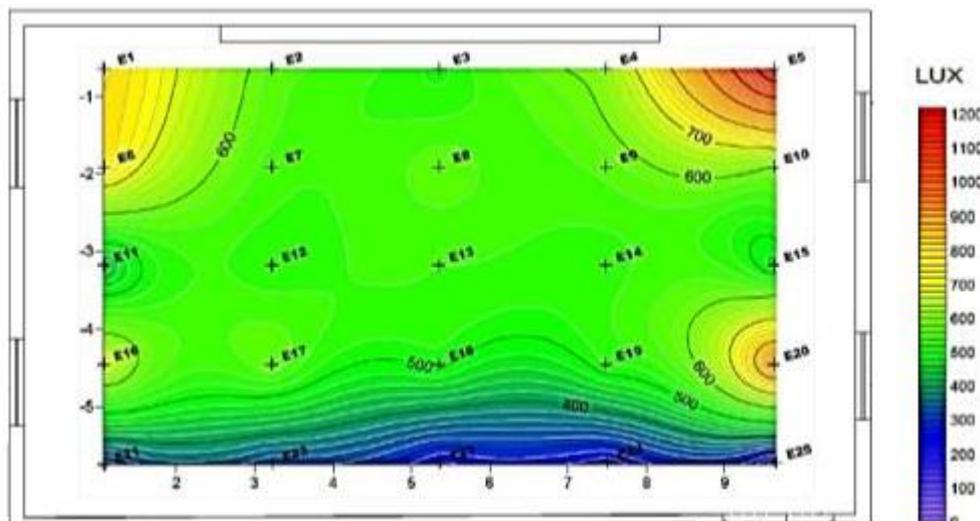
Em seu trabalho, Nabil e Mardaljevic (2005) indicam valores máximos e mínimos de iluminação natural para que não haja problemas com a percepção do ambiente visual ou a realização das tarefas se a iluminação estiver abaixo do valor mínimo. Inversamente, uma iluminância muito alta pode causar desconforto visual ou térmico.

As curvas denominadas isolux permitem a análise dos valores de iluminância no espaço, o que possibilita um estudo mais preciso sobre as necessidades de intervenção. Para

isso são gerados mapas de curvas isolux considerando a iluminação natural e artificial tanto separadamente quanto em conjunto para cada um dos períodos analisados.

Segundo Kremer (2002), as curvas isolux apresentam cores determinadas pela quantidade de iluminâncias na escala de menor a maior concentração, plotadas em uma planta baixa a 75cm do piso pelo *software Surfer 25*, conforme modelo analítico da Figura 7.

Figura 7. Curvas isolux – iluminação natural



Fonte: Kremer, 2002.

Para complementar a análise, o ambiente pode ser classificado segundo os estudos de KREMER (2002), que divide os intervalos em cinco zonas que qualifica a quantidade de iluminação no ambiente, conforme Tabela 6.

Dessa forma, o melhor desempenho luminoso do ambiente, é considerado quanto maior a área dentro do intervalo “suficiente” de iluminância; as áreas de “transição” são consideradas admissíveis; e as da zona “excessiva” serão consideradas como insuficientes, e seu desempenho será tido como baixo.

Tabela 6. Classificação das zonas de iluminância média interna

Intervalo de Iluminância (lux)	Zona	Classificação
Abaixo de 300	INSUFICIENTE	RUIM (baixo)
300 a 350	TRANSIÇÃO INFERIOR	REGULAR (baixo)
Entre 350 e 650	SUFICIENTE	BOM
Entre 650 e 700	TRANSIÇÃO SUPERIOR	REGULAR (alto)
Acima de 700	EXCESSIVA	RUIM (alto)

Fonte: Adaptado de Kremer (2002).

Na tabela de Kremer (2002) a classificação adequada está no intervalo de 350 a 650, no entanto a classificação regular, tanto inferior quanto superior, é admissível e as zonas ruins

determinadas como inaceitáveis (Tabela 6). Por sua vez, o somatório da área de abrangência das duas zonas “regulares” e da zona tida como “bom” determina a qualidade do ambiente. Quanto maior for esse somatório, melhor será a qualidade do ambiente. Os resultados obtidos no ambiente analisado resultaram nas seguintes porcentagens (Tabela 7).

Tabela 7. Distribuição das zonas de classificação

Classificação	Definição dos intervalos de avaliação
BOM	Acima de 70,1%
REGULAR	De 50,1% a 70%
RUIM	Abaixo de 50%

Fonte: Kremer (2002).

## 2.9 Ponderações sobre o referencial teórico

Com o referencial teórico foi possível ampliar a compreensão acerca das distintas variáveis que impactam na eficiência energética de um sistema de iluminação, observando também as diretrizes de conforto visual. Os estudos possibilitaram perceber a aplicação dos processos passivos de iluminação natural em ambientes de ensino, e a qualidade da iluminação nesses espaços. As pesquisas devem integrar fatores físicos e visuais para se obter sistemas eficientes de iluminação, considerando não somente a economia de energia, ou seja, a eficiência energética em si, mas também a qualidade do sistema para uma iluminação adequada. As referências bibliográficas explanaram que o grande gerador de desconforto visual em ambientes de ensino é o ofuscamento e que em projeto este é um fator essencial a ser considerado, tentando aliar a iluminação natural de forma adequada e integrada com a iluminação artificial, para se alcançar níveis desejados de eficiência e conforto visual.

Dessa forma, as diretrizes utilizadas neste estudo não pretendem obter como resposta o que seria um modelo ideal de iluminação. Pretende-se obter dados que, especialmente, tenham características de qualidade e eficiência que possibilitem a realização da comparação entre os mesmos.

### 3 MÉTODO

A pesquisa se iniciou com a investigação da causa do acionamento dos dispositivos de sombreamento interno como cortinas e persianas e visitas *in loco* para avaliar o desempenho lumínico de quatro ambientes de ensino da rede universitária pública federal com sistema de sombreamento externo e climatizadas artificialmente.

O método foi direcionado para investigar as causas do ofuscamento em ambientes com aberturas externas porque a identificação do comportamento depende das causas do ofuscamento, como a incidência de luz direta nas salas ou outras causas mais recorrentes nos ambientes analisados.

O estudo integrou o levantamento dos dispositivos de sombreamento que eram acionados em razão do ofuscamento, para investigar o desempenho luminoso com dispositivos abertos e fechados, e determiná-los de acordo com as métricas de ofuscamento. A seguir incluiu-se o emprego de programas de análise de luminâncias e iluminâncias, visando o tratamento das informações técnicas obtidas em campo e continuidade dos estudos. Os procedimentos são apresentados a seguir.

#### 3.1 Pesquisa de campo

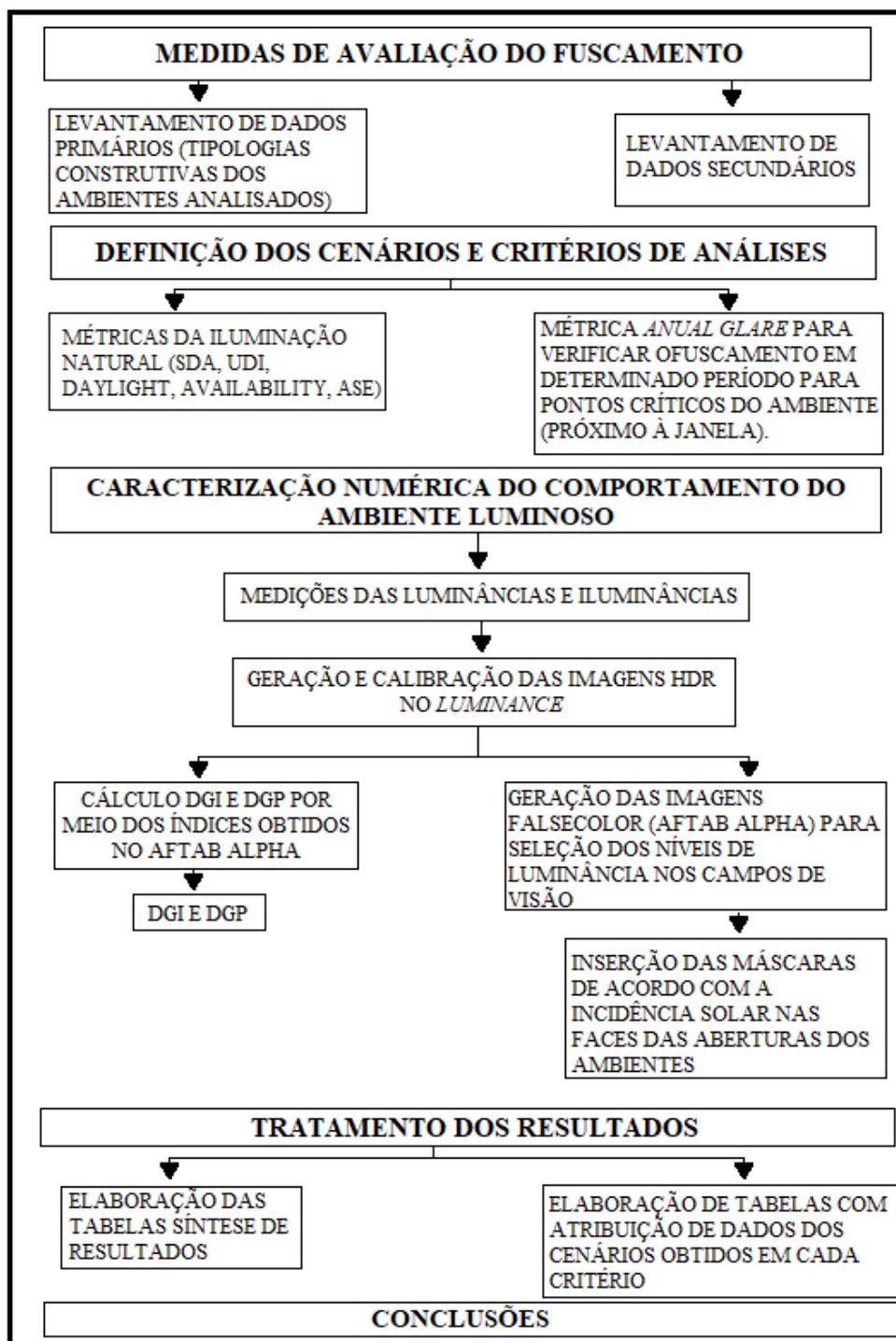
Para o desenvolvimento das etapas foi realizada uma pesquisa de campo, com visitas *in loco* para reconhecimento e seleção das salas capazes de receber o experimento; em seguida foi feita a caracterização dos ambientes escolhidos. O experimento de campo com variáveis dependentes (acionamento e ajuste das persianas) e independentes (luminância, iluminância, índices de ofuscamento) teve os procedimentos de medições sobre o ambiente luminoso.

Os critérios de escolha dos ambientes incluíram aspectos de projeto relacionados ao conforto ambiental e eficiência energética, como componentes de sombreamento externo eficazes para bloqueio de luz direta, além de ambientes climatizados e acessíveis aos procedimentos do estudo. Os ambientes das edificações foram caracterizados de acordo com a área construída, a forma, o entorno, a orientação, a sombra e a geometria solar. A documentação do projeto, o registro fotográfico *in loco* e a fabricação das máscaras de sombra dos edifícios foram feitas por meio do Programa Sol-AR, com a análise do período de sombreamento total, com cobertura do ano inteiro.

A Figura 8 apresenta o fluxograma e como as etapas foram realizadas, buscou-se caracterizar as diretrizes dinâmicas e estáticas da pesquisa. Salienta-se que todas elas

obedeceram a uma ordem cronológica até se atingir os resultados.

Figura 8. Fluxograma da metodologia de pesquisa



Fonte: a autora (2022).

A Figura 9 mostra a localização dos Ateliers de Arquitetura e do Complexo Multiuso (CMU), onde estão localizados os ambientes de ensino analisados - Unidade IV - Em Campo Grande/MS.

Figura 9. Localização das salas dos Ateliers da Arquitetura (à direita) e das salas do Complexo Multiuso (à esquerda) /UFMS. Com distâncias das edificações do entorno imediato e a indicação do local dos experimentos.



Fonte: Google Earth, editado pela autora (2022).

Os ambientes foram caracterizados por meio de visitas *in loco* para registros fotográficos e análises tipológicas. Esses registros incluíam percentual de abertura de fachada, fator de céu visível, proteção externa e interna, sombreamento do entorno e orientação da fachada, sombreamento do entorno imediato, cores das superfícies internas, tipo de planta livre ou compartimentada e investigação das possíveis causas e hipóteses do acionamento das persianas. O percentual de abertura de fachada e o fator de céu visível foram estimados visualmente; o fator de céu visível foi calculado por meio de uma análise qualitativa visual que calcula quanto o campo de visão enxerga em relação à área total da janela e à área obstruída. Essa análise visual levou em consideração a divisão percentual da área total tanto para o percentual de abertura de fachada quanto para o fator de céu visível.

Os dados coletados que foram utilizados para as análises foram:

- Causas do fechamento e abertura dos dispositivos de sombreamento interno;
- Causas do acionamento da iluminação artificial;
- Causas da escolha por configurações dos dispositivos de sombreamento interno;
- Configurações dos dispositivos de sombreamento interno por orientação.

### **3.2 Análise dos dados do levantamento das características dos ambientes**

O apêndice A contém uma tabela resumida que agrupou os dados coletados sobre as principais características identificadas nos ambientes da amostra escolhida. Após estudo desses dados, foi possível verificar as principais características para a tipologia local, conforme segue:

- As plantas dos ambientes possuem o formato predominantemente retangular ou quadrado. O Atelier 1 com 167,32 m<sup>2</sup> e sentido Leste; Atelier 2: 138,07 m<sup>2</sup> e sentido Sul. As Salas de aulas analisadas do complexo multiuso possuem: sala de aula 11, com 55,90 m<sup>2</sup> e sentido Oeste; Sala de aula 12: com 95,50 m<sup>2</sup> e sentido Leste;
- O sistema construtivo predominante dos ateliers é o modular de concreto armado, cobertura de laje também de concreto, e fechamento vertical voltado para áreas externas. As salas dos ateliers possuem janelas com persianas verticais, orientadas a leste, oeste e sul, voltadas para jardins externos. O bloco conta com espaços verdes como pequenos jardins entre as salas que se interligam externamente por meio de amplo corredor. A estrutura dos ateliers é composta por paredes e teto com fechamento vertical composto por placas de fibrocimento pintadas de cor branca. Já as vigas e pilares são de concreto aparente. As aberturas são vedadas com vidros simples de 3mm. O sistema construtivo do CMU é de alvenaria de blocos cerâmicos convencional e estrutura de concreto armado.;
- O atelier 1 tem uma área de abertura de 22,35m<sup>2</sup> e consegue atender até 90 alunos. O atelier 2 apresenta uma área de abertura de 29,51m<sup>2</sup> e consegue atender até 90 alunos. A sala 11 sentido Oeste, atende até 54 alunos, com área de abertura de 21,30m<sup>2</sup>. A sala 12 apresenta uma área de 26,76m<sup>2</sup> de área de iluminação, e atende até 90 alunos.

Algumas informações são bastante relevantes para a pesquisa como: a altura do pé-direito, as áreas de janela, provável iluminação excessiva (ofuscamento) em algumas salas, fazendo com que as persianas fiquem fechadas na maior parte do tempo.

Foram selecionados quatro ambientes de ensino com diferentes configurações e percentuais de abertura. Duas salas estão localizadas no segundo pavimento do Bloco Multiuso;

e duas salas dos Ateliers na Unidade VII do Bloco de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (FAENG/UFMS) para mensurar os fatores quantitativos como os níveis de iluminâncias e luminâncias e os fatores qualitativos como ofuscamento e refletância dos materiais, dentro desses ambientes.

Os resultados foram registrados em tabelas com data, hora, tipo de céu e situações, onde posteriormente, foram elaboradas as avaliações, conforme as proporções entre os diferentes pontos da medição. Foram incorporados registros fotográficos com imagens HDRs, para realização dos comparativos de análises e resultados da pesquisa.

Foram identificados os fatores que interferem no desempenho da iluminação natural em ambientes internos, por meio de experimentos e estudos de campo, exemplificados na pesquisa. Os ambientes analisados são ambientes reais, onde os sujeitos passam grande parte do tempo. O estudo envolveu medições em tempo real dos níveis de iluminância na estação de trabalho e do nível dos olhos dos participantes.

As medições das quatro salas selecionadas para a pesquisa foram previstas para serem realizadas em duas etapas. A primeira foi realizada entre os dias 22, 23 e 24 do mês de setembro de 2021, às 9h e às 15h, sem a presença de alunos nas salas. A segunda etapa foi realizada entre os meses de março e junho de 2022, quando houve o início do ano letivo e o retorno das aulas presenciais dos alunos, sendo possível a realização do estudo com a presença dos estudantes. Em todas as situações as aferições foram realizadas primeiramente focando na iluminação natural e logo após a leitura da iluminação artificial.

O fichamento com todas as características e o resultado com o levantamento dos dados dos ambientes encontram-se no Apêndice A.

### **3.3 Verificação das obstruções internas e externas dos ambientes**

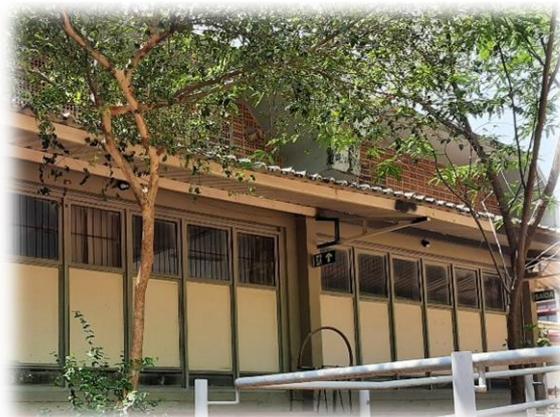
O Atelier 1 possui orientação de fachada Leste/Oeste (Figuras 10 e 11), a fachada com maior perímetro de abertura é a Leste, a incidência solar no ambiente interno é proveniente das esquadrias, sendo interessante sempre que possível identificar as mesmas, para isso foram elaborados diagramas solares.

Figura 10. Imagem externa Atelier 1 – Leste



Fonte: acervo pessoal (2022).

Figura 11. Imagem externa Atelier 1 - Oeste



Fonte: acervo pessoal (2022).

No caso dos dispositivos de sombreamento interno (Figuras 12 e 13) o Atelier 1 possui persianas de tecido cru na cor cinza claro em todas as janelas, tanto do lado Leste (Figura 12) quanto do Lado Oeste (Figura 13).

Figura 12. Imagem interna Atelier 1 – Leste.



Fonte: acervo pessoal (2022).

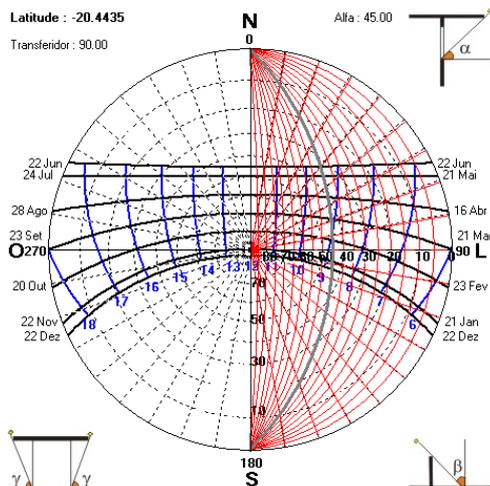
Figura 13. Imagem interna Atelier 1 - Oeste



Fonte: acervo pessoal (2022).

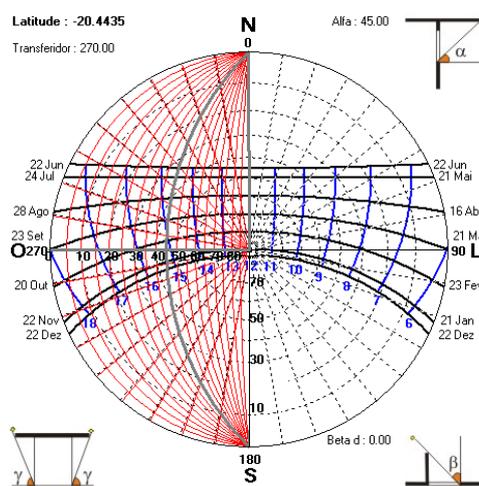
A fachada Leste (Figura 14) apresenta incidência solar por toda a manhã em quase todos os meses do ano, além de apresentar como dispositivo de sombreamento externo cobertura de laje com beirais de concreto de 60 cm. Já a fachada Oeste (Figura 15) apresenta menor incidência solar no período, em comparação com a primeira. No caso da fachada Oeste como dispositivo de sombreamento possui beiral composto por telhas de fibrocimento e a incidência solar não apresenta grandes problemas devido à presença de árvores em todo seu entorno.

Figura 14. Carta solar fachada Leste.



Fonte: Programa Sol-AR (2023).

Figura 15. Carta solar fachada Oeste.



Fonte: Programa Sol-AR (2023).

No Atelier 1 assim como no Atelier 2 as persianas estão em boas condições de uso. O Atelier 2 possui vista das janelas principais com orientação Sul. A paisagem externa conta com pouca presença de vegetação.

Figura 16. imagem interna Atelier 2 – Leste



Fonte: acervo pessoal (2022).

Figura 17. imagem externa Atelier 2 - Oeste

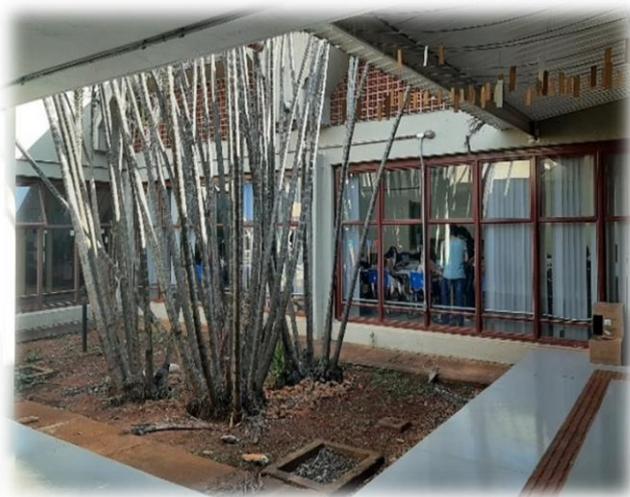


Fonte: acervo pessoal (2022).

O Atelier 2 apresenta uma configuração de abertura principal, voltada para o sentido Sul (Figura 18) com vistas para jardim externo. No verão (de outubro a fevereiro) a fachada Sul recebe insolação durante todo o dia, nos demais meses a insolação não é direta, como mostra a Figura 18, cuja foto foi tirada no mês de junho/2022 às 9h da manhã sem incidência solar direta na fachada. Com a máscara de sombra (Figura 19) observa-se que o sol quando ainda baixo, incide na fachada do ambiente no horário das 6h às 7h da manhã, sendo amenizado por

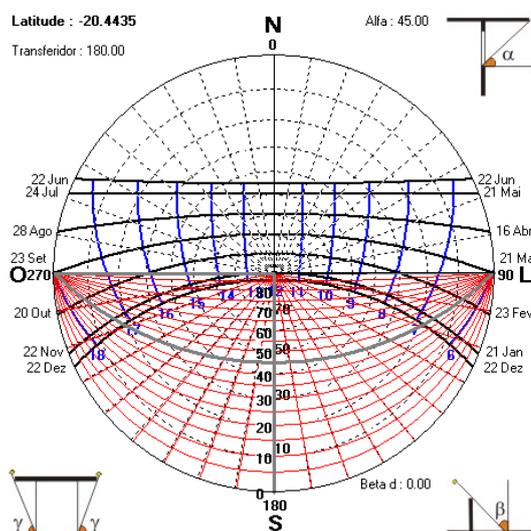
proteção externa (beiral) nos horários das 7h às 17h. As esquadrias percorrem todo o perímetro da fachada. As aberturas são vedadas com vidros simples/liso de 3mm. Possui beiral e entrâncias de concreto em todo o entorno externo da estrutura.

Figura 18. imagem externa Atelier 2 – Sul



Fonte: Acervo pessoal (2022).

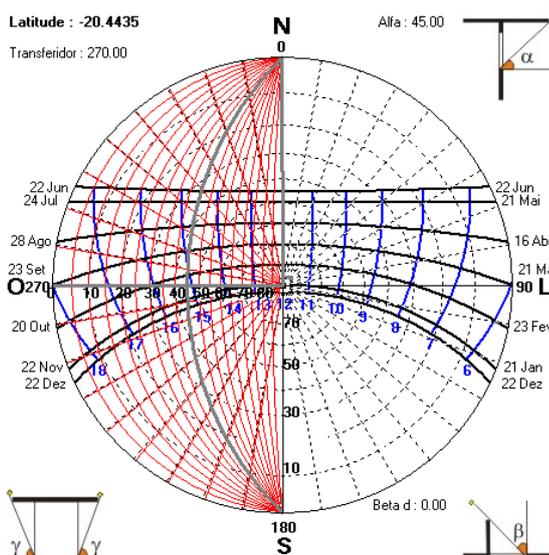
Figura 19. Carta solar fachada Sul.



Fonte: Programa Sol-AR (2023).

Na sala 11 (Figura 20) a configuração de janela está localizada no sentido Oeste, com insolação direta na fachada, durante quase todo o ano, no período da tarde. Nos horários das 12h às 15h30 a incidência solar é amenizada, com o uso do beiral para proteção externa.

Figura 20. Carta solar fachada Oeste.



Fonte: Programa Sol-AR adaptado pela autora (2023).

O dispositivo de proteção interna na Sala 11 (Figura 21) é feito com o uso de persianas em todo o perímetro do ambiente. Já a proteção externa (Figura 22) é feita com o uso de beirais em todo o entorno da estrutura.

Figura 21. imagem interna Sala 11 – Oeste.



Fonte: acervo pessoal (2022).

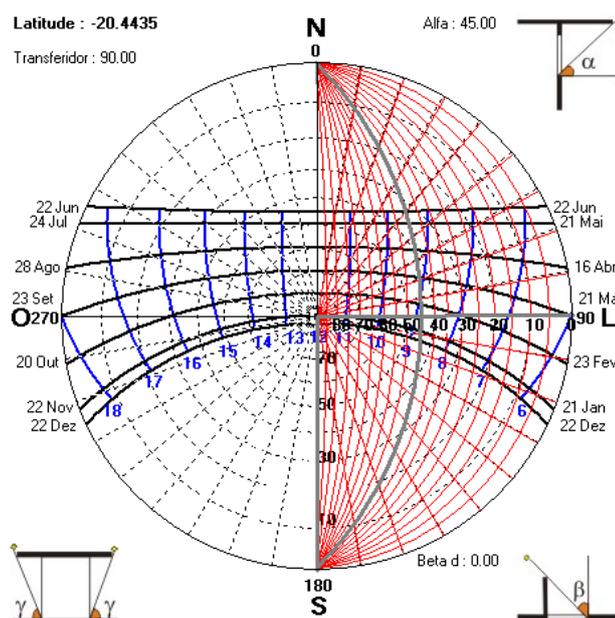
Figura 22. imagem externa Sala 11 – Oeste.



Fonte: acervo pessoal (2022).

A sala 12 possui vista das janelas principais com orientação Leste (Figura 23), tendo beiral como proteção de sombreamento externo. A paisagem externa conta com pouca presença de vegetação. Na leitura da máscara de sombra do ambiente, o sol incide de 6h até 9h da manhã durante o período de 22 de dezembro a 22 de junho. Os raios solares são amenizados pelo beiral de proteção da fachada nos horários compreendidos das 9h às 12h.

Figura 23. Carta solar fachada Leste.



Fonte: Programa Sol-AR adaptado pela autora (2023).

O dispositivo de proteção interna na Sala 12 (Figura 24) é feito com o uso de persianas em todo o perímetro do ambiente. Já a proteção externa (Figura 25) é feita com o uso de beirais em todo o entorno da estrutura. Os vidros das esquadrias são lisos e brancos, sem película de proteção.

Figura 24. imagem interna Sala 12 – Leste



Fonte: acervo pessoal (2022).

Figura 25. imagem externa Sala 12 – Leste



Fonte: acervo pessoal (2022).

### 3.4 Instrumentação e equipamentos

Nesta seção são apresentados os instrumentos e equipamentos utilizados na pesquisa. A determinação das condições de iluminância foi realizada por meio de luxímetros, de luminância por meio de luminômetro e de imagens HDR por meio de câmera fotográfica e o acionamento das persianas por meio de fotos.

A Tabela 8 mostra os equipamentos para obtenção dos dados relativos às variáveis mencionadas anteriormente.

Tabela 8. Características técnicas dos equipamentos e *software* utilizados.

Variável	Equipamento/instrumento	Características/finalidade
Illuminância Horizontal	Luxímetro	Minolta, modelo CL-200 para aferição das iluminâncias
Luminâncias, contrastes e índices de desconforto visual	Câmera fotográfica	Nikon DSLR D7000 de 16.2 megapixels. Sensor CMOS de formato DX.
	Tripé para câmera fotográfica	Apoio da Câmera à altura de 1,2m e 1,5m e evitar a movimentação durante o registro das fotos.
	Programa Luminance HDR	Programa livre para controlar o tempo de exposição da câmera fotográfica e registro.
	Programa Aftab Alpha	Programa livre para geração de imagens HDR. Disponível em: <a href="http://aftabsoft.net/mobile/aftab-alpha.php">http://aftabsoft.net/mobile/aftab-alpha.php</a>
	Luminancímetros	Minolta, modelo LS - 100/LS-110 para aferição das luminâncias das imagens HDR.
Acionamento dos sistemas de iluminação	Câmera fotográfica	Fotografias indicando a situação da iluminação artificial e/ou das persianas.
	Observação in loco	Anotações quanto ao acionamento dos sistemas de iluminação

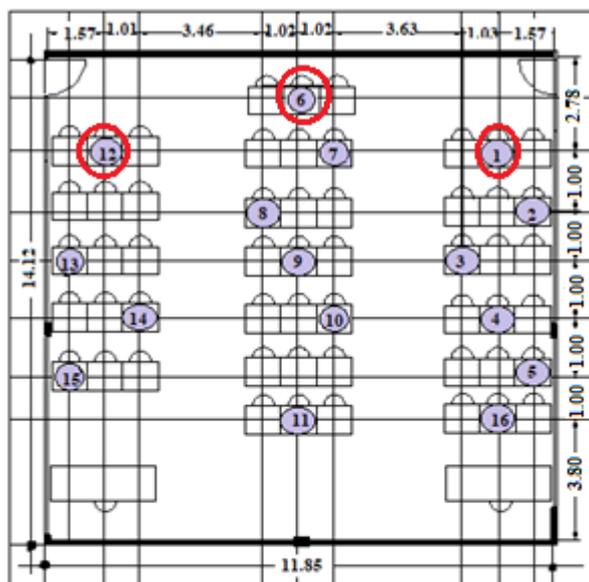
Fonte: a autora (2022).

Na continuidade das etapas metodológicas, foram necessários determinar os pontos de medição em cada ambiente. Embora a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) recomende uma malha que determine a quantidade de pontos de medição e a distância mínima entre eles, desenvolvida em um gráfico, esta pesquisa, com a finalidade de adotar um método baseado em pontos tidos como mais estratégicos, considerou somente alguns pontos para as medições, conforme se segue.

### 3.5 Determinação dos pontos de medições

Como critério de seleção, foram selecionados os pontos em posições consideradas estratégicas para a pesquisa, que variaram de uma região menos iluminada (mais distantes das aberturas), de uma intermediária (no centro do ambiente) e de uma considerada mais iluminada (próximas das aberturas). Os pontos de medição foram determinados por uma malha de pontos na área de trabalho com distância que variaram de  $1,00 \times 1,00$  m entre si, conforme modelo apresentado na Figura 26.

Figura 26. Modelo de marcação de pontos de medição

**LEGENDA**

- Ponto para medição de Iluminância
- Ponto para medição de Luminância

Fonte: a autora (2022).

O procedimento de medição foi determinado, da seguinte forma:

- a) O posicionamento do tripé ocorreu a uma altura de 1,20 m (posição do observador sentado) para a medição das luminâncias e dos registros fotográficos;
- b) Os luxímetros foram posicionados horizontalmente, sobre as carteiras;
- c) O ponto da área de trabalho determina a posição que o aluno observa seu espaço de trabalho e verifica a necessidade de alterar os sistemas de iluminação natural e /ou artificial para a realização das tarefas com conforto.

As iluminâncias horizontais foram determinadas por meio de dois instrumentos semelhantes, luxímetros (Minipa e Minolta) fazendo-se em seguida a média dos valores obtidos, as luminâncias ocorreram por meio do luminancímetro (Minolta) e as fotografias para a determinação do campo visual foram feitas por meio de um tripé e câmera fotográfica digital.

