

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO

Liziê Froeder Neves

**Avaliação da iluminação natural no ambiente construído considerando o ciclo
circadiano humano**

Juiz de Fora
2025

Liziê Froeder Neves

Avaliação da iluminação natural no ambiente construído considerando o ciclo circadiano humano

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Gomes Casagrande
Coorientador: Prof. Dr. José Alberto Barroso Castañon

Juiz de Fora
2025

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Froeder Neves, Liziê.

Avaliação da iluminação natural no ambiente construído considerando o ciclo circadiano humano / Liziê Froeder Neves. -- 2025.

99 f.

Orientador: Cristiano Gomes Casagrande

Coorientador: José Alberto Barroso Castanon

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, 2025.

1. Iluminação circadiana. 2. luz natural. 3. ritmos biológicos. 4. saúde no ambiente construído. I. Casagrande, Cristiano Gomes, orient. II. Alberto Barroso Castanon, José, coorient. III. Título.

Liziê Froeder Neves

Avaliação da iluminação natural no ambiente construído considerando o ciclo circadiano humano

Dissertação apresentada ao PPG Ambiente Construído, ou Programa da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído

Aprovada em 08 de julho de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof Dr. Cristiano Gomes Casagrande - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof Dr. José Alberto Barroso Castañon - Coorientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof(a) Dr(a). Tatiana Tavares Rodriguez - Membro Interno
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof(a) Dr(a). Juliana Mara Bastos Menezes Hybiner - Membro Externo

Juiz de Fora, 23/06/2025.



Documento assinado eletronicamente por Cris ano Gomes Casagrande, Professor(a), em 08/07/2025, às 17:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Jose Alberto Barroso Castanon, Professor(a), em 09/07/2025, às 13:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Juliana Mara Ba sta Menezes Hybiner, Usuário Externo, em 09/07/2025, às 14:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Tatiana Tavares Rodriguez, Professor(a), em 09/07/2025, às 16:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A auten cidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-U f (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador 2462960 e o código CRC 86671D4E.

Dedico este trabalho a D. Êda e aos meus
Tios Júlio César e Liziê, que não foram o
início de tudo, mas foram o meio para que
eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

Sou grata a vida e a todas as pessoas que, em meio a circunstâncias positivas ou desafiadoras, contribuíram para o meu crescimento.

Agradeço a família, em especial, aos meus tios Júlio e Liziê que sempre me acolheram, incentivaram a alcançar meu desenvolvimento intelectual e emocional e são exemplos de seres humanos.

Ao Johnny que neste último ano se mostrou tão amigo, companheiro e meu maior entusiasta. Cresço e aprendo com você, com seu Amor e com sua sabedoria, com seu foco e sua disciplina, te admiro demais.

Ao Cristiano Casagrande, meu orientador, que contribuiu ativamente na condução desta dissertação, sempre com disposição e auxiliando no que fosse necessário e tornando essa etapa de minha vida mais leve.

Ao José Castanon pela Coorientação e pelos insights e pelos conselhos.

À professora Tatiana pelo auxílio e dedicação com que me auxiliou na condução deste trabalho e à professora Juliana pela enriquecedora contribuição sobre iluminação no âmbito da arquitetura, agradeço o carinho de aceitarem prontamente o convite para minha banca.

Daiane e Lucas obrigada pelo Amor e por me aconselharem em toda essa jornada, mais uma vez, sou grata por tê-los e por fazerem parte da minha história por tantos anos.

Aos amigos que fiz neste mestrado e pretendo levar para a vida. Ao João pela sua vivacidade, sabedoria, presteza e gentileza que tornam o PROAC um lugar melhor. A Camila e Maysa, amigas de longa data, mas que me acompanharam no mestrado, vocês são pessoas únicas e maravilhosas essa jornada foi bem melhor com vocês. A Paula, Nathane, Clarisse, Geovane foi um grande prazer tê-los conhecido e experienciado essa etapa de minha vida com vocês.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

“Arquitetura é o jogo magistral, correto e magnífico de massas reunidas na luz.” (Le Corbusier, 1923).

RESUMO

A luz é um elemento fundamental para a saúde e o bem-estar humano pois, além de interferir no conforto visual, influencia diretamente os ritmos biológicos por meio da regulação hormonal e da sincronização dos ciclos circadianos. Esta dissertação investiga a eficácia da iluminação natural em atender às necessidades do sistema não visual (circadiano) em uma sala de aula do programa de pós-graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora (PROAC – UFJF), com base na norma ABNT NBR 15215-4:2024. O objetivo principal foi avaliar se a iluminação natural do ambiente é suficiente para cumprir os parâmetros melanópicos recomendados, utilizando como métrica o lux melanópico equivalente (EML). A metodologia adotou revisão bibliográfica e estudo de caso com simulação computacional por meio do software DIALux, da carta solar e da Planilha de Lucas. Os resultados indicaram que, tanto no solstício de inverno quanto no de verão, a iluminação natural da sala analisada é insuficiente para atender às exigências do sistema visual e do não visual durante o período de uso. Em ambos os casos, observou-se a necessidade de complementação com iluminação artificial adequada, especialmente com luminárias LED de baixa temperatura de cor correlata ($TCC \leq 3500$ K), para garantir conforto visual e estímulo circadiano eficiente.

Palavras-chave: Iluminação circadiana, luz natural, ritmos biológicos, saúde no ambiente construído.

ABSTRACT

Light is a fundamental element for human health and well-being because, in addition to impacting visual comfort, it directly influences biological rhythms through hormonal regulation and circadian synchronization. This dissertation investigates the effectiveness of natural lighting in meeting the needs of the non-visual (circadian) system in a classroom of the Postgraduate Program in Built Environment at the Federal University of Juiz de Fora (PROAC – UFJF), based on the ABNT NBR 15215-4:2024 standard. The main objective was to assess whether the natural lighting in the room is sufficient to meet the recommended melanopic parameters, using the melanopic equivalent lux (MEL) as a metric. The methodology adopted a literature review and a case study with computer simulation using DIALux software, a solar chart, and the Lucas Spreadsheet. The results indicated that, during both the winter and summer solstices, the natural lighting in the room under analysis is insufficient to meet the demands of the visual and non-visual systems during the period of use. In both cases, the need for supplementation with adequate artificial lighting was observed, especially with LED luminaires with low correlated color temperature ($TCC \leq 3500$ K), to ensure visual comfort and efficient circadian stimulation.

Keywords: Circadian lighting, natural light, biological rhythms, health in the built environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Comprimentos de onda visíveis ao ser humano.	20
Figura 2 - Intensidade Luminosa	21
Figura 3 - Fluxo Luminoso.....	22
Figura 4 - Índice de reprodução de cor das Lâmpadas LED e Incandescentes respectivamente.	24
Figura 5 - Temperatura de cor correlata (TCC).	25
Figura 6 - Esquema gráfico das estruturas do olho humano responsáveis pela visão	26
Figura 7 - Comparação visão escotópica e fotópica.....	26
Figura 8- Atuação da luz no cérebro e a produção de hormônios.....	27
Figura 9 - Supressão da melatonina durante a noite.....	31
Figura 10 - Aberturas conforme a ABNT NBR 15215 – 3 /2024.....	35
Figura 11 - Planilha de Lucas.....	41
Figura 12 - Planilha de Lucas: Dados de entrada	42
Figura 13 - Altura solar e Azimute.	46
Figura 14 - Carta Solar.....	47
Figura 15 - Transferidor solar.	48
Figura 16 - Unidade padrão priorizando insolação.....	50
Figura 17 - Localização do PROAC	55
Figura 18 - Fachadas das salas do PROAC.....	56
Figura 19 - Organização do PROAC	56
Figura 20 - Fachada da sala de aula de estudo	57
Figura 21 - Planta baixa de identificação da sala de análise.....	58
Figura 22 - Interior da sala de aula de estudo	58
Figura 23 - Sala de Aula de estudo e ambiente de análise	59
Figura 24 - Corte Longitudinal da sala de aula de estudo	60
Figura 25 - Avaliação do nível de vista da sala de aula de estudo.....	61
Figura 26 - Corte esquemático mostrando os ângulos visuais.....	62
Figura 27 - Carta solar para a cidade de Juiz de Fora	64
Figura 28 - Carta solar aplicada a fachada de estudo Sala PROAC	65
Figura 29 - Incidência de luz natural às 10h AM	66
Figura 30 - Incidência de luz natural às 15h PM	67

Figura 31 - Incidência de luz natural às 17h PM	67
Figura 32 - Carta solar aplicada a fachada de estudo Sala PROAC Solstício Verão	68
Figura 33 - Incidência de luz natural a partir das 13h PM	69
Figura 34 - Incidência de luz natural atinge sua totalidade a partir das 16h30 PM ...	69
Figura 35 - Incidência de luz natural a partir das 17h PM - Verão.....	70
Figura 36 - Incidência solar dada em lux sala de estudo às 10h AM	72
Figura 37 - Incidência solar dada em lux sala de estudo às 15h PM	73
Figura 38 - Incidência solar dada em lux sala de estudo às 17h PM	74
Figura 39 - Incidência solar dada em lux sala de estudo às 13h PM	75
Figura 40 - Incidência solar dada em lux sala de estudo às 16h30 PM	76
Figura 41 - Incidência solar dada em lux sala de estudo às 17h PM - verão	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Planejamento dos ambientes (áreas), tarefas e atividades com a especificação da iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor.	33
Tabela 2 - Recomendação para a exposição diária à insolação.	36
Tabela 3 - Recomendações de distribuição de luz do dia para aberturas – edificações não residenciais.....	36
Tabela 4 - Descrição das etapas para verificação dos estímulos visuais e não visuais conforme Norma NBR 15215	38
Tabela 5 - Etapas para verificação dos estímulos visuais e não visuais.	53
Tabela 6 - Recomendação de exposição solar diária.....	63
Tabela 7 - Recomendações de distribuição de luz do dia para aberturas	63
Tabela 8 - Comparação Incidências Lumínicas no período dos solstícios	85
Tabela 9 - Compilação dos dados sobre iluminância adequadas ao sistema visual ..	86
Tabela 10 - Comparação entre iluminâncias adequadas para o sistema não visual e as encontradas na sala de aula de estudo	90

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição espectral de lâmpadas de Led de 13W e 3000 e 6500K respectivamente.	43
Gráfico 2 - Distribuição espectral de lâmpadas de Led de 13W e 3000 e 6500K respectivamente.	45
Gráfico 3 - Distribuição espectral da luz do Dia 6500K em 190 lux.....	78
Gráfico 4 - Estimulação da melanopsina a 190 lux	78
Gráfico 5 - Distribuição espectral da luz do Dia 6500K em 407 lux.....	79
Gráfico 6 - Estimulação da melanopsina a 407 lux	79
Gráfico 7 - Distribuição espectral da luz do Dia 6500K em 10,5 lux.....	80
Gráfico 8 - Estimulação da melanopsina a 10,5 lux	80
Gráfico 9 - Distribuição espectral da luz do Dia 6500K em 187 lux.....	81
Gráfico 10 - Estimulação da melanopsina a 184 lux	82
Gráfico 11 - Distribuição espectral da luz do Dia 6500K em 358 lux.....	82
Gráfico 12 - Estimulação da melanopsina a 358 lux	83
Gráfico 13 - Distribuição espectral da luz do Dia 6500K em 112 lux.....	83
Gráfico 14 - Estimulação da melanopsina a 112 lux	84
Gráfico 15 - Distribuição espectral da luz do Dia (6500k) ao longo dos solstícios	88
Gráfico 16 - Distribuição espectral de lâmpadas de led e fluorescente (3000 e 6500k)	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Arial	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACTH	adrenocorticotrófico
CIAMs	Congressos Internacionais de Arquitetura Moderna
Cd	Candela
CS	Estímulo Circadiano
EML	lux melanópico equivalente (<i>melanopic equivalent lux</i>)
IESNA	<i>illuminating engineering society of north america</i>
iPRGC	Células fotorreceptoras intrinsecamente fotossensíveis na retina
IWBI	<i>International WELL Building Institute</i>
IRC	Índice de reprodução de cor
K	Kelvin
LED	Light-Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)
lm	lumens
lx	lux
M-EDI	luz do dia melanópica equivalente
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
nm	Nanômetro
PROAC	Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído
SNC	supraquiasmático
SI	Sistema Internacional
TCC	Temperatura de Cor Correlata
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
W	Watts

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	18
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	O QUE É LUZ, DEFINIÇÕES E MÉTRICAS	20
2.2	COMO A LUZ É PERCEBIDA PELO OLHO HUMANO	25
2.3	ILUMINAÇÃO E SAÚDE: COMO A ILUMINAÇÃO AFETA A SAÚDE HUMANA	29
2.4	QUANTIFICAÇÃO DA ILUMINAÇÃO adequada ao humano	32
2.4.1	As normas brasileiras e a iluminação de ambientes	32
2.4.2	Planilha de Lucas	40
2.4.3	Utilização da planilha de Lucas	42
2.4.4	Estudo da Carta Solar	45
2.4.5	Caracterização da UFJF e sua relação com a iluminação	48
3	METODOLOGIA	52
4	APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	55
4.1	PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO - PROAC	55
4.2	AVALIAÇÃO DAS ABERTURAS DA SALA DE AULA DE ESTUDO	61
4.3	ESTUDO DE INSOLAÇÃO	64
4.4	TESTE DE INSOLAÇÃO DIALUX	70
4.5	IRRADIANCE TOOLBOX (PLANILHA DE LUCAS)	77
5	DISCUSSÃO DE RESULTADOS	85
5.1	AVALIAÇÃO DAS ABERTURAS COM BASE NA NBR 15215-3, NBR 8995-1 E ESTUDO DE INSOLAÇÃO	85
5.2	AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO CIRCADIANA	87
6	CONCLUSÃO	92
	REFERÊNCIAS	95

1 INTRODUÇÃO

A iluminação é essencial para a saúde e o bem-estar dos seres humanos no ambiente construído, isso porque a luz, além de ser essencial para permitir a visão, é responsável por estimular a produção de uma série de hormônios imprescindível à vida humana. Os ciclos provenientes dos movimentos da Terra, rotação, que constitui a formação das 24 horas do dia, e translação, que promove as estações do ano, têm um impacto significativo no desenvolvimento e funcionamento dos organismos. Isso ocorre porque os seres vivos se adaptam às variações ambientais, como a iluminação e a temperatura, promovidas pelos ciclos naturais da terra. Essas condições influenciam diretamente na regulação do ritmo biológico dos seres e a essa ciência dá-se o nome de cronobiologia (Caba; Valdez, 2015).

Assim sendo, todos os seres apresentam ritmos em sua fisiologia quando são expostos a condições ambientais constantes, como temperatura e luz. Nessas condições, os seres vivos adotam um período diferente de 24 horas, que indica que eles se adaptaram a ciclos temporais geofísicos por meio da geração de ritmos biológicos, ou seja, os organismos possuem um ritmo endógeno. Contudo, a exposição a ciclos de iluminação solar e temperatura ambiental mantém os relógios biológico e geofísico sincronizados em 24 horas (Caba; Valdez, 2015).