As medições de iluminância horizontal no plano da porta ocorreram do piso a mesa, a 0,75 m de altura (na posição de trabalho). A medição de iluminância horizontal a 0,75m de altura do piso foi realizada com os luxímetros posicionados sobre a mesa, como recomendado pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013).

As fotografias foram registradas juntamente com as medições de iluminância horizontal e luminância vertical. Para as luminâncias, no tripé foram marcadas a altura de 1,20

m para contemplar a posição do usuário sentado e 1,50 para o usuário em pé. No tripé foi acoplado o luminômetro e logo após a câmera fotográfica.

As imagens HDR foram produzidas por meio do programa *Luminance HDR* e, para a obtenção das luminâncias máxima e média dentro do campo visual, dos contrastes que encerram o espaço e os índices de ofuscamento, foi usado o programa *Aftab Alpha*.

O acionamento dos sistemas de iluminação natural e artificial foi observado pela pesquisadora e registrado por meio de fotografias. O tempo médio para as medições de luminância, iluminância e registro fotográfico nos pontos determinados ficou entre 1h. Conforme indicado na Tabela 9 que mostra as principais atividades e o tempo de duração de cada experimento.

Tabela 9. Atividades e tempo de duração cada experimento.

Item	Tempo (min.)	Duração (min.)	Procedimento/Detailamento
1	0 a 5	5	Preparação do espaço. Explicação sobre a pesquisa e preenchimento do TCLE.
2	12 a 17	5	Medição no ambiente
3	10 a 15	5	Medição na posição de trabalho.
4	15 a 20	5	Medição na posição de trabalho com aproveitamento da iluminação natural.

Fonte: a autora (2021).

### 3.6 Verificação dos luxímetros

O Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações (LADE) da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, disponibilizou os luxímetros da Konica Minolta CL-200 e Minipa MLM-1010 (Figura 27), cuja calibração é realizada por laboratório reconhecido. Foram realizadas as leituras simultâneas dos valores dos dois equipamentos, onde extraiu-se a média das iluminâncias aferidas por cada aparelho, nas condições mencionadas anteriormente.

Figura 27. Luxímetros Minipa e Minolta utilizados.



**Foto 1:** Luxímetro digital modelo MLM-1010 fabricado pela Minipa Industria e Comércio Ltda.



**Foto 2:** Luxímetro com Medidor de Chroma CL-200 marca Konica Minolta.

Fonte: a autora (2021).

### 3.6.1 Calibração da câmera digital Nikon D7000 e do luminômetro Minolta

Foi utilizada a câmera fotográfica Nikon D7000, e um luminômetro Konica Minolta, modelo CL-200, cedido pelo LADE/UFMS.

A calibração da máquina fotográfica para a geração das imagens HDR seguiram um processo similar ao utilizado em Inanici e Galvin (2007) em um armário na parede próxima da janela, foram fixadas duas folhas A4: *ColorPlus* preto e cinza (Fig. 10). Logo após foram realizados os ajustes iniciais da câmera para a sessão de fotos de acordo com Reinhart (2014), conforme a Tabela 10.

Tabela 10. Ajustes da câmera fotográfica Nikon D7000 para a realização do estudo

Características	Ajuste
Balanco de Branco	Iluminação natural
Best Shot Selector	Desligado
Ajuste de imagem	Normal
Controle de Saturação	Normal
Auto-bracketing	Desligado
Tamanho da foto	2592 x 1944
Sensibilidade	ISO 100
Nitidez da imagem	Desligado
Redução de ruído	Desligado

Fonte: Reinhart (2014), adaptado pela autora.

Em seguida, com a câmera fixada em um tripé, foram tiradas 5 fotos com os valores de exposição recomendados pelo manual do *Aftab Alpha*. Conforme Figura 28.

Figura 28. Cinco fotos e seus respectivos EVs



Fonte: a autora (2021).

Para o registro das fotos e a medição com o luminômetro, foram medidos os valores do centro de cada folha com o emprego do luminômetro marca Minolta, modelo LS-110. O procedimento do registro das fotos e a medição com o luminômetro, (conforme Figura 29) durou aproximadamente 2 minutos.

Figura 29. Luminômetro e câmera fotográfica para calibração da câmera digital.



Fonte: a autora (2021).

Após o registro das fotos, foram realizadas três medições consecutivas em cada folha com o luminômetro. O luminômetro foi colocado na mesma distância e posição da câmera fotográfica. As fotos foram aplicadas no programa *Aftab Alpha* para gerar a imagem HDR. A luminância aplicada na calibração foi a média dos três valores do papel cinza. Na comparação das luminâncias, relacionou-se as médias das medições do papel preto com a luminância do mesmo papel na imagem HDR.

O estudo baseou-se em Jakubiec *et al.* (2016) que orientam manter a abertura em  $f/11$  e registrar fotos em 16 tempos de exposição, como: 4s, 2s, 1s,  $1/2s$ ,  $1/4s$ ,  $1/8s$ ,  $1/15s$ ,  $1/30s$ ,  $1/60s$ ,  $1/125s$ ,  $1/250s$ ,  $1/500s$ ,  $1/1000s$ ,  $1/2000s$ ,  $1/4000s$ ,  $1/8000s$ . Os valores das luminâncias registrados pela câmera foram conferidos com as do luminômetro sendo possível observar que os valores são muito próximos, de acordo com o apresentado na Tabela 11. A diferença entre as luminâncias da imagem HDR e as do luminômetro ficou em torno de 0,9 próximo de 1,0 o que fica dentro dos limites estabelecidos por Jakubiec *et al.* (2016).

Tabela 11. Valores de luminância obtidos pela câmera e pelo luminancímetro.

Luminancímetro (cd/m <sup>2</sup> )			Imagem HDR (cd/m <sup>2</sup> )			
	Papel cinza	Papel preto	Parede	Papel cinza	Papel preto	Parede
	918,6	118,6	1837			
	934,2	116	1866			
	925,7	116,6	1868			
Média	926,2	117,1	1857	926	111	1870
Relação HDR/luminancímetro	0,999	0,948	1,007			

Fonte: a autora (2021).

### 3.6.2 Registro das luminâncias e a utilização das imagens HDR

Duas etapas foram aplicadas para a obtenção das imagens HDR. A primeira na tomada das fotos, e a segunda com o registro das luminâncias, contrastes e padrões de desconforto visual realizado por meio das imagens HDR's produzidas pelo programa *Aftab Alpha* a partir de um total de 15 fotos registradas pela câmera fotográfica nos pontos de avaliação.

Após a preparação do ambiente na primeira etapa, os seguintes procedimentos foram realizados:

- Foram escolhidas três cenas para cada estação de trabalho (cinco estações), sendo uma 45° à direita, um frontal e a terceira 45° à esquerda (total de 15 cenas para obtenção das imagens);
- Foram escolhidas cinco imagens de uma das áreas selecionadas, para gerar as imagens HDR e logo após realizar a análise das luminâncias no programa *Aftab Alpha*.
- Para a geração das imagens, foram selecionadas três áreas entre bastante, média e pouco iluminada, no programa *Aftab Alpha*.

Com a câmera fixada em um tripé foram tiradas 5 fotos nos valores de exposição (EV) sugeridos pelo manual do *Aftab Alpha* Versão 2.1. O registro das fotos durou aproximadamente 5 minutos. A câmera foi posicionada no local de trabalho do usuário e de forma que o centro do obturador da câmera ficasse na altura do usuário sentado (1,20 m do piso), usando o tripé. Cinco valores de exposição (EV) foram escolhidos), correspondentes com a relação entre o valor de abertura e o tempo de exposição e gerando cinco fotos para cada cena (Figura 30).

Figura 30. Ajustes da câmera fotográfica Nikon D7000 para a realização do estudo.



EV: 18,9  
Abertura:  
f/22  
Tempo de  
exp.: 1/1000s

EV: 15,9  
Abertura:  
f/22  
Tempo de  
exp.: 1/125 s

EV: 12,9  
Abertura:  
f/5,6  
Tempo de  
exp.: 1/250s



EV: 9,9  
Abertura:  
f/5,6  
Tempo de  
exp.: 1/30s

EV: 7  
Abertura:  
f/5,6  
Tempo de  
exp.: 1/4s

Fonte: a autora (2021).

Após o registro das fotos, elas foram carregadas no programa *Aftab Alpha* para gerar as imagens HDR's (Figura 31). A luminância aplicada foi o valor aferido pelo luminômetro da Konica-Minolta.

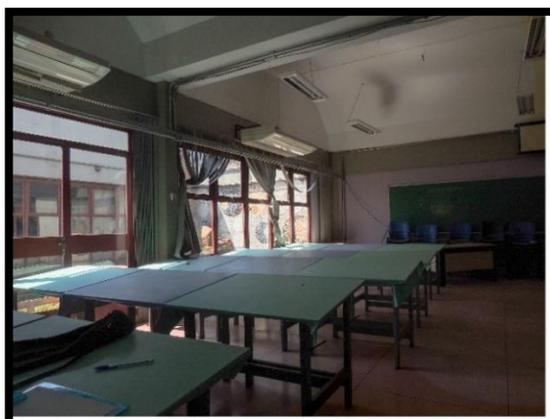
Figura 31. Seleção das áreas dentro do campo visual com a ferramenta e polígono, representadas com linhas vermelhas.



Fonte: a autora (2021).

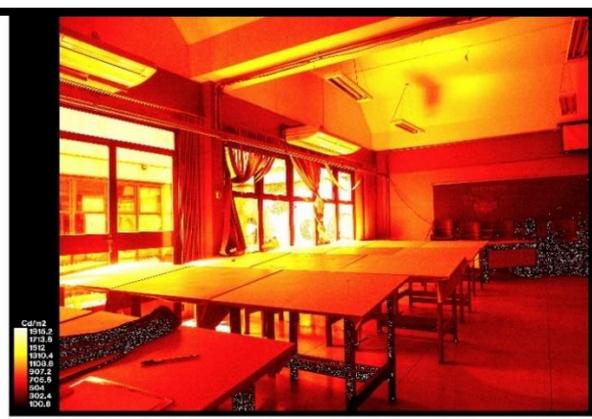
A leitura das luminâncias no *Aftab Alpha* foi realizada selecionando-se a opção *Tools>Analysis>Single Region of Interest*. A região de interesse foi demarcada com a ferramenta círculo ou seleção irregular, de acordo com a área e plano a ser calculado. Por exemplo, delimita-se a área que se deseja obter a luminância média do ambiente e, faz-se um polígono para seleção da região, como na Figura 31, para ser processada a imagem *falsecolor* (Figura 33). O emprego de imagens HDR's, conforme visto na pesquisa, auxiliou o presente estudo a identificar os possíveis pontos de ofuscamento, brilho e contraste.

Figura 32. Imagem HDR resultante das 5 fotos registradas em diferentes EV.



Fonte: a autora (2022).

Figura 33. Imagem em cores falsas resultante das 5 fotos registradas em diferentes EV.

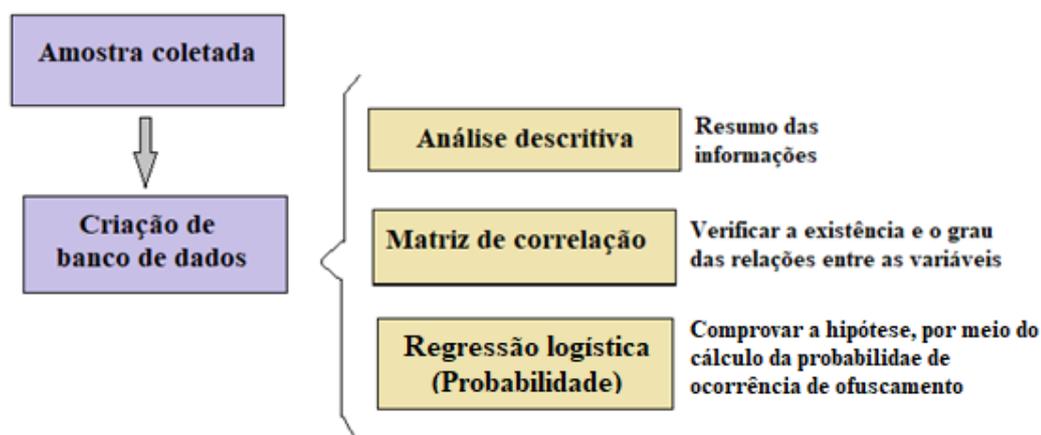


Fonte: a autora (2022).

### 3.7 Tratamento dos dados

Posterior à aplicação do método foi necessário realizar a organização dos dados produzidos para compilação dos resultados. A partir de então, foi possível a aplicação da análise estatística para sistematizar, analisar e interpretar os dados produzidos. A Fig. 34 mostra as etapas estatísticas determinadas para essa pesquisa.

Figura 34. Análise Estatística.



Fonte: a autora (2023).

#### 1. Análise descritiva:

Partido do banco de dados, elaborado de acordo com as variáveis de estudo (quantitativas) e os objetos da pesquisa, a primeira etapa de análise foi por meio de Estatística Descritiva.

O objetivo é sistematizar a Frequência dos resultados, tanto gerais (ambientes) quanto específicos de cada ambiente individualmente. Por isso decidiu-se por apresentação tabular e gráfica.

#### 2. Correlação:

A correlação é uma ferramenta relevante para as distintas áreas do conhecimento, não apenas como resultado final, mas como uma das etapas para aplicação de outros métodos de análise e verificação.

Habitualmente busca-se verificar a existência de relação entre duas variáveis, e para isso, na estatística usa-se a análise da Correlação, que verifica a existências e o nível das relações. Uma vez determinada, busca-se descrever de maneira matemática, por meio de uma função. A correlação obtida por meio do coeficiente de Pearson e linear, que é a medida de correlação mais aplicada. O outro coeficiente de correlação é o de Spearman, empregado nas

situações em que a relação entre os pares de dados não é linear, como é o caso da presente pesquisa. Essa forma de correlação considera as posições que os valores ocupam quando ordenados na forma crescente ou decrescente.

Os valores de correlação variam de -1 a 1, em que o valor -1 (negativo) indica uma forte correlação negativa, ou seja, a relação entre duas variáveis é oposta: se uma determinada variável A aumenta então a variável B diminui. Já o valor 1 (positivo) indica que a relação entre as duas variáveis apresenta mesma direção. Ou seja: se uma determinada variável A aumenta, então a variável B também aumenta. Para esta pesquisa foram adotados os critérios para a interpretação dos valores de correlação (Tabela 12).

Tabela 12. Critérios para a interpretação dos valores de correlação

$0 < r_{xy} < \pm 0,19$	Correlação Muito Fraca
$\pm 0,2 < r_{xy} < \pm 0,39$	Correlação Fraca
$\pm 0,4 < r_{xy} < \pm 0,69$	Correlação Moderada
$\pm 0,7 < r_{xy} < \pm 0,89$	Correlação Forte
$\pm 0,9 < r_{xy} < \pm 1,00$	Correlação Muito Forte

Fonte: adaptado pela autora (2023).

### 3. Regressão logística:

Foi determinada como último método de análise estatística, a Regressão logística, para teste da hipótese da pesquisa, por meio da determinação da probabilidade de a satisfação com a qualidade da vista impactar na percepção do ofuscamento.

A regressão logística tem como objetivo descrever por meio de um modelo matemático, a relação existente entre duas ou mais variáveis, a partir de “n” observações dessas variáveis. Dessa maneira, a regressão logística é uma forma de transformar a relação entre duas variáveis em uma equação, em que uma das variáveis (a variável resposta, ou dependente que, no caso desta dissertação é a Probabilidade de Ofuscamento) e dicotômica, ou seja, possui somente duas categorias (Ocorre ou Não ocorre). Por isso, a linha de tendência esperada não será uma reta, no caso da regressão linear simples.

Em modelos de regressão logística é preciso caracterizar um subconjunto de variáveis independentes que melhor explique a variável resposta, no caso dessa dissertação, a Probabilidade de Ofuscamento. Ou melhor, dentre todas as variáveis explicativas disponíveis, deve-se encontrar um subconjunto de variáveis relevantes para o modelo matemático.

No entanto, a construção de um modelo que inclui somente um subconjunto de variáveis explicativas envolve dois objetos conflitantes:

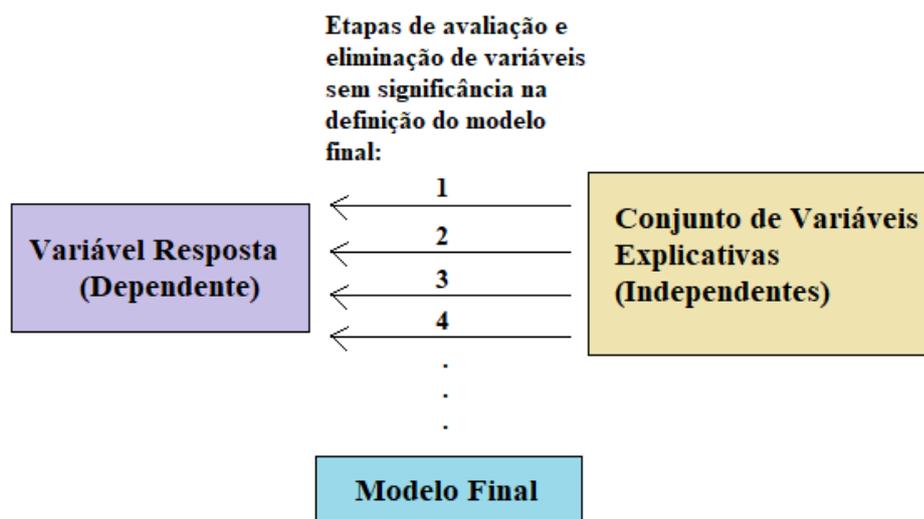
1. Obter o máximo de informações por meio de um modelo com o máximo de variáveis possíveis;
2. Diminuir a variância da estimativa e o custo por meio de um modelo com menor número possível de variáveis, com maior significado nas relações existentes.

Dessa forma obter um equilíbrio entre essas duas considerações é importante. Para isso é necessário definir a melhor maneira de selecionar as variáveis, para que essa Redução de Dados, estatisticamente, represente:

- Obtenção de uma representação reduzida em volume, mas que produza resultados de análise similares;
- Melhoria do desempenho dos modelos;
- Tenha como objetivo principal, eliminar atributos redundantes ou irrelevantes, e com pouca significância.

Enquanto o “Método de Seleção de Variáveis *Forward*” se inicia sem nenhuma variável no modelo e são adicionadas variáveis a cada etapa, o “Método de Variáveis *Backward*” se inicia de forma oposta. Inserindo de início todas as variáveis para depois, por etapas, cada uma podendo ser ou não eliminada, a partir de sua significância. Para essa dissertação, foi escolhido o “Método de Seleção de Variáveis *Backward*”, avaliado no *Software Jamovi*, Versão 2.3, conforme Fig. 35.

Figura 35. Método Seleção de Variáveis *Backward*.



Fonte: a autora (2023).

Considerando o embasamento teórico sobre regressão e as recomendações, o procedimento adotado no *Software Jamovi* (Versão 2.3), para esta pesquisa, pode ser resumido nas seguintes etapas:

1. Criação de banco de dados onde as variáveis recebem valores categóricos (Exemplo: Grande = 1; Médio = 0; Pequeno = -1);
2. Definição da base do Modelo, para cada variável (resposta e explicativas). Optou-se por definir como base categorias médias, representadas por valores 0, para que a regressão apresentasse o comportamento superior e inferior dessa base pré-determinada;
3. Escolha da variável resposta e as explicativas, em função dos objetivos da pesquisa;
4. Definição do Método de Seleção das Variáveis, no caso *Backward*;
5. Cálculo de regressão, em que em cada etapa, automaticamente, uma variável vai sendo excluída com base em resultados parciais, onde são calculadas a significância para cada variável;
6. Modelo final, onde ficam somente as variáveis que apresentam significância entre si a partir dos dados da amostra e o resultado matemático encontrado.

Nessa pesquisa, a variável resposta (dependente) é a Probabilidade de Ofuscamento na área de tarefa, com duas categorias (Ocorre e Não ocorre). Assim foram criados dois modelos de regressão, para que fossem consideradas variáveis relativas ao ofuscamento na área de tarefa e no campo de visão do observador.

Sendo assim, a partir dos resultados desses dois modelos, deve-se selecionar as variáveis que apresentarem maior significância, de forma a reduzir a complexidade da regressão. Portanto, os modelos finais são produzidos somente com as variáveis mais significantes para a variável resposta “Probabilidade de Ofuscamento na área de tarefa”.

A regressão logística é o principal método estatístico determinado para comprovação direta da hipótese da pesquisa. A partir da estruturação das etapas metodológicas da pesquisa, que tem como base a aplicação de diversos métodos para atendimento dos objetivos propostos, a seguir são apresentados os resultados relativos às avaliações realizadas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados dos experimentos que buscou observar as principais variáveis envolvidas no estudo da iluminação natural e artificial nos ambientes analisados, descritos anteriormente. A análise foi separada por ambiente e, ao final, uma discussão integrada é apresentada.

### 4.1 Análise das iluminâncias - Atelier 1

As medições no Atelier 1 ocorreram no dia 12/04/2022, período de outono, no horário das 9h30min às 10h30min da manhã e dia 08/05/2022 das 13h15 às 14h15 da tarde, conforme (Tabela 13). A representação gráfica e a demarcação das malhas e pontos de todos os ambientes da amostra, estão apresentadas no Apêndice B.

Tabela 13. Iluminância por pontos – Atelier 1.

Ponto	Iluminância (lux)											
	9h30 - 10h30						13h15 - 14h15					
	Iluminação natural/sem persiana			Iluminação artificial/com persiana			Iluminação natural/sem persiana			Iluminação artificial/com persiana		
	Minolta	Minipa	Média	Minolta	Minipa	Média	Minolta	Minipa	Média	Minolta	Minipa	Média
1	292	310	447	358	400	558	240	258	369	342	334	509
2	481	590	776	529	535	796,5	294	203	395,5	375	384	567
3	417	400	617	409	400	609	220	219	329,5	345	363	526,5
4	323	343	494,5	484	480	724	160	180	250	366	387	559,5
5	452	454	679	408	410	613	250	242	371	318	320	478
6	183	180	273	374	310	529	52	55	79,5	332	345	504,5
7	231	210	336	337	300	487	113	124	175	324	348	498
8	185	170	270	358	350	533	45	41	65,5	354	325	516,5
9	178	168	262	477	480	717	98	96	146	398	393	594,5
10	201	199	300,5	422	440	642	130	143	201,5	315	328	479
11	198	187	291,5	412	400	612	130	128	194	316	340	486
12	139	130	204	438	420	648	51	51	76,5	331	321	491,5
13	39,4	40	59,4	463	480	703	30	25	42,5	390	388	584
14	83	90	128	431	460	661	80	101	130,5	397	389	591,5
15	75	70	110	455	440	675	38	30	53	375	369	559,5
16	314	336	482	430	490	675	230	228	344	432	410	637

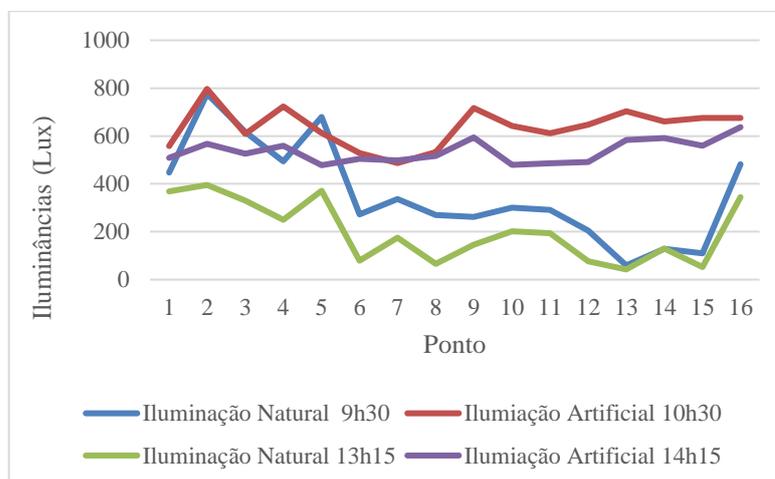
Legenda:

Pontos próximo à janela	
Linha central da sala	
Distante da janela	

Fonte: a autora (2022).

Em se tratando da análise da iluminação natural por meio da Figura 36 é possível ver com mais clareza os valores de iluminância variando entre 59, 336 e 797 lux (mínima/ média/ máxima), no período matutino e 42, 201 e 400 lux (mínima/ média/ máxima) no vespertino.

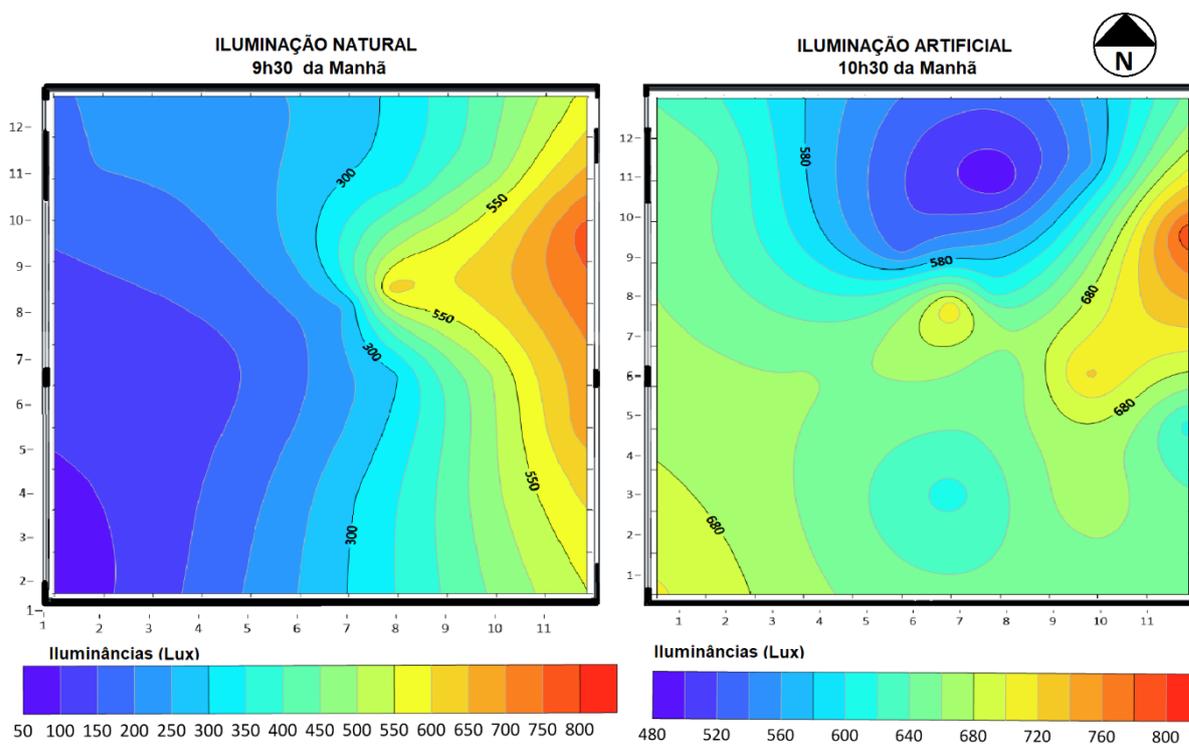
Figura 36. **Atelier 1** – períodos: matutino (9h30-10h30) e vespertino (13h15-14h15)

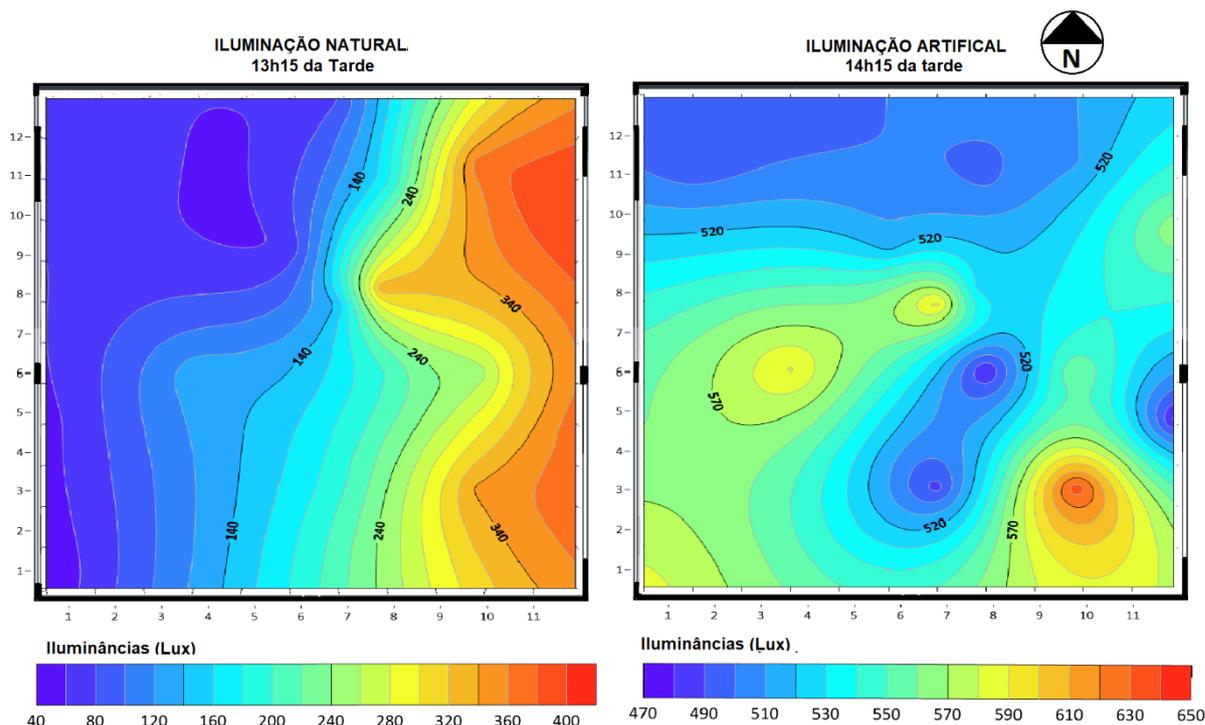


Fonte: a autora (2022).

A partir desses resultados foram produzidos gráficos de contorno para a ilustração da distribuição da análise das iluminâncias nos ambientes. Foram gerados no *Software Surfer 25* com base nos pontos de medição, como mostra a Figura 37.

Figura 37. **Atelier 1** – Gráficos isolux – 9h30 às 10h30





Fonte: a autora (2022).

A classificação do ambiente por meio da análise das zonas de iluminância foi realizada. Seguindo as compreensões de Kremer (2002) a análise dos dados dos ambientes, resultaram nas seguintes porcentagens (Tabela 14).

Tabela 14. Porcentagem de classificação do **Atelier 1**.

Classificação	Iluminância	Natural Manhã	Artificial Manhã	Natural Tarde	Artificial Tarde
<b>Ruim</b>	<300lux	56%	25%	69%	0%
<b>Regular</b>	300lux - 349lux	13%	0%	6%	0%
<b>Bom</b>	350lux - 650lux	25%	56%	25%	94%
<b>Regular</b>	651lux - 700lux	13%	31%	0%	0%
<b>Ruim</b>	700lux	13%	13%	0%	0%
<b>Porcentagem total adequada</b>		51%	87%	31%	94%

Fonte: dados da pesquisa.

## 4.2 Análise das luminâncias – Atelier 1

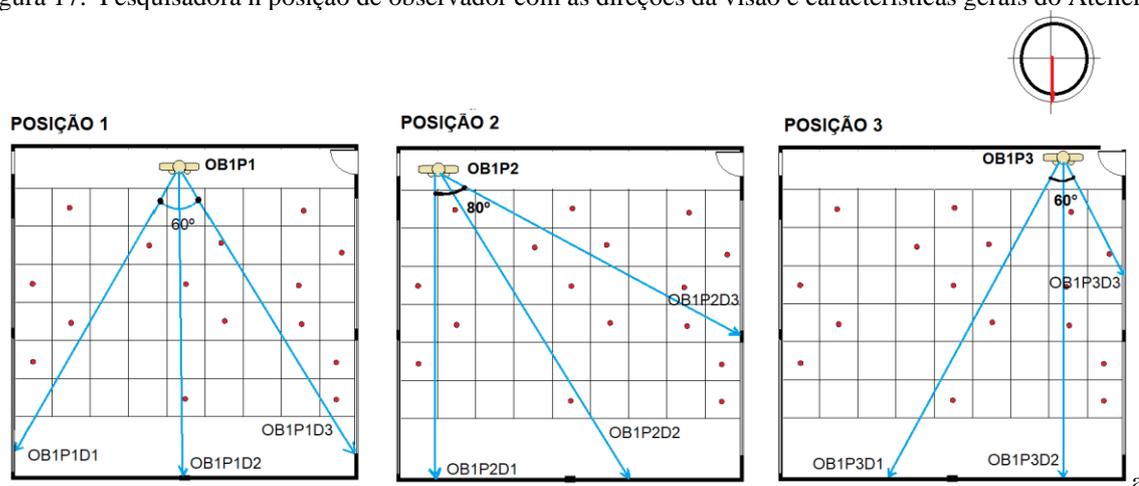
Para o estudo das luminâncias no Atelier 1, foram tiradas fotos de um observador a uma altura de 0,75cm do chão em posições diferentes (Figura 17) que variaram de um ponto mais escuro, de um intermediário e de um ponto mais claro. As informações das imagens HDR possibilitam identificar os pontos de ofuscamento e analisar até que ponto esta fonte pode interferir no campo visual do observador. A Figura 17 apresenta a malha traçada com a

disposição das carteiras dentro do ambiente analisado. Os pontos em vermelho indicam os pontos onde foram obtidas as medições das iluminâncias, com os luxímetros.

As características arquitetônicas do ambiente em termos de número e distribuição das aberturas, também estão apresentadas na (Figura 17).

A malha delineada na planta indica a disposição das carteiras, os pontos em vermelho simbolizam a localização dos pontos de iluminação medidos no ambiente e o direcionamento em azul formando ângulos de  $60^\circ$  para representar as posições e direções da visão da pesquisadora para a leitura das luminâncias no estudo.

Figura 17. Pesquisadora n posição de observador com as direções da visão e características gerais do Atelier 1.



Fonte: a autora (2022).

A Tabela 15 mostra os dados das medições com o luminômetro na posição de trabalho estabelecida, assim como o valor do DGI obtido por meio do *Aftab Alpha* a partir da posição do observador nas três direções da visão. Também foram registrados os dados das proporções das três direções do campo visual do observador.

Tabela 15. Valores das médias das medições de luminâncias obtidas em suas três posições no Atelier 1.

Posição	Luminância (Cd/m <sup>2</sup> )											
	Natural			Artificial			Natural			Artificial		
	9h30-10h30						13h15-14h15					
	Média OB1P1	Média OB1P2	Média OB1P3	Média OB1P1	Média OB1P2	Média OB1P3	Média OB1P1	Média OB1P2	Média OB1P3	Média OB1P1	Média OB1P2	Média OB1P3
1	150	180	850	770	680,9	601	50	100	680	761	674	661
2	190	270	980	950	809	867	107	406	802	597	878	822
3	200	350	900	704	757	713	50	100	822	114	376	834

Fonte: a autora (2022).

A partir da obtenção dos dados de luminâncias, gerou-se as imagens *falsecolors*, apresentadas a seguir.

#### 4.2.1 Estudo das luminâncias e imagens *falsecolors* - Atelier 1.

A Figura 38 apresenta a análise das luminâncias no Atelier 1. No Atelier 01 na análise das imagens *falsecolor* (Apêndice A), em ambos os períodos, foi possível observar a incidência da claridade sobre algumas mesas de trabalho, especialmente as localizadas de forma perpendicular e mais próximas às janelas. No ambiente é usual as persianas permanecem fechadas, com a iluminação artificial acesa, mesmo em dias claros, devido à probabilidade de ofuscamentos na maior parte do dia. Verificou-se que as luminâncias nos pontos mais críticos mostraram níveis bem baixos (variando em torno de  $50 \text{ cd/m}^2$ ), sendo mínimo por iluminação natural e, embora tenha bastante claridade, não se observou contrastes excessivos, mesmo nos pontos próximos das janelas.

Figura 38. Imagem *falsecolor* no **Atelier 1**, no período matutino, com: a) iluminação natural e b) artificial.



Fonte: a autora (2022).

Os pontos que apresentaram maior índice de ofuscamento foram os mais próximos às janelas no sentido Oeste, considerando as persianas abertas. No período matutino foi possível observar a mudança dos níveis lumínicos por meio da alternância das cores quentes e frias representadas nas imagens *falsecolors* (mostrando níveis maiores de luminâncias próximo às janelas diminuindo para níveis mais baixos nas paredes opostas), pelas imagens observa-se que o período com maiores incidências lumínicas ocorreram no período matutino. Em ambos os períodos se evidenciou predominância das cores frias (azul a verde) o que indica baixos índices lumínicos (entre  $0.50 \text{ cd/m}^2$  a  $250 \text{ cd/m}^2$ ).

Embora os diferentes períodos não apresentem níveis preocupantes de ofuscamento, é preciso analisar as situações mais críticas. A partir das imagens HDR foram produzidas imagens de *falsecolor* do campo visual, sendo possível identificar quais as fontes de iluminação são causadoras de ofuscamento e quais os níveis de desconforto.

### 4.3 Análise da iluminâncias - Atelier 2

A Tabela 13 mostra os pontos de medição no Atelier 2, realizado no dia 23/03/2022 às 10h30 – 11h30 da manhã e dia 10/06/22 das 13h15 às 14h15 da tarde. A Tabela 16 mostra as iluminâncias mínimas, máximas e médias por período e horário em cada ponto medido no ambiente.

Tabela 16. Iluminância por pontos – Atelier 2

Pont o	Iluminância (lux)											
	10h30 - 11h30						13h15 - 14h15					
	Iluminação Natural/Sem Persiana			Iluminação Artificial/Com Persiana			Iluminação Natural/Sem Persiana			Iluminação Artificial/Com Persiana		
	Minolt a	Minip a	Médi a	Minolt a	Minip a	Médi a	Minolt a	Minip a	Médi a	Minolt a	Minip a	Médi a
1	88	80	128	476	471	711,5	44	41	64,5	460	450	685
2	124	119	183,5	579	560	859	59	56	87	482	480	722
3	141	139	210,5	540	529	804,5	61	59	90,5	478	471	713,5
4	194	186	287	455	450	680	94	91	139,5	428	418	637
5	452	443	673,5	480	678	819	309	305	461,5	366	362	547
6	121	118	180	431	429	645,5	27	21	37,5	401	399	600,5
7	145	139	214,5	509	501	759,5	42	41	62,5	394	389	588,5
8	128	125	190,5	507	502	758	34	32	50	352	349	526,5
9	186	178	275	503	489	747,5	61	57	89,5	397	387	590,5
10	467	460	697	490	486	733	241	239	360,5	507	428	721
11	479	475	716,5	438	428	652	140	139	209,5	256	247	379,5
12	110	115	167,5	411	401	611,5	14	10	19	215	210	320
13	101	98	150	488	485	730,5	21	18	30	331	328	495
14	46	45	68,5	428	415	635,5	14	10	19	310	309	464,5
15	85	81	125,5	505	501	755,5	31	29	45,5	378	372	564
16	81	79	120,5	308	300	458	27	21	37,5	229	228	343

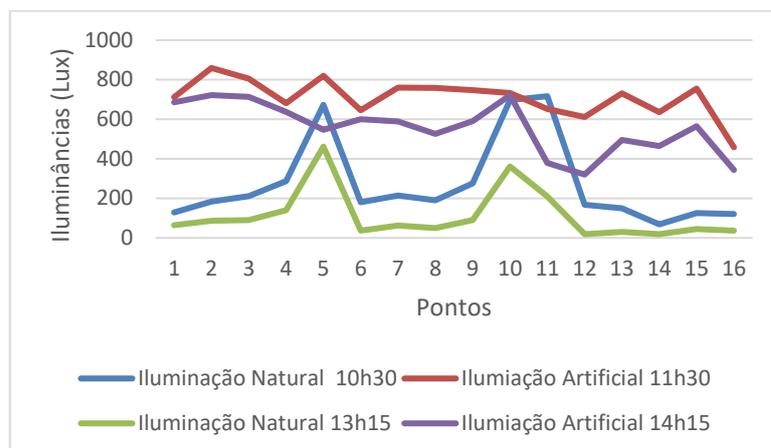
**Legenda:**

Pontos próximo à janela	
Linha central da sala	
Distante da janela	

Fonte: a autora (2022).

No Atelier 2 a Figura 39 mostra de forma esquemática os pontos medidos de acordo com os níveis de iluminância atingidos. Na análise da iluminação natural é possível observar os valores de iluminância variando entre 68, 167 e 716 lux (mínima/ média/ máxima), no período matutino e 19, 209 e 461 lux (mínima/ média/ máxima) no vespertino.

Figura 39. Iluminâncias Atelier 2



Fonte: a autora (2022).

Para o processamento dos dados no Atelier 02, também foram produzidos gráficos de contorno para a ilustração da distribuição da análise das iluminâncias nos dias: 23/03/22 e 10/05/22, respectivamente, como apresentado nas Figuras 40 e 41. Os pontos mais escuros do ambiente, são representados pelas variações da cor azul.

Figura 40. Atelier 2 - Gráficos isolux - matutino

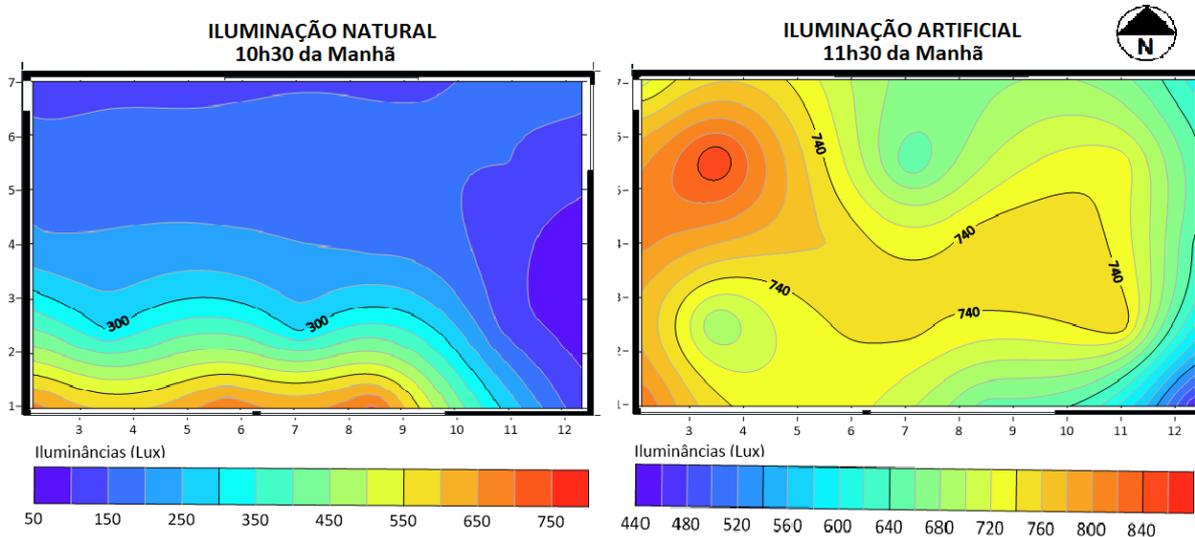
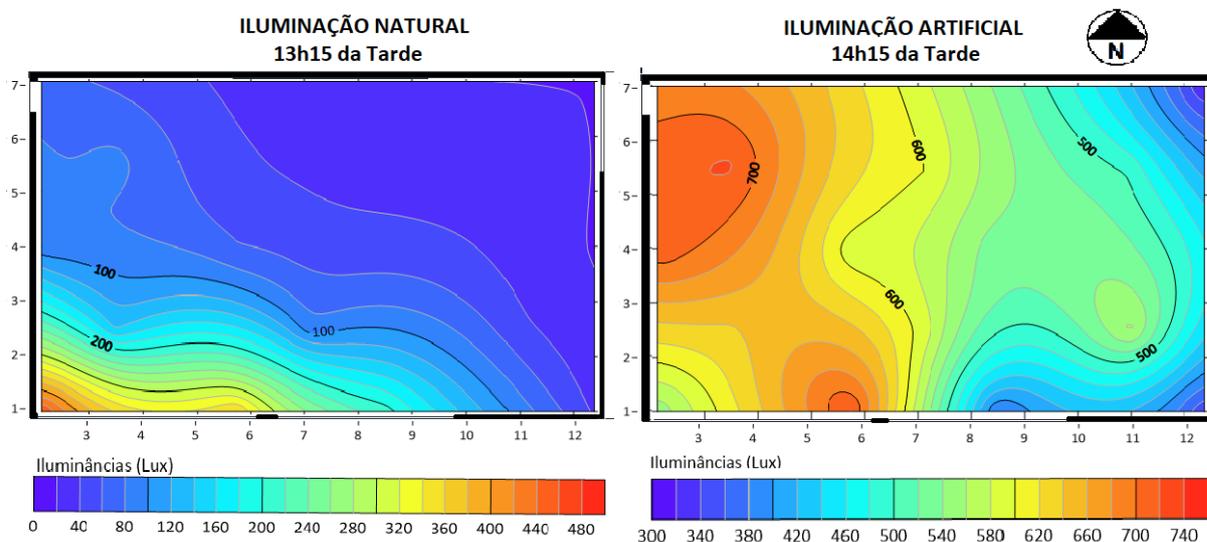


Figura 41. **Atelier 2** – Gráficos isolux. - vespertino

Fonte: a autora (2022).

Para se determinar a classificação de qualidade lumínica do ambiente 2, realizou-se a análise da porcentagem de classificação do ambiente por zonas. Os valores obtidos no ambiente resultaram nas porcentagens indicadas na Tabela 17.

Tabela 17. Porcentagem de classificação do **Atelier 2**.

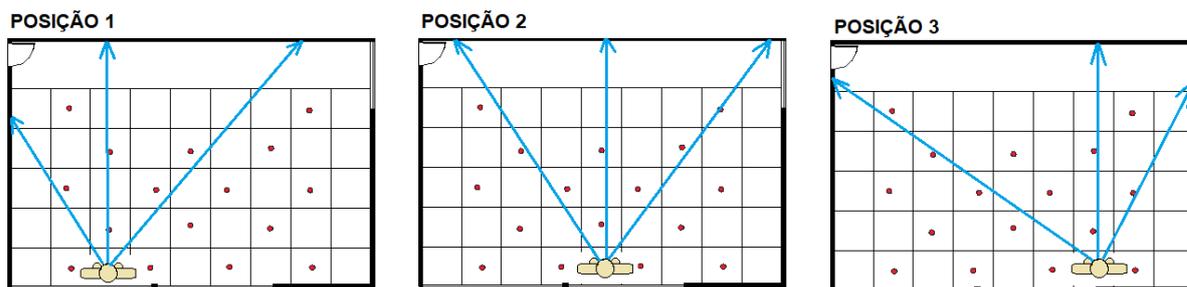
Classificação	Iluminância	Natural Manhã	Artificial Manhã	Natural Tarde	Artificial Tarde
Ruim	<300lux	75%	0%	88%	0%
Regular	300lux - 349lux	0%	13%	0%	0%
Bom	350lux - 650lux	6%	69%	13%	13%
Regular	651lux - 700lux	0%	13%	0%	38%
Ruim	700lux	0%	6%	0%	50%
Porcentagem total adequada		6%	95%	13%	51%

Fonte: dados da pesquisa.

#### 4.4 Análise das luminâncias – Atelier 2

As características arquitetônicas do Atelier 2 e do posicionamento da observadora na medição nas três direções de visão, estão representadas na Figura 42.

Figura 42. Posição da observadora nas cenas



Fonte: a autora (2022).

A Tabela 18 apresenta os dados das luminâncias, a partir da posição do observador nas três direções da visão (Fig.42).

Tabela 18. Valores das médias das medições de luminâncias obtidas em suas três posições no Atelier 2.

Posição	Luminância (Cd/m <sup>2</sup> )											
	Natural			Artificial			Natural			Artificial		
	9h30-10h30						13h15-14h15					
	Média OB1P1	Média OB1P2	Média OB1P3	Média OB1P1	Média OB1P2	Média OB1P3	Média OB1P1	Média OB1P2	Média OB1P3	Média OB1P1	Média OB1P2	Média OB1P3
1	248	450	284	850	701	793	153	250	135	661	760	675
2	247	489	300	788	881	830	220	355	269	740	689	779
3	224	400	359	442	856	878	200	364	264	791	774	757

Fonte: a autora (2022).

#### 4.4.1 Análise das luminâncias e imagens *falsecolors* – Atelier 2

Na pesquisa foi utilizado um conjunto de cinco imagens obtidas para a direção da visão de um observador e logo após inseridas no *Aftab Alpha* que permitiu a geração das imagens HDR e a obtenção do índice de DGI para cada configuração de cena, onde posteriormente estes dados foram inseridos em planilhas do *Excel*.

As imagens *falsecolors* são mapas de distribuição de luminâncias dentro do campo visual, as cores frias (roxo, azul e verde) representam baixa luminância e as cores quentes (vermelho, laranja e amarelo) retratam as luminâncias elevadas.

Figura 43. Imagem *falsecolor* matutino- a) natural; b) artificial- Atelier 2.

Fonte: a autora (2022).

#### 4.5 Análise das iluminâncias - Sala 11

A sala 11 do bloco multiuso apresenta uma configuração com janelas localizadas em toda a lateral da sala, direcionadas para o sentido Sudoeste. A Tabela 20 mostra os pontos de medição na Sala 11, realizado no dia 07/06/2022 às 9h30 – 10h30 da manhã e das 14h15 às 15h15 da tarde. A Tabela 19 mostra as iluminâncias mínimas, máximas e médias por período e horário em cada ponto medido no ambiente.

Tabela 19. Iluminância por pontos – Sala 11.

Ponto	Iluminância (lux)											
	10h30 - 11h30						13h15 - 14h15					
	Iluminação natural/sem persiana			Iluminação artificial/com persiana			Iluminação artificial/com persiana			Iluminação natural/sem persiana		
	MINOLT A	MINIP A	Média a	Minolt a	Minip a	Média a	Minolt a	Minip a	Média a	Minolt a	Minip a	Média a
1	178	150	253	400	487	643,5	550	548	824	980	987	1425
2	101	100	151	346	321	506,5	445	438	664	176	160	256
3	145	135	212,5	431	432	647	566	557	844,5	318	301	468,5
4	111	102	162	500	578	789	550	567	833,5	212	201	312,5
5	149	130	214	432	459	661,5	544	534	811	420	412	626
6	121	106	174	436	412	642	496	487	739,5	162	163	243,5
7	168	145	240,5	474	468	708	558	540	828	1200	1100	1750
8	150	115	207,5	532	502	783	567	559	846,5	345	310	500
9	168	160	248	442	424	654	519	509	773,5	417	410	622
10	111	109	165,5	425	499	674,5	592	579	881,5	159	148	233
11	145	139	214,5	512	509	766,5	575	555	852,5	850	848	1274

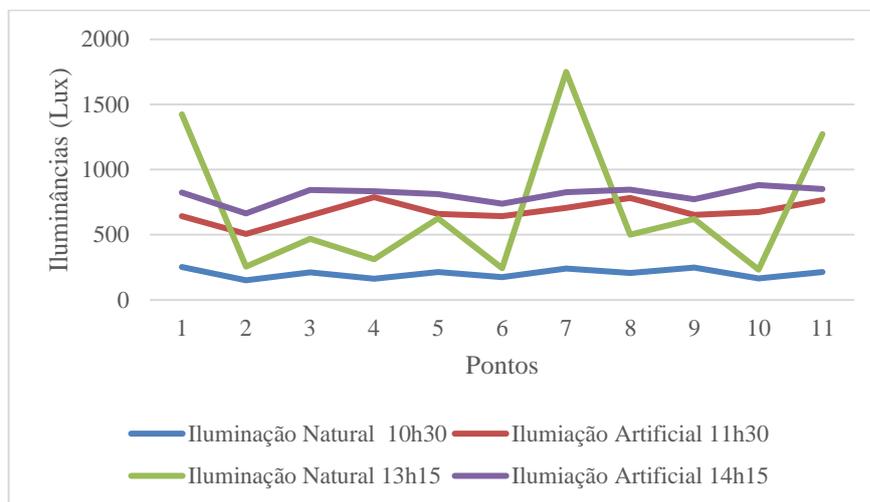
Legenda

Pontos próximo à janela	
Linha central da sala	
Distante da janela	

Fonte: a autora (2022).

Na Sala 11 a Figura 44 mostra a análise da iluminação natural, em que é possível observar os valores de iluminâncias variando entre 151, 174 e 253 lux (mínima/ média/ máxima), no período matutino e 233, 828 e 1750 lux (mínima/ média/ máxima) no vespertino.

Figura 44. Iluminâncias Sala 11

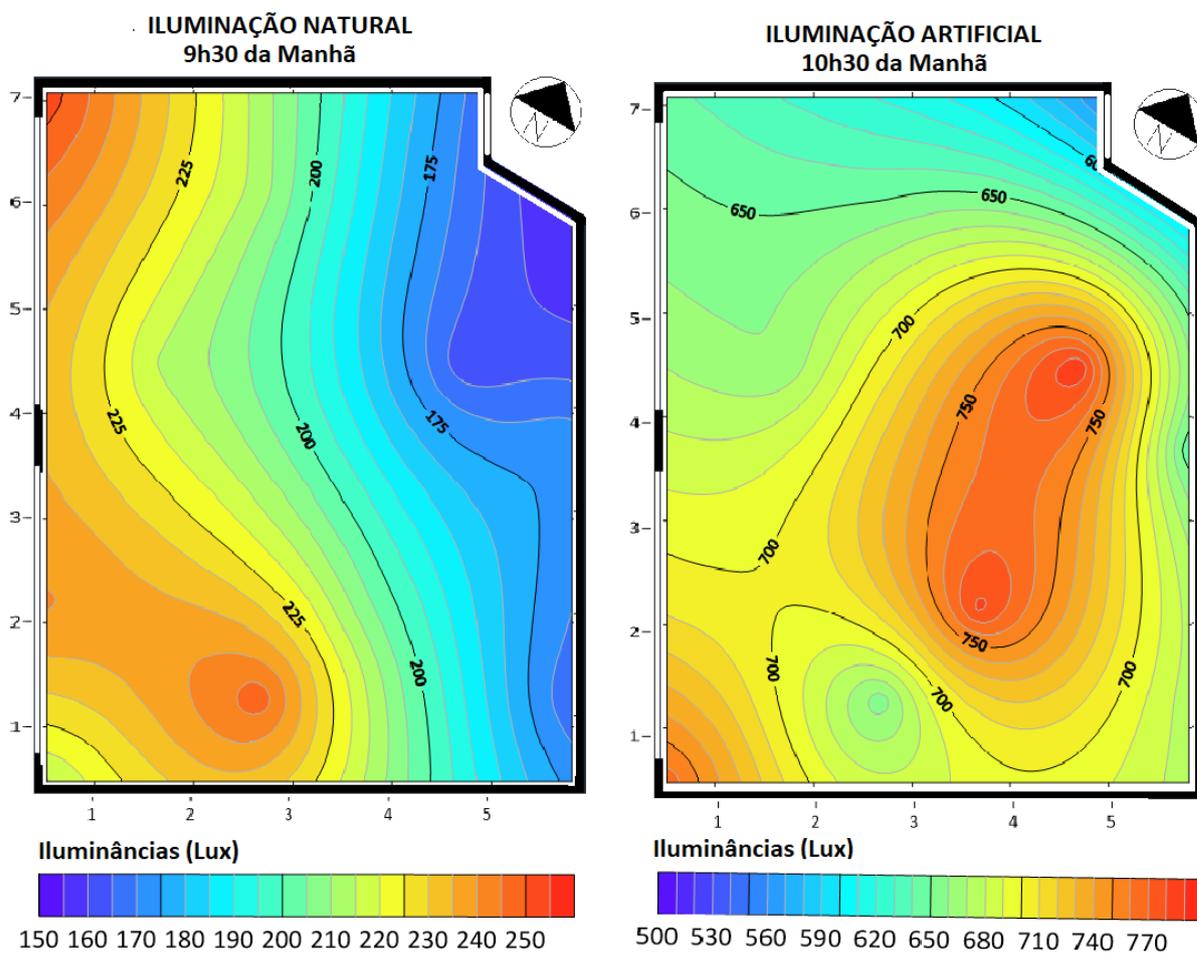


Fonte: a autora (2022).

Baseando-se no valor de referência de 750 lux determinado, os resultados apontaram que para o dia 07/06/2022, período de outono (com tipo de céu limpo com sol e sem nuvens) nos horários determinados, esse valor foi atingido em parcela reduzida da área de trabalho.

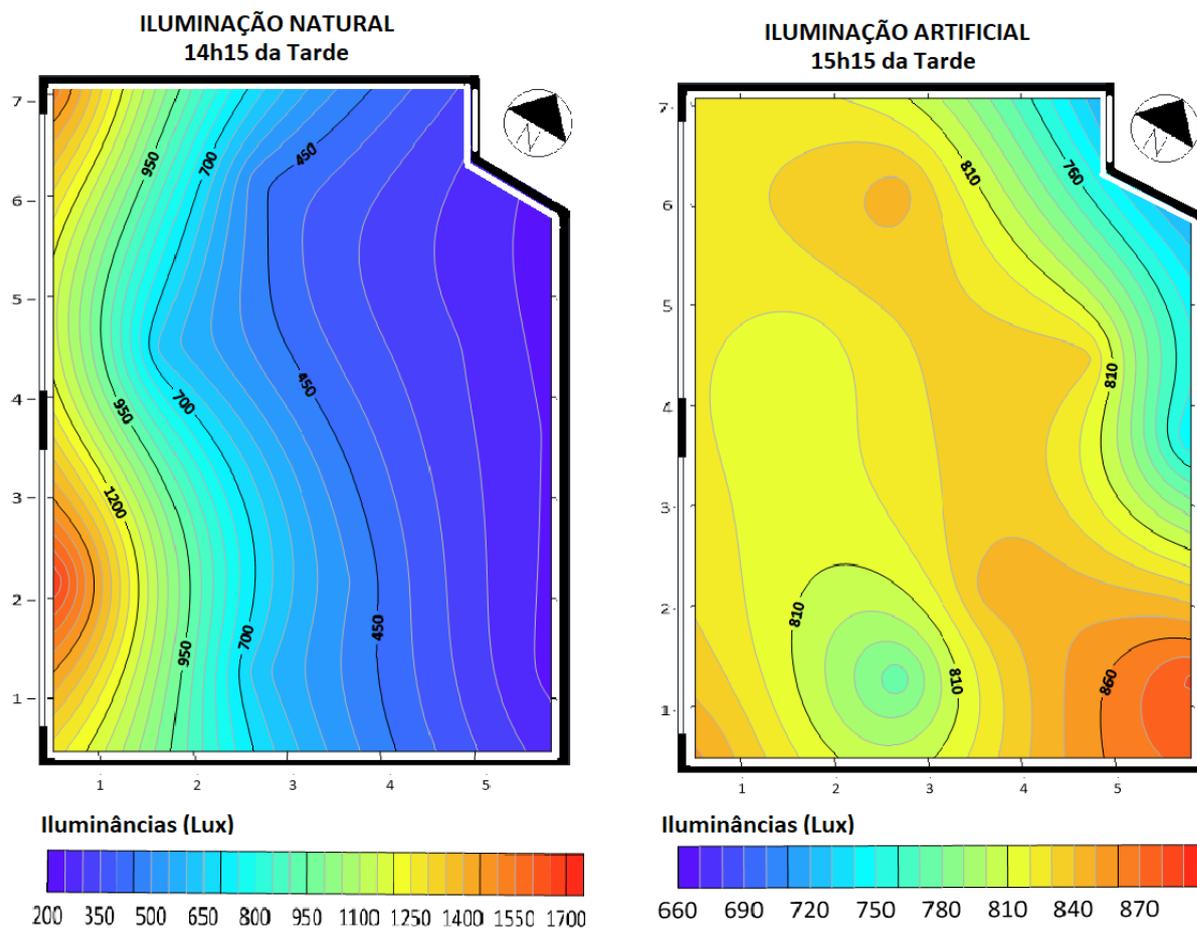
No horário das 10h30min somente com o uso da iluminação natural, não foi possível atingir 750 lux. Em razão da configuração de janela está localizada no sentido Oeste, no período da manhã a sala não recebe incidência solar direta. No horário das 13h15min com o uso somente da iluminação natural foi possível atingir máximos acima de 1750 lux apenas em alguns pontos mais próximos da janela ilustrado pela Figura 45 na cor alaranjada, na maior parte da sala esses valores atingiram médias abaixo de 700 lux, mostrando-se um resultado insatisfatório para iluminação natural em ambos os horários. Acredita-se que os níveis mais elevados de iluminâncias que incidiram em parcelas muito pequenas da sala, se deve em decorrência da insolação direta na fachada (sentido Oeste), no período da tarde.

Figura 45. Sala 11 – Gráficos isolux – matutino



Fonte: a autora (2022).

Figura 46. Sala 11 – Gráficos isolux -vespertino



Fonte: a autora (2022).

Tabela 20. Porcentagem de classificação da Sala 11.

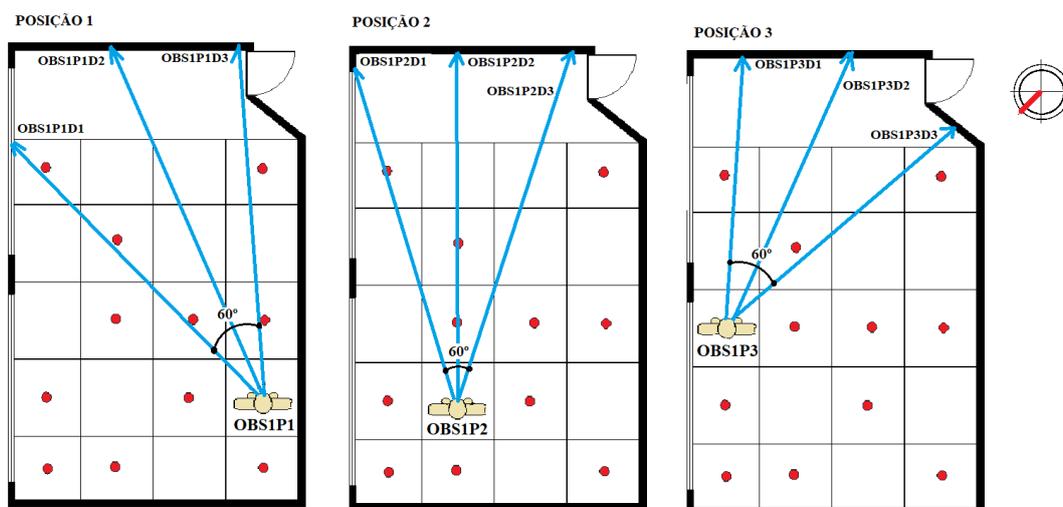
Classificação	Iluminância	Natural Manhã	Artificial Manhã	Natural Tarde	Artificial Tarde
Ruim	<300lux	0%	0%	9%	0%
Regular	300lux - 349lux	0%	0%	0%	9%
Bom	350lux - 650lux	72%	55%	27%	45%
Regular	651lux - 700lux	0%	0%	9%	18%
Ruim	700lux	27%	45%	55%	27%
Porcentagem total adequada		72 %	55%	34%	72%

Fonte: dados da pesquisa.

#### 4.5 Análise das luminâncias – Sala 11

Posicionamento da pesquisadora na Sala 11 nos três pontos com três direções distintas cada um, como mostrado na Figura 47.

Figura 47. Posição da pesquisadora



Fonte: a autora (2022).

A Tabela 21 mostra os dados das luminâncias na sala 11.

Tabela 21. Valores das médias das medições de luminâncias obtidas em suas três posições na **Sala 11**.

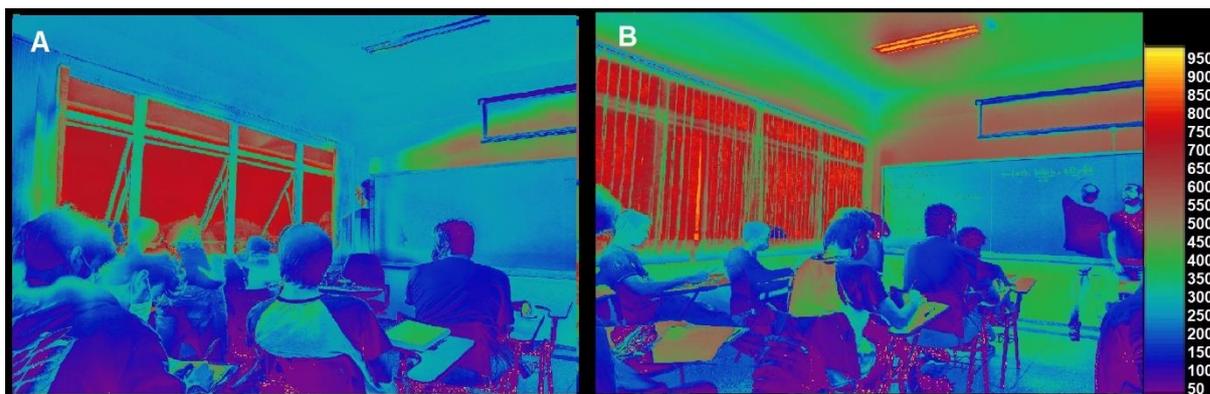
Posição	Luminância (Cd/m <sup>2</sup> )											
	Natural			Artificial			Natural			Artificial		
	10h30-11h30						13h15-14h15					
	Média OB1P1	Média OB1P2	Média OB1P3	Média OB1P1	Média OB1P2	Média OB1P3	Média OB1P1	Média OB1P2	Média OB1P3	Média OB1P1	Média OB1P2	Média OB1P3
1	850	250	200	550	650	600	950	759	550	850	800	900
2	750	150	150	550	550	550	900	850	400	800	800	550
3	350	300	200	500	500	550	450	400	550	550	500	450

Fonte: a autora (2022).