A iluminação circadiana está fundamentada em estudos de diversas áreas, como neurociência, biologia e fisiologia, os quais evidenciam que a influência da luz nos seres vivos vai muito além da visão. Ela impacta diretamente a percepção física e emocional no ambiente, além de regular funções essenciais do organismo ao longo do dia. Dessa forma, os efeitos visuais fundem-se aos efeitos não visuais, demandando projetos baseados na iluminação centrada no ser humano, que cumprem as necessidades de seu ciclo de vida (Darè, 2020). A compreensão da relação entre a iluminação e os ritmos circadianos ganhou destaque especialmente com a descoberta das células fotorreceptoras intrinsecamente fotossensíveis na retina (iPRGC), mostrando que a luz não apenas permite a visão, mas também regula processos fisiológicos (Chaves; Martau, 2019). A luz, por exemplo, influencia a produção de melatonina, hormônio responsável pela atividade de sono-vigília e o equilíbrio orgânico, além do cortisol, hormônio responsável pelo estado de alerta liberado nas primeiras horas da manhã.

Com base nesses dados, normas foram criadas para auxiliar na etapa de projeto. Em primeiro lugar tem-se as necessidades visuais, como a norma Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 8995 - Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior, que possui a finalidade de estabelecer o valor mínimo de iluminância média dos espaços de trabalho e das atividades desempenhadas, no que se refere a iluminação artificial, visando o conforto visual do usuário (ABNT, 2013).

Além disso, há também normas que tratam da iluminação baseadas no sistema não visual (iluminação circadiana ou integrativa). Em sua primeira versão a norma NBR 15215: Iluminação Natural, tratava somente da obtenção adequada de iluminação natural no espaço construído, na nova versão da quarta parte, revisada em 2024, chamada de Verificação Experimental das Condições de Iluminação Natural Interna, aborda as métricas para a quantificação dos estímulos não visuais, referentes à iluminação circadiana, para além dos estímulos visuais (ABNT, 2024c).

O que se percebe é que a norma NBR 15215 não apresenta um valor de iluminação circadiana mínima admissível ao ser humano e sugere duas métricas diferentes para a análise da iluminação circadiana nos ambientes. Desta forma, este trabalho se desenvolverá elegendo uma das métricas para avaliar a iluminação natural de um espaço, utilizando do auxílio de softwares, carta solar e das normas de iluminação natural e artificial, bem como, do levantamento do referencial bibliográfico para encontrar parâmetros de iluminação circadiana adequada ao humano para serem comparadas com os resultados encontrados na avaliação.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal desta dissertação é averiguar com base na norma NBR 15215 parte 4, se a iluminação natural dentro de um espaço construído atende os parâmetros da iluminação circadiana necessárias ao ser humano, utilizando uma das métricas apresentadas pela norma, o lux melanópico equivalente (*melanopic equivalent lux* - EML). O espaço escolhido será uma das salas de aula do programa de pós graduação em ambiente construído da Universidade Federal de Juiz de Fora (PROAC – UFJF).

Os objetivos específicos são:

- Testar um método de análise de iluminação circadiana, por meio da utilização da carta solar, do software DIALux e da Planilha de Lucas;
- Avaliar a influência da orientação solar nas aberturas de janela com relação à vista para o exterior, verificando se estão condizentes para atender as necessidades lumínicas para o sistema não visual, conforme as normas estudadas.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 1 aborda a relevância do estudo da iluminação de interiores para a saúde humana, apresentando a justificativa e os objetivos que nortearam esta pesquisa.

No Capítulo 2, é explorado o conceito de iluminação circadiana, sua influência sobre o organismo e o bem-estar humano e as principais grandezas envolvidas. São apresentadas, ainda, as ferramentas utilizadas para sua quantificação, bem como a motivação para a escolha do local que será analisado no estudo de caso.

O Capítulo 3 descreve a metodologia adotada, composta por duas etapas: a primeira, baseada em revisão bibliográfica, e a segunda, de caráter exploratório, estruturada a partir do método de estudo de caso, utilizando a simulação computacional como principal procedimento técnico.

No Capítulo 4, é desenvolvido o estudo de caso propriamente dito, com a caracterização do ambiente analisado e a identificação da incidência solar na sala de aula, por meio da carta solar e do software SketchUp. Também são avaliadas as aberturas segundo os critérios da norma NBR 15215 e realizados testes nos programas DIALux e Irradiance Toolbox (Planilha de Lucas).

O Capítulo 5 reúne os dados obtidos nas simulações, com a análise das aberturas, do comportamento da luz natural ao longo do dia e da eficiência da iluminação circadiana no ambiente de estudo.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta-se a conclusão, tanto dos resultados gerados pela avaliação da sala de aula, quanto da importância de se pensar sobre a luz natural na etapa de projeto preconizando o bem estar humano. São destacadas também possíveis contribuições para investigações futuras sobre o tema.

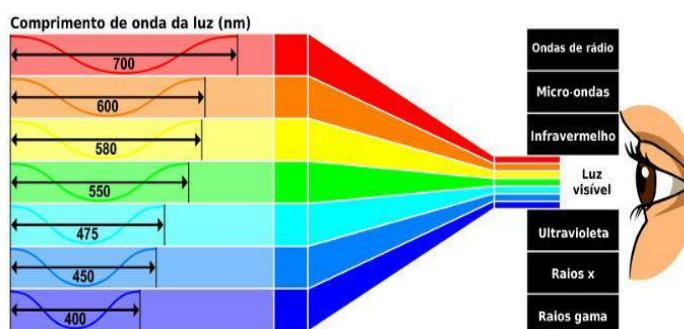
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O QUE É LUZ, DEFINIÇÕES E MÉTRICAS

Em 1661 Isaac Newton provou que ao incidir luz branca por um prisma de cristal ela se dissipa em vários feixes de cores diferentes; sete cores principais são visíveis, contudo, nossos olhos captam apenas três cores: vermelho, azul e verde, que são denominadas de primárias. Para visualizar as outras cores nossos olhos detectam a frequência emitida e faz-se assim uma média, cujo resultado são as outras cores (Scarinci; Marilei, 2014).

Como definição, a luz pode ser caracterizada como sendo a radiação eletromagnética que ao ser percebida pelo olho dá origem ao sentido da visão (Santos; Pereira, 2013). A métrica utilizada para definir a energia eletromagnética é o comprimento de onda visível, que corresponde à distância entre os pontos de uma onda propagada; essa distância é medida em nanômetro (nm), que corresponde a um bilionésimo de um metro. A partir disso, sabe-se que a região visível do espectro eletromagnético, pelo olho humano, fica entre 380 nm e 780 nm, região que é limitada entre o comprimento de onda que vai do infravermelho no extremo de maiores comprimentos de onda e do ultravioleta na região dos menores comprimentos de onda (Santos; Pereira, 2013), como pode ser observado pela Figura 1.

Figura 1- Comprimentos de onda visíveis ao ser humano.



Fonte: Helerbrock (2025).

Para compreender melhor como a luz é percebida e pode ser medida é importante entender algumas grandezas.

A intensidade luminosa, segundo Casagrande (2021), é uma grandeza vetorial e é definida como sendo a energia luminosa projetada em uma direção a partir de uma determinada posição. Sua unidade de medida é a candela (cd), sendo possível fazer a medição da intensidade luminosa por meio do equipamento chamado de goniofotômetro. Para compreender melhor, a intensidade luminosa pode ser vista como um vetor luminoso emitido por uma fonte; todo vetor possui módulo, direção e sentido, assim sendo, o módulo corresponde ao valor da grandeza em candelas, sua direção é medida dentro de uma esfera a partir do centro onde está a fonte luminosa segundo uma direção α e, por sua vez, o sentido é tido do centro para a periferia da esfera (Costa, 2006).

Matematicamente, a intensidade luminosa é definida pelo limite da razão entre o fluxo luminoso (Φ ou φ) através de um ângulo sólido (ω) em torno de uma direção e o vetor dessa direção, como pode ser visto na Figura 2

Figura 2 - Intensidade Luminosa

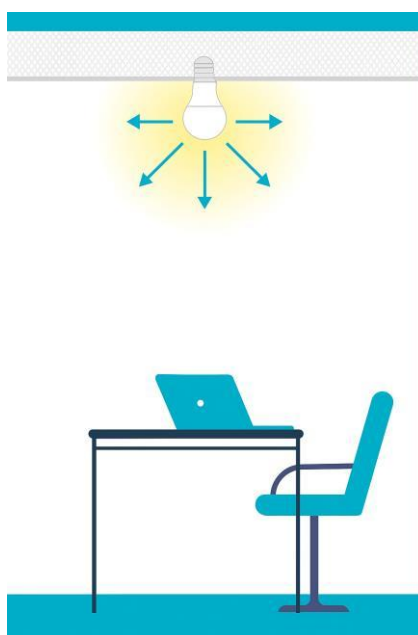


O fluxo luminoso, cuja unidade de medida é o lúmen (lm), pode ser entendido, segundo Casagrande (2021), como a energia radiante sendo emitida em todas as direções por unidade de tempo; a essa energia radiante entende-se todo o espectro de luz visível dentro de comprimentos de onda que vão de 380 nm a 780 nm. Em outras palavras, o fluxo luminoso está ligado à capacidade de ver, ele representa a

energia radiante emitida ou refletida, por segundo em todas as direções, em forma de luz, neste caso a eficiência luminosa espectral relativa funciona como um filtro da energia radiante, permitindo avaliar o seu efeito visual (Costa, 2006).

É importante ressaltar que o fluxo luminoso pode ser medido a partir de um equipamento denominado de esfera integradora de Ulbricht ou um goniofotômetro. A Figura 3 representa o que é fluxo luminoso.

Figura 3 - Fluxo Luminoso.



Fonte: Stella (2024).

A eficácia luminosa corresponde a uma definição física de rendimento, por se basear na relação entre potência de saída e de chegada, ou seja, uma fonte luminosa recebe uma potência elétrica correspondendo a watts (w) e transforma em uma potência luminosa expressa em lumens (lm). Contudo, e por trabalhar com duas unidades de potência diferentes, sua denominação passou a se chamar de eficácia, assim sendo, como se refere a luz, acrescentou-se a denominação de luminosa (Costa, 2006). Em outras palavras, é uma métrica utilizada para definir o quociente entre o fluxo luminoso emitido por uma lâmpada e a potência consumida, por isso ela é expressa em lúmens por watts (lm/W); esta grandeza é importante e é utilizada para medir a eficiência energética de um sistema de iluminação (Casagrande, 2021).

A iluminância pode ser compreendida como sendo a razão entre o fluxo luminoso, provindo de uma fonte luminosa, incidindo em uma determinada área (Casagrande, 2021). Além disso, a iluminância é uma grandeza primordial no trato

dos projetos de luminotécnica, sendo esta métrica utilizada em normas nacionais e internacionais, ela mostra a densidade de luz necessária para cumprir determinadas atividades causando conforto visual humano (Casagrande, 2021).

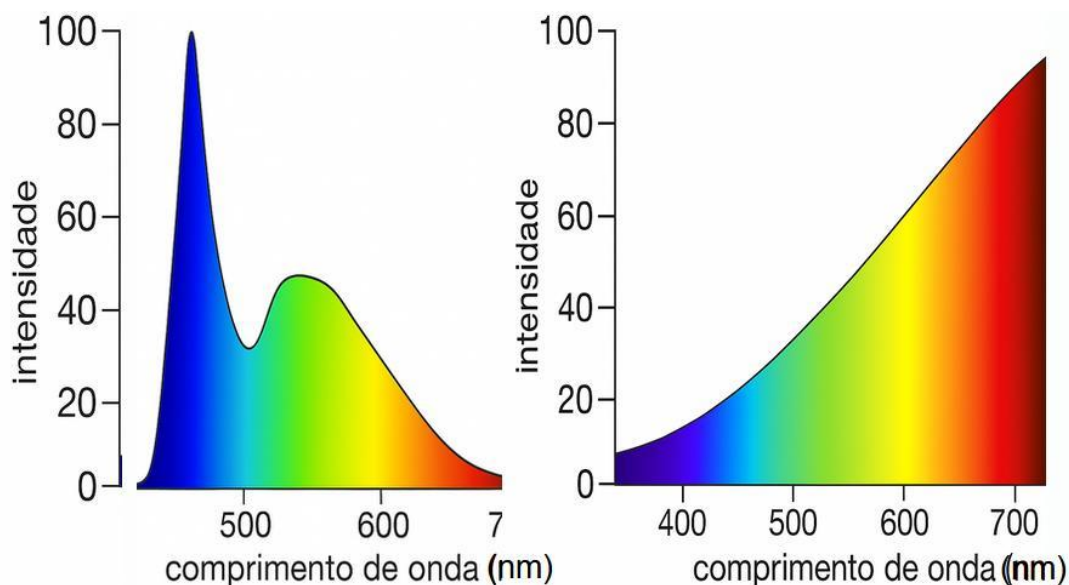
A unidade de medida utilizada segundo o Sistema Internacional (SI) para definir a iluminância é o lm/m^2 ou lux (lx). É utilizado o equipamento chamado Luxímetro para medir essa grandeza.

A luminância, correspondendo à excitação visual, tem a ver com as diferenças entre as zonas de claro e escuro, por exemplo, de uma paisagem; por causa dessas nuances que são percebidas pelos olhos humanos que conseguimos enxergar (Casagrande, 2021). A partir daí pode-se dizer que a luminância pode ser entendida como a intensidade de luz refletida por uma superfície luminosa, em que dependem tanto da intensidade de luz emitida pela fonte luminosa quanto das características de reflexão da superfície do material. Sua unidade de medida é a candela por metro quadrado (cd/m^2) e o equipamento utilizado para medir essa grandeza é o luminancímetro.

A refletância está relacionada com as características físicas da superfície do material (aspereza, polidez, textura, cor etc.) em questão, existindo independente da incidência de luz ou não na superfície, ou seja, para que a luz seja percebida pelo olho humano a partir da luminância do meio iluminado dependerá da refletância do objeto que recebe a luz (Casagrande, 2021). É possível medir a refletância a partir de um equipamento chamado luminancímetro.

Índice de reprodução de cor (IRC) é uma tentativa de mensurar a cor percebida pelo cérebro humano, por isso o IRC se apresenta como uma porcentagem, sendo relativa ao índice do radiador integral (corpo negro) que possui um valor de 100%, podendo-se dizer que o IRC corresponde ao percentual médio relativo à sensação da reprodução de cor fundamentado em uma série de cores padrões (Costa, 2006). Dessa forma, o Índice de Reprodução de Cor (IRC) pode ser definido como a capacidade de uma fonte de luz reproduzir fielmente as cores de um objeto, em comparação com a luz solar. Esse índice é representado por um valor numérico que varia de 0 a 100, sendo que quanto maior o valor, maior a fidelidade na percepção das cores pelo olho humano (Casagrande, 2021). Quanto mais próximo de 100 uma lâmpada tiver seu IRC, mais fiel à cor natural esse objeto terá. Na Figura 4 é possível observar como funciona o índice de reprodução das cores em dois tipos de lâmpadas, uma incandescente e outra LED.