A partir da obtenção dos dados de luminâncias, gerou-se as imagens *falsecolors*, apresentadas a seguir.

#### 4.5.1 Estudo das luminâncias e imagens *falsecolors* – Sala 11

A Figura 48 mostra a análise das luminâncias na Sala 11 nos dois períodos (à esquerda) as medições foram feitas no período da manhã, com pouca incidência de radiação solar, somente em alguns pontos, os mais visíveis acima da lousa e em algumas carteiras, fazendo com que os usuários não sentissem a necessidade de acionarem as persianas. Já na imagem 29.B (à direita) as luminâncias estão mais elevadas, as cores vermelhas e laranjadas representam os índices mais elevados, e pela imagem estão incidindo em alguns pontos do ambiente.

Figura 48. Imagem *falsecolor* matutino- a) natural; b) artificial- Sala 11.

Fonte: a autora (2022).

#### 4.6 Análise das iluminâncias - Sala 12

A Tabela 22 mostra os pontos de medição na Sala 12, realizado no dia 07/06/2022 às 7h30 – 8h30 da manhã e das 13h15 às 14h15 da tarde. A Tabela mostra as iluminâncias mínimas, máximas e médias por período e horário em cada ponto medido no ambiente.

Tabela 22. Iluminância por pontos – Sala 12

Pontos	Iluminância (lux)											
	7h30 - 8h30						13h15 - 14h15					
	Iluminação natural/sem persiana			Iluminação artificial/com persiana			Iluminação natural/sem persiana			Iluminação artificial/com persiana		
	Minolt	Minip	Média	Minolt	Minip	Média	Minolt	Minip	Média	Minolt	Minip	Média
1	205	189	<b>939</b>	561	559	<b>841</b>	631	616	<b>611,5</b>	550	408	<b>754</b>
2	160	152	<b>236</b>	550	548	<b>824</b>	122	114	<b>179</b>	519	510	<b>774</b>
3	245	229	<b>800</b>	580	578	<b>869</b>	240	238	<b>634,5</b>	576	567	<b>860</b>
4	663	648	<b>387</b>	501	489	<b>746</b>	170	168	<b>160</b>	491	482	<b>732</b>
5	559	543	<b>380,5</b>	503	512	<b>759</b>	130	127	<b>140</b>	498	490	<b>743</b>
6	190	175	<b>889,5</b>	520	512	<b>776</b>	296	287	<b>643,5</b>	515	506	<b>768</b>
7	352	344	<b>374</b>	530	521	<b>791</b>	184	179	<b>198,5</b>	505	506	<b>758</b>
8	609	599	<b>1037</b>	532	525	<b>795</b>	694	686	<b>629,5</b>	509	501	<b>760</b>
9	453	444	<b>675</b>	540	567	<b>824</b>	186	181	<b>171,5</b>	524	521	<b>785</b>
10	360	350	<b>385</b>	521	519	<b>781</b>	116	107	<b>134,5</b>	502	491	<b>748</b>
11	701	686	<b>1044</b>	535	528	<b>799</b>	616	607	<b>769,5</b>	491	482	<b>732</b>
12	261	252	<b>387</b>	540	537	<b>809</b>	114	109	<b>90,5</b>	510	490	<b>755</b>
13	345	336	<b>363</b>	564	546	<b>837</b>	143	138	<b>138,5</b>	523	514	<b>780</b>
14	380	371	<b>265,5</b>	585	550	<b>860</b>	132	127	<b>115,5</b>	508	519	<b>768</b>
15	364	355	<b>541,5</b>	546	535	<b>814</b>	158	151	<b>150,5</b>	517	510	<b>772</b>
16	203	194	<b>300</b>	560	543	<b>832</b>	84	79	<b>74,5</b>	534	525	<b>797</b>

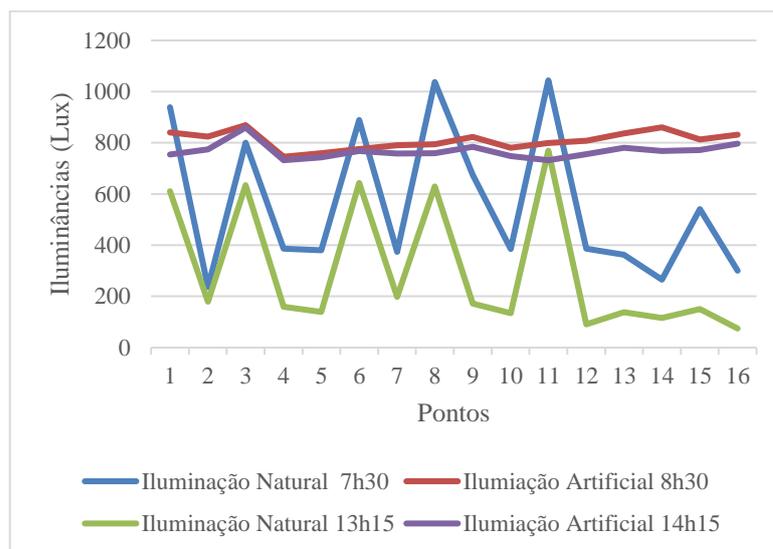
Legenda:

Pontos próximo à janela	
Linha central da sala	
Distante da janela	

Fonte: a autora (2022).

Nesta etapa, assim como nas amostras dos ambientes anteriores, os dados foram tabulados com gráficos por meio da incidência solar direta distribuída no ambiente. A Figura 49 compara os pontos medidos nos dois horários propostos, analisado conforme cada condição determinada. Os valores de iluminâncias variaram entre 266, 387 e 1044 lux (mínima/ média/ máxima), no período matutino e 75, 91 e 732 lux (mínima/ média/ máxima) no vespertino.

Figura 49. Iluminâncias Sala 12



Fonte: a autora (2022).

Com base no valor de referência de 750 lux determinado, os resultados 13h15 às 14h15 mostraram que para o dia 07/06/22, período de inverno (com tipo de céu limpo e sem nuvens), no horário das 7h30 às 8h30 é possível atingir esse valor na condição de iluminação natural nos pontos mais próximos das janelas. Embora nesse período ocorra incidência solar direta na fachada, de acordo com a carta de sombra, os raios solares são amenizados pelo beiral de proteção da fachada nos horários compreendidos das 9h às 12h no período de 22 de dezembro a 22 de junho, o que dificulta a entrada de iluminação direta em todo o ambiente.

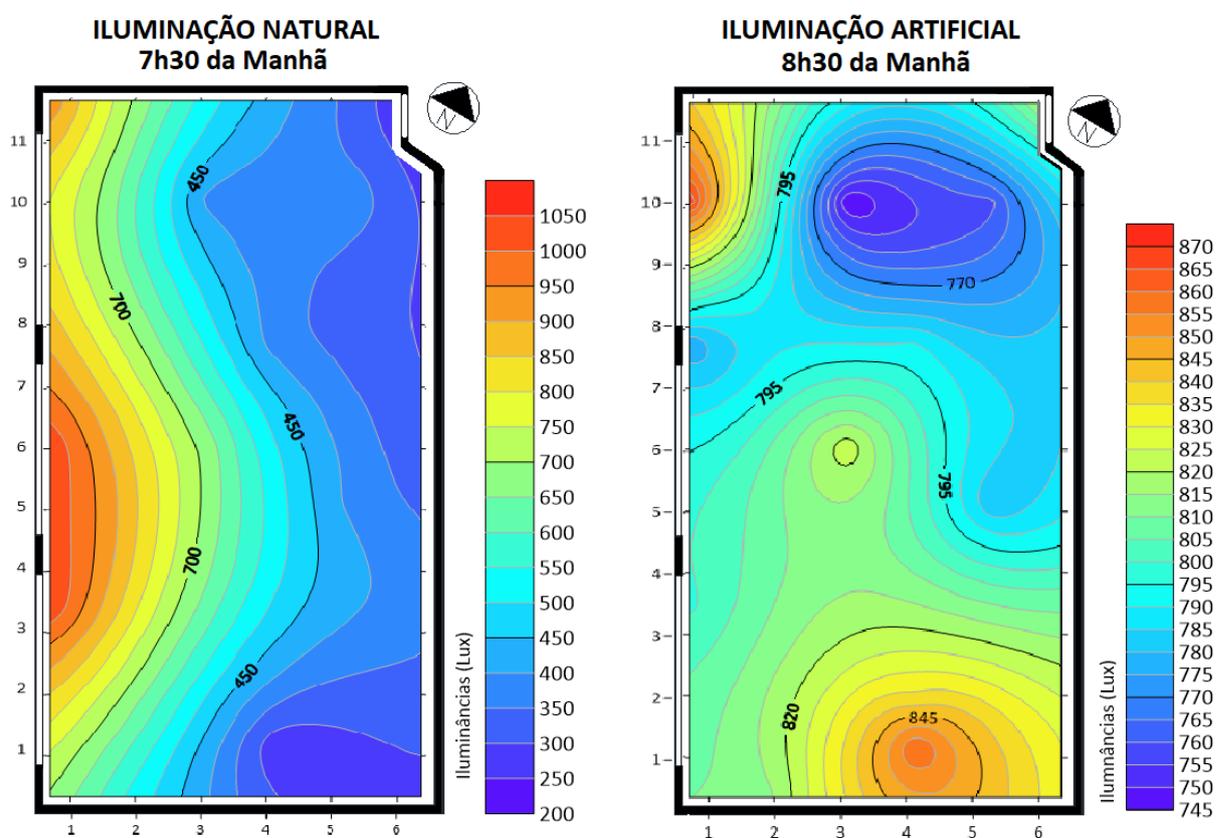
No horário das 13h15 às 14h15, em razão de sua posição ter vista das janelas principais com orientação Leste, no período da tarde não há insolação direta na fachada. Também não atingindo os índices (750 lux) recomendados na totalidade do ambiente.

De maneira geral os níveis de iluminação natural atingiram o indicado em áreas reduzidas do ambiente, nos dois horários medidos. A diferença entre os horários apresentou-se dentro do esperado, já que o melhor resultado foi observado às 7h30 da manhã.

Os maiores níveis ficaram concentrados ao longo da fachada Leste no período da manhã, sendo menores ao longo da fachada Oeste no período vespertino. Com base no valor de referência de 750 lux determinado, os resultados apontaram que para o dia 07/06/, período de

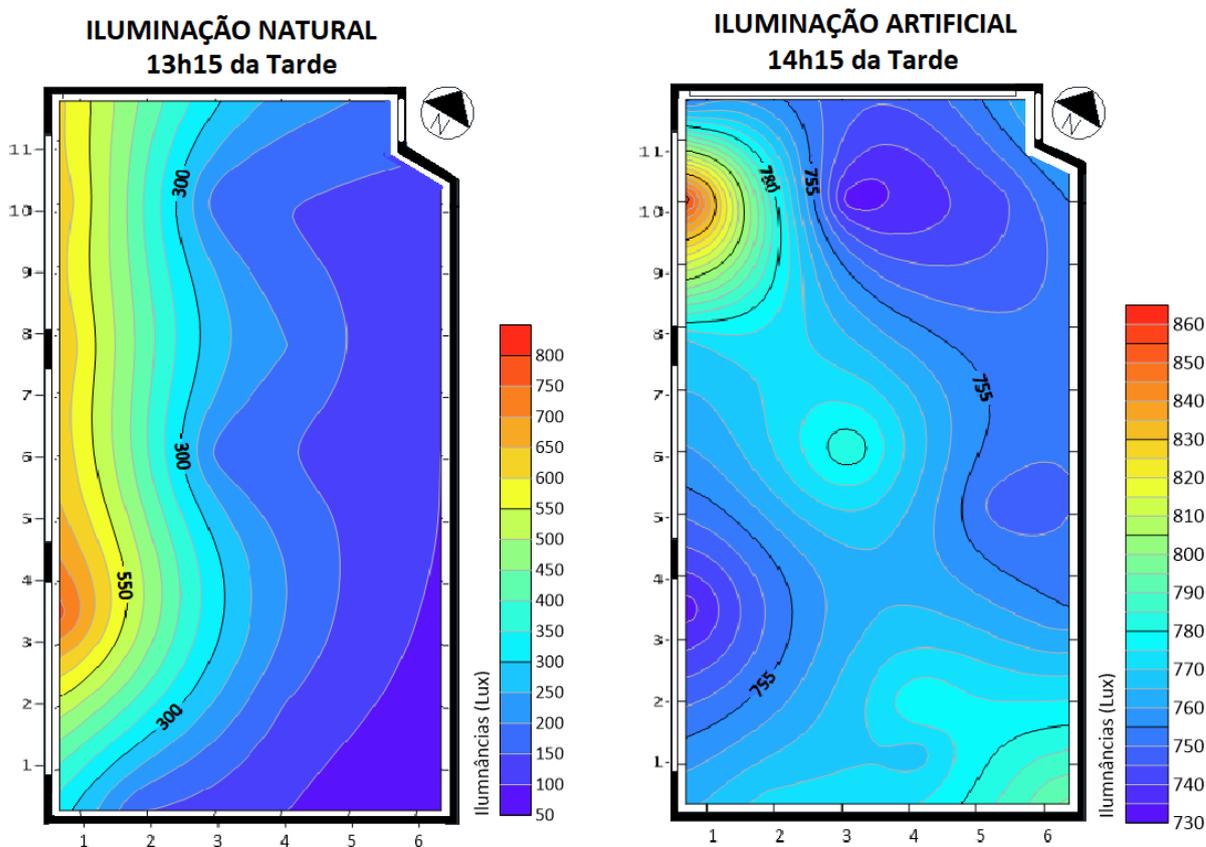
inverno, no horário das 7h30 e das 14h15 esse valor para iluminação natural só é atingido em pequena parcela do ambiente. Atingiu-se uma iluminância máxima em pontos mais próximos da abertura com 1044 lux período matutino, sendo que no período vespertino no horário das 14h15 mais da metade da sala apresentou níveis de iluminância entre 75 e 700 lux. Na Figura 50 essa parcela é representada pelas nuances das cores azul escuro à azul claro. De maneira geral os níveis não atingiram o recomendado nos dois horários medidos.

Figura 50. Sala 12 - Gráficos isolux - matutino



Fonte: a autora (2022).

Figura 51. Sala 12 - Gráficos isolux – vespertino



Fonte: a autora (2022).

A tabela de porcentagem de classificação da qualidade serve para mostrar a qualidade lumínica em cada ambiente estudado. A Tabela 23 apresenta essa classificação da Sala 12, tanto no período matutino quando é ou não acionada a iluminação artificial, quanto no período vespertino.

Tabela 23. Porcentagem de classificação da **Sala 12**.

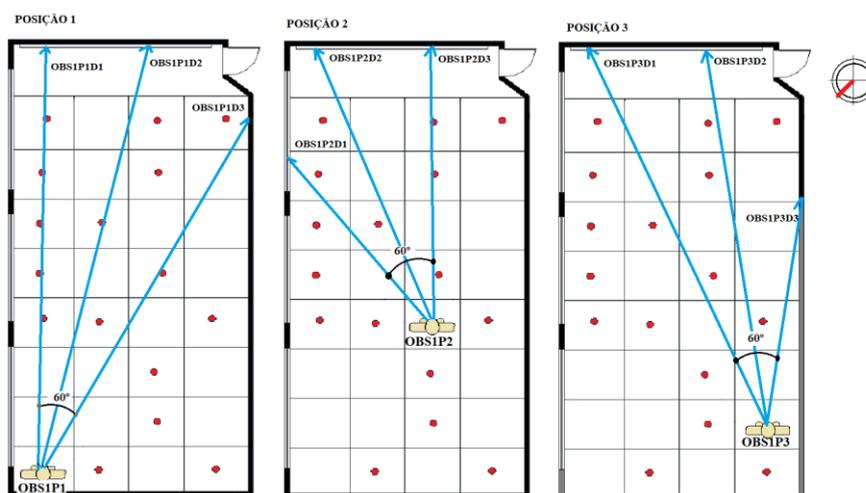
Classificação	Iluminância	Natural Manhã	Artificial Manhã	Natural Tarde	Artificial Tarde
Ruim	<300lux	25%	38%	69%	0%
Regular	300lux - 349lux	0%	13%	0%	6%
Bom	350lux - 650lux	44%	50%	13%	81%
Regular	651lux - 700lux	6%	0%	0%	13%
Ruim	700lux	25%	0%	19%	0%
Porcentagem total adequada		50%	63%	13%	100%

Fonte: dados da pesquisa.

## 4.7 Análise das luminâncias – Sala 12

A pesquisadora se posicionou em três pontos com três direções, na Sala 12 como mostrado na Figura 52.

Figura 52. Posição do observador para medição das luminâncias



Fonte: a autora (2022).

A Tabela 24 mostra os dados das luminâncias na sala 12.

Tabela 24. Valores das médias das medições de luminâncias obtidas em suas três posições na Sala 12.

Posição	Luminância (Cd/m <sup>2</sup> )											
	Natural			Artificial			Natural			Artificial		
	7h30-8h30						13h15-14h15					
	Média OB1P1	Média OB1P2	Média OB1P3	Média OB1P1	Média OB1P2	Média OB1P3	Média OB1P1	Média OB1P2	Média OB1P3	Média OB1P1	Média OB1P2	Média OB1P3
1	304	200	354	679	966	860	175	245	469	526	615	686
2	418	250	229	802	850	870	347	360	206	620	733	744
3	380	180	341	710	935	978	570	100	130	618	739	689

Fonte: a autora (2022).

Todas as imagens *Falsecolors* produzidas pelas fotos HDR tiradas das posições do campo de visão do observador como apresentado a seguir, assim como em todos os ambientes analisados, que serviram de análise desta pesquisa, estão apresentadas no Apêndice B.

### 4.7.1 Estudo das luminâncias e imagens *falsecolor* – Sala 12

Pela imagem *falsecolor* 32.A (à esquerda) é possível observar que na Sala 12 a iluminação natural no período vespertino recebe grande incidência de radiação solar. Pela incidência das cores vermelha e laranja (que representam os maiores níveis lumínicos) nota-se sua abrangência por toda a extensão do ambiente. Fazendo-se necessário o uso das persianas

para aplacar o ofuscamento, e a necessidade do uso da iluminação artificial, conforme visto na Fig.53B (à direita).

Figura 53. Imagem *falsecolor* matutino- a) natural; b) artificial- **Sala 12**.



Fonte: a autora (2022).

Como continuação da pesquisa, após a execução dos métodos técnicos partiu-se para a última etapa de multimétodos, com a estruturação das análises estatísticas dos resultados.

#### 4.8 Análise dos indicadores DGI e DGP

Para a análise das luminâncias nas áreas de tarefa foram utilizados os índices de ofuscamento produzidos a partir das imagens HDR. Dessa forma foram adotados o DGI e DGP para condições de iluminação natural e UGR para artificial. Nos ambientes analisados, as imagens foram geradas a partir de fotos de um observador sentado em três posições diferentes (Figura 40). As informações das imagens HDR possibilitam identificar os pontos de ofuscamento e analisar até que ponto esta fonte pode interferir no campo visual do observador.

Com o uso do programa *Aftab Alpha* um único valor de cada índice foi extraído das imagens HDR, sendo este representativo de cada cena. Como complemento do estudo, as imagens de falsa cor (*falsecolor*) foram empregadas como recurso de análise, apresentando assim, as regiões mais propensas as condições de iluminações excessivas. A análise foi feita nas duas condições de iluminação: natural e artificial (Tabela 25 e 26).

Tabela 25. Índices de ofuscamento das cenas dos Ateliers 1 e Atelier 2 com iluminação **natural**.

Atelier 1				Atelier 2			
Matutino							
Pontos	Adjacente à janela	DGI	DGP	Pontos	Adjacente à janela	DGI	DGP
1.65	sim	9,72101	0,14928	7.10	sim	16,04556	0,13459
1.98	sim	11,86455	0,1802	7.02	sim	11,6643	0,01151
2.02	sim	12,34789	0,02783	8.06	sim	12,95995	0,06044
2.58	sim	18,335989	0,19781	9.17	sim	12,9389	0,121
2.10	sim	19,87297	0,14053	9.17	sim	11,67368	0,0689
5.18	não	7,32397	0,03281	10.23	não	22,7154	0,19977
5.29	não	18,4604	0,30565	10.31	não	12,88574	0,06794
6.08	não	16,4584	0,33338	11.92	não	13,89566	0,18924
6.23	não	18,47702	0,23435	11.92	não	12,88574	0,16724
Vespertino							
Estações	Adjacente à janela	DGI	DGP	Estações	Adjacente à janela	DGI	DGP
2.05	não	7,521	0,14928	8.01	sim	18,5231	0,10094
2.98	sim	9,8455	0,1802	8.10	sim	13,1276	0,03219
3.02	sim	10,2789	0,02783	9.06	não	14,0142	0,03014
3.58	não	16,3359	0,19781	10.17	não	14,2102	0,12193
4.10	sim	17,4729	0,14053	10.17	sim	16,0736	0,03216
6.08	não	5,2397	0,03281	11.23	não	23,7801	0,20954
6.29	sim	16,4604	0,30565	11.31	não	14,0121	0,04017
7.78	sim	14,4584	0,33338	12.92	sim	15,1009	0,12134
7.23	não	16,7702	0,23435	13.08	sim	14,3521	0,17921
LEGENDA							
Imperceptível		Perceptível		Desconfortável		Intolerável	

Fonte: dados da pesquisa (2022).

Tabela 26. Índices de ofuscamento das cenas do Atelier 1 e Atelier 2 com iluminação **artificial**.

Atelier 1			Atelier 2		
Matutino					
Estações	Adjacente à janela	UGR	Estações	Adjacente à janela	UGR
2.12	Não	20,2179	6.24	Sim	15,4578
2.18	Sim	28,0928	6.28	Sim	28,0928
3.02	Sim	22,3923	7.1	Não	20,3476
3.12	Sim	21,4531	7.2	Não	20,7908
3.22	Não	18,4471	7.6	Não	21,9878
4.10	Não	26,0543	7.42	Sim	19,0254
4.39	Sim	19,6698	8.02	Sim	13,3449
4.57	Não	29,9845	8.09	Não	18,3467
5.11	Não	14,3456	8.12	Não	31,2341
Vespertino					
2.12	Não	22,2179	6.24	Sim	17,9102
2.18	Sim	31,1042	6.28	Sim	29,3521
3.02	Sim	23,7189	7.1	Não	22,3456
3.12	Sim	24,7173	7.2	Não	24,3124
3.22	Não	20,4135	7.6	Não	23,6754
4.10	Não	30,4576	7.42	Sim	21,0923
4.39	Sim	21,7234	8.02	Sim	17,3453
4.57	Não	29,4123	8.09	Não	19,3718
5.11	Não	16,7898	8.12	Não	32
LEGENDA					
Imperceptível		Perceptível	Desconfortável	Intolerável	

Fonte: dados da pesquisa (2022).

Tabela 27. Índices de ofuscamento das cenas nas salas 11 e 12 com iluminação natural.

Sala 11				Sala 12			
Matutino							
Estações	Adjacente à janela	DGI	DGP	Estações	Adjacente à janela	DGI	DGP
1.65	sim	8,32101	0,18928	7.10	sim	18,04556	0,12459
1.98	sim	10,86455	0,1902	7.02	sim	12,6643	0,05151
2.02	sim	22,34789	0,09783	8.06	sim	13,95995	0,05044
2.58	sim	16,335989	0,29781	9.17	sim	14,9389	0,1521
2.10	sim	20,87297	0,54053	9.17	sim	10,67368	0,0789
5.18	não	8,32397	0,04281	10.23	não	20,7154	0,29977
5.29	não	21,4604	0,40565	10.31	não	14,88574	0,03794
6.08	não	14,4584	0,53338	11.92	não	12,89566	0,28924
6.23	não	19,47702	0,33435	11.92	não	11,88574	0,26724
Vespertino							
Estações	Adjacente à janela	DGI	DGP	Estações	Adjacente à janela	DGI	DGP
2.12	não	6,9076	0,18928	5.29	sim	19,7423	0,23451
2.16	sim	9,4132	0,1902	5.30	não	11,2131	0,08713
3.01	sim	20,9174	0,09783	6.15	não	15,7824	0,04321
3.11	sim	12,2175	0,29781	6.19	sim	19,4158	0,23521
3.21	não	25,0978	0,54053	6.24	sim	9,3148	0,0389
4.01	sim	6,4187	0,04281	6.35	não	18,3471	0,23977
4.05	sim	23,4176	0,40565	7.01	não	11,9437	0,01794
4.31	não	20,7623	0,53338	7.15	sim	10,4576	0,12924
5.24	não	17,1521	0,33435	7.28	não	10,4783	0,25724
LEGENDA							
Imperceptível		Perceptível		Desconfortável		Intolerável	

Fonte: dados da pesquisa (2022).

Tabela 28. Índices de ofuscamento das cenas das Salas 11 e 12 com **iluminação artificial**.

Sala 11			Sala 12		
Matutino					
Estações	Adjacente à janela	UGR	Estações	Adjacente à janela	UGR
3.12	Não	19,9874	5.29	Sim	7,4189
3.16	Sim	15,3452	5.30	Não	81,537
2.01	Sim	14,3423	6.15	Não	20,1456
2.11	Sim	20,9867	6.19	Sim	24,7867
3.21	Não	22,9834	6.24	Sim	21,3423
3.01	Sim	14,7545	6.35	Não	30,2323
5.05	Sim	17,4557	7.01	Não	18,8456
5.31	Não	18,2498	7.15	Sim	20,3421
5.24	Não	21,1231	7.28	Não	22,4357
Vespertino					
3.12	Não	20,3476	5.29	Sim	8,43398
3.16	Sim	17,8278	5.30	Não	9,1009
2.01	Sim	16,4174	6.15	Não	21,7845
2.11	Sim	21,3445	6.19	Sim	24,9872
3.21	Não	23,4312	6.24	Sim	22,1893
3.01	Sim	18,2178	6.35	Não	31,3982
5.05	Sim	19,0123	7.01	Não	19,3157
5.31	Não	19,4132	7.15	Sim	21,0928
5.24	Não	22,8767	7.28	Não	23,1746
LEGENDA					
Imperceptível		Perceptível	Desconfortável	Intolerável	

Fonte: dados da pesquisa (2022).

#### 4.9 Análise dos mapas isolux

Como análise das iluminâncias médias dos ambientes foram gerados gráficos de Curvas Isolux, para cada condição e período. Nos gráficos isolux observou-se que a iluminação natural no período matutino obteve as maiores incidências solares registradas ao serem comparadas com os níveis do período vespertino, com exceção da Sala 11, que apresentou incidências menores no período matutino com 248 lux e maiores no período vespertino em torno de 1750 lux ao ser comparada com os outros ambientes. Dessa forma, os pontos de maiores picos de iluminâncias por iluminação natural encontradas foram de 1750 lux na Sala 11, excedendo os 750 luxes recomendados em norma.

A sala 11 foi o ambiente que não ultrapassou 250lux, no horário das 10h30 e 11h30 da manhã. Os comportamentos nos demais horários de todos os ambientes foram semelhantes: entre 9h30 e 15h30 apresentaram um cenário com máximas variando entre 400 lux a 1750 lux para iluminação natural e de até 880 lux para artificial.

Todos os ambientes apresentaram baixos níveis de iluminação natural no período matutino, abaixo dos 750 lux na maior extensão das salas, das 9h30 às 11h30. Quanto a

iluminação artificial no período matutino os ambientes, apresentaram níveis mínimos de 320 lux a 732 lux. Os ambientes que apresentaram menores níveis para iluminação artificial foram o Atelier 1 que apresentou nível máximo de 498 lux e o Atelier 2 que se mostrou com nível máximo de 458 lux, bem abaixo dos 750 lux determinados em norma.

Destaca-se que os resultados da iluminação natural em todos os ambientes, que apresentaram maior incidência de iluminâncias por área, coincidem com planos de trabalho localizados próximos às janelas das fachadas e com medições feitas no período da manhã entre as 9h30 e 10h30; os pontos próximos às janelas com orientação norte também apresentaram predominância de incidência solar. As medições com valores inferiores a 100 lux retratam os postos de trabalho mais distantes das janelas, monitorados no período da manhã e no período da tarde.

Ao analisar o Atelier 1 no período da manhã no horário das 10h30min a iluminação artificial na maior parte do ambiente se apresentou abaixo de 500 lux em grande parte do ambiente, presume-se que seja em razão de haver algumas lâmpadas não funcionando em alguns pontos no momento da medição. Também a iluminação natural no mesmo horário se manteve abaixo dos índices recomendados. A iluminação natural no período vespertino, apresentou um nível de iluminância abaixo de 300 lux na maior parte da extensão do ambiente, abaixo do recomendado em norma.

No Atelier 2 as leituras foram realizadas no dia 23 de março no horário das 10h30min às 11h30min da manhã, contemplou-se um tipo de céu com sol e sem nuvens (outono). E no período vespertino entre as 13h15 e 14h15 do dia dez de maio (outono) com um céu nublado. As iluminâncias médias observadas no Atelier 2 para iluminação natural apresentaram áreas variando abaixo de 100 lux (matutino) e 300 lux (vespertino) na maior extensão do ambiente. Foram observadas que as iluminâncias com maiores valores estão próximas às janelas e vão reduzindo gradativamente, conforme se aproxima da porta de entrada e nas laterais opostas, onde não existem aberturas.

Conforme as medições, destaca-se que os níveis de iluminância do Atelier 2, na condição de iluminação natural, no período da manhã, não consegue atender a condições lumínicas favoráveis em ambos os períodos. Devido a posição de trabalho dos alunos (de costas para as janelas), essa incidência direta da iluminação natural na área de trabalho, causa ofuscamentos, obrigando-os a adotarem dispositivos internos de proteção, como persianas e o acionamento da iluminação artificial, a maior parte do tempo. Por sua vez, a iluminação artificial, também não apresenta suficiência lumínica, com níveis abaixo de 750 lux.

Na sala 11 as leituras foram realizadas no dia 07 de junho (outono), no horário das 9h30min às 10h30min da manhã e no período vespertino entre as 14h15 e 13h15, contemplou-se um tipo de céu com sol e sem nuvens. De acordo com as medições, verificou-se que os níveis de iluminância, na condição de iluminação natural com média de 200 lux no período da manhã cobriu a maior parte do ambiente. Já no período da tarde, embora apresentassem níveis mais elevados (média de 700 lux), ocorreram somente em pequenos pontos mais próximos das aberturas, a maior parte do ambiente apresentou níveis abaixo de 450 lux. A iluminação artificial, apresentou-se com boa suficiência lumínica na totalidade do ambiente, com níveis acima de 750 lux.

Na sala 12 as leituras foram realizadas no dia 07 de junho (outono), no horário das 7h30min às 8h30min da manhã e no período vespertino entre as 13h15 e 14h15, contemplou-se um tipo de céu com sol e sem nuvens. Pelas análises gráficas na sala 12 foi possível observar que as maiores iluminâncias ocorreram no período da manhã (7h30 às 8h30) com índices de 1044 lux em determinados pontos, no entanto na maior parte do ambiente os níveis se mantiveram abaixo de 500 lux. Já no período da tarde, a maior parte do ambiente apresentou baixas iluminâncias (abaixo de 300 lux). Nota-se também que a iluminação artificial em ambos os períodos atingiu índices aceitáveis entre 550lx a 750 lux.

Por meio da análise das zonas de distribuição de iluminância foi possível observar a falta de qualidade lumínica no Atelier 1 quando não é acionada a iluminação artificial em ambos os períodos analisados, enquadrando o ambiente na categoria de “ruim”. A iluminação natural associada com a artificial permite ao ambiente, nos períodos estudados, ter 100% de sua área atendendo as necessidades visuais dos usuários, obtendo a classificação “boa”.

O mesmo procedimento de análise foi aplicado nos demais ambientes. O nível de qualidade lumínica no Atelier 2 na condição de iluminação natural foi tido como “ruim” tanto no período da manhã quanto da tarde. Portanto, também apresenta necessidade de associar a iluminação natural com a artificial para atender ao conforto lumínico no ambiente.

Na análise da sala 11, foi possível observar que a iluminação natural no período da manhã é mais crítica, pois apresentou classificação de “ruim”. Embora o ambiente apresente níveis positivos, constatou-se também a necessidade de associar a iluminação natural com a artificial para se atingir o nível adequado de conforto lumínico aos usuários.

Na sala 12 a iluminação natural no período da tarde é a mais crítica tida como “ruim”. O que reafirma a necessidade de associar a iluminação natural com a artificial em todos os períodos.