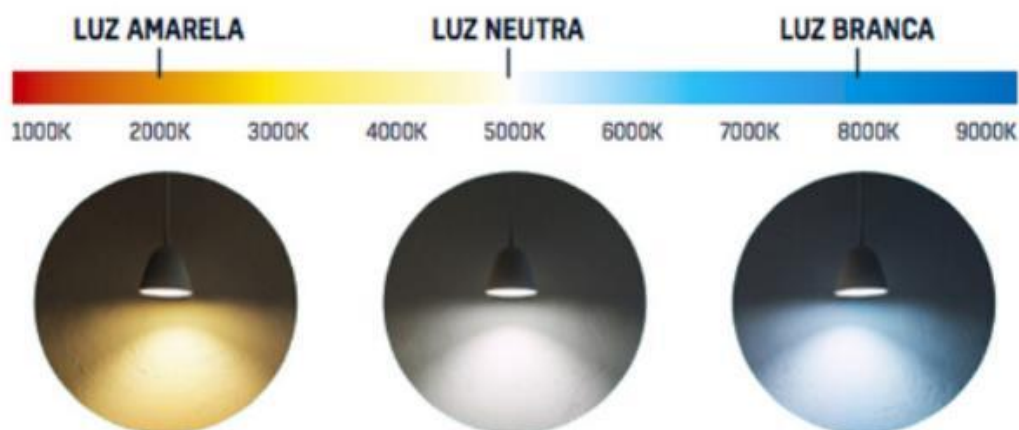
Figura 4 - Índice de reprodução de cor das Lâmpadas LED e Incandescentes respectivamente.



Fonte: Elementar (2017), modificado pela autora.

A temperatura de cor correlata (TCC) é uma grandeza que está relacionada com a aparência de cor da luz emitida por uma fonte luminosa; sua unidade de medida é o Kelvin (K). Embora a TCC não tenha a ver com temperatura, sua unidade de medida é utilizada para fazer analogia com a luz emitida por um corpo negro, que quando aquecido a uma determinada temperatura, possui uma distribuição espectral da luz alterada, ou seja, a cor da luz emitida por esse corpo é fruto da composição dos comprimentos de ondas emitidos (Casagrande, 2021). Outro fator relevante sobre a temperatura de cor é a sensação psicológica que elas transmitem. Uma luz amarelada (2700 K a 3000 K) é chamada de quente, devido à sensação de calor que ela provoca, bem como uma lâmpada emitindo uma luz azulada (6000 K a 6500 K) transmite uma sensação de frio. Costa (2006) chama a atenção para a condição espectral das lâmpadas, uma iluminação usando cores mais quentes realçará as cores vermelhas, enquanto as cores consideradas frias reproduzirão os azuis e seus derivados. Na Figura 5 é possível entender melhor como a temperatura de cor correlata é percebida pelo olho humano.

Figura 5 - Temperatura de cor correlata (TCC).



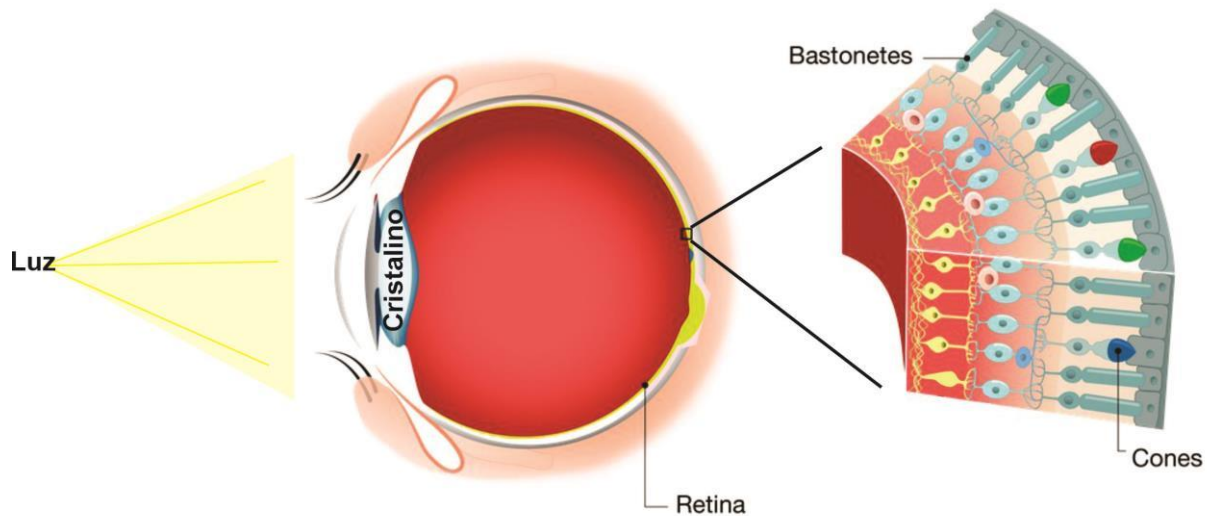
Fonte: UniPotência (2019)

A temperatura de cor correlata é uma grandeza que pode ser obtida a partir de uma esfera integradora de Ulbricht ou por meio de um difusor cossenoidal associado a um espectrofotômetro, esses equipamentos são capazes de fornecer tanto o IRC quanto a TCC de uma fonte.

2.2 COMO A LUZ É PERCEBIDA PELO OLHO HUMANO

O processo de identificação da luz pelo olho humano começa pelo cristalino, que a envia para a retina, onde é transformada em impulso nervoso; é na retina onde estão localizadas as células fotorreceptoras chamadas de cones e bastonetes, que são sensíveis a comprimentos de ondas longos do espectro visível. Os cones são as células que percebem as cores (visão fotópica) e estão relacionadas com a visão diurna. Os bastonetes possuem comprimentos de ondas curto e são responsáveis pela percepção do claro escuro (visão escotópica) e se relacionam com a visão noturna (Chaves; Martau 2019). A Figura 6 mostra as estruturas do olho humano que são utilizadas para a identificação da luz.

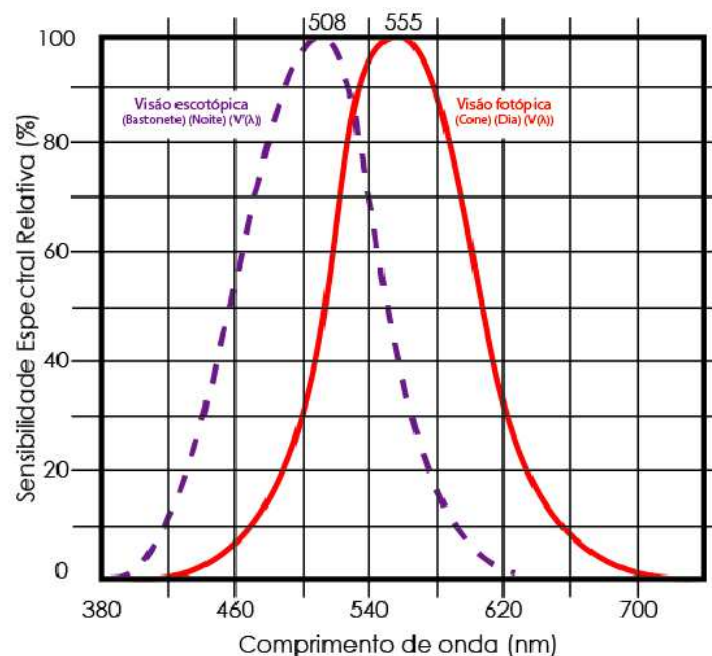
Figura 6 - Esquema gráfico das estruturas do olho humano responsáveis pela visão



Fonte: OptVista (2024), modificado pela autora.

Na Figura 7 é possível notar que a sensibilidade espectral à luz é percebida pelas células fotorreceptoras, em comprimentos de ondas diferentes ao longo do período noturno (visão escotópica) e diurno (visão fotópica).

Figura 7 - Comparação visão escotópica e fotópica



Fonte: Chaves e Martau (2019).

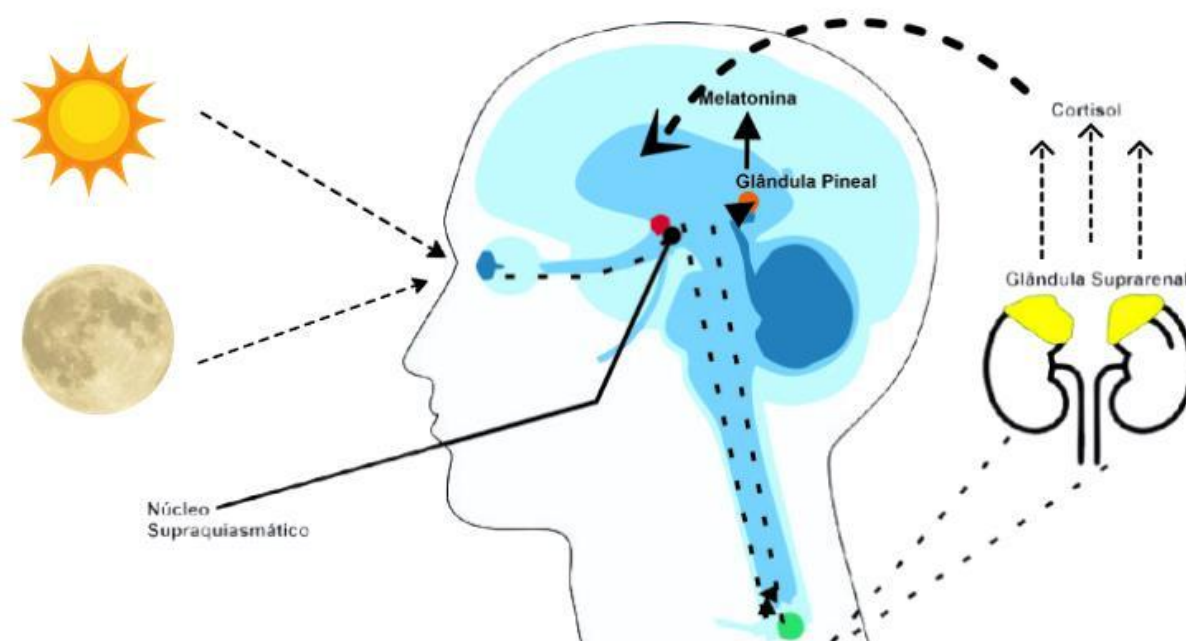
Células fotorreceptoras foram descobertas nos anos 2000, chamadas de Células Ganglionares da Retina Fotorreceptoras Intrinsecamente Fotossensíveis (ipRGC), que são encontradas por toda a camada da retina. Essas células, embora

sensíveis à luz, não são responsáveis por enviar estímulos visuais ao cérebro, o que permite concluir que a luz não está relacionada somente com a visão, mas é também responsável por regular o ritmo de 24h de processos fisiológicos do ser humano (Chaves e Martau 2019). A esses processos fisiológicos se dá o nome de sistema circadiano humano ou ritmo circadiano. Assim sendo, pode se afirmar que a luz regula o ciclo circadiano, que é o ritmo biológico de diversos processos fisiológicos humanos, como ritmo de sono e vigília e o equilíbrio entre alimentação e jejum do organismo (Andreadi *et.al.*, 2025; Chaves; Martau, 2019).

A captação da informação luminosa ocorre exclusivamente pelos olhos, especialmente por meio das Células Ganglionares da Retina Fotorreceptoras Intrinsecamente Fotossensíveis (ipRGC), que possuem o fotorreceptor melanopsina. Essas células são funcional e anatomicamente distintas dos cones e bastonetes responsáveis pela visão (Soares Filho, 2018).

Segundo Nagare *et al.* (2019), o período de 24 horas de um dia e seu ciclo de claro – escuro determinam a incidência de luz na retina, sendo responsável por regular o sistema circadiano humano. O esquema de como a luz influencia a produção de melatonina e cortisol no corpo humano é visualizado na Figura 8.

Figura 8- Atuação da luz no cérebro e a produção de hormônios



Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme mostrado na Figura 8, a estimulação luminosa da retina, por meio dos receptores ipRGC, regulam um relógio circadiano central localizado no núcleo supraquiasmático (SNC), responsável pelos ritmos de atividade e repouso dos organismos, esse relógio central sincroniza os relógios periféricos presentes em praticamente todos os tecidos (Andreadi *et.al.*, 2025; Soares Filho, 2018).

A estimulação luminosa da retina promove o aumento dos níveis de cortisol ao estimular a produção de hormônio adrenocorticotrófico (ACTH) pela hipófise, (hormônio este produzido pela glândula suprarrenal). Esse pico matinal de cortisol prepara o corpo para as demandas do dia, mobilizando reservas energéticas, auxiliando na função imunológica, otimizando as respostas ao estresse, promovendo uma reação adaptativa aos estressores agudos, elevando a disponibilidade de glicose, além disso, o cortisol afeta diretamente a regulação da pressão arterial. Após esse aumento inicial, os níveis de cortisol diminuem gradualmente ao longo do dia, atingindo seu ponto mais baixo no início da noite (Andreadi *et.al.*, 2025). Seu efeito inclui o aumento da pressão sanguínea e dos níveis de glicose no sangue, garantindo energia suficiente para o funcionamento do corpo ao longo do dia (Chaves, 2020). Além disso, o cortisol, é um hormônio estimulante responsável por aumentar o estado de alerta e o tempo de reação psicomotora, reduzindo lapsos de atenção (Lucas *et al.* 2014).

Por outro lado, a supressão noturna da melatonina caracteriza a resposta do ritmo circadiano humano à inexistência de exposições à luz. Os fotorreceptores ipRGC, em conjunto com o fotopigmento melanopsina, desencadeiam um processo bioquímico que regula a glândula pineal (localizada no cérebro), estimulando a produção de melatonina, um hormônio fundamental para diversas funções biológicas (Martau, 2009).

A melatonina é um hormônio que prepara o organismo para o sono, restabelecendo o equilíbrio orgânico e reduzindo a temperatura corporal à noite, quando começa a ser liberada, sendo considerada um marcador de ritmo da estrutura temporal circadiana. A secreção da melatonina é suprimida com maior intensidade pela luz branca (Caba; Valdez 2015).

Regulado pelo ciclo claro e escuro do dia/noite, esse sistema tem como função a adaptação do corpo humano ao ambiente em que está inserido (Boyce, 2010). Portanto, a supressão da luz durante a noite é imprescindível para a

produção de melatonina, bem como, a exposição adequada à luz ao longo do dia é um fator determinante para a regulação saudável do cortisol, reforçando a importância do projeto luminotécnico em ambientes internos, especialmente aqueles voltados ao trabalho e ao estudo.

A Norma ABNT NBR 15215: Iluminação Natural, na sua quarta parte apresenta dois métodos para quantificar a luz como estímulo não visual. A primeira, de onde se obtém a métrica chamada lux melanópico equivalente (EML) ou a iluminância da luz do dia melanópica equivalente (M-EDI), mede a resposta espectral dos fotopigmentos nos cones, bastonetes e ipRGC, método este que será utilizado por esta pesquisa. A segunda forma avalia a supressão da melatonina no corpo humano e se utiliza do método de estímulo circadiano (CS) para ser quantificada (ABNT, 2024c).

2.3 ILUMINAÇÃO E SAÚDE: COMO A ILUMINAÇÃO AFETA A SAÚDE HUMANA

Os estudos sobre iluminação circadiana ou iluminação integrativa mostram os malefícios de uma iluminação inadequada e os benefícios ao ser humano da exposição à iluminação adequada.