#### 4.10 Análise das luminâncias médias

Embora a maioria das estações de trabalho fotografadas não apresentaram níveis preocupantes de ofuscamento, é preciso analisar as situações mais críticas. A partir das imagens HDR foram produzidas imagens de falsa cor das estações de trabalho, sendo possível identificar quais as fontes de iluminação causadoras de ofuscamento. Analisando as cenas do Atelier 1 e Atelier 2 com o índice UGR mais elevado (UGR=31,23) e (UGR=32,39), respectivamente; e nas Salas 11 e 12 com (UGR=30,78) e (UGR=31,17); foi possível identificar as luminâncias presentes na cena e as esquadrias das fachadas principais, como fontes de ofuscamento. Corroborando com o estudo de Khledj e Bencheikh (2021) que afirmam que dentre os resultados encontrados, as imagens HDR das áreas de trabalho de uma determinada fachada, mostram que as persianas e os outros sistemas de controle da iluminação natural se mostraram insuficientes no controle do desconforto do usuário.

No período matutino em condição de iluminação natural os Ateliers 1 e 2, apresentaram índices de DGP que apontaram que o ofuscamento presente em ambos os ambientes é ‘imperceptível’; já o DGI apresentou valores entre 7,32 e 22,71 no período matutino e 7,52 e 23,78 no vespertino alternando do nível de ‘imperceptível’ à ‘perceptível’. Na análise do DGP em ambos os períodos as variáveis apresentaram condições subjetivas como a iluminância vertical relativa ao olho do observador enquanto no DGI estas variáveis não são investigadas, o que torna as luminâncias das aberturas, mais significantes.

O Atelier 2 foi o ambiente que processou ofuscamentos mínimos para um dia com céu claro e poucas nuvens. As medições de luminâncias mostraram contraste abaixo do recomendado pela norma de iluminação. O ambiente apresenta ofuscamento mínimo por iluminação natural e embora tenha bastante claridade, não se observou contrastes excessivos, mesmo nos pontos próximos das janelas. Percebe-se que quando a iluminação artificial é acionada, ocorre a redução do contraste interior, equilibrando os níveis de iluminação internos. O entorno possui refletância média, com três paredes de cores claras e uma lateral na cor azul claro, com campo central e periférico abaixo do recomendado, contribuindo na redução da incidência de ofuscamento.

Na condição de iluminação artificial, nos Ateliers 1 e 2, os resultados do índice UGR variaram de 14,34 a 31,23 alternando a classificação do brilho de ‘imperceptível’ à ‘intolerável’. Em três pontos de trabalho foram encontrados valores de UGR acima de 28, mostrando que o brilho captado se encontra na faixa mais crítica (intolerável) e outras cinco cenas se encaixaram na classificação ‘desconfortável’. Os valores mais elevados podem ser resultantes da associação

da iluminação natural e artificial o que intensificou o brilho da cena, é relevante observar que as áreas de tarefas adjacentes às janelas tendem a apresentar valores maiores em seus índices.

As nove estações de trabalho de cada período analisadas, apontaram que tanto no período matutino quanto no vespertino o índice UGR não apresentou nenhum nível de ofuscamento ‘imperceptível’, enquanto no nível ‘perceptível’ nos períodos matutino e no vespertino tais índices variaram entre 67% e 111%, respectivamente. Já no índice de ofuscamento ‘desconfortável’ os níveis foram: no matutino 44% e no vespertino 78%. Finalizando, no período matutino o nível de desconforto tido como ‘intolerável’ foi menor (44%) do que no período vespertino (56%).

Nas Salas 11 e 12 foram fotografadas seis posições de trabalho com dezoito cenas em cada período, todas as imagens foram registradas durante os horários de aula, ainda que tenha causado determinadas perturbações para alunos e professores no momento em que as lâmpadas eram desligadas para o registro exclusivo de iluminação natural. A variância do índice UGR nas cenas do período matutino foi de 7,41 a 30,23 e no vespertino foi de 9,10 a 31,39, onde das seis estações de trabalho de cada período analisadas, verificou-se que no período matutino 67% e no vespertino 22,22% do índice UGR pode ser tido como imperceptível; no matutino 44,44% e no vespertino 111% das imagens mostraram ofuscamento perceptível; no matutino 67% e no vespertino 56% de ofuscamento desconfortável; matutino e vespertino ambos com 11% dos resultados apresentaram índices intoleráveis.

Ao se analisar as luminâncias na Sala 12, nota-se que a mesma situação da sala 11 ocorre com a sala 12, em que o ambiente somente com iluminação natural apresenta pouca luminância, mas quando acionada a iluminação artificial, apresenta variações maiores de luminâncias.

De acordo com as análises dos índices de ofuscamento nos ambientes 11 e 12 nas cenas apenas com iluminação natural o DGP mostrou que o ofuscamento presente é imperceptível para todas as cenas; enquanto o DGI nas salas 11 e 12 apresentou valores entre 8,31 e 21,46 e 6,90 e 25,09 respectivamente, alternado do índice ‘imperceptível’ ao ‘perceptível’.

#### **4.11 Análise estatística dos dados**

A análise descritiva dos Resultados das avaliações técnicas das medições, gráficos isolux e imagens *falsecolor*, compuseram a etapa inicial, sendo utilizada para descrever a síntese dos dados. Conforme a metodologia foram realizadas análises de Correlação e Regressão Logística (Probabilidade) das variáveis, para isso foi feita a sistematização dos

dados. A partir dos resultados das análises dos ambientes reais (medições) apresentados (item 4), para a realização da Correlação e Regressão, foi preciso a compilação de todos os dados em planilhas, onde foram numeradas variáveis (VAR), segundo Tabela 29.

Tabela 29. Estruturação de variáveis em planilha para análise estatística.

AGRUPAMENTO	NOME DA VARIÁVEL	CÓDIGO
<b>Informações gerais</b>	Ambiente	VAR 1
<b>Condições gerais dos ambientes</b>	Radiação Solar Incide no Interior	VAR 2
<b>Variável ambiental</b>	Tipo de Céu (a partir da nebulosidade)	VAR 3
<b>Variáveis fotométricas</b>	Iluminância horizontal a 75 cm do piso	VAR 4
	luminância média da cena	VAR 5
	Luminância Média Janela	VAR 6
	Luminância Média da Mesa	VAR 7
	Contraste da Janela X Entorno	VAR 8
	Contraste na posição de trabalho	VAR 9
	DGP	VAR 10
	DGI	VAR 11
<b>Atitude sobre os sistemas de iluminação artificial e natural (acionamento das lâmpadas e persianas)</b>	UGR	VAR 12
	Frequência de uso da iluminação artificial	VAR 13
	Frequência de uso da iluminação natural	VAR 14
<b>Variáveis do ambiente (materiais)</b>	Refletância Piso%	VAR 15
	Refletância Parede%	VAR 16
	Refletância Teto %	VAR 17
	Transmissão luminosa do vidro	VAR 18
	Transparência do vidro	VAR 19
<b>Variáveis do ambiente (janelas e proteções)</b>	Orientação	VAR 20
	Tipo de janela	VAR 21
	Proteção solar externa	VAR 22
	Tamanho da janela	VAR 23
	Frequência que as persianas ficam acionadas	VAR 24

Fonte: a autora (2023).

No total foram relacionadas 24 variáveis sendo 9 relacionadas com as condições de iluminação e 2 de acionamento dos sistemas de iluminação. Todos os dados foram organizados de acordo com os resultados técnicos de classificação das imagens *Falsecolor* (DGI, DGP e UGR). A Tabela 30 sintetiza por ambiente as médias, para um diagnóstico macro da situação.

Tabela 30. Resumo dos Resultados, por ambiente.

AMBIENTE	JANELAS E PROTEÇÕES			VARIÁVEIS DE ESTUDO						
	Orientação	Janela/proteção	Com Persianas	DGI - matutino	DGP - matutino	UGR - matutino	DGI - vespertino	DGP - vespertino	UGR - vespertino	Contrastes
Atelier 1	L/O	Vidro S/P externa	Sim	19,87	0,33	29,98	17,47	0,33	31,1	Tarefa = 18:1 Entorno= 73:1 C. Visual= 17:1
Atelier 2	S/L	Vidro S/P externa	Sim	22,71	0,2	31,23	23,78	0,21	32	Tarefa = 75:1 Entorno= 440:1 C. Visual= 881:1
Sala 11	O	Vidro S/P externa	Sim	22,34	0,53	22,98	25,09	0,54	23,43	Tarefa = 50:1 Entorno= 28:1 C. Visual= 30:1
Sala 12	L	Vidro S/P externa	Sim	20,71	0,21	30,23	19,74	0,25	31,39	Tarefa = 73:1 Entorno= 14:1 C. Visual= 14:1
<b>Legenda Resultados</b>										
Desempenho adequado		Desempenho intermediário		Desempenho inadequado		Dados descritivos				

Fonte: a autora (2022).

A Tabela 30 mostra que os ambientes analisados retratam a realidade de muitos ambientes de ensino em que na maior parte do tempo são acionadas a iluminação artificial mesmo com incidência de iluminação natural.

Foi observado que as persianas ficam a maior parte do tempo acionadas. Os maiores ofuscamentos detectados não foram produzidos por saturação (luminâncias excessivas), mas sim pelas proporções inadequadas de contraste no campo visual (tarefa e entorno) de acordo com os dados apresentados na Tabela 30. O que também foi apontado nas análises do DGI com suas médias de porcentagens intermediárias.

Após essa primeira análise descritiva e organização dos resultados, a análise estatística, passou para a etapa de Correlação e Regressão Logística.

#### 4.12 Correlação

A segunda etapa da análise estatística foi a realização das análises de correlação das variáveis, com a finalidade de verificar se existe inter-relação entre as variáveis. A padronização

da análise seguiu de acordo com um intervalo fechado de -1 a 1, onde o -1 indica perfeita correlação negativa ou inversa e 1 indica correlação positiva ou direta. A correlação negativa aponta que o crescimento de uma das variáveis acarreta no decréscimo da outra. A correlação positiva aponta, o crescimento ou decréscimo simultâneo das duas variáveis analisadas.

A primeira etapa foi a elaboração de uma Matriz de Correlação com as 24 variáveis da pesquisa (Apêndice C), na etapa de sistematização dos dados. A finalidade dessa matriz foi a obtenção da avaliação global de todas as variáveis e intensidade das relações. Dessa forma, foi preciso restringir as variáveis com significância para pesquisa. Para a Matriz de Correlação final, foram excluídas as variáveis que mostraram somente relação “Muito fraca” e selecionadas as 24 variáveis que foram selecionadas para a Matriz de Correlação final (Apêndice C). A Matriz de Correlação final apresenta as principais variáveis da pesquisa.

Com a análise da Matriz de Correlação foi possível verificar que existe concordância nos resultados com estudos de ofuscamento, já que as relações detectadas, mesmo as fracas (laranja), asseguram que os dados coletados estão de acordo com o contexto esperado. Como em certas situações, em que a correlação calculada não correlaciona com o fenômeno analisado, significando que a amostra pode não ser representativa desse fenômeno. Salientando-se que a Matriz de Correlação foi esquematizada com uma amostra derivada de métodos distintos e com dados quantitativos, podendo apresentar contradições ou divergências significativas nas correlações. No entanto, a Matriz de Correlação evidenciou determinadas relações bem importantes, evidenciando-se as de intensidade moderada, forte e muito forte, apresentada a seguir.

Na análise a VAR10 – o DGP apresenta relação moderada positiva ou direta com a VAR2- Transmissão solar incidente no vidro das aberturas (0,57). A correlação forte com maior valor apresentado foi a que aponta que o ofuscamento VAR10 - DGP, é impactado pelo tipo de proteção da janela VAR22 – Proteção solar externa (0,89).

O ofuscamento VAR10 - tem relação moderada negativa (-0,41) com a orientação do ambiente, mostrando que de acordo com a orientação e o horário do dia a intensidade da iluminação natural pode variar (aumentar ou diminuir), interferindo na qualidade lumínica do ambiente. Esse cenário corrobora com a hipótese da pesquisa, de que o ofuscamento causado pela incidência solar direta impacta na qualidade da iluminação natural de ambientes internos.

Como identificado, a relação das variáveis tem comportamentos opostos. Ressaltando-se a relevância de identificar com mais clareza essa relação, especialmente de quantificar a probabilidade de ofuscamento em relação à orientação do ambiente, já que essa relação apresentou uma variação temporal (horária ou anual), que influenciou na abertura ou

acionamento dos dispositivos de sombreamento internos. Por isso a análise estatística foi encaminhada para a Regressão, que analisa a relação entre diversas variáveis simultaneamente.

#### 4.13 Probabilidade por regressão linear

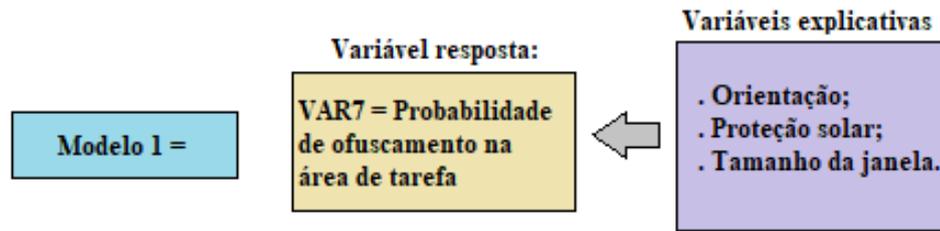
A última fase de análise estatística foi realizada por regressão descritiva, no *software* Jamovi (Versão 2.3), para caracterização da probabilidade de ofuscamento de acordo com a orientação do ambiente. A variável (dependente) e a ocorrência de ofuscamento, foi dividida em duas categorias “ocorre” e “Não ocorre” no momento das medições. Por essa razão foi feito um modelo matemático de regressão, aplicando o método de seleção de variáveis *Backward*, que desde a etapa inicial utilizou todas as variáveis, excluindo em cada etapa as variáveis sem significância. No modelo final, ficaram somente as variáveis que apresentaram significância entre si, e o resultado matemático obtido.

Como demonstrado na metodologia, quanto menor a quantidade de variáveis, mais confiável será o modelo matemático. Por isso optou-se por trabalhar em um único modelo que foi a VAR10 com a variável resposta sendo a probabilidade de ofuscamento na área de tarefa, e as demais variáveis como explicativas.

Dessa forma a partir dos resultados obtidos com esse modelo, foi realizada a seleção das variáveis que demonstraram significância, de forma a reduzir a complexidade da regressão. Após a etapa inicial, foi determinado um modelo principal de análise, com as variáveis respostas Probabilidade de ofuscamento na área de tarefa (VAR7) relacionado com o tamanho da janela (VAR23). Também buscou-se analisar a relação da Probabilidade de ofuscamento na área de tarefa com as variáveis de proteção da janela (VAR22), com as variáveis relacionadas com o ofuscamento gerado pelas proporções inadequadas de contrastes na tarefa, entorno imediato e campo visual. Isso porque nas medições, esta foi a principal causa de ofuscamento apontado nos ambientes analisados.

Os resultados apresentados são apenas os considerados como relevantes para a investigação do foco da pesquisa, haja vista que as quantidades de variáveis são grandes, e na progressão é possível produzir uma grande quantidade de combinações e interpretações. Como demonstrado a seguir são mostrados os dois modelos de regressão produzidos.

No Modelo 1 (Figura 54), a variável resposta e a Probabilidade de ofuscamento na área de tarefa (VAR7) e as variáveis explicativas são: Orientação (VAR20), Proteção (VAR22) e o Tamanho da janela (VAR23).

Figura 54. Modelo 1 de Regressão no *Software* JAMOVI Versão 2.3

Fonte: a autora (2023).

Na análise foram colocadas todas as variáveis anteriormente supracitadas e a cada etapa foram excluídas as variáveis pouco significativas para a discriminação entre “Probabilidade de ofuscamento” e “Não Probabilidade de ofuscamento”. Como critério adotado de exclusão da variável adotou-se o valor ‘p’ acima de 0,15.

Após a regressão o modelo 1 final:

$$z_i = 2 \times 118 - 0,848 \times \text{Orientação Leste} + 0,54 \times \text{Ofuscamento}(VAR10) - 1,45 \times \text{Tamanho janela} - 0,943 \times \text{Proteção horizontal}$$

$$p_i = \left( \frac{e^{(z_i)}}{1+e^{(z_i)}} \right) = \frac{1}{1+e^{(z_i)}} \quad (1)$$

Os resultados de probabilidade do Modelo 1 foram:

- Probabilidade de ofuscamento em relação a orientação do ambiente:

$e^{-0,848} = 0,5421$ : A probabilidade de ocorrer ofuscamento reduz 33% de acordo com o período do dia (ocorre e não ocorre). Esse resultado confirma a hipótese da pesquisa, de que o ofuscamento impacta na qualidade da iluminação natural do ambiente, e ainda determina matematicamente a existência de uma probabilidade de 33% de redução do ofuscamento na extensão do ambiente.

A Fachada Norte foi utilizada como base de comparação dos resultados, nesse modelo. Já na amostra a orientação Leste foi a única que o modelo mostrou relação de insignificância, ao ser comparada com a orientação Norte. Os ambientes analisados que possuem fachadas com orientação Leste são: Atelier 1 e Sala 12, onde foram obtidos maiores níveis lumínicos, com fachadas de panos de vidro liso, transparentes e sem protetores solar externo, o que contribui para o aumento do ofuscamento. Esse resultado é somente um demonstrativo do comportamento dessa amostra específica e não caracteriza um comportamento típico.

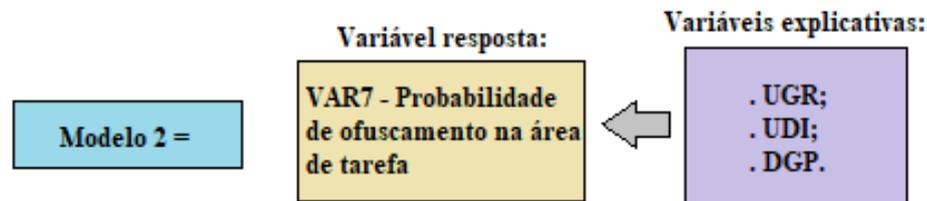
Ocorre ofuscamento em relação a proteção solar externa:

$e^{-1,16} = 0,11$ : A probabilidade de ofuscamento reduz 79% quando o ambiente tem proteção solar externa em relação a ausência desse tipo de proteção. Esse resultado é decorrente

do tipo de proteção utilizada nos ambientes, somente proteção interna (persianas). A constatação de menores ocorrências de ofuscamento nas condições de uso de protetores internos também é reforçada pelo comportamento dos usuários, que deixam as persianas quase que permanentemente fechadas pelo excesso de iluminação e radiação, principalmente dos que estão na orientação Oeste (Atelier 1 e Sala 11).

Para a elaboração do Modelo 2, diminuiu-se o número de variáveis para que o modelo se tornasse mais significativo com diminuição da soma das probabilidades de erros nas relações. O Modelo 2 foi elaborado (Figura 55) sendo a variável resposta a Probabilidade de Ofuscamento na área de tarefa (VAR7) e as variáveis explicativas: UGR, DGI e DGP.

Figura 55. Modelo 2 de Regressão no *Software* JAMOVI Versão 2.3



Fonte: a autora (2023).

Após a regressão o modelo 2 final foi:

$$z_i = 3,201 - 0,973 \times DGP - 0,389 \times \textit{Proteção solar}$$

$$p_i = \left( \frac{e^{(z_i)}}{1+e^{(z_i)}} \right) = \frac{1}{1+e^{(z_i)}} \quad (2)$$

Os resultados de probabilidade do Modelo 2 foram:

Probabilidade de ofuscamento na área de tarefa:

$e^{-0,389} = 0,218$ : A probabilidade de ofuscamento no Modelo 2 é reduzida em 51% quando existe proteção solar externa em relação à quando não existe proteção solar (sim ou não). Relevante salientar que o Modelo 1 se refere aos dados de ofuscamento na área de tarefa (medições, mapeamentos e imagens), enquanto o Modelo 2, os dados são do ofuscamento no campo visual do observador (entorno). Dessa forma, esse resultado, da mesma maneira que no Modelo 1, corrobora com a hipótese de que o ofuscamento impacta na qualidade da iluminação natural. Na probabilidade de ofuscamento do Modelo 2, a redução da incidência solar é de 51%, enquanto na análise de ofuscamento na área da tarefa (Modelo 1), a redução da incidência solar é de 33%. Tal resultado se deve ao fato de que o ambiente está sendo mais impactado pela incidência solar gerando ofuscamento na área de tarefa, tanto que a probabilidade de ocorrer ofuscamento na área de tarefa diminui em 33% no Modelo 1 e 51% no Modelo 2.

Os resultados dos dois modelos de regressão logística confirmam a hipótese de que o ofuscamento impacta na qualidade da iluminação natural. As análises de regressão logística realizadas foram significativas para as conclusões da pesquisa, em especial pela comprovação da hipótese em todos os modelos avaliados.

Os dados tabulados foram devidamente analisados pela significância e os erros ou falta de representatividade dos modelos identificados, uma vez que a amostra não apresentou escalas expressivas do problema estudado em todos os resultados obtidos. O fato de os resultados terem sido produzidos por métodos distintos, considerando avaliações com medições, produção de mapas isolux e imagens *falsecolors*, se apresentaram como um risco aos modelos estatísticos de regressão. Os quais poderiam demonstrar que essa opção de obtenção de dados quantitativos poderia ser inadequada e os modelos produzidos não se apresentariam representativos.

Contudo, todas as análises estatísticas geradas (descritivas, correlação e regressão logística) apresentaram coerência e significância entre as variáveis de avaliações técnicas (medições, mapas e imagens *falsecolors*), resultando na comprovação da hipótese testada.

## 5. CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como base a esfera do impacto do ofuscamento na qualidade da iluminação natural, temática de relevância nos debates da área. O direcionamento dos estudos foram as iluminâncias e luminâncias, além da valorização do uso de métodos inovadores e especializados. Apresentou uma avaliação lumínica de quatro ambientes de ensino da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), as duas edificações integradas pelos ambientes analisados se distinguem pela orientação das fachadas principais, assim como o entorno, tais diferenças direcionaram o objetivo da pesquisa, pois influenciam diretamente na incidência de ofuscamento e na qualidade lumínica de ambientes internos.

Com a finalidade de identificar os impactos da orientação das fachadas na qualidade da iluminação em ambientes de ensino, foram investigados dados coletados em medições *in loco*, totalizando 59 estações individuais medidas nas duas edificações.

Ao se avaliar a incidência de ofuscamento sobre as áreas de tarefa dos usuários e suas posições de trabalho, observou-se que no Atelier 1 no período matutino e na sala 11 no período vespertino, os pontos mais próximos às aberturas foram os que demonstraram as maiores incidências solares. Essa diferença no percentual dos resultados entre os dois edifícios, aponta que a iluminação natural possui comportamento diferente nas duas edificações evidenciando as janelas como principal fator propagador do desempenho lumínico do ambiente.

Dentre os resultados da pesquisa sobre a incidência lumínica nas proximidades das aberturas, a variável (proteção interna) surge como variável independente nos quatro ambientes analisados. Esses resultados indicam que a orientação dos ambientes em relação às aberturas é sim fator determinante na ocorrência de ofuscamentos.

Com relação à orientação das fachadas, é relevante salientar que em clima tropical semiúmido a melhor fachada a ser considerada é a fachada Leste, pois recebe maior incidência solar no período matutino, evitando as altas incidências do período vespertino. A fachada Oeste deve ser evitada para ambientes de permanência e grandes aberturas, necessitando de maior proteção solar. Com relação à iluminação natural, as fachadas a Leste apresentam resultados lumínicos desfavoráveis com relação à quantidade de iluminação no plano de trabalho se comparada com as fachadas Norte e Sul.

No estudo os resultados apontaram diferenças entre as variáveis relacionadas com a qualidade lumínica, tanto com as iluminâncias medidas no plano de trabalho como com as luminâncias no campo de visão, assim como a ocorrência de ofuscamento e a qualidade da iluminação que apresentaram médias distintas entre os dois edifícios. Pode-se afirmar que as

diferenças dos níveis de iluminância entre as duas edificações estão diretamente relacionadas com a orientação da edificação e sua implantação, já que mesmo com as proteções internas (persianas) e externas (beirais) os resultados lumínicos encontrados no Atelier 1 (Leste) e Sala 12 (Leste) não se mostraram satisfatórios quando comparados com o Atelier 2 (Sul) e Sala 11 (Oeste).

De maneira geral, foi possível observar evidências que mostram resultados significativos na qualidade lumínica relacionados com a orientação e a ocorrência de ofuscamentos nos ambientes em razão do tamanho e tipo de aberturas. Em clima tropical semiúmido, a proximidade das aberturas, embora desejável, passa a ter influências negativas na qualidade lumínica quando associadas a fachadas Leste e Oeste, uma vez que os níveis de iluminâncias e luminâncias atingem níveis acima do recomendado. Dessa forma, fica evidente que os resultados apontados pela pesquisa é de que as orientações Norte e Sul para as fachadas maiores implicam em melhores condições lumínicas para ambientes internos.

Portanto é fundamental reiterar que o impacto do ofuscamento na qualidade da iluminação em ambientes internos está relacionado com a orientação da edificação, devendo ser observados no desenho urbano das cidades, haja vista que é a partir da malha urbana e locação dos lotes que se planeja a implantação das edificações e a orientação de suas fachadas.

O maior desafio da pesquisa foi a definição da abordagem multimétodos em ambientes reais, que produziu resultados quantitativos das avaliações técnicas. Tal abordagem embora complexa, se mostrou eficaz, pois possibilitou a validação dos resultados quantitativos das avaliações técnicas. Uma das preocupações foi o domínio das muitas variáveis e para isso, foram determinadas condições para escolha dos ambientes e comparação dos resultados. Foi dedicado um grande período aos testes dos métodos, escolha dos objetos de estudos e análise da representatividade dos resultados preliminares. Como as medições da iluminação natural em dois períodos do dia, e as fotografias HDR.

A análise do sistema de sombreamento interno possibilitou verificar os tipos de brilho que causam o acionamento dos dispositivos: brilho do céu no campo visual do observador, brilho refletido no entorno e brilho em razão da entrada de iluminação natural direta devido às limitações de sombreamento externo. Ainda foi analisado que o sistema de sombreamento externo usado nos ambientes, são insuficientes para barrar a iluminação natural direta, ocasionando a frequência de acionamento dos dispositivos internos. Ou seja, a pesquisa apresenta uma amostra suficiente para reconhecer o brilho (ofuscamento) como fator causador do uso das persianas quando há entrada de iluminação natural direta nos ambientes.

Com a estatística foi possível realizar a apresentação geral dos dados, de forma descritiva das situações investigadas. Foi feita a análise dos resultados para verificar a coerência entre os dados levantados e a teoria da iluminação, através de uma matriz de correlação. Finalmente, foi possível comprovar a hipótese da pesquisa através do cálculo de probabilidade, com a utilização de modelos de regressão logística, com foco nas variáveis de análise: ofuscamento e proteção.

A hipótese foi testada em relação à probabilidade de ofuscamento anual e momentânea. A probabilidade de ocorrer ofuscamento ao longo do tempo (dados anuais) diminuiu 32,84% quando existe proteção solar. Relevante salientar, que essa diminuição da incidência de ofuscamento na área de tarefa, é maior quando está sendo avaliada no momento. Ou seja, quando a pesquisadora fez a coleta dos dados por meio das medições, do que quando fez a análise comportamental dos usuários com relação aos problemas de ofuscamento ao longo do tempo.

Os resultados são relevantes para futuras pesquisas na área de iluminação natural, especialmente, com foco na realidade brasileira e na atenção sobre o ofuscamento como fator impactante na qualidade da iluminação natural como variáveis de pesquisas e projetos.

### **5.1 Limitações da pesquisa**

A pesquisa foi realizada dentro de condições específicas, sendo relevante evidenciar suas limitações, especialmente, por se relacionar a estudos em ambientes reais, onde o domínio das variáveis é limitado:

- Interferência de superfícies reflexivas nas imagens HDR, podendo gerar falseamento nas análises;
- Condição de céu nublado, com alternância entre condições de brilhante e escuro alterando significativamente sua luminância;
- Poucos pontos de medições de iluminância nos ambientes, impossibilitando a geração de curvas isolux mais homogêneas e compatíveis com a realidade do ambiente como um todo.

### **5.2 Sugestões para futuras pesquisas:**

As recomendações para futuras pesquisas são:

- Analisar a redução no consumo de energia com iluminação artificial por meio da avaliação de modelos comportamentais no controle de cortinas/persianas,

iluminação artificial e proteções solares;

- Adotar a metodologia aplicada em outras zonas bioclimáticas, para se estudar o comportamento e impacto da iluminação natural na redução do consumo de energia em diferentes tipos de clima.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, I.; CAMPANO, M. Á.; LESLIE, R.; RADETSKY, L. Daylighting design for healthy environments: Analysis of educational spaces for optimal circadian stimulus. **Solar Energy**, v.193, p. 584-596, 2019.
- AIMILIUS. M.; HERACLEOUS, C. Assessment of natural lighting performance and visual comfort of educational architecture in Southern Europe: The case of typical educational school premises in Cyprus. **Energy and Buildings**, v. 140, p. 443-457. 2017.
- ANDERSEN, M. **Experiencing a daylit space**: physiological, visual and perceptual dynamics of daylighting, 2015. London. Disponível em: <<http://thedaylightsite.com/symposium/2015-presentations/>>. Acesso em: 17 ago. 2021.
- AYOUB, M. 100 Years of daylighting: A chronological review of daylight prediction and calculation methods. **Solar Energy**, v. 194, p. 360-390, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **8995**: 1. Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1. Rio de Janeiro, 2013.
- BAKMOHAMMADI, P.; NOORZAI, E. Optimization of the design of the primary school classrooms in terms of energy and daylight performance considering occupants' thermal and visual comfort. **Energy Reports**, v. 6, p. 1590-1607, 2020.
- BELLIA, L.; FRAGLIASSO, F.; STEFANIZZI, E. Daylit offices: A comparison between measured parameters assessing light quality and user's opinions. **Building and Environment**, v. 113, p. 92–106, 2017.
- BIAN, Yu.; DAI, Qi.; MA, Y.; LIU, Lu. Variable set points of glare control strategy for side-lit spaces: Daylight glare tolerance by time of day. **Solar Energy**, v. 201, p. 268-278, 2020.
- BIAN, Y.; LUO, T. Investigation of visual comfort metrics from subjective responses in China: A study in offices with daylight. **Building and Environment**, v. 123, p. 661-671, 2017.
- BIAN, Y.; MA, Y. Subjective survey & simulation analysis of time-based visual comfort in daylit spaces. **Building and Environment**, v. 131, p. 63-73, 2018.
- BOURNAS, I.; DUBOIS, M. C.; LAIKE, T. Perceived daylight conditions in multi-family apartment blocks – Instrument validation and correlation with room geometry. **Building and Environment**, v. 169, p. 106574, 2020.
- BOUTET, M. L.; HERNÁNDEZ, A. L.; JACOBO, G. J. Methodology of quantitative analysis and diagnosis of higro-thermal and lighting monitoring for school buildings in a hot-humid mid-latitude climate. **Renewable Energy**, v. 145, p. 2463-2476, 2020.
- CARVALHO, J.P.V. **O impacto do ofuscamento no (des) uso da luz natural em Ambientes do tipo de escritório em baixa latitude**. 2020. 236f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, RN, 2020, 236 p.

COULOMBE, M.; DEMERS, C.; POTVIN, A. Dynamique des ambiances lumineuses par relevés vidéo d'espaces de transition. Design Research Society 2010. **Anais...**, 2010.

CHRISTOFFERSEN, M. VELDS. **IEA task 21 monitoring procedures for the assessment of daylighting performance of buildings**, 2016.

DABBAGH, M.; KRARTI, M. Energy performance of switchable window insulated shades for US residential buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 43, p. 102584, 2021.

DAY, J. K.; FUTRELL, B.; COX, R.; RUIZ, S.; AMIRAZAR, A.; ZARRABI, A. H.; AZARBAYJANI, M. Blinded by the light: Occupant perceptions and visual comfort assessments of three dynamic daylight control systems and shading strategies. **Building and Environment**, v. 154, p. 107-121, 2019.

DOULOS, L. T.; KONTADAKIS, A.; MADIAS, E. N.; SINOUE, M.; TSANGRASSOULIS, A. Minimizing energy consumption for artificial lighting in a typical classroom of a Hellenic public school aiming for near Zero Energy Building using LED DC luminaires and daylight harvesting systems. **Energy and Buildings**, v. 194, p. 201-217, 2019.

DUDEK, M. **Architecture of schools: the new learning environments**. Great Britain: Architectural Press, 2000.

FAKHARI, M.; VAHABI, V.; FAYAZ, R. A study on the factors simultaneously affecting visual comfort in classrooms: A structural equation modeling approach. **Energy and Buildings**, v. 249, p. 111232, 2021.