Uma pesquisa desenvolvida pelos autores Nelson e Devries (2017) avaliou se a exposição aguda à luz artificial também afetava o bem estar e recuperação dos pacientes internados em unidades de terapia intensiva. O estudo constatou que a exposição aguda à luz artificial aumenta a pressão arterial sistólica e os marcadores inflamatórios no sangue, além de prejudicar a regulação da glicose em indivíduos saudáveis.

Em outro estudo conduzido por Walker II *et al.* (2020), ao analisar camundongos expostos a luz artificial baixa 150 lux durante três dias consecutivos, observou-se que os ratos aumentaram as respostas depressivas em comparação com os alojados em noites escuras, além de terem alteração do ritmo circadiano (atividade e temperatura). O estudo demonstrou que a exposição aguda à luz artificial pode prejudicar a saúde em indivíduos saudáveis, uma vez que essa exposição afeta a fisiologia do cérebro.

Há estudos que atestam a eficiência da iluminação circadiana-efetiva sobre problemas de sono, humor e comportamento. Em pesquisa desenvolvida por (Figueiro *et al.* 2020), que objetivavam investigar o impacto a longo prazo da

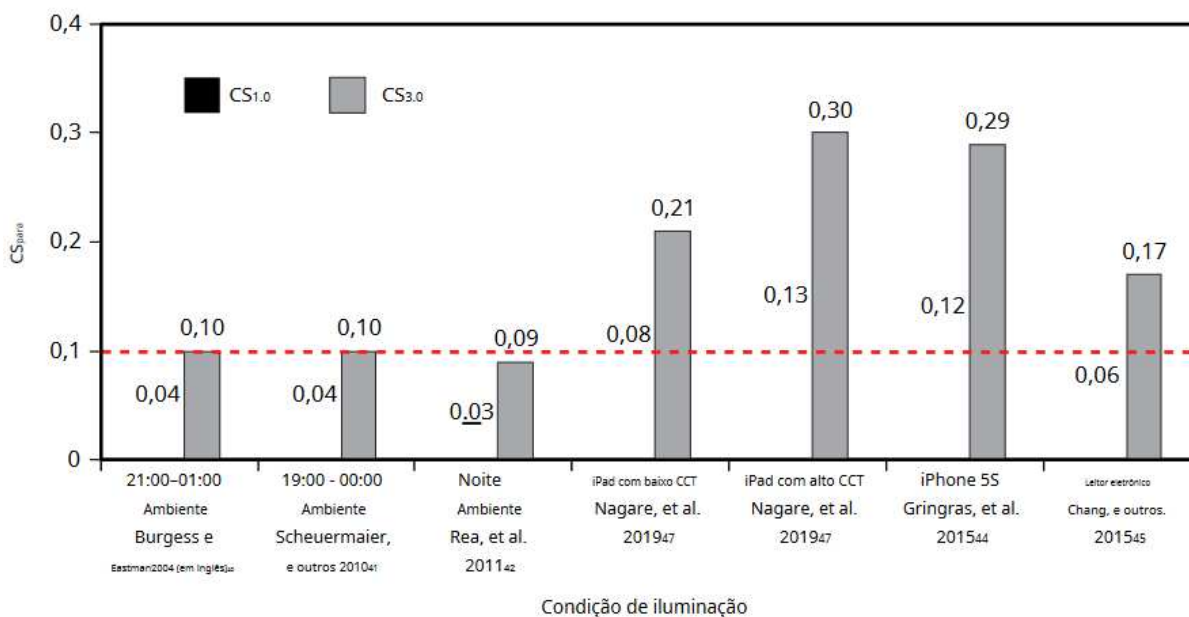
iluminação em pacientes com Alzheimer e demência a fim de propor uma terapia não farmacológica a partir da luz, constataram que a intervenção melhorou significativamente os escores do índice de qualidade do sono, além de reduzir significativamente os escores da Escala de Cornell para Depressão e Demência. Como conclusão, a aplicação regular de iluminação circadiana-efetiva pode reduzir a depressão e a agitação em pacientes com demência que vivem em ambientes controlados, melhorando o sono à noite.

Com o intuito de medir a supressão noturna de melatonina, Nagare *et al.* (2019) promoveram um estudo a partir da medição de uma ampla gama de níveis de luz (40–1000 lux), 2 espectros de temperatura de cor correlata (TCC) (2700K e 6500K) e durações estendidas de exposição à luz artificial (0,5–3,0 h). Os autores afirmam que o espectro da luz influencia significativamente a supressão da melatonina. Além disso, a duração de exposição à luz também foi levada em consideração no estudo. A conclusão é a de que a supressão significativa de melatonina é observada a partir de 30 min de exposição à luz branca, os resultados mostram que a eficácia incremental da luz para suprimir a melatonina diminui com o aumento da duração da exposição em 34,8% (1 h), 22,2% (2 h) e 17,3% (3 h).

É importante se atentar que dentro da pesquisa de Nagare *et al.* (2019) um dos objetivos foi estimar o limite absoluto de estímulo Circadiano (CS) que seria necessário para suprimir a melatonina em determinado tempo de exposição à luz. Foi utilizado o critério de 0,1 CS, 10% de supressão de melatonina a partir de 1h. Este critério de limite foi alcançado para níveis de temperatura de cor correlata (TCC) mais baixos apenas em durações de exposição mais longas, a fonte de luz com TCC de 6500K exigiu níveis de fonte luminosa de aproximadamente 71 à 85 lux para uma exposição de 1 h e 36 à 49 lux para uma exposição de 3 h para atingir o critério de limiar.

Em outro estudo, Rea, Nagare e Figueiro (2020) fizeram previsões sobre a iluminância necessária para suprimir a melatonina durante a noite. Para fazer as avaliações, foi necessário utilizar o parâmetro para CS, com base em outros estudos, sendo definidos limites para a exposição à luz branca noturna em 30 lux nos olhos por 30 min. Conclui-se que estes estudos apresentam uma suposição sobre o limiar da supressão da melatonina noturna induzida pela luz (=10%) baseado em observações de residências europeias e norte-americanas, alguns outros estudos são apresentados na Figura 9.

Figura 9 - Supressão da melatonina durante a noite



Fonte: Rea, Nagare e Figueiro (2020)

A Figura 9 mostra os limiares de iluminação artificial para suprimir a melatonina no período da noite, considerando tanto a iluminação artificial de ambientes internos, referentes aos três primeiros gráficos de barras, quanto a exposição a luz de aparelhos eletrônicos (Ipad, Iphone e leitores eletrônicos), referentes aos últimos quatro gráficos de barras. As medições foram realizadas a partir de Estímulo Circadiano (CS) considerando que para cada 0,1 CS, ocorre a supressão de 10% de melatonina a partir de 1h. A Figura 9 nos mostra como a luz artificial utilizada durante a noite em residências norte-americanas impacta o sistema não visual suprimindo a melatonina em até 10%, no entanto, ao comparar com os aparelhos eletrônicos, que são conhecidos por emitir espectro de luz azul, o valor a que se chegou foi de até 0,3 CS, correspondendo a 30% de supressão de melatonina.

Outro estudo idealizado por Higuchi *et al.* (2021), realizado em alunos do Japão e China, propôs determinar se o uso de lâmpadas fluorescentes com luz de alta temperatura de cor correlata (TCC) mais comumente utilizados em países como Japão e China, em casa à noite, está associado ao atraso do tempo de sono em estudantes universitários em dois Países distintos. O estudo chegou à conclusão de que a luz branca (luz de TCC alta) à noite está associada ao atraso do tempo de sono em estudantes universitários japoneses, mas não em estudantes universitários chineses, isso se deve a hábitos de estilo de vida de cada país que devem ser

investigados. Embora os efeitos da luz à noite no tempo de sono e no ritmo circadiano possam ser complicados por outros fatores de estilo de vida, o uso de luz TCC baixa em casa à noite é recomendado para evitar o atraso do tempo de sono e do ritmo circadiano.

A partir da dissertação da autora Chaves (2020), foram extraídos dados de iluminância mínimas e horários de permanência em ambientes internos. A autora faz um paralelo entre sua revisão bibliográfica e dados retirados da certificação WELL para compilar esses valores, desta forma, ela elege valores mínimos de iluminância de 300 lux a partir da iluminação natural em um ambiente, por pelo menos 50% do período de ocupação (8h às 18h), em mais de 50% do total da área do piso do ambiente. A autora, ainda elenca valores iluminância vertical que são capazes de suprimir a melatonina (136 lux), indicados para os primeiros horários da manhã (8h as 13h).

De modo geral, recomenda-se que os valores mínimos de EML (lux melanópico equivalente) sejam alcançados preferencialmente nos primeiros períodos da manhã até início da tarde, entre 8h e 13h, sendo reduzidos após as 20h. Além disso, é necessário manter os níveis mínimos de iluminância de acordo com a atividade desempenhada no ambiente, conforme os parâmetros definidos pelo *The Lighting Handbook – Reference and Application*, IESNA (Dilaura et al., 2011, apud Chaves, 2020).

Os estudos apresentados mostram como a luz se faz necessária para o funcionamento do corpo humano, influenciando diretamente o ritmo circadiano, a produção de hormônios como a melatonina e o cortisol, além de afetar o humor e o bem-estar geral dos indivíduos. Nesse contexto, aprender a trabalhar adequadamente com a iluminação torna-se imprescindível para a promoção da saúde e da qualidade de vida.

2.4 QUANTIFICAÇÃO DA ILUMINAÇÃO ADEQUADA AO HUMANO

2.4.1 As normas brasileiras e a iluminação de ambientes

As primeiras normas sobre iluminação foram disponibilizadas a partir da década de 90 no Brasil. No entanto, algumas normas brasileiras possuem maior relevância para este estudo por se tratarem de normas específicas para interiores,

tanto residências como de trabalho. As principais normas com relevância para este trabalho são as normas ABNT NBR 8995-1/2013 e NBR 15215/2024.

A Norma NBR 8995-1:2013 – Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior, será utilizada como referência técnica para estabelecer os parâmetros adequados de iluminância em ambientes escolares.

Desta forma, a Norma ABNT NBR 8995-1 oferece ao profissional um meio de analisar a iluminação a partir de métricas que vão além da iluminância, mas que são imprescindíveis para o reconhecimento dos objetos de forma exata e sem causar fadiga (ABNT, 2013). A Tabela 1 mostra as necessidades lumínicas básicas aos ambientes de trabalho apresentadas pela ABNT NBR 8995-1.

Tabela 1 - Planejamento dos ambientes (áreas), tarefas e atividades com a especificação da iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor.

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\bar{E}_m$ lux	UGR_L	R_a	Observações
28. Construções educacionais				
Brinquedoteca	300	19	80	
Berçário	300	19	80	
Sala dos profissionais do berçário	300	19	80	
Salas de aula, salas de aulas particulares	300	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500	19	80	

Fonte: ABNT (2013) modificado pela autora.

Nesse contexto, a utilização da Norma ABNT NBR 8995-1:2013 tem como objetivo servir de parâmetro para avaliar se a iluminação natural disponível durante o período diurno é suficiente para atender aos níveis de iluminância recomendados pela norma para salas de aula que (corresponde a 300 lux), sem a necessidade de complementação com sistemas de iluminação artificial.

A norma NBR 15215 da ABNT 2024 Iluminação Natural, dividida em 4 partes, tem como objetivo fornecer informações essenciais sobre iluminação natural e oferecer orientações técnicas aos profissionais da área. A norma foi revista, sendo sua parte 2 revisada em 2022, a parte 3 foi cancelada sendo lançada uma nova versão em 2024 e as partes 1 e 4 revisadas em 2024. Na Parte 1, intitulada

"Conceitos básicos e definições", são apresentadas as definições dos termos relacionados à iluminação natural, incluindo os componentes de iluminação natural, os elementos arquitetônicos de passagem de luz do dia e os elementos de controle da luz natural (ABNT, 2024a).

A ABNT NBR 15215/2022 Iluminação Natural Parte 2, trata dos procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural e para a distribuição espacial da luz natural. Essa parte da norma define as distribuições relativas de luminância baseadas em modelos de céu, onde suas luminâncias são dadas em função do zênite. Modelos de céus foram apresentados por vários autores, principalmente usados para cálculos de simulação computacional para cálculo de iluminação da luz do dia. Com isso essa parte da norma estabelece procedimentos de cálculo, baseados na disponibilidade da luz do dia em planos horizontais e verticais externos, para três condições de céu, que são caracterizados pela cobertura de nuvens estimada em percentual em uma escala de 0% a 100%, desta forma, o céu claro possui cobertura de nuvens entre 0% a 25%; céu parcialmente encoberto possui cobertura de nuvens maior que 25% e menor que 75%; céu encoberto menor igual a 75% a 100% de cobertura de nuvens (ABNT, 2022).

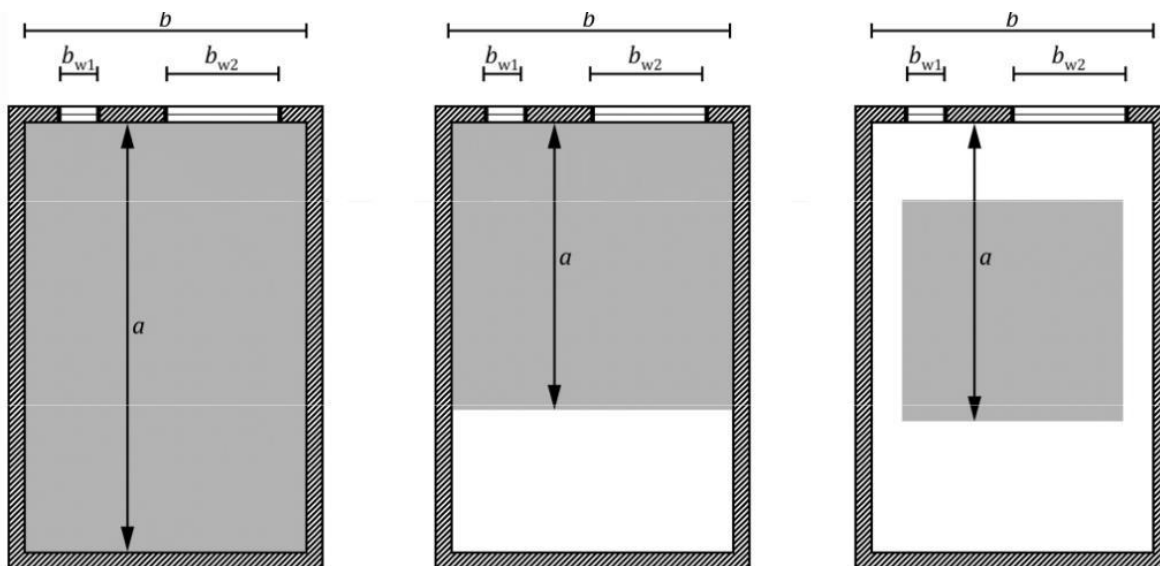
A ABNT NBR 15215/2024 Iluminação Natural Parte 3 aborda os procedimentos para avaliação da iluminação natural em ambientes internos. A norma estabelece o tempo mínimo recomendado de exposição ao sol em climas frios e orienta sobre o controle da exposição excessiva à luz solar nos interiores. Além disso, fornece recomendações sobre como aproveitar a luz do dia para iluminação natural em ambientes internos, avaliar a probabilidade de ofuscamento e a exposição a luz solar, essas avaliações são possíveis por meio da análise das condições de iluminação natural ao longo dos dias e do ano, essa parte da norma ainda apresenta métodos para a avaliação de estímulos não visuais que representam o potencial circadiano (ABNT, 2024b).

A parte três da Norma 15215-3 trata de avaliar a vista para o exterior, sendo está um conceito de extrema importância, pois ela traz informações sobre o local, como condições do tempo ao longo do dia e as condições climáticas. Essa conexão visual com o entorno é benéfica, pois alivia a fadiga associada a longos períodos dentro do ambiente. A vista a que se refere a norma é composta por três camadas da paisagem que são respectivamente; uma porção de céu, uma porção de

paisagem antrópica e/ou natural, uma porção de terreno externo. A partir disso, a norma apresenta, três níveis de recomendação de avaliação, com base nas camadas apresentadas, quanto mais camadas mais adequadas é o nível. O Nível I possui ao menos a camada da paisagem e oferece informações sobre as condições externas, como localização, hora do dia e clima (condição adequada); Nível II contém ao menos duas camadas (condição ótima); Nível III inclui todas as três camadas (condição excelente) (ABNT, 2024b).

Sendo assim, conforme ABNT (2024b), a norma fornece três indicações de como deveriam ser projetadas as aberturas para o exterior, para uma vista média a abertura (b_w) deve ter uma largura que corresponda a no mínimo metade da distância entre a fachada e o ponto de referência da área que está sendo utilizada no ambiente correspondente a (a). para o cumprimento do Nível I (a), deve ter no mínimo largura igual a desta área. Sendo que a largura total da abertura, para uma vista considerada média é igual ou maior a largura do ambiente, como mostra a Figura 10 abaixo.

Figura 10 - Aberturas conforme a ABNT NBR 15215 – 3 /2024.



Fonte: (ABNT, 2024b).

A insolação mínima apresentada pela norma ABNT (2024b) recomenda que pelo menos um ambiente interno da edificação receba luz solar e a altura do ponto de referência a ser medido é de no mínimo 1,2 m acima do piso ou 0,3 m acima do peitoril da abertura para luz do dia, se o peitoril estiver acima de 1,2 m do piso; essas informações são importantes para se fazer as medições no local correto. A

Tabela 2 mostra a quantidade de horas adequadas para uma exposição diária à insolação.

Tabela 2 - Recomendação para a exposição diária à insolação.

Nível de recomendação	Insolação mínima
Nível I	Atendimento ao critério mínimo de desempenho térmico da ABNT NBR 15575-1 ou ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5
Nível II	1,5 h
Nível III	3,0 h

Fonte: (ABNT, 2024b).

Ainda a norma faz recomendações com relação ao fornecimento da luz do dia em ambientes de permanência prolongada em edificações não residenciais. Na Tabela 3 é possível visualizar a iluminância alvo (E). Além do nível mínimo de iluminância.

Tabela 3 - Recomendações de distribuição de luz do dia para aberturas – edificações não residenciais.

Nível de recomendação	Iluminância-alvo E_A lx	Fração de espaço para nível-alvo $F_{plano, \%}$	Iluminância-alvo mínima $E_{A\ min}$ lx	Fração de espaço para nível-alvo mínimo $F_{plano, \%}$	Fração de horas de luz natural $F_{tempo, \%}$
Nível I	250	40 %	100	60 %	50 %
Nível II		55 %		75 %	
Nível III		70 %		90 %	

Fonte: ABNT (2024b).

Para avaliar a qualidade da vista externa, de acordo com os níveis preconizados pela norma NBR 15215 Iluminação Natural Parte 3, serão analisados o ângulo de visão no plano horizontal, da distância para a vista externa e o número de camadas (níveis), de acordo com a posição de referência que será determinada em projeto. É importante salientar que quanto maior o nível de visualização, maior é a capacidade de alcançar um número maior de usuários, independente de altura, idade e limitações de mobilidade (ABNT, 2024b).

Além das informações de níveis de avaliação da visão, a norma (ABNT, 2024b) apresenta algumas referências para auxiliar nas medições, com sistemas computacionais. Neste caso, as análises são realizadas utilizando como referência um plano localizado a 0,75m acima do piso da área a ser analisada (que corresponde a altura do plano de trabalho). No método computacional, as células de malhas deverão possuir a razão de comprimento para a largura entre 0,5 e 2,0m, devendo ainda, excluir uma faixa de 0,5m das paredes. Além disso, fatores de refletância para superfícies, quando não se possui essas informações, são sugeridas pela norma, sendo para o teto de 0,7 a 0,9; paredes interiores de 0,5 a 0,8; piso de 0,2 a 0,4; paredes exteriores de 0,2 a 0,4 e terreno exteriores de 0,2 (ABNT, 2024b).

A Norma NBR 15215 - Iluminação Natural Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - propõe técnicas e ferramentas quantitativas e qualitativas separados em estímulos visuais e não visuais com o intuito de avaliar os ambientes e projetos de iluminação natural para edifícios residenciais e não residenciais (ABNT, 2024c). Esta parte da norma apresenta uma metodologia de avaliação da iluminação nos ambientes por meio de etapas que são descritas na Tabela 4.

Tabela 4 - Descrição das etapas para verificação dos estímulos visuais e não visuais conforme Norma NBR 15215

Etapa	Item	Descrição
1	Estabelecimento do objetivo da verificação	Aspectos visuais Aspectos não visuais Comportamento e preferência dos usuários
2	Entendimento do contexto	Levantamento da configuração espacial da edificação Levantamento do sistema de iluminação (aberturas, sistema de proteção solar, sistemas de controle etc.) Levantamento do clima luminoso Levantamento da disponibilidade para a realização de levantamentos <i>in loco</i>
3	Determinação de ambientes e tempo disponíveis	Determinação dos espaços a serem monitorados (por exemplo, por análise SWOT)
4	Determinação do tipo de medição	Medições contínuas ou ponto no tempo Medições em campo, medições em câmaras climáticas, medições em maquete, sob céu real ou artificial, simulações
5	Instrumentação	Seleção de equipamentos e ferramentas de monitoramento necessários
6	Determinação do escopo de monitoramento	Prioridade de alocação de recursos humanos e financeiros para o monitoramento
7	Monitoramento	Condução do monitoramento em si
Etapa	Item	Descrição
8	Tratamento de dados	Checagem da qualidade dos dados Organização dos dados Tratamento dos dados Comparações
9	Implementação de melhorias no processo	Verificação da necessidade de correção de procedimentos de medição e levantamentos para atingir os objetivos Verificação da necessidade de complementação de procedimentos ou introdução de novos procedimentos de verificação (questionários, novos levantamentos)

Fonte: ABNT (2024c).

O escopo do monitoramento possui relevância, porque é a partir dele que se prioriza o foco e o nível desejado para cada aspecto que vai de básico a abrangente, incluindo o tempo para o monitoramento. As etapas de 1 a 3 da Tabela 4 determinam as ferramentas mais indicadas para o monitoramento. Na etapa 4 é escolhida a metodologia para executar as medições que podem ser: (longitudinal *in loco*; pontual; células de ensaio; laboratório vivo; computacionais). Ainda é possível misturar mais de um tipo de metodologia, dependendo da necessidade de projeto (ABNT, 2024c).

Na etapa 5 é realizada a escolha dos equipamentos para medição e são abordadas recomendações tanto para atestar a qualidade dos instrumentos utilizados, quanto para a boa utilização desses equipamentos (ABNT, 2024c).

As etapas 6 e 7 indicam como realizar desde as etapas iniciais como o pré monitoramento por meio de um *check list* a ser verificado, quanto da determinação, quantificação e definição da malha de pontos a ser medida. São definidos também os modelos a serem estudados, reais ou modelos físicos em escala reduzida. Nestas etapas ainda são definidas as condições de céu reais ou artificial e indicadores para medir a luminância (ABNT, 2024c).

A etapa 8 apresenta os procedimentos para leitura e consequente análise dos dados gerados no monitoramento, verificando, para isso, qualidade, organização, análise, normalização e representação gráfica dos resultados (ABNT, 2024c).

A etapa 9, denominada de retroalimentação do processo, sugere que o monitoramento seja avaliado pela equipe com o intuito de identificar pontos fortes e fracos do monitoramento, para possíveis ajustes posteriores.

A norma ABNT (2024c) considera a iluminação diurna suficiente quando possui entre 100 lux e 300 lux, com ou sem energia elétrica, sendo que valores entre 300 e 3000 lux são considerados desejáveis em pelo menos 50% do tempo de ocupação do ambiente.

A norma recomenda a verificação das condições dos tipos de céu, devendo ser escolhido aquele que melhor represente o local, com as análises sendo realizadas em períodos específicos, como o solstício de verão 22 de dezembro e o solstício de inverno 22 de junho (ABNT, 2024c).

Além de formular uma metodologia de análise das condições de iluminação natural nos ambientes para o sistema visual, a NBR 15215-4 Iluminação Natural, abrange como fazer a verificação da iluminação para o sistema não visual.

Para quantificar os estímulos não visuais, a norma ABNT (2024c) apresenta dois métodos. O primeiro corresponde à resposta espectral dos fotopigmentos nos cones, bastonetes e ipRGC, neste caso são utilizadas duas métricas, o lux melanópico equivalente (EML) e a iluminância da luz do dia melanópica equivalente (M-EDI). O segundo método corresponde à avaliação da supressão noturna do hormônio melatonina, no qual a ferramenta utilizada para sua quantificação é o estímulo circadiano (circadian stimulus -CS).

Segundo a norma, o EML é a métrica mais difundida, para aplicação em medições de iluminação para sistema não visual, por ser utilizada voluntariamente pela certificação WELL. O *International WELL Building Institute* (IWBI) é uma instituição que criou um roteiro para certificar espaços garantindo que os mesmos promovam saúde e bem estar aos usuários (WELL,2025).

As ferramentas utilizadas para quantificar esses dados são feitas por planilhas em Excel que geram os resultados.

Para determinar o EML, emprega-se a planilha de Lucas, denominada MS Excel “*Irradiance Toolbox*”. Essa ferramenta disponibiliza tanto a iluminação fotópica quanto a cianópica, clorópica, eritrópica, melanópica e rodópica. As três primeiras correspondem às classes de cones existentes na retina humana, a quarta está associada aos iPRGCs e a última aos bastonetes (ABNT, 2024c).

Para realizar a análise, é necessário medir a irradiação ou a iluminação e conhecer a distribuição espectral da fonte luminosa. Na planilha de Lucas, a irradiação medida com um espectrômetro é a entrada, enquanto as iluminâncias são calculadas. Com um luxímetro, o usuário insere a iluminação fotópica medida e seleciona a Distribuição Espectral de Potência (SPD) de uma lista de fontes de luz, como incandescente, luz natural ou LED branco (ABNT, 2024c).

As etapas descritas na ABNT (2024c), são de extrema importância para ser realizado um monitoramento confiável com resultados satisfatórios.

2.4.2 Planilha de Lucas

Pesquisas conduzidas, pelo professor da divisão de Neurociência e Psicologia Experimental da Universidade de Manchester, Robert Lucas resultaram no desenvolvimento de um método para quantificar a intensidade efetiva da luz percebida pela melanopsina e por outros fotorreceptores não visuais (Manchester University, 2024). Essa metodologia está sendo aplicada globalmente para descrever e regular ambientes de iluminação, utilizando uma métrica compatível com o Sistema Internacional de Unidades (SI) da Comissão Internacional de Iluminação (CIE).

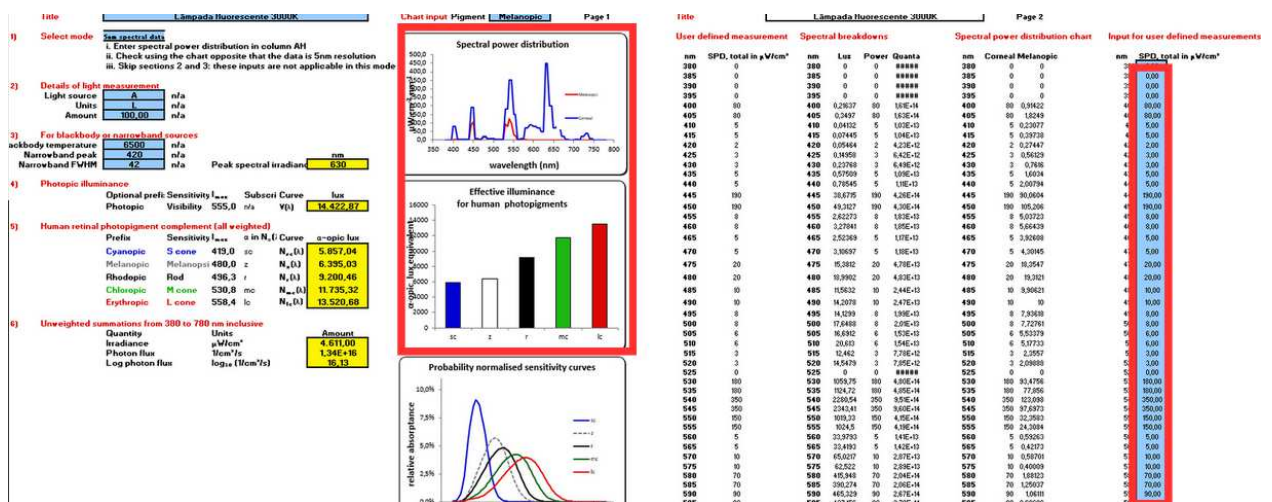
A ferramenta desenvolvida por Lucas, conhecida como “*Irradiance Toolbox*”, tem como principal objetivo calcular a iluminância efetiva para cada um dos cinco

fotopigmentos presentes no olho humano, utilizando como base a distribuição de potência espectral (Lucas, 2013).

Essa planilha pode ser utilizada de duas maneiras. A primeira é para testes hipotéticos, método selecionado para esta pesquisa, utilizando uma das sete fontes de luz disponibilizadas no item 2 da ferramenta, cujas temperaturas de cor já estão pré-determinadas. É possível selecionar a iluminância emitida no ambiente e o parâmetro a ser avaliado, ou irradiância. Para esse tipo de uso, é necessário configurar o item 1 da planilha no “modo aproximado”. Dessa forma, o que será analisado é se a iluminância no ambiente promove maior ou menor estímulo às células fotorreceptoras (Lucas, 2013).

Para aplicar o segundo método é necessário obter a distribuição espectral de potência (SPD) de cada lâmpada a ser analisada, com medições a cada 5 nm (item 1 da Planilha de Lucas). Esse processo permite avaliar o impacto da intensidade luminosa de cada lâmpada sobre as células fotorreceptoras visuais e não visuais do olho humano, como pode ser observado em destaque nos quadros em vermelho na Figura 11.

Figura 11 - Planilha de Lucas



Fonte: Lucas (2013) alterado pela autora.

Nos testes realizados com a Planilha de Lucas, foram utilizadas lâmpadas de dois tipos, com temperaturas de cor distintas: LEDs 3000 K e 6500 K e fluorescentes 3000 K e 6500 K, (Neves; Guimarães; Moreira; Casagrande, 2024). Estes testes serão utilizados nesta pesquisa como parâmetro de comparação para a análise dos

gráficos de iluminação circadiana gerados a partir da incidência de luz natural nas salas de aula do Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído – PROAC.