FUTRELL, B.J.; OZELKAN, E.C.; BRENTROP, D. Optimizing complex building design for annual daylighting performance and evaluation of optimization algorithms. **Energy and Buildings**, v. 92, p. 234-245. 2017.

HAVERINEN-SHAUGHNESSY, U.; RICHARD J. A.B.; SHAUGHNESSY A.; COLE C.A.; TOYINBO, O. B. D.; MOSCHANDREAS, D.J. An assessment of indoor environmental quality in schools and its association with health and performance. **Building and Environment**, v. 93, p.35-40, 2017.

HAMEDANI, Z.; SOLGI, E.; HINE, T.; SKATES, H. Revealing the relationships between luminous environment characteristics and physiological, ocular and performance measures: An experimental study. **Building and Environment**, v. 172, p. 106702, 2020.

HARA, A. H. **Controle pelo Usuário dos Sistemas de Iluminação Artificial e Natural Mediado pela Percepção Visual em Espaços de Transição e de Permanência**. 2018. 255 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, SC, 2018. 255 p.

HAZBOUN, Viviane Diniz. **Desempenho da Luz Natural em Ambientes com Aberturas Voltadas para Leste Considerando a Influência Dos Usuários**. 2018. 119 f. (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo Mestrado Acadêmico, Natal, RN. 2018, 119 p.

HESCHONG, M.L.; MARDLJEVIC, J.; LEE, M.A. Daylight metrics and energy savings. **Lighting Res. Technol.** v.41, p. 261-283. 2009.

HISCOCKS, P. D. **Measuring Luminance with a Digital Camera.** 2011

HOPKINSON, R.G. **Glare from daylighting in buildings.** Applied Ergonomics. 3: 206-215. 1972.

IKUZWE, A.; A. B.; SEBITOSI. A novel design of a daylighting system for a classroom in rural South Africa. **Solar Energy**, v.114, p.349-355. 2015.

IWATA, B. A.; WALLACE, M. D.; KAHNG, S. W.; LINDBERG, J. S.; ROSCOE, E. M.; CONNERS, J.; HANLEY, G. P.; THOMPSON, R.; WORSDELL, A. S. Skill acquisition in the implementation of functional analysis methodology. **Journal of Applied Behavior analysis**, v.33, n. 2, p. 181-194. 2000.

INANICI, M.; HASHEMLOO, A. An investigation of the daylighting simulation techniques and sky modeling practices for occupant centric evaluations. **Building and Environment**, v. 113, p. 220-231, 2017.

IESNA. **Lighting Handbook Reference e Application.** 9 ed. New York. IESNA, 2000.

\_\_\_\_\_. **Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE).** New York, USA, 2012.

JAKUBIEC, J.; REINHART, C. The “adaptive zone” - A concept for assessing discomfort glare throughout daylight spaces. **Lighting Research and Technology**, v. 44, n. 2, p. 149–170, 2012.

JAMROZIK, A.; CLEMENTS, N.; HASANA, S.S.; ZHAO, J. ZHANGA, R.; CAMPANELLA, C.; LOFTNESS, V.; PORTER, P.; LYA, P.; WANGA, S. Access to daylight and view in an office improves cognitive performance and satisfaction and reduces eyestrain: A controlled crossover study. **Building and Environment**, v. 165, p. 106379. 2019.

KHLEDJ, S.; BENCHEIKH, H. Impact of a Retrofitting Project on Thermal Comfort and Energy Efficiency of a Historic School in Miliana, Algeria. **International Journal of Architectural Heritage**, v.15, n. 3, p. 407-425, 2021.

KO, W. H.; SCHIAVON, S.; ZHANG, H.; GRAHAM, L. T.; BRAGER, G.; MAUSS, I.; LIN, Y. The impact of a view from a window on thermal comfort, emotion, and cognitive performance. **Building and Environment**, v. 175, p. 106779, 2020.

KONG, Z.; UTZINGER, D. M.; FREIHOEFER, K.; STEEGE, T. The impact of interior design on visual discomfort reduction: A field study integrating lighting environments with POE survey. **Building and Environment**, v. 138, p. 135-148, 2018.

KONICA\_MINOLTA. **Medidores de Iluminância T-10A/T-10MA.** 2016-2017. Disponível em: < <http://sensing.konicaminolta.com.br/products/t-10a-illumiance-meter/> >. Acesso em: 12/07/2017.

\_\_\_\_\_. Medidor de Luminância LS-100. 2017. Disponível em: <

<http://sensing.konicaminolta.com.br/products/lx-100-luminance-meter/> >. Acesso em: 12-07-2017.

KONSTANTZOS, Iason; TZEMPELIKOS, Athanasios; CHAN, Ying-Chieh. Experimental and simulation analysis of daylight glare probability in offices with dynamic window shades. **Building and Environment**, v. 87, p. 244e254, 2015.

KONSTANTZOS, Iason; TZEMPELIKOS, Athanasios. Daylight glare evaluation with the sun in the field of view through window shades. **Building and Environment**, v. 113, p. 65-77, 2017.

KONSTANTZOS, I.; SADEGHI, S. A.; KIM, M.; XIONG, J.; TZEMPELIKOS, A. The effect of lighting environment on task performance in buildings – A review. **Energy and Buildings**, v. 226, p. 110394. 2020.

KORSAVI, S. S.; MONTAZAMI, A.; MUMOVIC, D. The impact of indoor environment quality (IEQ) on school children's overall comfort in the UK; a regression approach. **Building and Environment**, v. 185, p. 107309, 2020.

KORSAVI, S. S.; ZOMORODIAN, Z. S.; TAHSILDOOST, M. Visual comfort assessment of daylight and sunlit areas: A longitudinal field survey in classrooms in Kashan, Iran. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 305-318, 2016.

KIM, Tae Woo.; HONG, T.W.; KIM, H.T. Daylight evaluation for educational facilities established in high-rise housing complexes in Daegu, South Korea. **Building and Environment**, v.78, p. 37-144, 2014.

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

LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LECCESE, A.; SALVADORI, G.; BURATTI, C.; BELLONI, E. A method to assess lighting quality in educational rooms using analytic hierarchy process. **Building and Environment**, v. 168, p. 106-501. 2020.

LIM, G.-H. *et al.* Daylight performance and users' visual appraisal for green building offices in Malaysia. **Energy and Buildings**, v. 141, p. 175-185, 2017.

\_\_\_\_\_. Energy saving potential and visual comfort of task light usage for offices in Malaysia. **Energy and Buildings**, v. 147, p. 166-175, 2017.

LIMA, Kamila Mendonça de. **Avaliação de sistemas de janela para suporte a decisões de projeto quanto à iluminação e uso de energia**. 2017. 186 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2017, 186 p.

LU, M. HU, S.; MAO, Z.; LIANG, P.; XIN, S.; GUAN, H. Research on work efficiency and light comfort based on EEG evaluation method. **Building and Environment**, v. 183, p. 107122, 2020.

- MAHIĆ, A.; GALICINAO, K.; VAN DEN WYMELENBERG, K. A pilot daylighting field study: Testing the usefulness of laboratory-derived luminance-based metrics for building design and control. **Building and Environment**, v. 113, p. 78-91, 2017.
- MAHMOUDZADEH, P.; AFACAN, Y.; ADI, M. N. Analyzing occupants' control over lighting systems in office settings using immersive virtual environments. **Building and Environment**, v. 196, p. 107823, 2021.
- MANGKUTO, R. A.; KURNIA, K. A.; AZIZAH, D. N.; ATMODIPOERO, R. T.; SOELAMI, F. X. N. Determination of discomfort glare criteria for daylit space in Indonesia. **Solar Energy**, v. 149, p. 151-163, 2017.
- NASROLLAHI, N.; SHOKRY, E. Análise paramétrica de elementos arquitetônicos à luz do dia, conforto visual e desempenho de energia elétrica nos espaços de estudo. **Journal of Daylighting**, v.7, p.57-72, 2020.
- OLBINA, S.; HU, J. Daylighting and thermal performance of automated split-controlled blinds. **Building and Environment**, v. 56, p. 127-138. 2018.
- OLGYAY, Victor. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1963.
- OLIVEIRA, Paulo Eduardo de. **Ensaio sobre o pensamento de Karl Popper**. Curitiba: Círculo de Estudos Bandeirantes, 2012.
- QIU, C.; YI, Y. K.; WANG, M.; YANG, H. Coupling an artificial neuron network daylighting model and building energy simulation for vacuum photovoltaic glazing. **Applied Energy**, v. 263, p. 114624, 2020.
- REINHART, C. F. **Daylighting Handbook: fundamentals, designing with the sun**. USA: Ria Stein, 2014. 199p.
- REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. **Building and Environment**, v. 3, p. 07-31. 2014.
- REGIS, C.; TAKAZAKI, S. **Dicas de Fotografia**. 2015. Disponível em: <<http://www.dicasdefotografia.com.br/dicas-de-fotografia-ebookgratis/>>. Acesso em 25/07/2021.
- RICCIARDI, P.; BURATTI, C. Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions. **Building and Environment**, v. 127, p. 23-36. 2018.
- RODRIGUEZ, R. G.; YAMÍN GARRETÓN, J. A.; PATTINI, A. E. An epidemiological approach to daylight discomfort glare. **Building and Environment**, v. 113, p. 39-48, 2017.
- SALAMATI, M.; MATHUR, P.; KAMYABJOU, G.; TAGHIZADE, K. Daylight performance analysis of TiO<sub>2</sub>@W-VO<sub>2</sub> thermochromic smart glazing in office buildings. **Building and Environment**, v. 186, p. 107351, 2020.

SILVA, Mauri Luiz. **Luz, Lâmpadas e Iluminação**. 4 ed. São Paulo: Ciência Moderna, 2020.

SCHWEIKER, A.T. M.; AMPATZI, B. E.; MAEDOT, S.; ANDARGIE, C.; RUNE, KORSHOLM.; ANDERSEN, D.; AZAR E.E.; BARTHELMES, V. M.; BERGER, G. C.; BOURIKAS, H. L. SALVATORE C.I.J.; CHINAZZO, K. G.; PRABHA, EDAPPILLY. L.A. L.; FAVERO, J. M.; GAUTHIER, M. S.; JAMROZIK, N.A.; L KANE, O.M.; MAHDAVI, G. A.; PISELLI, P. P.; PISELLO, P. A.L.; ROETZEL, Q. A.; RYSANEK, R.A.; SHARMA, O.K.; ZHANG, S.S. Review of multi-domain approaches to indoor environmental perception and behaviour. **Building and Environment**, v. 176, p. 106804, 2020.

SHAFABI, N. S.; TAHSILDOOST, M.; ZOMORODIAN, Z. S. Investigation of illuminance-based metrics in predicting occupants' visual comfort (case study: Architecture design studios). **Solar Energy**, v. 197, p. 111-125, 2020.

SUK, J. Y. Luminance and vertical eye illuminance thresholds for occupants' visual comfort in daylight office environments. **Building and Environment**, v. 148, p. 107-115, 2019.

SUK, J. Y.; SCHILER, M.; KENSEK, K. Absolute glare factor and relative glare factor based metric: Predicting and quantifying levels of daylight glare in office space. **Energy and Buildings**, v. 130, p. 8-19, 2016.

SUN, Kaiyu; HONG, Tianzhen. A framework for quantifying the impact of occupant behavior on energy savings of energy conservation measures. **Energy and Buildings**, v. 146, p. 383-396, 2017.

TABADKANI, A.; ROETZEL, A.; LI, H. X.; TSANGRASSOULIS, A. A review of automatic control strategies based on simulations for adaptive facades. **Building and Environment**, v. 175, p. 106801, 2020.

TREGENZA, P.; LOE, D. **Projeto de Iluminação**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

TZEMPELIKOS, A. Advances on daylighting and visual comfort research. **Building and Environment**, v. 113, p. 1-4, 2017.

VAJÃO, V. **Manual de Práticas de Iluminação: Arte a Iluminar a Arte**. São Paulo: Lidel, 2015.

VÁSQUEZ, A.N.G.; FELIPPE, M.L.; PEREIRA, F.O.R.; KUHNEM, A. Luminous and visual preferences of young children in their classrooms: Curtain use, artificial lighting and window views. **Building and Environment**, v. 152, p.59-73. 2019.

VILCEKOVA, S.; MECIAROVA, L.; BURDOVA, E. K.; KATUNSKA, J.; KOSICANOVA, DA.; DOROUDIANI, S. Indoor environmental quality of classrooms and occupants' comfort in a special education school in Slovak Republic. **Building and Environment**, v. 120, p. 29-40, 2017.

XUE, P.; MAK, C.M. Quantification of luminous comfort with dynamic daylight metrics in residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 117, p. 99-108, 2017.

WANG, C.; ZHANG, F.; WANG, J.; DOYLE, J. K.; HANCOCK, P. A.; MAK, C. M.; LIU, S. How indoor environmental quality affects occupants' cognitive functions: A systematic review.

**Building and Environment**, v. 193, p. 107647, 2021.

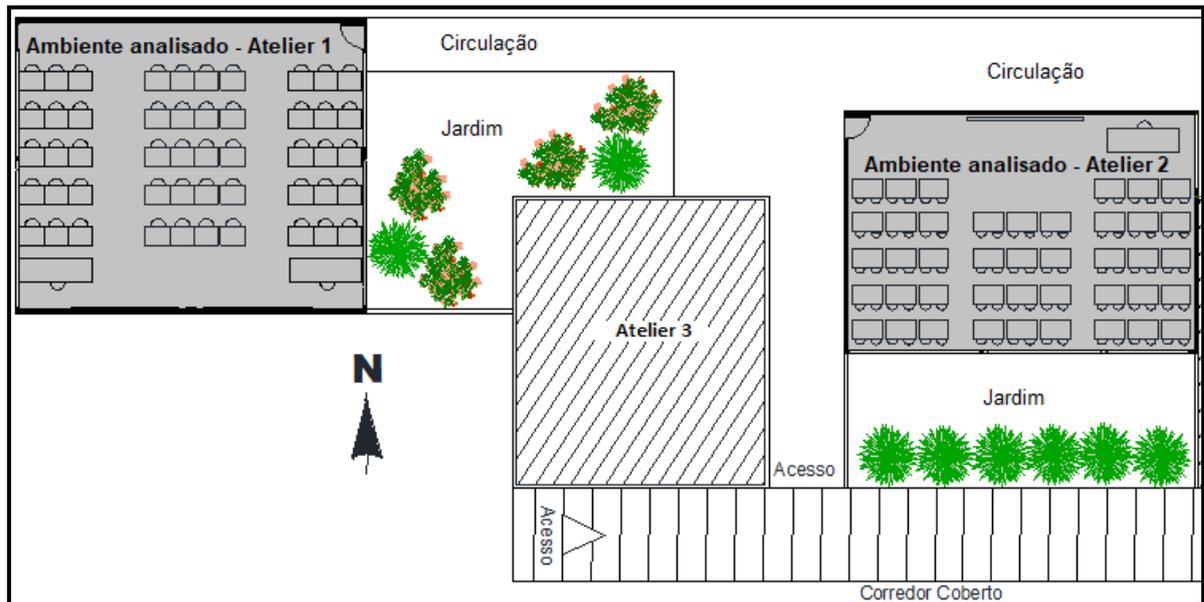
WIENOLD, J; IWATA, T; KHANIE, M Sarey; E ERELL, PhD, E. Kaftan; RODRIGUEZ, RG; GARRETON, JA Yamin; TZEMPELIKOS, T; KONSTANTZOS, I; CHRISTOFFERSEN, J; KUHN, TE; PIERSON, C; ANDERSEN, M. Cross-validation and robustness of daylight glare metrics. **Lighting Research & Technology**, v. 51, n. 7, p. 1-31, 2019.

ZHANG, S.; HU, W.; LI, D.; ZHANG, C.; ARICI, M.; YILDIZ, Ç.; ZHANG, X.; MA, Y. Energy efficiency optimization of PCM and aerogel-filled multiple glazing windows. **Energy**, v. 222, p. 119916, 2021.

ZOMORODIAN, Z. S.; TAHSILDOOST, M. Assessment of window performance in classrooms by long term spatial comfort metrics. **Energy and Buildings**, v. 134, p. 80-93, 2017.

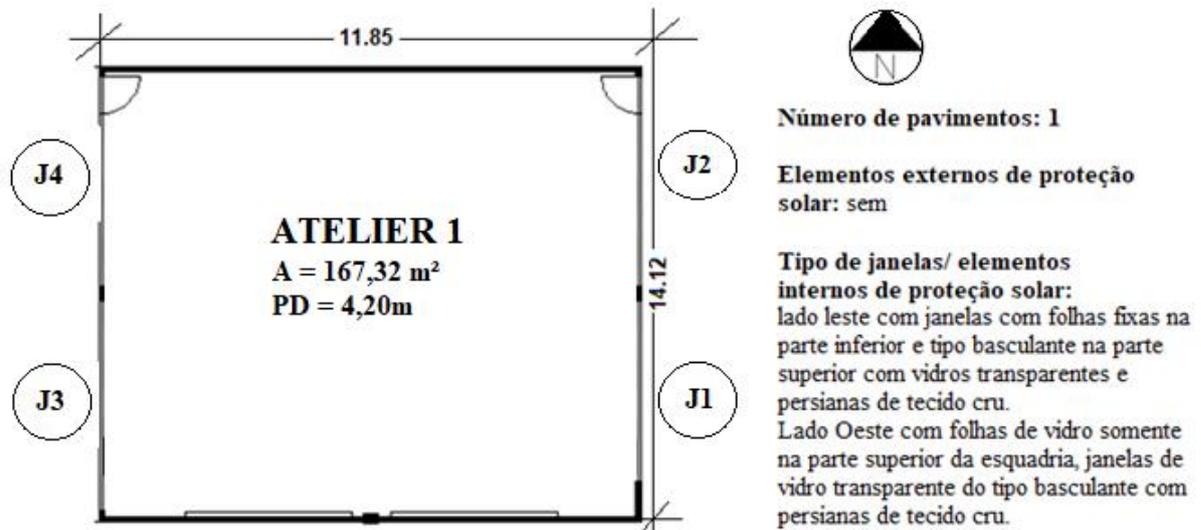
## APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES ANALISADOS

LOCAIZAÇÃO ATELIERS DE ARQUITETURA – (Ateliers 1e 2 – em cinza).

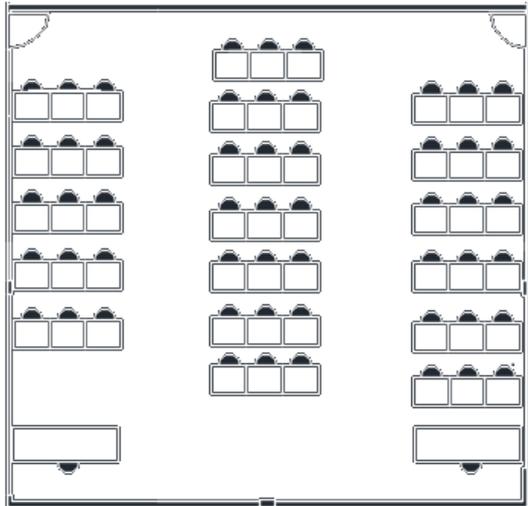


Fonte: a autora (2022).

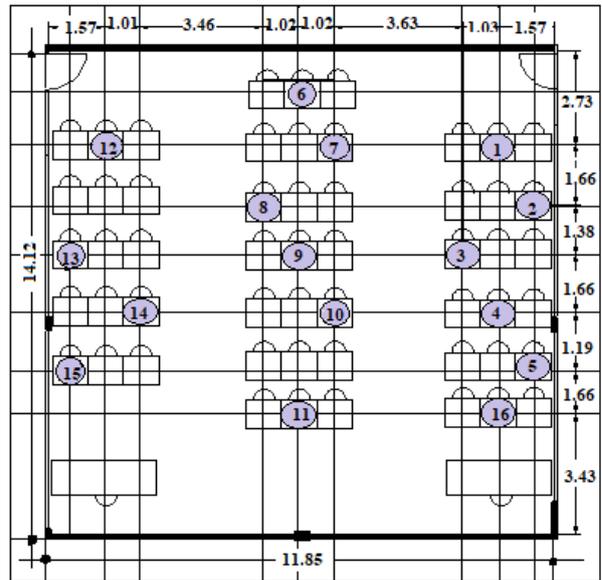
### PLA NTA BAIXA ATELIER 1



**PLANTA LEIAUTE**



**LOCAÇÃO DE PONTOS**



**EXTERNA**



**VISTA A**



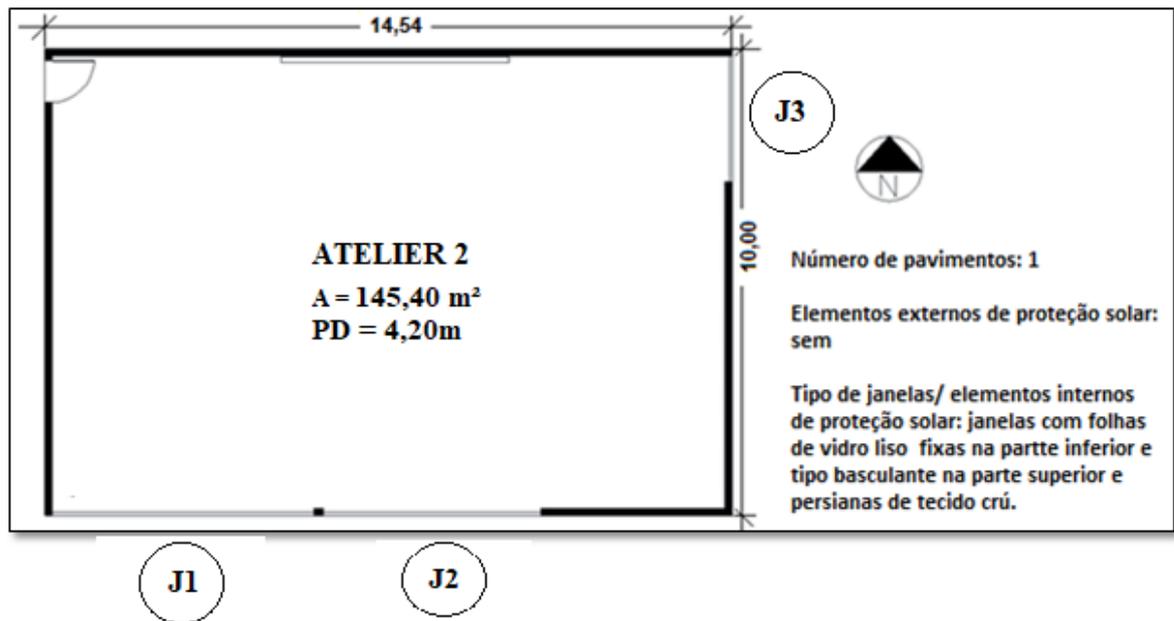
**VISTA B**



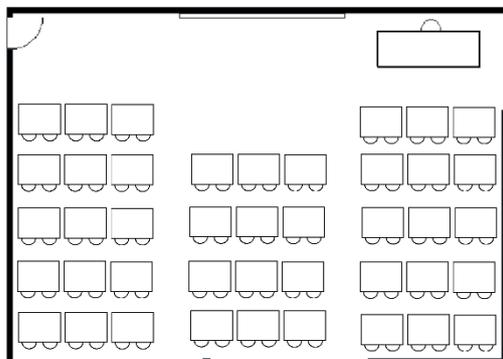
**VISTA C**



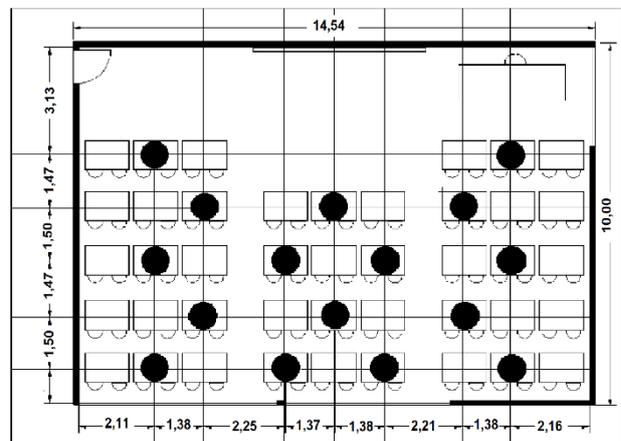
PLANTA BAIXA ATELIER 2



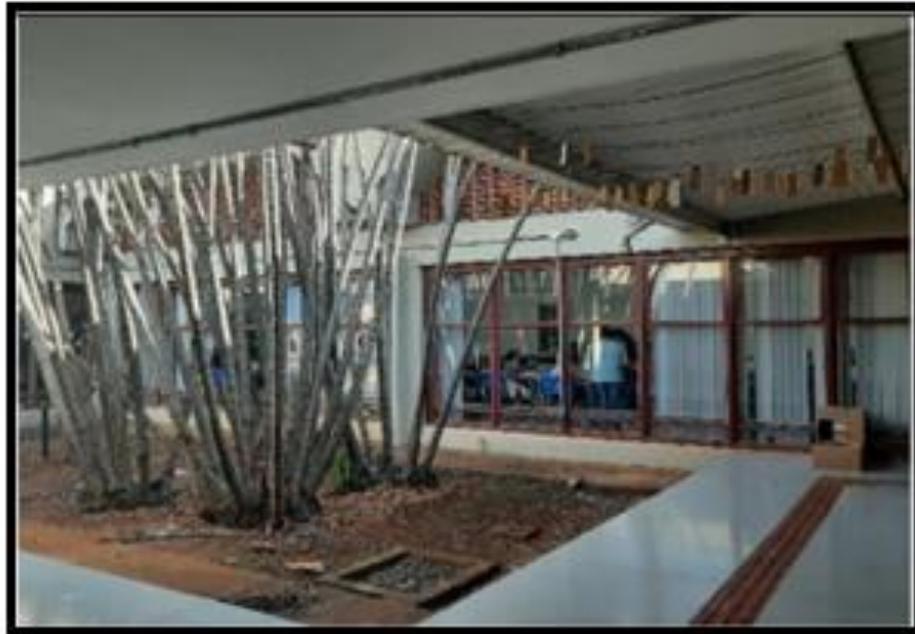
PLANTA LEIAUTE



LOCAÇÃO DE PONTOS



## EXTERNA



Fonte: a autora (2022).

### VISTA A



### VISTA B



### VISTA C



Fonte: a autora (2022).

## CARACTERÍSTICAS DOS FECHAMENTOS DOS ATELIERS

Fechamento	Salas
Paredes	Pintura cinza claro e branco
Piso	Cimentício fulget bege
Teto	Laje branco
Janela	Basculante e correção; esquadria de alumínio vermelha.
Mesa	Pintura clara nas cores verde e azul
Iluminação artificial	Luminárias com lâmpadas fluorescentes de 40w cada.
Dispositivos de sombreamento	Persianas verticais variando nas cores cinza e bege claro

Fonte: a autora (2022).

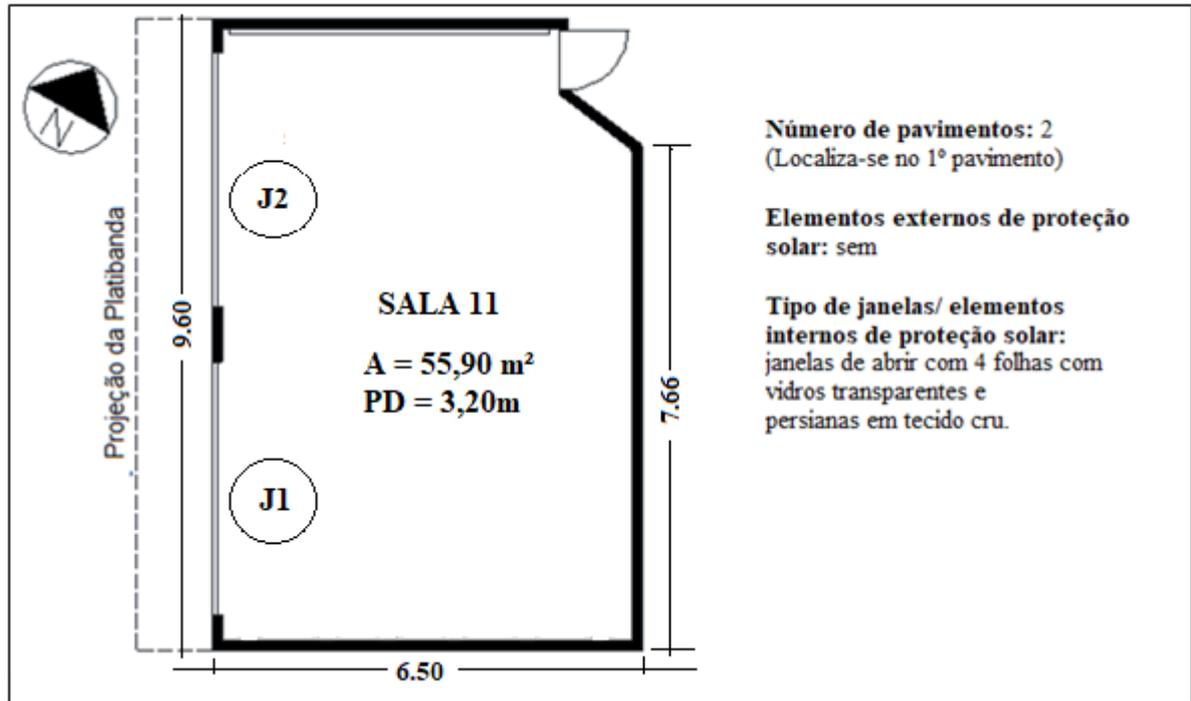
LOCAIZAÇÃO COMPLEXO MULTIUSO – (Salas 11 e 12 – em cinza).