2.4.3 Utilização da planilha de Lucas

Os testes na Planilha de Lucas foram realizados pelos autores Neves *et al.* (2024), utilizando dois tipos de lâmpadas com temperaturas de cor diferentes, foram elas: LED 3000 K e 6500 K, fluorescente 3000 K e 6500 K. Estas informações estão mostradas na Figura 12.

Figura 12 - Planilha de Lucas: Dados de entrada

Irradiance Toolbox

Title

1) **Select mode**

i. Select illuminant details below
 ii. Example spectra A, D, F and L are not necessarily representative
 iii. Consider entering 1nm or 5nm spectral data for more accurate results

2) **Details of light measurement**

Light source	L	white LED
Units	L	illuminance
Amount	200,00	lux

3) **For blackbody or narrowband sources**

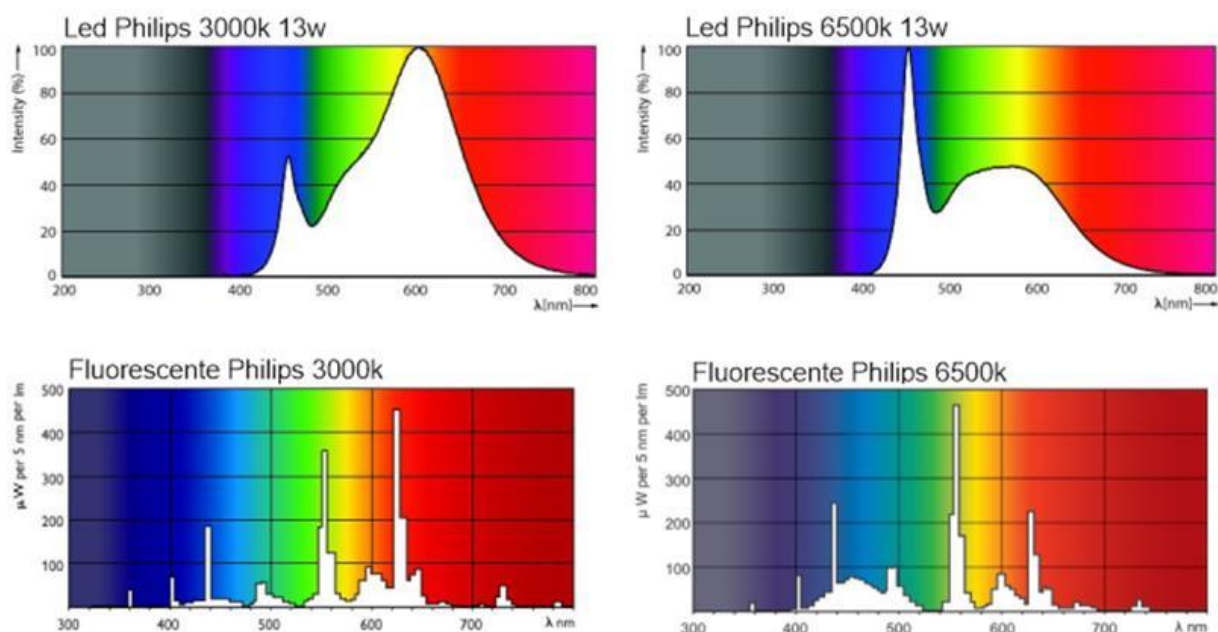
Blackbody temperature	6500	n/a
Narrowband peak	608	n/a
Narrowband FWHM	30	n/a

Peak spectral irradiance nm

Fonte: Neves *et al.* (2024)

Para a aplicação, foram retirados do site de um fabricante, os gráficos de distribuição espectral de potência (SPD) de cada lâmpada escolhida. A partir disso, foram retiradas as informações da energia de cada faixa emitida pela fonte luminosa em um comprimento de onda equivalente a 5 nm. Essas informações são colocadas na coluna AH da planilha de Lucas e distribuídas ao longo do espectro de luz de cada lâmpada. O Gráfico 1 mostram as curvas de distribuição espectral que são visíveis ao olho humano.

Gráfico 1 - Distribuição espectral de lâmpadas de Led de 13W e 3000 e 6500K respectivamente.



Fonte: (Philips, 2024)

Nota-se que o fluxo luminoso gerado pelas lâmpadas é o mesmo independente da temperatura de cor utilizada (ambas são lâmpadas de LED de mesma potência), ou seja, lâmpadas de 3000K e 6500K conseguem iluminar um ambiente da mesma forma. O que se diferencia nos gráficos é o espectro emitido por cada lâmpada. Por exemplo, as lâmpadas de LED de 3000K emitem sua luz predominantemente no espectro de luz de cores mais quentes, entre 550 e 650nm, e as lâmpadas de 6500K emitem sua luz em maior quantidade no espectro de cor mais fria, entre 400 e 500nm. Por sua vez, na análise dos gráficos nota-se que as lâmpadas fluorescentes, tanto as de 3000K quanto as de 6500K, possuem seu espectro de luz sendo emitidos, em faixas mais reduzidas do espectro, em comprimentos de ondas entre 550 a 650nm e não abrangendo uma larga faixa do espectro como os LEDs Neves *et al.* (2024).

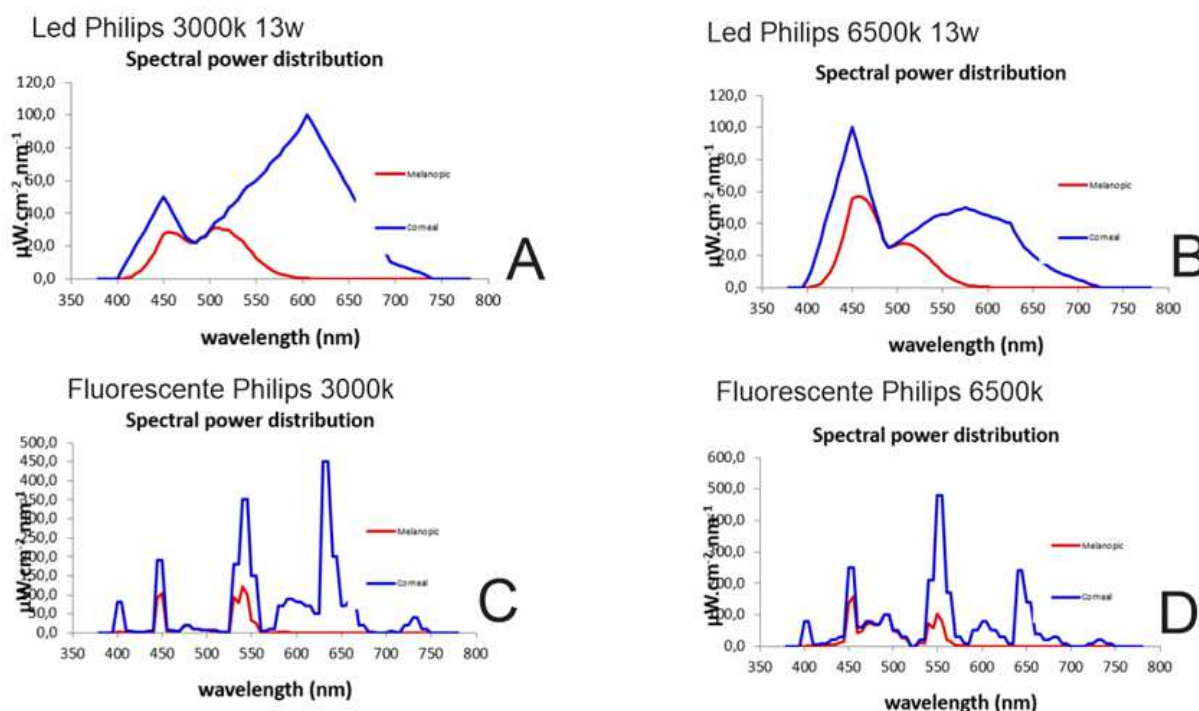
Após inserir os dados na planilha de Lucas, são gerados dois gráficos distintos, mas complementares. O primeiro gráfico representa a estimulação das células fotorreceptoras visuais, indicada pela linha azul, e a estimulação das células fotorreceptoras intrinsecamente fotossensíveis, ou seja, células não visuais, representada pela linha vermelha.

Os gráficos A e B, mostrados no Gráfico 2, correspondem aos estímulos gerados por uma fonte de luz de lâmpada LED de 3000K e 6500K, respectivamente. Ambos os gráficos demonstram que as respostas visuais (linha azul) são estimuladas no mesmo pico, a $100 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$, apesar das diferentes distribuições espectrais. Além disso, no gráfico A, referente a lâmpada de 3000K, nota-se que a estimulação das células visuais ocorre entre 600 e 650 nm, que corresponde ao espectro de cor laranja. No gráfico B, referente a lâmpada de 6000K, a estimulação visual ocorre no ponto 450nm, correspondente ao espectro de cores mais frias Neves *et al.* (2024).

Nos gráficos A e B, também é analisada a estimulação da melanopsina (linha em vermelho) captada pelo estímulo não visual. Nota-se que a estimulação é máxima na mesma faixa do espectro (luz azul) entre 450 e 500nm. No gráfico A, essa estimulação é bem menor, alcançando um máximo de $20 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$, enquanto no gráfico B, ela é significativamente maior, ultrapassando $55 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$ Neves *et al.* (2024).

Ainda no Gráfico 2, são apresentados os gráficos C e D, que correspondem à emissão de luz de uma lâmpada fluorescente de 3000K e 6500K, respectivamente. As células não visuais são intensamente estimuladas, atingindo picos de $100 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$ no primeiro gráfico e $150 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$ no segundo Neves *et al.* (2024).

Gráfico 2 - Distribuição espectral de lâmpadas de Led de 13W e 3000 e 6500K respectivamente.



Fonte: Neves *et al.* (2024).

Com isso, pode-se concluir que nem sempre a iluminação artificial é eficiente para o sistema circadiano humano, mesmo que a iluminância preconizada pela Norma ABNT NBR 8995-1:2013 seja atendida, o excesso de estimulação da melanopsina captada pelo estímulo não visual durante várias horas do dia e principalmente à noite, pode inibir a produção do hormônio melatonina, causando fadiga e vários outros transtornos comentados na seção “2.3 – Iluminação e saúde: Como a iluminação afeta a saúde humana”, deste estudo. Assim, lâmpadas que emitem fluxo luminoso nos comprimentos de onda predominantemente na região do azul, hiper estimulam as células não visuais mais que lâmpadas que emitem fluxo luminoso na região do amarelo.

2.4.4 Estudo da Carta Solar

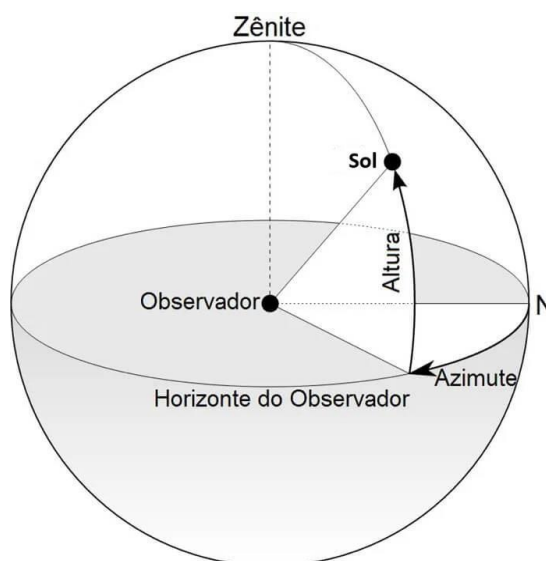
A carta solar representa os trajetos do sol na abóboda celeste ao longo do dia em diferentes épocas do ano. Ela é usada para avaliar a penetração solar e as sombras projetadas, ajudando a definir a melhor orientação da edificação e as

proteções solares ideais para otimizar a iluminação e o conforto térmico (MMA, 2024).

Algumas definições são importantes para o estudo da carta solar, também chamada de diagrama solar. A posição do sol em relação ao seu plano do horizonte pode ser descoberta a partir de dois ângulos, a altura e o azimuth. Desta forma, a altura do sol é medida a partir do plano horizontal do observador até onde o corpo celeste é visível, essa medida é dada em ângulo e é a posição do sol quem determina as horas do dia, sendo assim, a altura igual a 0 corresponde ao nascer do sol e a altura máxima é atingida ao 12h (Frota, Schiffer, 2001). Na Figura 13 pode ser observado o comportamento dos ângulos formados pelo sol e o observador.

O azimuth, Figura 13, é medido no plano do horizonte, a partir da direção norte, ele indica a quantos graus, à direita do Norte do observador, passa o plano perpendicular ao do horizonte que contém a posição entre o observador e o sol (Frota, Schiffer, 2001).

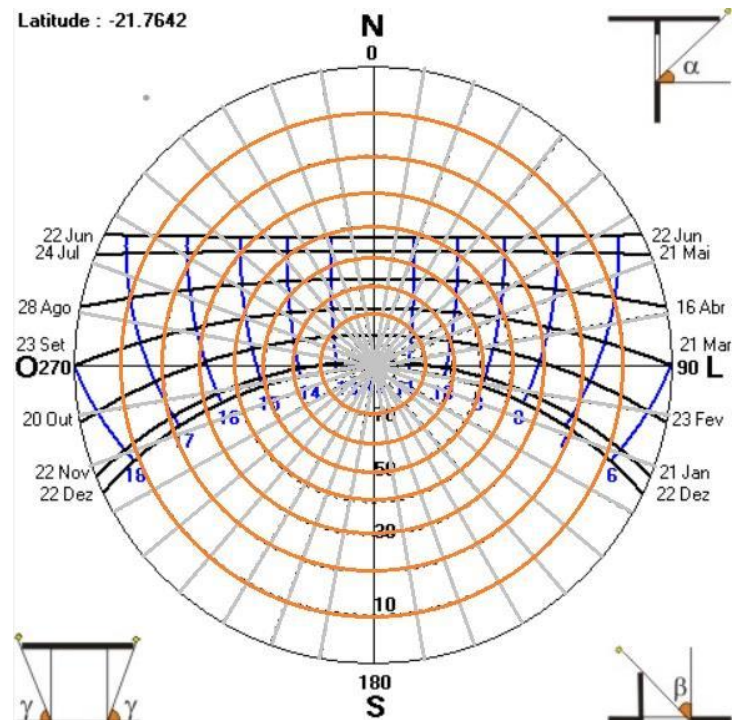
Figura 13 - Altura solar e Azimute.



Fonte: (Zenite.nu, 2024).

Ao analisar a carta solar Figura 14, tem se que as linhas horizontais de Leste para Oeste correspondem ao movimento do sol ao longo de cada mês, as linhas azuis correspondem às horas, do nascer ao pôr do sol, o azimuth corresponde às linhas cinzas que se iniciam do Norte até completar 360°, e as linhas laranjadas correspondem à altura solar (Brown, Dekay, 2007).

Figura 14 - Carta Solar.

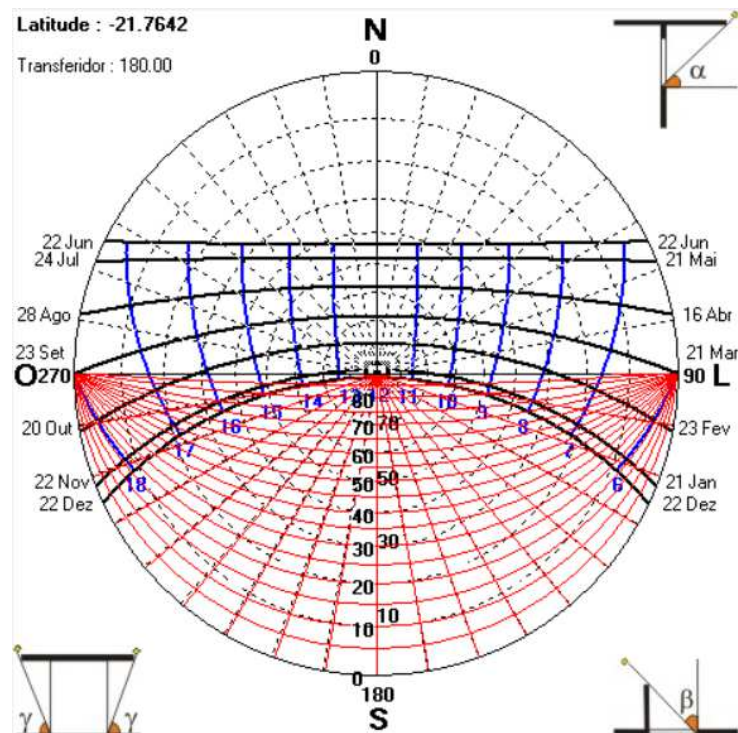


Fonte: Software Sol-Ar, (2025).

O diagrama de alturas e azimutes pode ser útil para descrever a posição e tamanhos dos objetos, a partir de um ponto de observação em um dado local; edificações, árvores e montanhas podem ser descritas. Sendo assim, traçando a projeção do percurso aparente do sol, pode se determinar como os objetos irão sombrear o ponto de referência no local (Brown, Dekay, 2007). Ou seja, a carta solar fornece o horário de insolação sobre as superfícies verticais e horizontais, segundo uma determinada orientação (Frota, Schiffer, 2001).

Como exemplo, na Figura 15, tem-se uma superfície orientada a partir do chamado transferidor solar, linhas vermelhas da figura.

Figura 15 - Transferidor solar.



Fonte: Software Sol-Ar, (2025).

A base do transferidor solar mostra a incidência de luz na fachada, as linhas vermelhas representam a projeção da região da abóbada celeste que se situa atrás da superfície Leste Oeste em questão. Isso significa que o sol não atingirá esta superfície, quando a fachada estiver nessa posição.

2.4.5 Caracterização da UFJF e sua relação com a iluminação

A Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) possui relevante valor histórico, cultural e intelectual para a cidade, sendo um dos principais marcos de sua paisagem urbana. Suas edificações foram concebidas sob forte influência do movimento modernista, que valoriza a integração entre os espaços internos e externos, evidenciada pelo uso de janelas em fita ao longo das fachadas. Essa abordagem projetual, voltada à funcionalidade e ao conforto ambiental, foi determinante para a escolha da instituição como objeto de estudo desta pesquisa.

Dentre os edifícios que compõem o campus da UFJF, foi selecionado um dos blocos da Faculdade de Engenharia para a realização do estudo de caso, onde se localiza o Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído (PROAC). Será

avaliada especificamente a última sala do referido bloco. A escolha se justifica por múltiplos fatores: sua função educacional, na qual a qualidade da iluminação natural influencia diretamente o conforto visual, o desempenho acadêmico e o bem-estar dos usuários; sua acessibilidade para a realização de medições técnicas; e sua representatividade em relação aos princípios construtivos adotados no conjunto arquitetônico da universidade.

Em meados da década de 1960, com a federalização de algumas faculdades que estavam espalhadas pela cidade, a Prefeitura Municipal de Juiz de Fora cedeu um terreno no bairro de São Pedro para a construção da Cidade Universitária (UFJF, 2020).

Inaugurado em 1969, o campus-sede da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) foi desenvolvido pelo engenheiro Arthur Arcuri. A Cidade Universitária tornou-se um espaço não apenas para a prática de ensino, pesquisa e extensão, mas também um importante cenário cultural, além de ponto de encontro e lazer para moradores da cidade e região (UFJF, 2020).

O projeto teve como base os princípios da arquitetura e do urbanismo promovidos pelos Congressos Internacionais de Arquitetura Moderna (CIAMs) e incorporou três dos quatro princípios fundamentais da função do espaço: trabalhar, circular e recrear, indo além das funções estritamente educacionais (Rezende; Rezende, 2016).

A influência dos paradigmas modernos fica evidente na padronização funcional dos blocos edificados, na relação equilibrada entre áreas livres e edificadas, na valorização da insolação, da ventilação natural e da presença da vegetação, além das características específicas das construções (Rezende; Rezende, 2016).

O plano-piloto da UFJF é composto por oito plataformas em diferentes cotas do terreno, formadas por corte e aterro, o que gerou diversos taludes. As unidades-padrão foram organizadas lado a lado em uma estrutura em ziguezague, permitindo a alternância dos prédios e a criação de áreas ajardinadas laterais e frontais. Esse arranjo favoreceu a insolação e ventilação dos blocos, que seguem um modelo retangular de dois pavimentos repetidos linearmente pelo campus (Souza, 2013). Essas características podem ser visualizadas na Figura 16.

Figura 16 - Unidade padrão priorizando insolação



Fonte: UFJF (2020).

A Escola de Engenharia foi implantada próxima aos Institutos de Ciências Humanas e Letras (ICHL) devido à disponibilidade de uma área maior e à conjuntura da época, em que o Brasil passava por um processo de desenvolvimento, tornando a engenharia uma das profissões mais demandadas no país (UFJF, 2020).

O partido arquitetônico adotado nas fases subsequentes do projeto resultou de uma série de estudos que consideravam os fluxos específicos de uso, as utilidades e instalações especiais necessárias. Além disso, aspectos como as características do mobiliário e questões relacionadas ao conforto térmico também foram contemplados na planilha de planejamento (Souza, 2013).

A importância da iluminação natural é um dos elementos centrais no partido arquitetônico dos blocos projetados pelo engenheiro Arthur Arcuri para a UFJF. A disposição das edificações em ziguezague, aliada à alternância dos prédios e à inclusão de áreas ajardinadas, foi estrategicamente planejada para maximizar a entrada de luz natural, garantindo ambientes mais confortáveis e energeticamente eficientes.

Por se tratar de uma edificação historicamente concebida com os melhores princípios arquitetônicos da época, projetada para maximizar a iluminação natural e artificial em seus ambientes devido à sua função educacional, e por ser um espaço público acessível para levantamento arquitetônico, uma das salas de aula do PROAC foi escolhida para a avaliação lumínica deste estudo. Essa escolha se justifica pela importância de avaliar a qualidade da iluminação natural em um

ambiente de aprendizado, onde o conforto visual impacta diretamente no desempenho e bem-estar dos usuários.

3 METODOLOGIA

O trabalho foi dividido em duas partes. A primeira, já mostrada no capítulo 2, contemplou, a partir dos conceitos de Gil (2022), uma pesquisa Bibliográfica/Documental, que contou com a seleção de dados, por meio de artigos científicos, buscados nas bases de dados Google Scholar e Scopus, além de livros e normas, com o intuito de entender o que é iluminação circadiana, como ela influencia o corpo humano, quais são suas grandezas métricas, e como quantificá-la. A segunda parte desta pesquisa, que será abordada nos capítulos seguintes, foi classificada como exploratória (Gil, 2022) e o método empregado foi o estudo de caso, com a simulação computacional como procedimento. A partir da revisão bibliográfica foram definidos os parâmetros que seriam analisados por meio dos softwares escolhidos na fase exploratória dessa pesquisa.

O estudo de caso investiga a relação entre arquitetura e desempenho da luz natural no ambiente, com base na norma NBR 15215 e no referencial bibliográfico estudado, que definiram as necessidades lumínicas visuais e não visuais para o ser humano. As análises foram realizadas nas instalações do Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído (PROAC), localizado no prédio da Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF.

Na primeira parte da análise, é especificado o local a ser modelado pelo software sketchup. Na segunda parte, utilizando a carta solar da cidade de Juiz de Fora, encontrou-se o azimute e altura solar, para datas do ano pré-determinadas e horários estabelecidos, com o intuito de avaliar a incidência solar no espaço físico de estudo. Na terceira parte analisou-se a partir do software Dialux, o comportamento da luz natural que adentra pelas aberturas da sala de aula de estudo. O software gera dados de iluminância em toda a porção interna da sala analisada, mostrando seus pontos de maior e menor iluminância. Na quarta parte, analisou-se a iluminação natural da sala com base na utilização da Planilha de Lucas *Irradiance Toolbox*, que mostra como o sistema não visual reage à iluminância que adentra no ambiente de estudo, ou seja, verificando sua adequação às exigências circadianas. Por fim, realizou-se uma análise descritiva dos resultados, destacando os impactos dessas novas metodologias no desenvolvimento do projeto luminotécnico.

Com o intuito de sistematizar o processo de verificação dos estímulos visuais e não visuais no ambiente construído foi adaptada a Tabela 5, retirada da NBR

15215 Iluminação Natural Parte 4, capítulo 5 – Etapa para verificação de estímulos visuais, que propõe etapas que descrevem como serão realizados o levantamento in loco, que para este trabalho foi desenvolvido por meio de simulação computacional. O intuito foi de otimizar, organizar e formalizar o processo de análise dos testes realizados por este trabalho, para reproduzi-los em análises de edificações futuras de acordo com a especificidade de cada uma.

Essa tabela organiza as etapas metodológicas adotadas ao longo do estudo, distribuídas em quatro colunas. A primeira coluna apresenta a numeração sequencial das etapas, evidenciando a ordem lógica do procedimento. A segunda coluna nomeia cada item correspondente a essas etapas, delimitando os componentes principais do processo. A terceira coluna descreve as ações realizadas em cada item, incluindo os métodos, ferramentas e critérios adotados. Por fim, a quarta coluna identifica os capítulos deste trabalho nos quais cada etapa foi desenvolvida, favorecendo a rastreabilidade e a integração das informações ao longo do documento.

Tabela 5 - Etapas para verificação dos estímulos visuais e não visuais.

Etapa	Item	Descrição	Capítulos e seções e subtítulos deste trabalho
1	Objetivo de verificação	Aspectos visuais e não visuais	1.1 OBJETIVOS
2	Entendimento do contexto	Levantamento da configuração espacial da edificação Levantamento do sistema de iluminação natural (aberturas).	4 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO. 4.1 Programa de pós graduação em ambiente construído - PROAC.
3	Determinação de ambiente e tempo disponível	Análise qualitativa do ambiente.	3 METODOLOGIA e; 3 Avaliação da iluminação em um ambiente escolar - PROAC.
4	Determinação do tipo de medição	Simulação computacional = SOLar (carta solar), Sketchup e Dialux, <i>Irradiance Toolbox</i> .	4.2 Avaliação das aberturas da sala de aula de estudo; 4.3 Estudo de insolação; 4.4 Teste de insolação DIALux; 4.4 Irradiance Toolboox (Planilha de Lucas).
5	Instrumentação	Não necessário.	-
6	Determinação do escopo de monitoramento	Não necessário.	-
7	Monitoramento	Datas: solstício de verão 22 de dezembro e o solstício de inverno 22 de junho (ABNT, 2024a). Malha de pontos: a cada 50cm, afastamento 50cm da parede (ABNT, 2024a). Modelo: software, céu artificial	4.4 Teste de insolação DIALux.

(Continua)

8	Tratamento de dados	Resultados apresentados em ao final da análise.	5 Discussão de resultados.
9	Implementação de melhorias no processo	Apresentação de propostas para trabalhos futuros	6 Conclusão.

(Conclusão)

Fonte: Autora 2025.

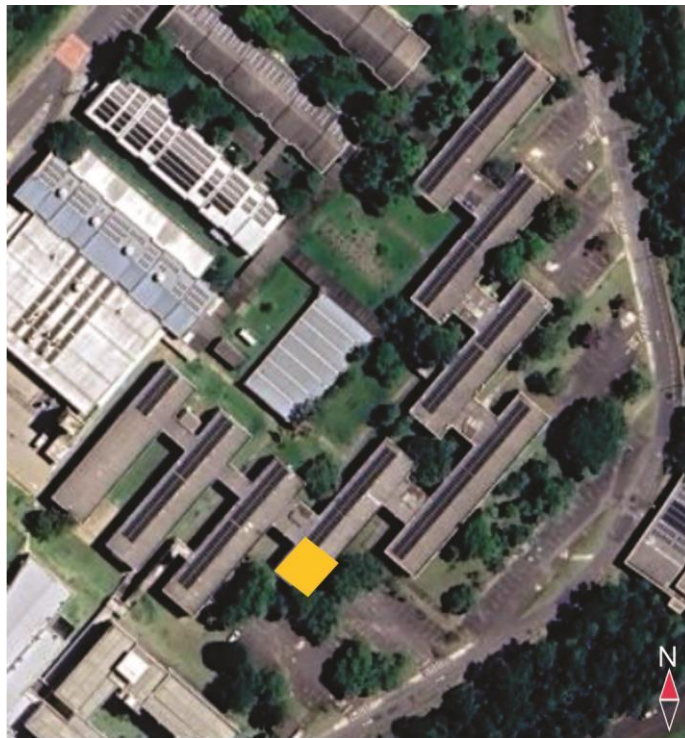
Essa estrutura visa garantir clareza, coerência e organização à metodologia, permitindo uma leitura mais objetiva e fundamentada das ações empreendidas.

4 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

4.1 PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO - PROAC

A Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF possui 8 blocos que constituem seu prédio principal, a localização do Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído (PROAC) pode ser observada na Figura 17, por meio de um retângulo na cor amarela.

Figura 17 - Localização do PROAC



Fonte: Google (2025). Alterado pela autora.

Na Figura 18 apresentam-se as imagens das fachadas onde se localizam as dependências do PROAC. Na fachada um, na parte inferior, localiza-se uma sala de aula que também é o laboratório, e na fachada dois, na parte inferior referente as cinco primeiras aberturas de janela, localizam-se os outros ambientes.