CARACTERÍSTICAS DOS FECHAMENTOS DAS SALAS 11 e 12

<b>Fechamento</b>	<b>Salas</b>
Paredes	Pintura branca
Piso	Cimentício fulget bege
Teto	Laje branco
Janela	Corrediça; esquadria de alumínio branco.
Mesa	Pintura clara nas cores branco
Iluminação artificial	Luminárias com lâmpadas fluorescentes de 40w cada.
Dispositivos de sombreamento	Persianas verticais nas cores bege claro

## PLANTA BAIXA SALA 11



## VISTAS SALA 11

## VISTA A



## VISTA B



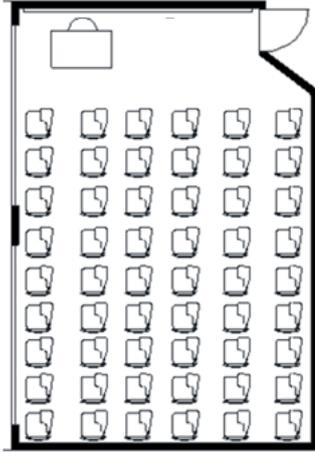
## VISTA C



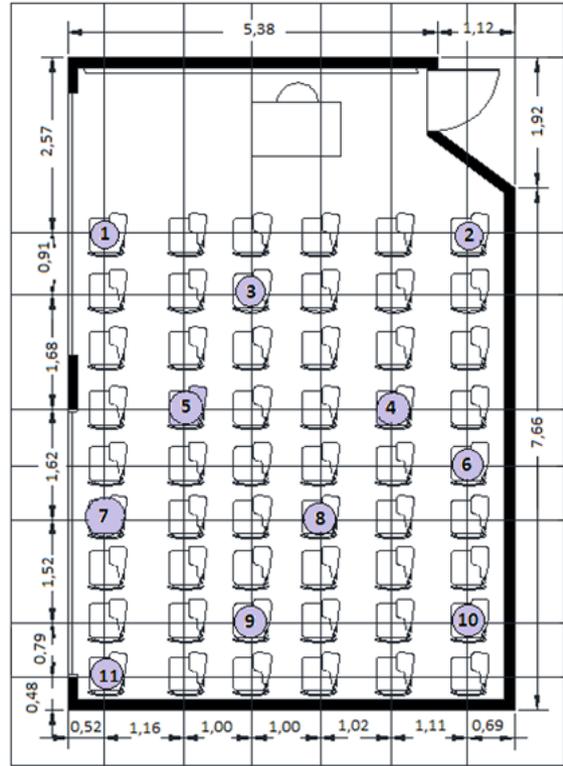
## VISTA D



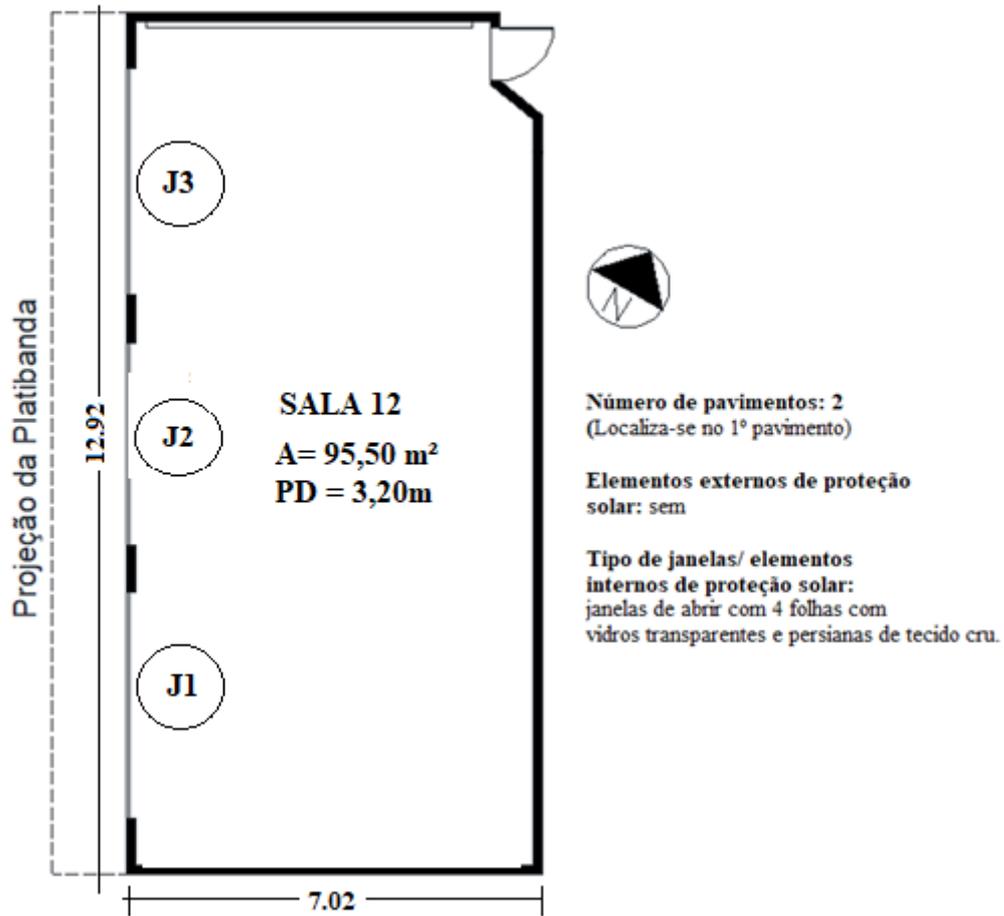
### PLANTA LEIAUTE



### LOCAÇÃO DE PONTOS



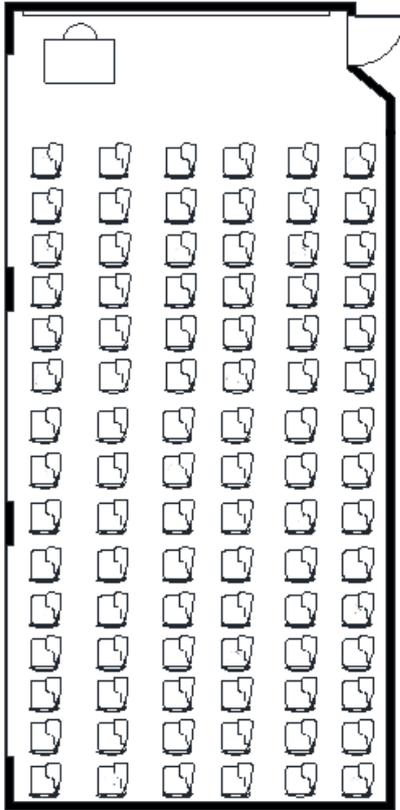
## PLANTA BAIXA SALA 12



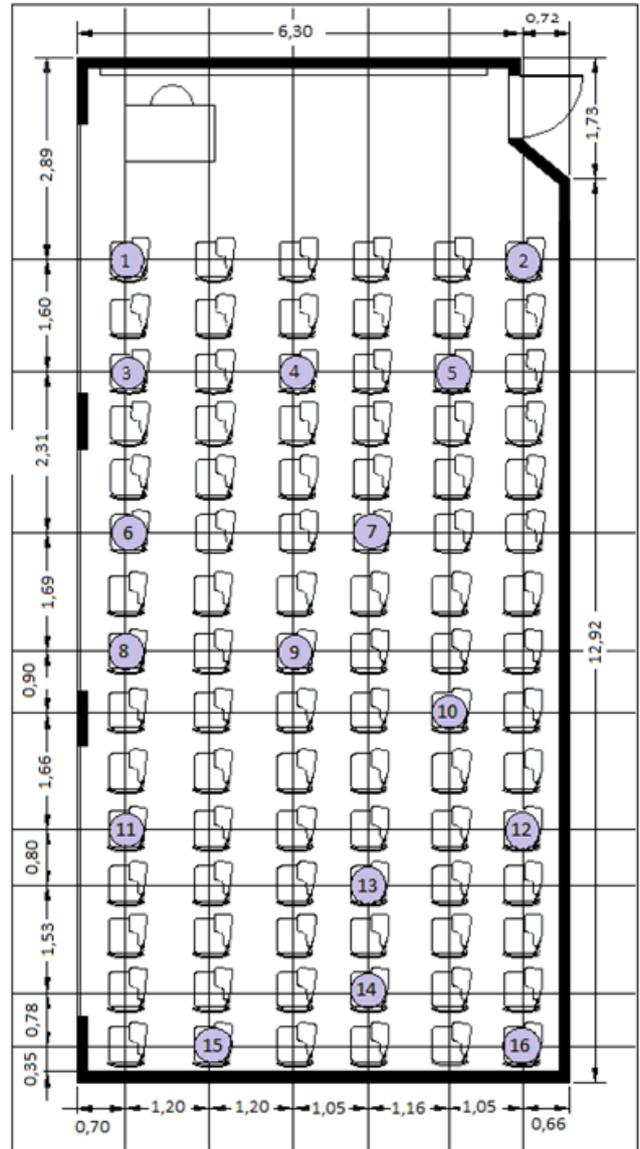
## VISTA A



### PLANTA LEIAUTE



### LOCAÇÃO DE PONTOS



VISTA B



VISTA C



VISTA D



## CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS AMBIENTES

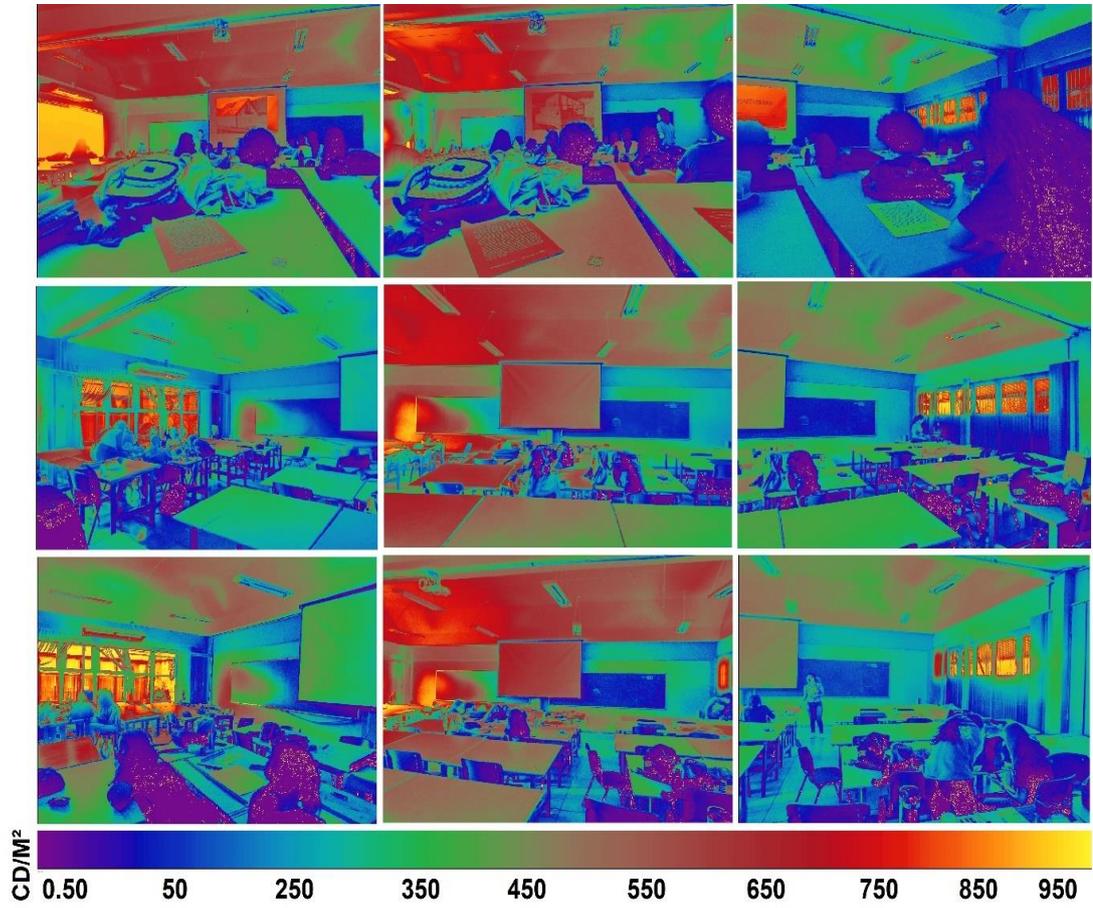
### Dimensões dos ambientes

	<b>ATELIER 1</b>	<b>ATELIER 2</b>	<b>SALA 11 -CMU</b>	<b>SALA 12 -CMU</b>
<b>ORIENTAÇÃO</b>	<b>Leste</b>	<b>Sul</b>	<b>Sudoeste</b>	<b>Nordeste</b>
TAMANHO	11.85 x 14.12m	14.54 x 10.00m	9,27 x 6,20m	14,35 x 6.72m
PÉ DIREITO	4.2m	4.2m	3,20m	3,20m
ÁREA	167,32 m <sup>2</sup>	145.40 m <sup>2</sup>	55,90 m <sup>2</sup>	95,50m <sup>2</sup>
ÁREA DE JANELA	22,35m <sup>2</sup>	29.51m <sup>2</sup>	21,30m <sup>2</sup>	26,76m <sup>2</sup>
ÁREA PISO/ÁREA JANELA	13,36%	20%	19,80%	28%
CORTINAS/PERSIANAS	Fechadas	Fechadas	Fechadas	Fechadas
ELEMENTO EXTERNO DE PROTEÇÃO	Não	Não	Não	Não
LÂMPADAS	Fluorescentes	Fluorescentes	Fluorescentes	Fluorescentes
Nº APROXIMADO DE USUÁRIOS	Variável ± 54 dia	Variável ± 35 dia	Variável ± 35 dia	Variável ± 35 dia
POSIÇÕES ESTUDADAS	Lateral esquerda à janela	Costas para janelas principais	Lateral esquerda à janela	Lateral esquerda à janela
QUAL DISTÂNCIA EM RELAÇÃO À JANELA	Intermediária	Intermediária	Intermediária	Intermediária
PRINCIPAL ATIVIDADE DESENVOLVIDA	Projeto e Desenho com uso de programas com fundo escuro	Projeto e Desenho com uso de programas com fundo escuro	Escrita/Digitação	Escrita/Digitação
PERÍODO DE MAIOR PERMANÊNCIA	Manhã/Tarde	Manhã/ Tarde	Manhã/ Tarde	Manhã/ Tarde
PERÍODO EM QUE A ILUMINAÇÃO APRESENTA MAIOR DESCONFORTO	Manhã e início da tarde	Manhã	Início da tarde	Início da tarde
TIPO DE ILUMINAÇÃO QUE ATRAPALHA	Natural vinda da janela	Natural vinda da janela	Natural vinda da janela	Natural vinda da janela
DESCONFORTOS DE MAIOR RECLAMAÇÃO	Incidência solar direto na mesa de trabalho	Ofuscamento	Ofuscamento	Ofuscamento

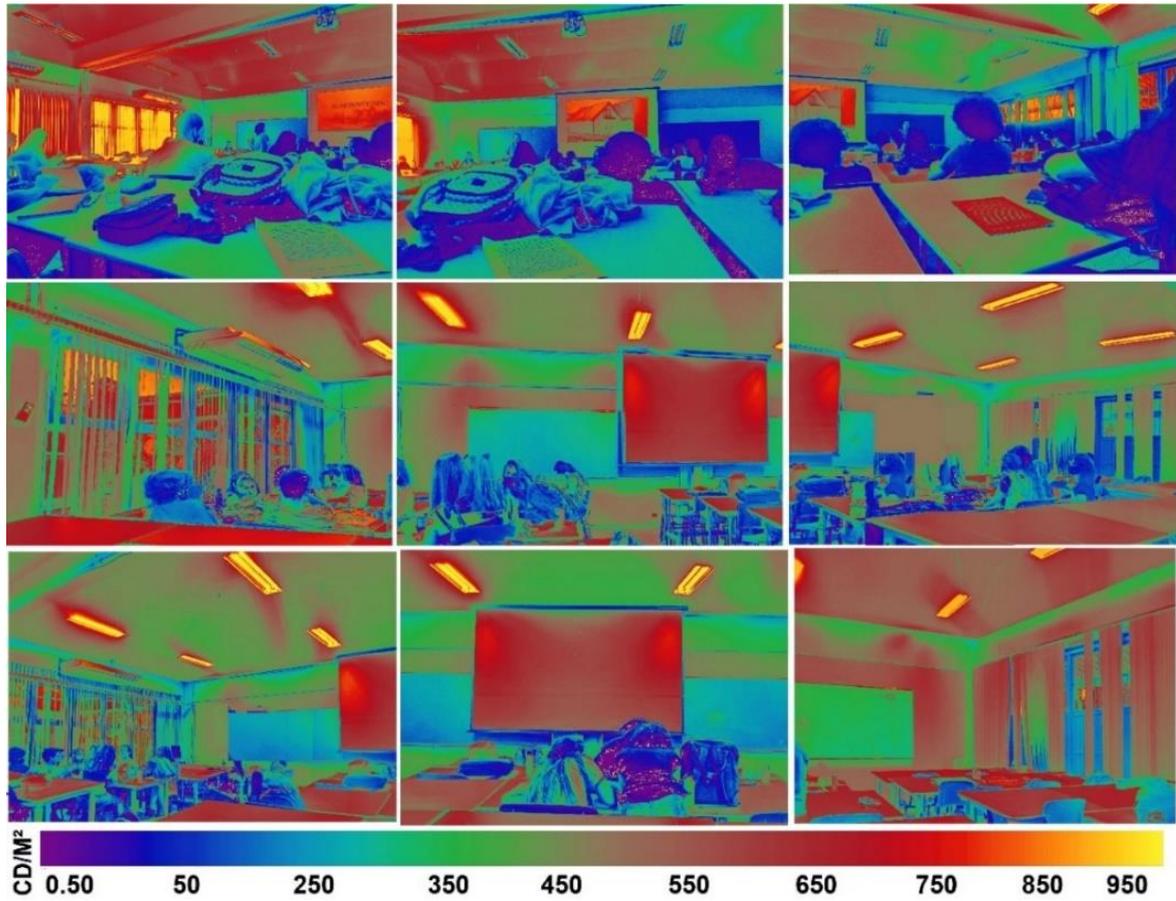
Fonte: a autora (2022).

## APÊNDICE B – IMAGENS *FALSECOLORS* DOS AMBIENTES

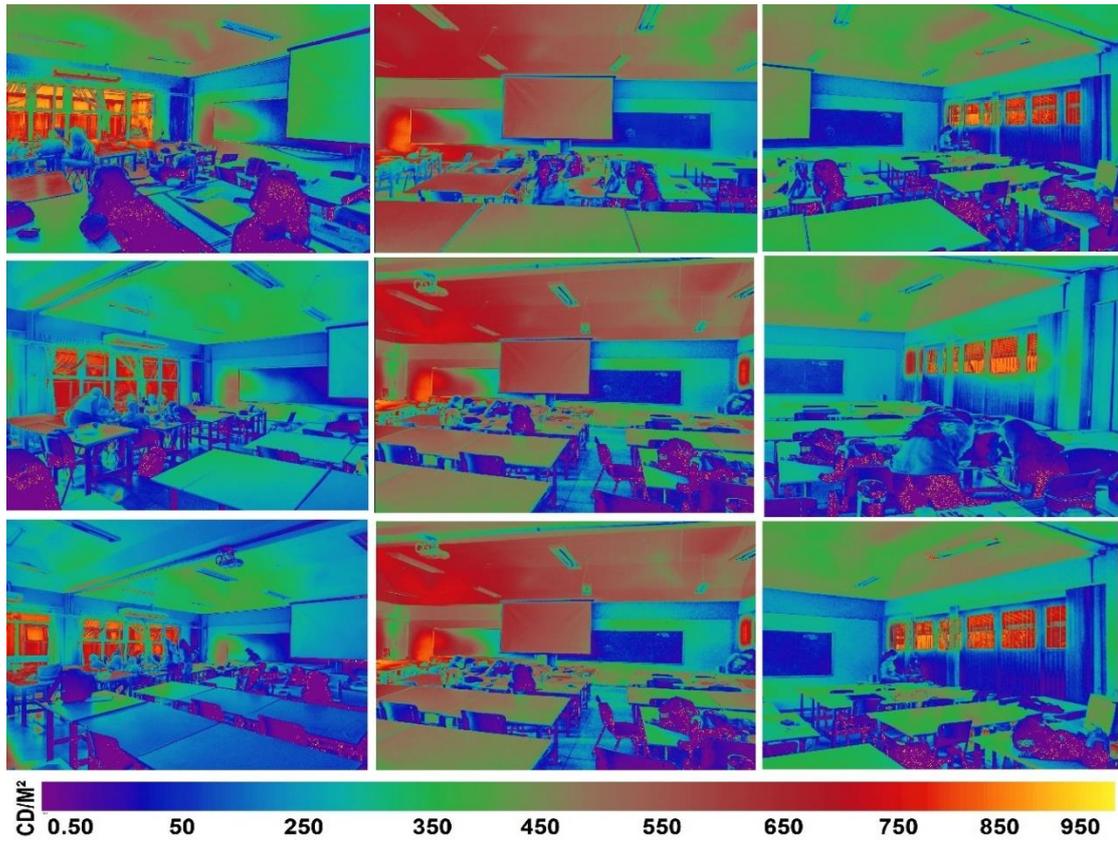
Atelier 1. Iluminação natural - com céu claro e sem nuvens, no período matutino.



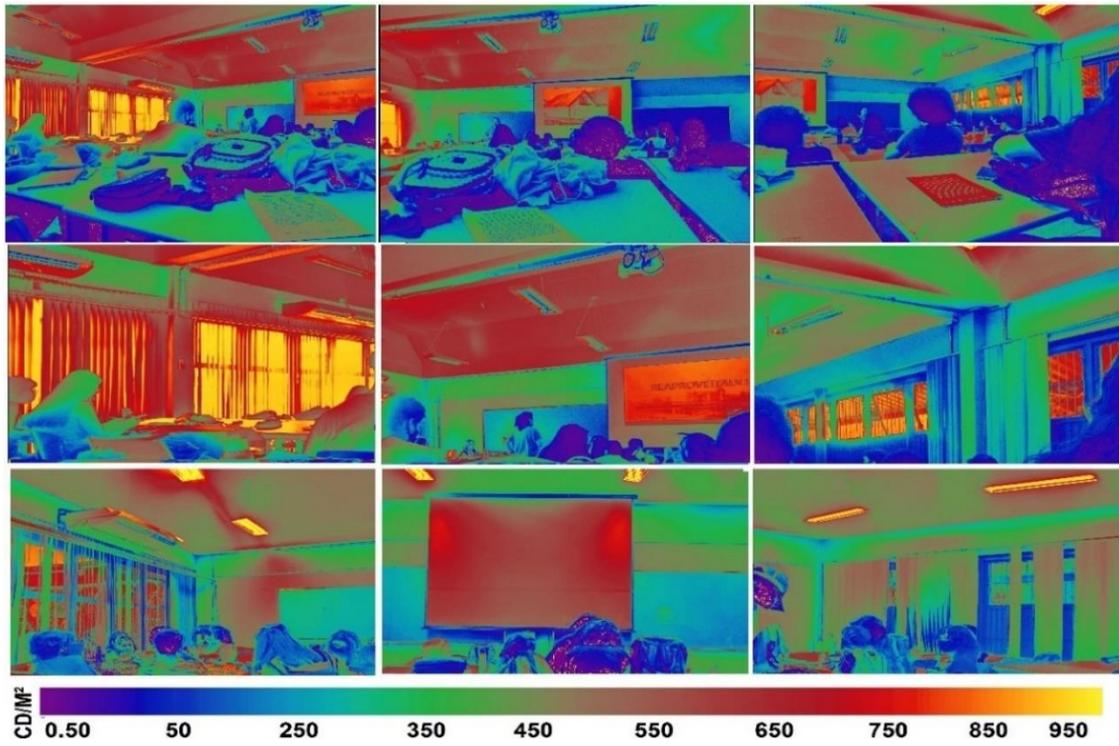
Atelier 1. Iluminação artificial - com céu claro e sem nuvens, no período matutino.



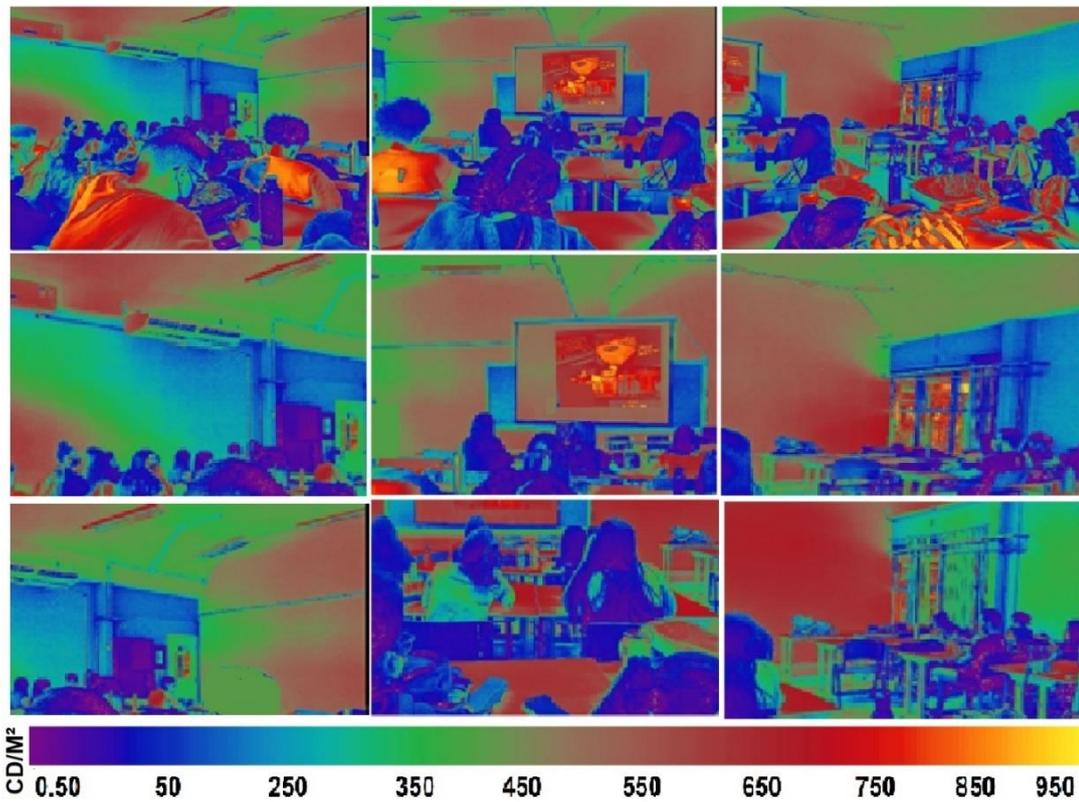
Atelier 1. Iluminação natural – com tipo de céu sem sol e com chuva, no período vespertino



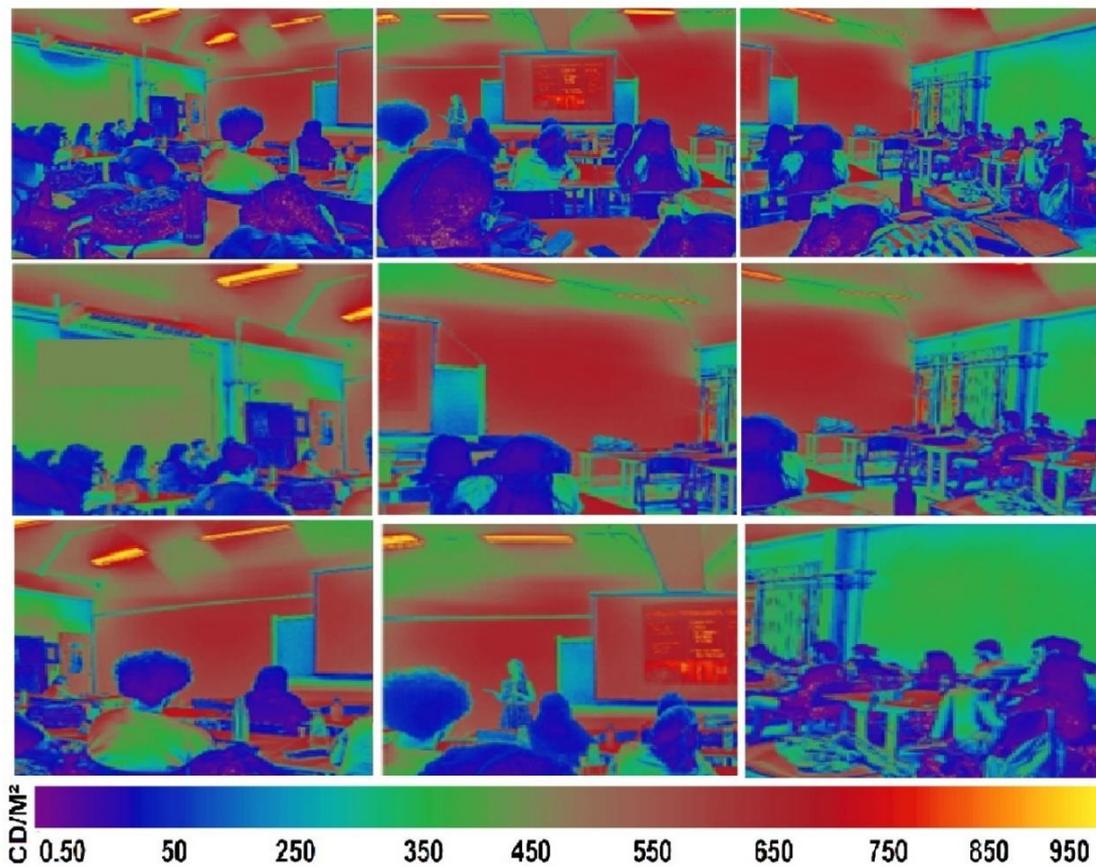
Atelier 1. Iluminação artificial – com tipo de céu sem sol e com chuva, no período vespertino.



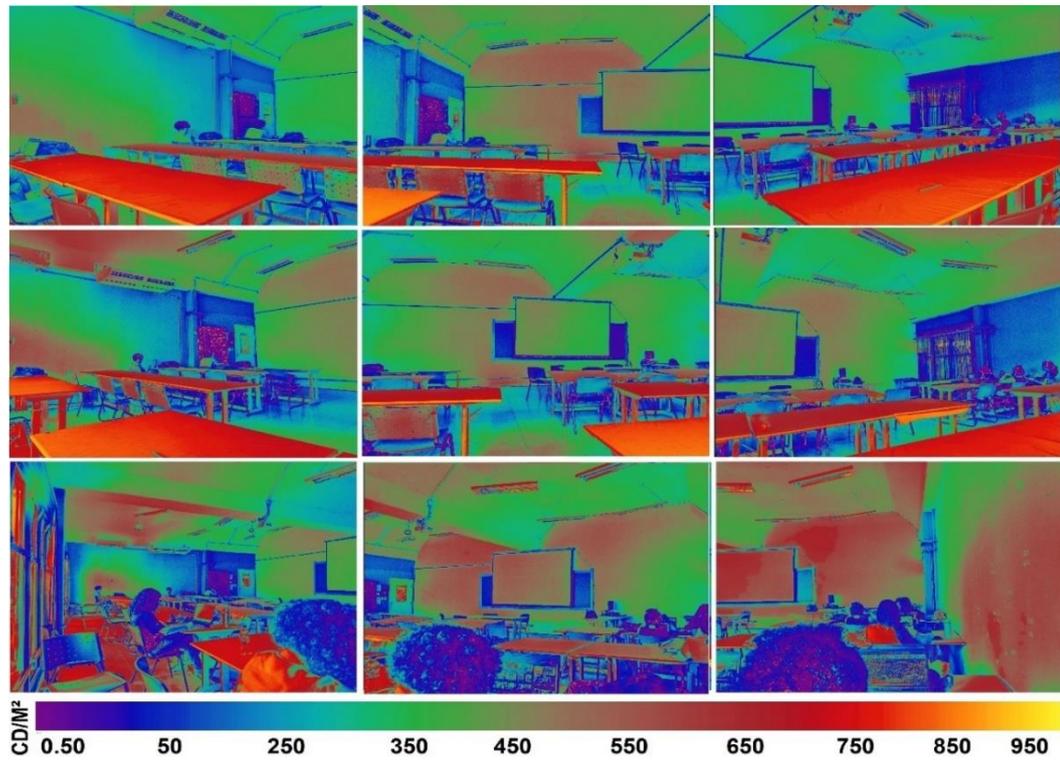
Atelier 2. Falsa cor: iluminação natural - com céu claro e poucas nuvens, no período matutino.



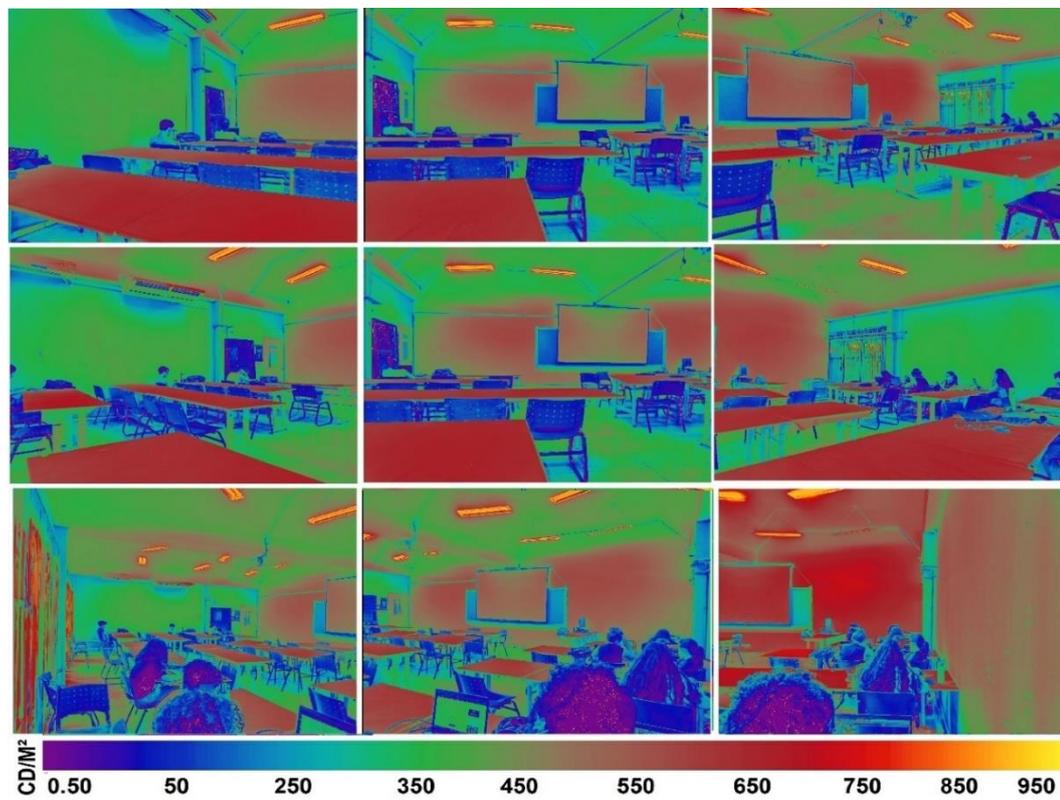
Atelier 2. Iluminação artificial - com céu claro e poucas nuvens, no período matutino.



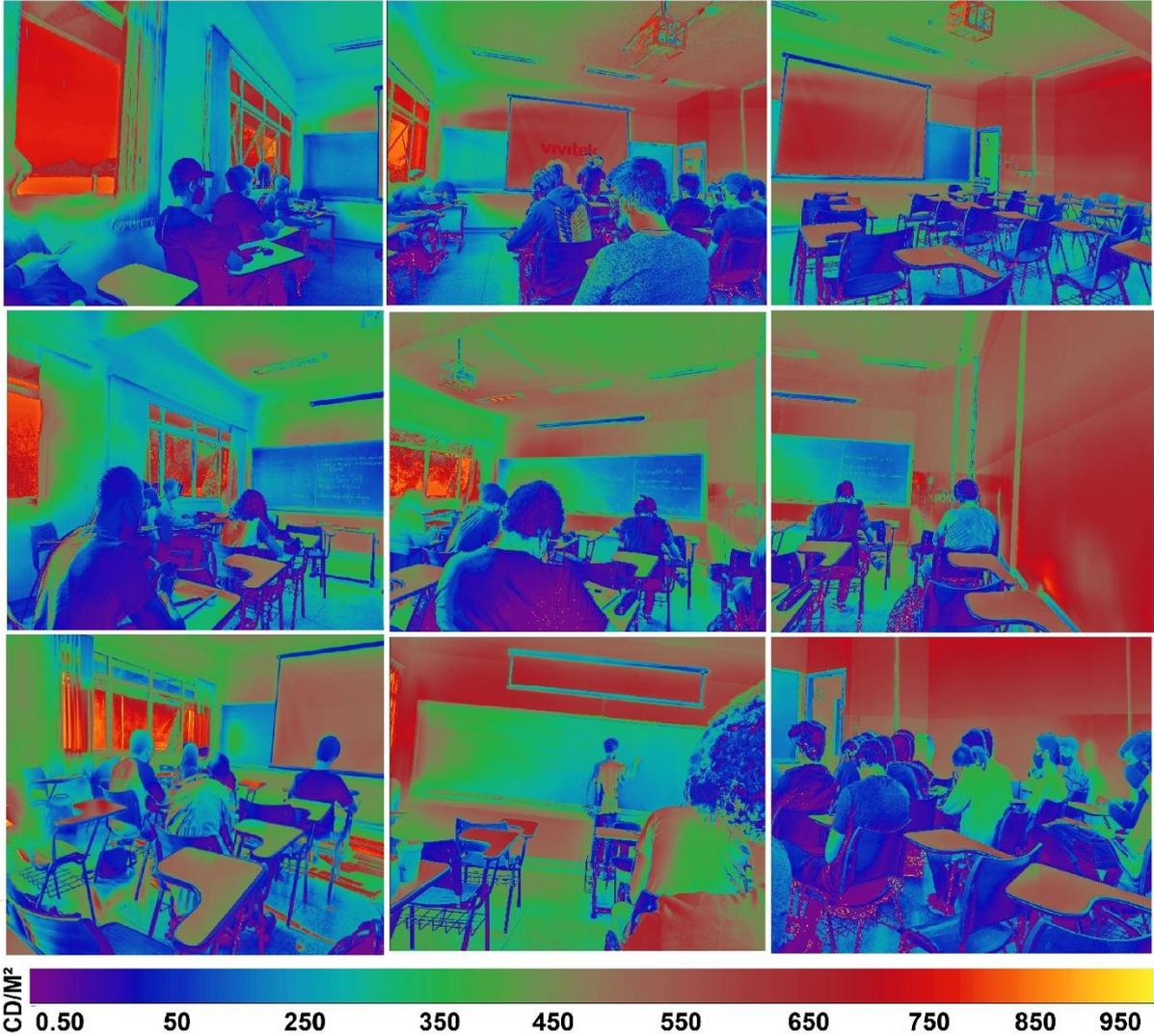
Atelier 2. Iluminação *natural* - com sol e poucas nuvens, no período vespertino.



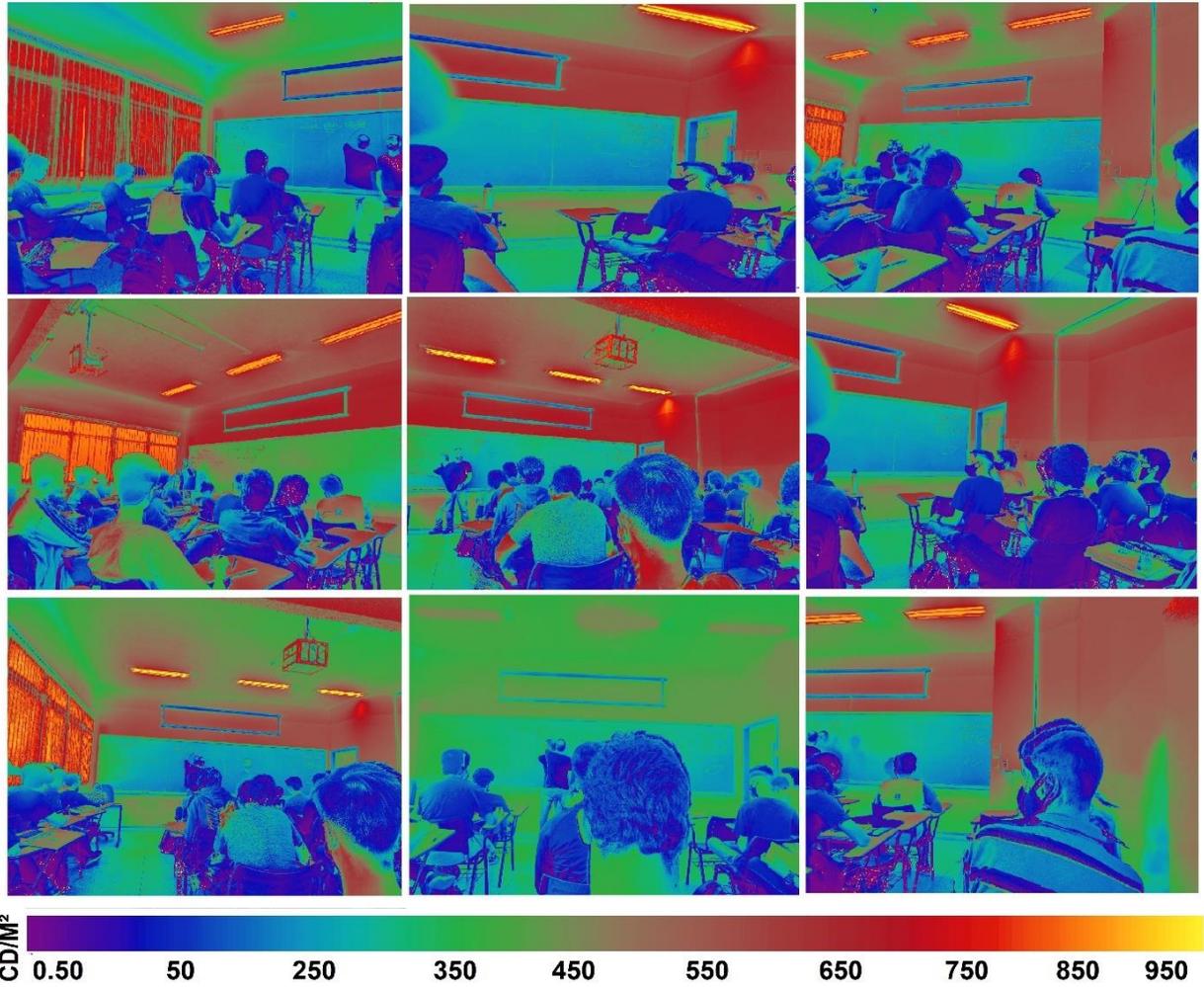
Atelier 2. Iluminação *artificial* - com sol e poucas nuvens, no período vespertino.



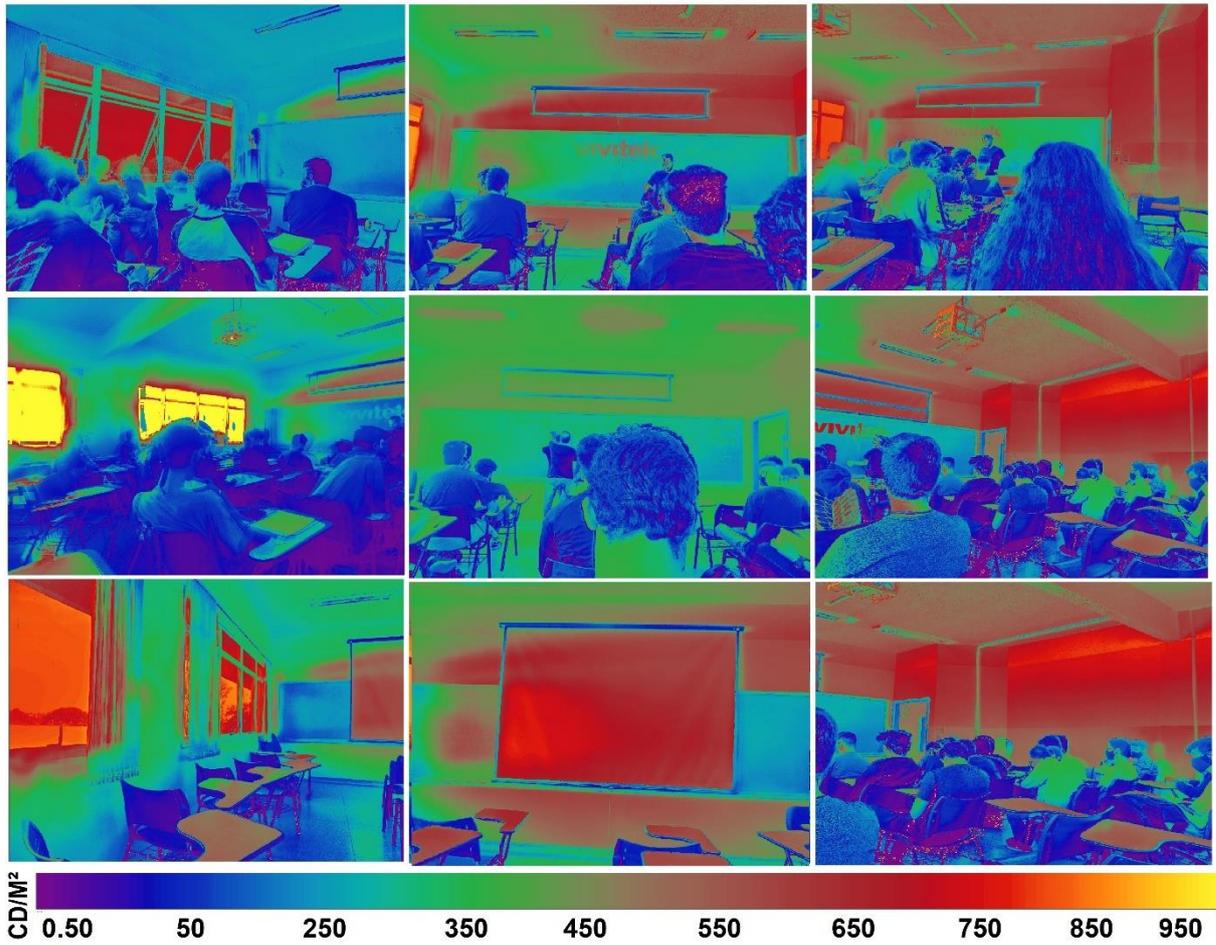
Sala 11. Iluminação natural - com sol e sem nuvens, no período matutino.



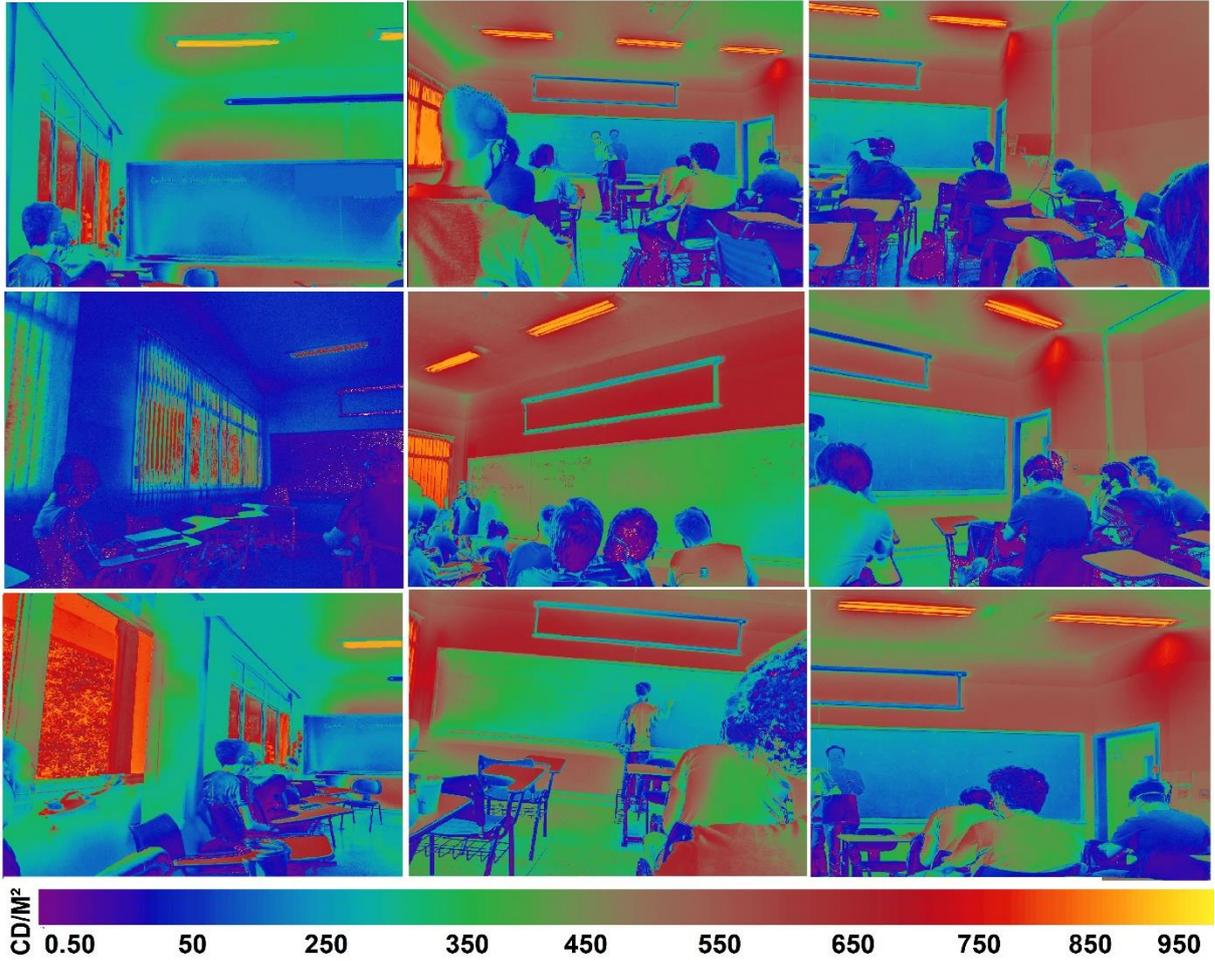
Sala 11. Iluminação artificial - com sol e sem nuvens, no período matutino.



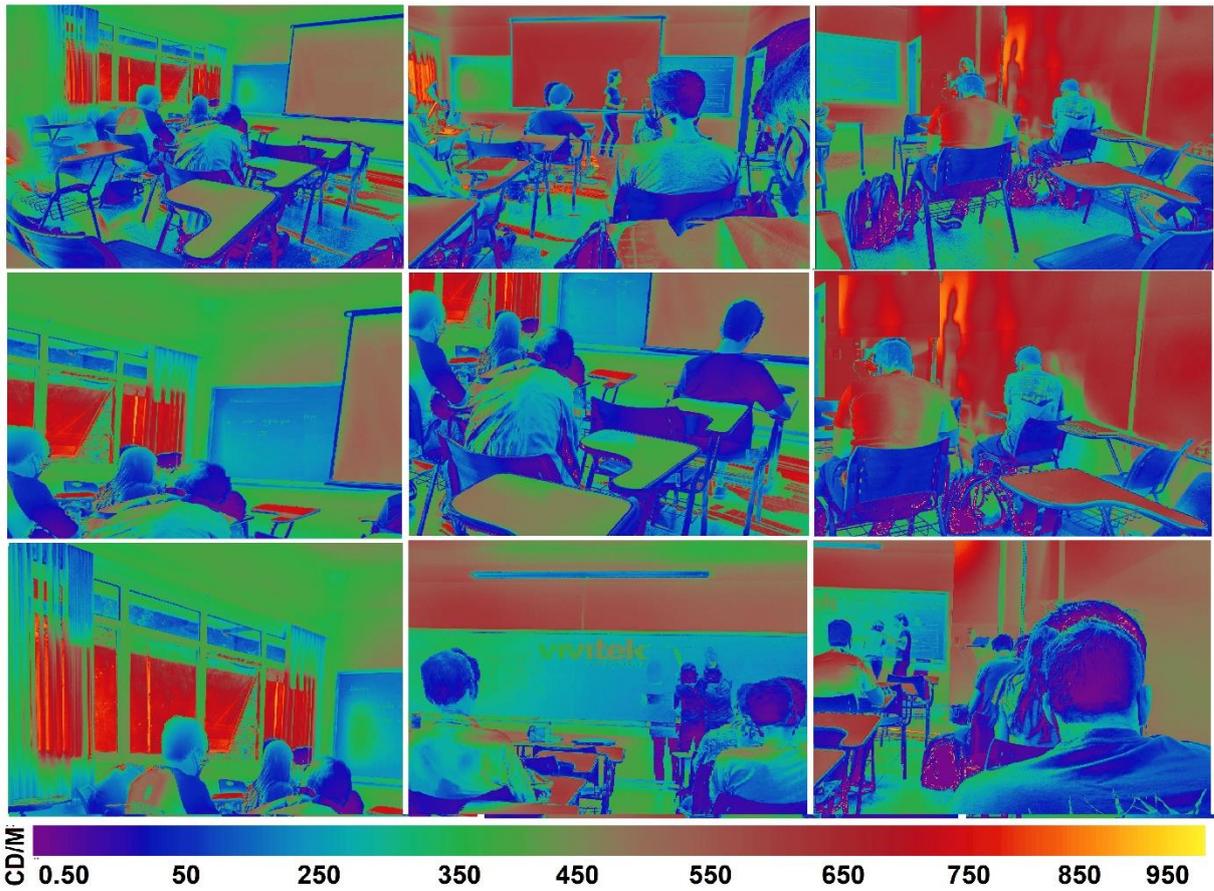
Sala 11. Iluminação natural - com sol e sem nuvens, no período vespertino.



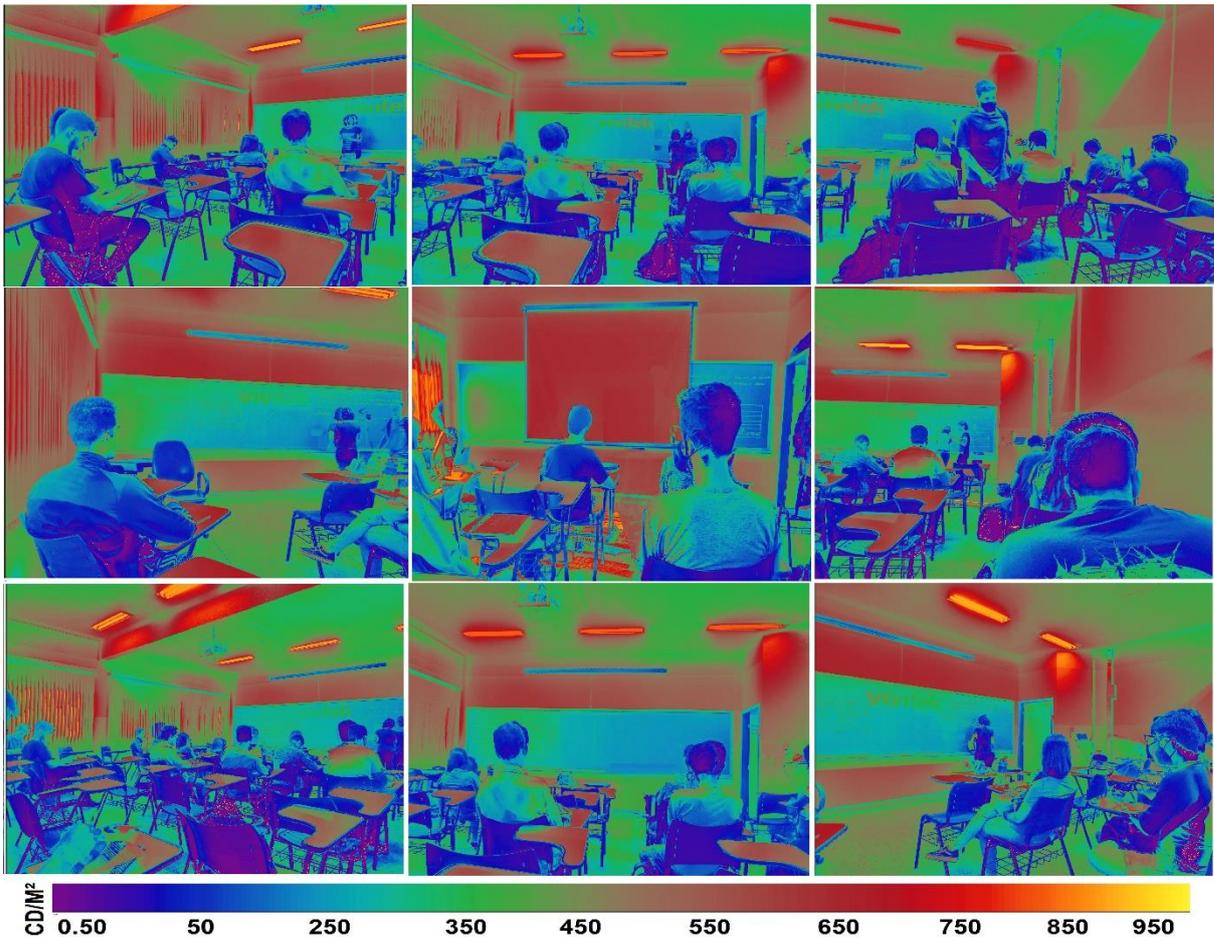
Sala 11. Iluminação artificial - com sol e sem nuvens, no período vespertino.



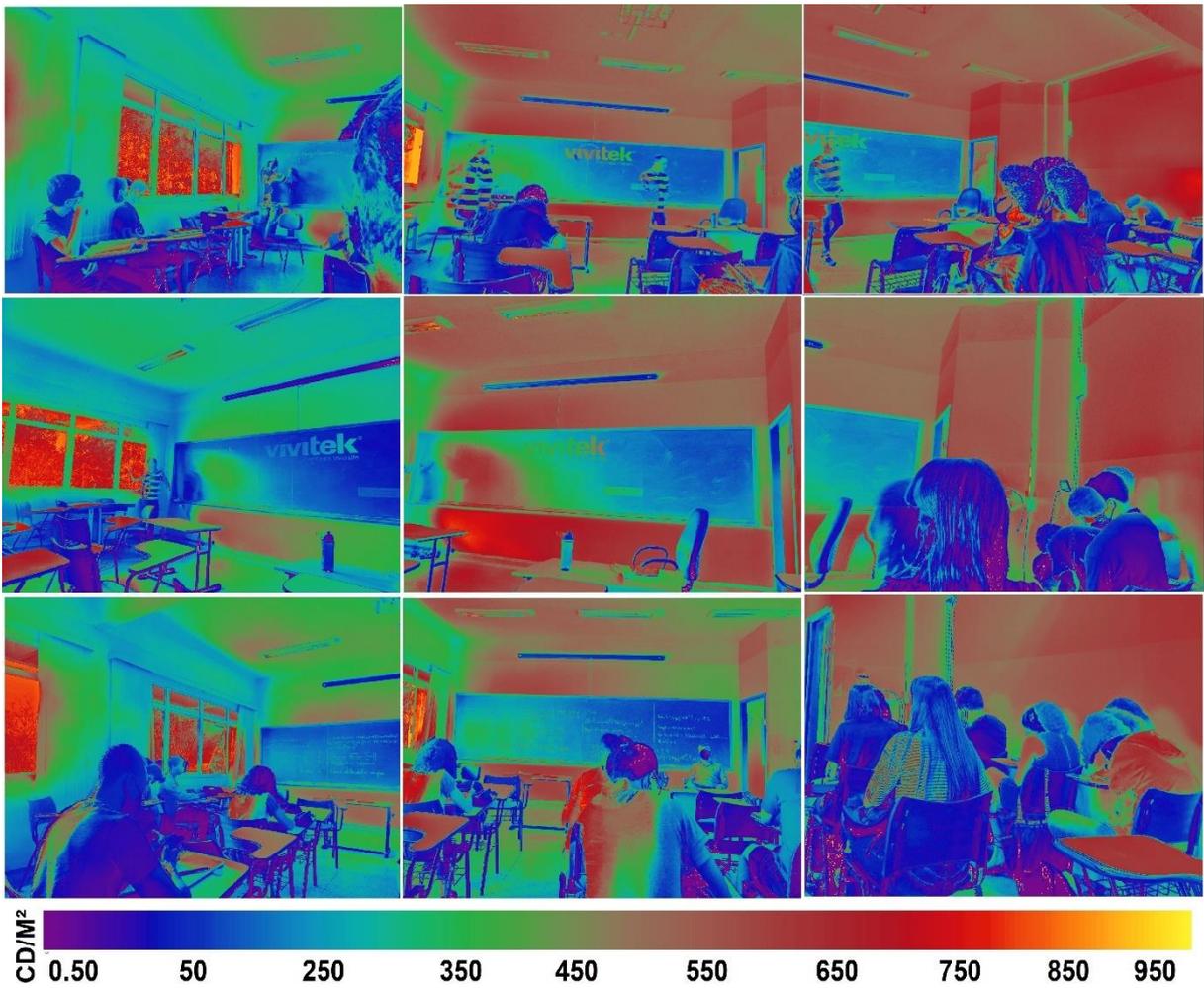
Sala 12. Iluminação natural - com sol e poucas nuvens, no período matutino.



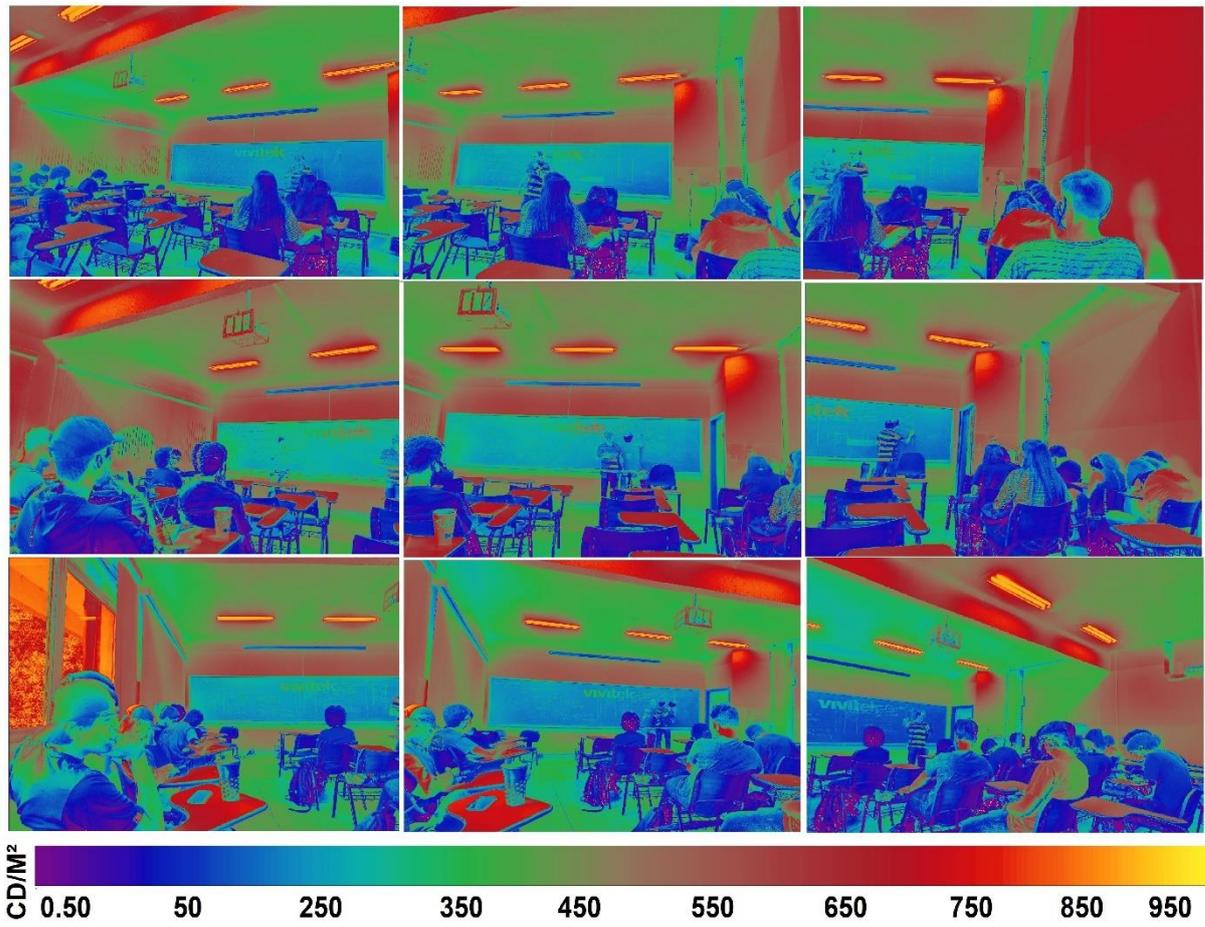
Sala 12. Iluminação artificial - com sol e poucas nuvens, no período matutino.



Sala 12. Iluminação natural - com sol e poucas nuvens, no período vespertino.



Sala 12. iluminação artificial - com sol e poucas nuvens, no período vespertino.



APÊNDICE C – Matriz de correlações das variáveis fotométricas

	Orientação		Tipo de janela		Proteção		Tipo de céu		Ações		Luminância janela		Luminância cena		Luminância janela		Luminância cena		Prop. ofusc. Agora		TGR		DGI		Annual Glare		Prop. contr. Tarefa		Aval. contr. entorno	
	Transm. Vidro	Transm. Vidro	Orientação	Tipo de janela	Proteção	Tipo de céu	Ações	Tamanha janela	Tamanha janela	Tamanha janela	Tamanha janela	Tamanha janela	Tamanha janela	Tamanha janela	Tamanha janela	Tamanha janela	Tamanha janela	Tamanha janela	Tamanha janela	Prop. ofusc. Agora	Prop. ofusc. Agora	TGR	TGR	DGI	Annual Glare	Prop. contr. Tarefa	Prop. contr. Tarefa	Aval. contr. entorno	Aval. contr. entorno	
Transm.vidro	1,00																													
Orientação	0,198	1,00																												
Tipo de janela	0,452	-0,41	1,00																											
Proteção	-0,51	0,34	0,09	1,00																										
Tipo de céu	0,01	0,29	-0,14	-0,07	1,00																									
Ação. Persianas	0,012	-0,14	0,18	0,07	0,01	1,00																								
Tamanho janela	0,66	0,27	-0,11	-0,05	0,41	-0,07	1,00																							
Luminância janela	0,101	0,20	-0,02	-0,19	0,43	0,314	-0,19	1,00																						
Iluminância cena	0,14	-0,38	0,23	0,09	0,21	-0,19	-0,3	0,16	1,00																					
Prop. ofusc. Anual	0,047	0,05	-0,03	0,01	-0,02	0,16	0,06	-0,42	0,63	1,00																				
Prop. ofusc. Agora	-0,04	-0,59	-0,01	0,03	0,00	-0,15	0,03	-0,15	0,03	0,18	1,00																			
UGR	-0,09	-0,23	0,086	0,275	-0,26	-0,17	0,208	-0,38	0,013	0,077	0,12	1,00																		
DGI	0,054	-0,41	-0,11	0,291	-0,07	-0,10	-0,03	-0,15	0,008	0,069	0,175	0,17	1,00																	
DGP	0,57	0,103	0,168	0,89	0,019	0,034	-0,04	0,075	0,016	0,27	-0,01	-0,04	0,1	1,00																
Annual Glare	0,238	0,429	0,102	0,184	0,032	0,084	-0,17	-0,26	0,008	0,005	0,142	0,1	-0,44	0,24	1,00															
Prop. contr. Tarefa	-0,38	-0,38	-0,10	0,414	-0,15	-0,09	-0,01	-0,15	0,006	0,053	0,122	0,09	-0,7	0,514	-0,19	1,00														
Aval. contr. Tarefa	-0,14	-0,58	0,277	0,137	-0,21	-0,18	0,051	-0,14	0,001	0,069	0,071	0,135	-0,41	0,241	-0,3	1,00														
Prop. contr. entorno	0,333	-0,51	0,314	0,043	-0,25	-0,16	-0,03	-0,24	0,027	0,046	0,191	0,337	-0,17	0,026	-0,06	0,109	1,00													
Aval. contr. entorno	0,467	-181	0,203	-0,46	-0,92	-0,63	-0,4	-0,01	0,088	0,11	-0,01	0,034	-0,49	-0,06	0,318	0,011	0,128	0,369	1,00											

Fonte: The jamovi project (2023). *jamovi*. (Version 2.3) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>. R Core Team (2021). *R: A Language and environment for statistical computing*. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages from MRAN snapshot 2023-01-01).