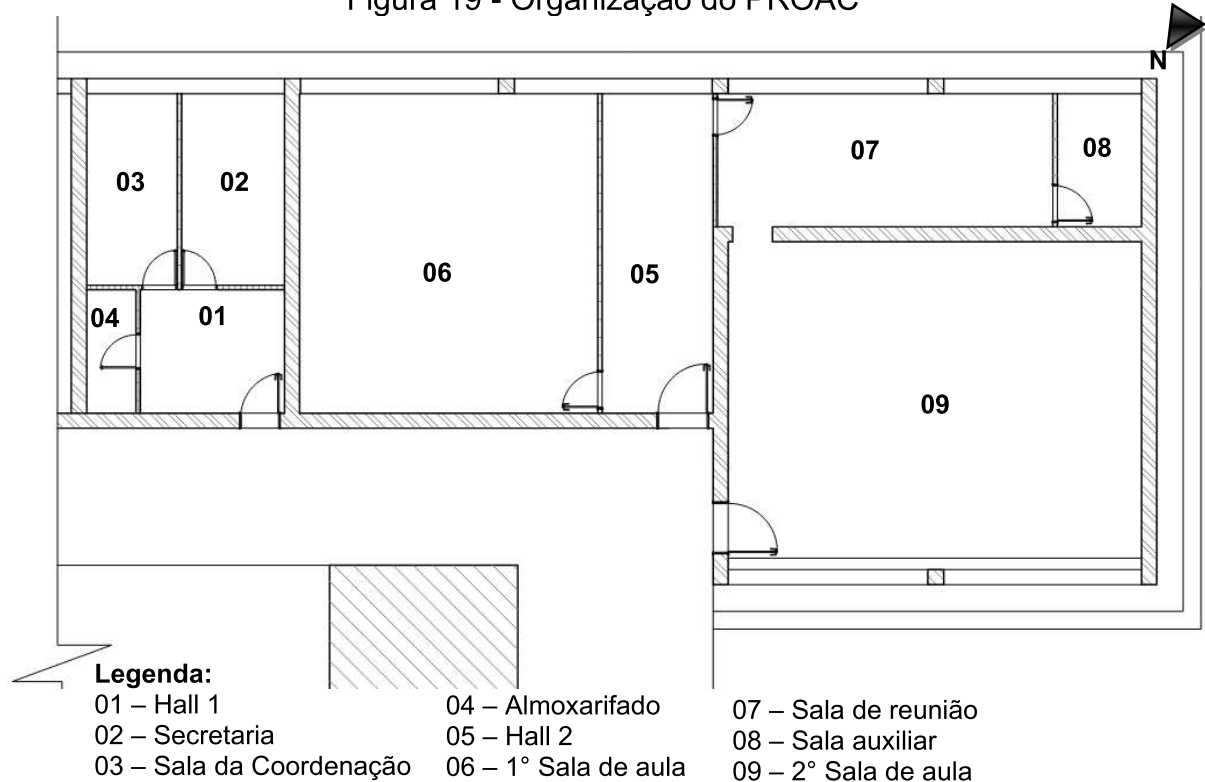
Figura 18 - Fachadas das salas do PROAC



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2025.

O PROAC é constituído de 9 salas, dentre elas um espaço com acesso independente para o corredor onde estão localizados: Hall, secretaria, sala da coordenação e almoxarifado. O outro espaço, também com entrada independente pelo corredor, é constituído de hall 2, 1° sala de aula, sala de reunião e sala auxiliar. A sala de reunião possui acesso com a 2° sala de aula, que possui também uma entrada pelo corredor. A organização dos espaços do PROAC pode ser observada na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** A 2° sala de aula será o objeto de análise desta pesquisa.

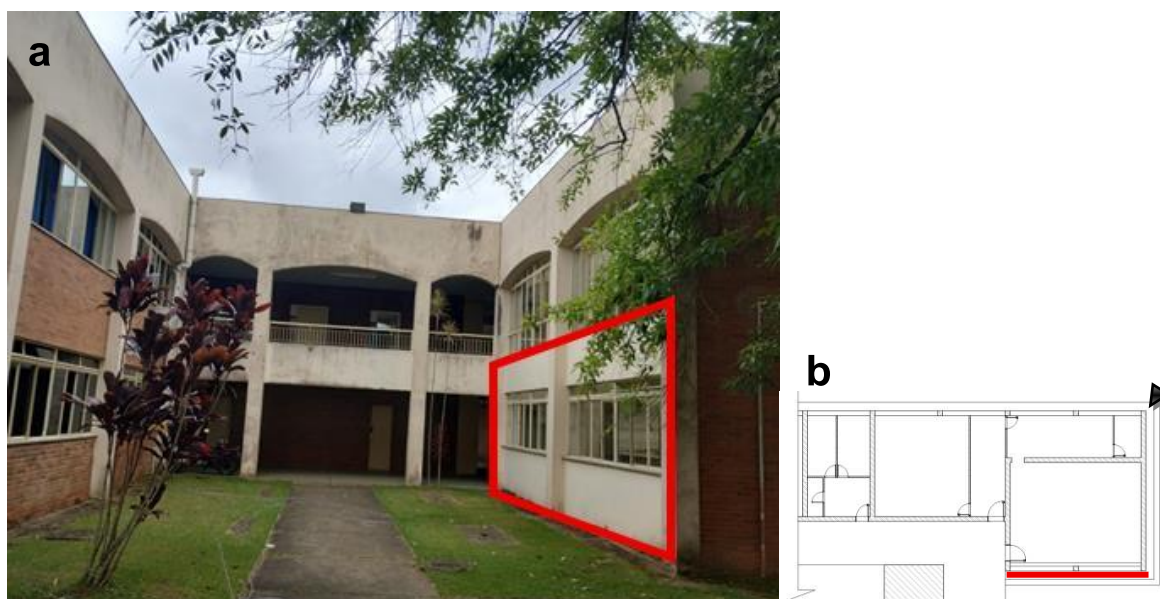
Figura 19 - Organização do PROAC



Fonte: Autora, 2025.

Na Figura 20a é possível observar que a sala escolhida para a análise da insolação, marcada com um quadro em vermelho, é constituída por duas aberturas de janela e dá frente para outra parte do prédio da engenharia. Na Figura 20b é indicada a posição da fachada da sala de aula de estudo com relação ao norte.

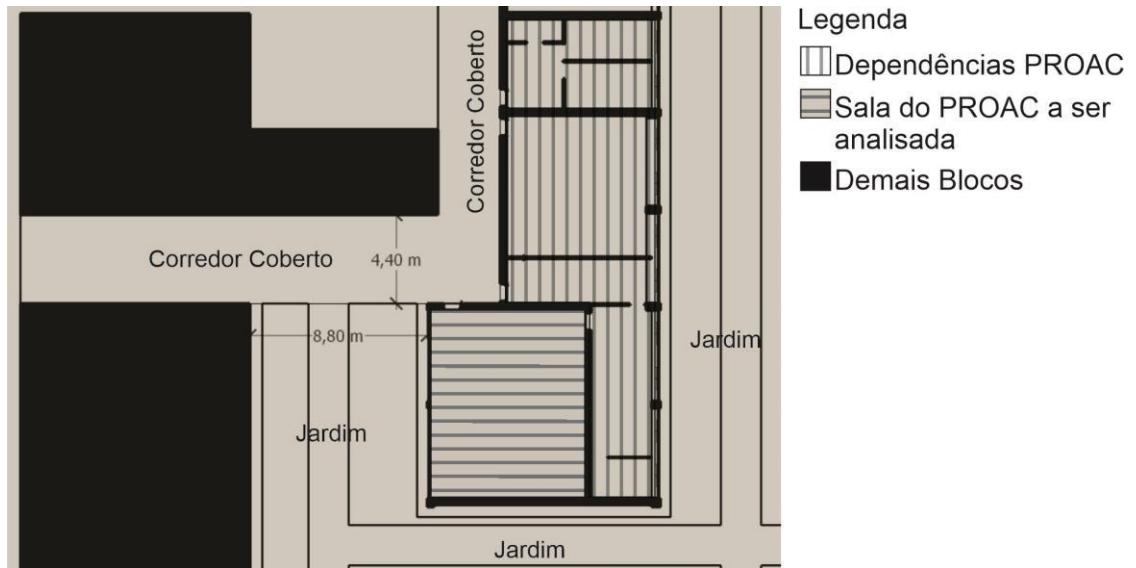
Figura 20 - Fachada da sala de aula de estudo



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2025.

A distância da sala de aula de estudo para o outro bloco da engenharia que fica localizado à sua frente é de 8,80m. Esta fachada possui as principais aberturas de insolação, além disso, a sala de análise fica face ao corredor que, embora seja aberto para o jardim, possui salas nos fundos, como pode ser observado na Figura 21, onde as linhas verticais representam as dependências do PROAC, as horizontais a sala de aula que será analisada e os retângulos em cor preta representam os demais blocos da engenharia.

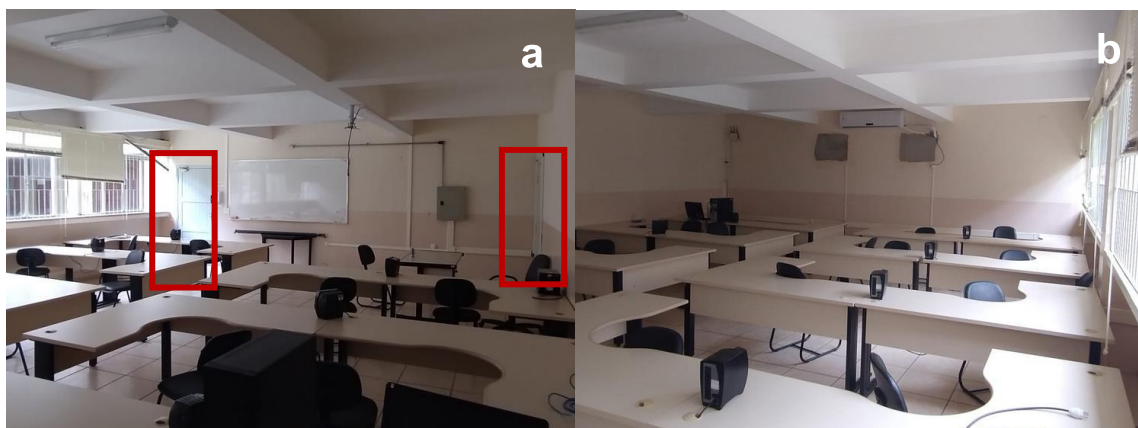
Figura 21 - Planta baixa de identificação da sala de análise



Fonte: Autora, 2025.

O espaço de análise selecionado para este estudo foi a Segunda Sala de Aula, que ao longo do texto será chamada de “sala de aula de estudo”, escolhida devido à sua versatilidade, uma vez que funciona tanto como ambiente de ensino quanto como laboratório de informática Figura 22. A sala é equipada com duas portas que permanecem fechadas na maior parte do tempo, sendo que uma delas possui um sistema de fechadura eletrônica. A primeira porta proporciona acesso direto à sala de reuniões, enquanto a segunda se abre para o corredor do prédio, como pode ser observado na Figura 22a. Na Figura 22b é observado como a iluminação natural incide no interior da sala de aula.

Figura 22 - Interior da sala de aula de estudo

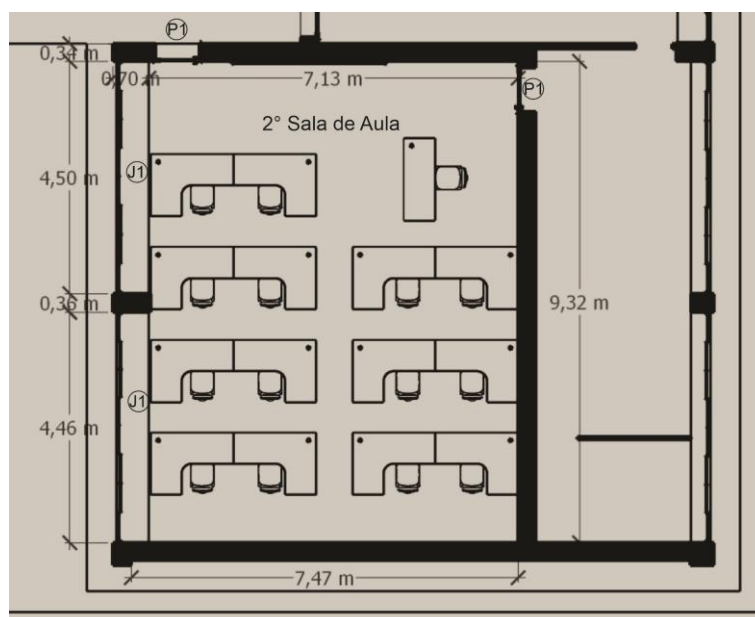


Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2025.

As aberturas das janelas estão voltadas para o exterior com vista para o pátio e para outro bloco do prédio da engenharia. Em relação às suas dimensões internas, a sala possui uma largura de 7,47 metros e um comprimento de 9,32 metros, proporcionando um espaço amplo e funcional como pode ser observado na Figura 23. O ambiente conta com duas janelas, cujas larguras variam entre 4,46 metros e 4,50 metros, com altura de 1,39 metros.

Dessa forma, a configuração estrutural da sala de aula de estudo favorece seu uso multifuncional, garantindo condições adequadas tanto para a realização de atividades pedagógicas quanto para o funcionamento dos equipamentos de informática, contribuindo para um ambiente de aprendizado dinâmico e adaptável às necessidades dos usuários.

Figura 23 - Sala de Aula de estudo e ambiente de análise



Fonte: Autora, 2025.

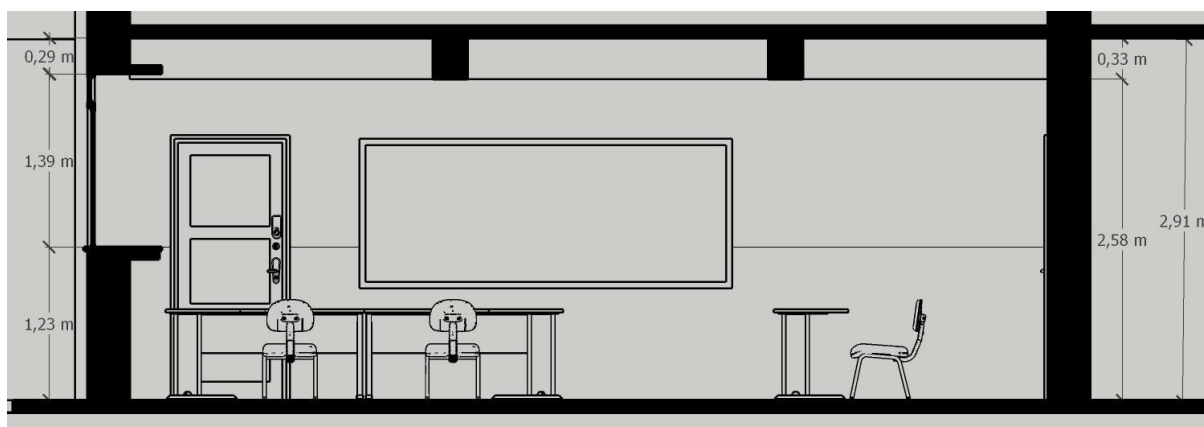
No sentido do comprimento, há três vigas posicionadas paralelamente, com um espaçamento uniforme de 2,12 metros entre elas. Já no sentido da largura, a estrutura conta com duas vigas, também dispostas paralelamente, com uma distância de 2,42 metros entre si e em relação às paredes laterais.

O pé-direito da sala de aula de estudo apresenta uma altura total de 2,91 metros, proporcionando um espaço interno confortável e adequado para a ventilação e a distribuição da iluminação. A distância entre o piso e a base das vigas é de 2,58

metros. O peitoril das janelas encontra-se a 1,23 metros do piso, características que podem ser melhor observadas na Figura 24.

Dessa forma, a sala se torna um espaço funcional, versátil e adequado para atender às diversas atividades realizadas no local. Essas informações podem ser conferidas conforme Figura 24.

Figura 24 - Corte Longitudinal da sala de aula de estudo



Fonte: Autora, 2025.

As paredes da sala de aula de estudo são pintadas com tinta em um tom semelhante à cor areia, proporcionando um ambiente neutro. O piso conta com revestimento cerâmico de cor clara, com dimensões de 40x40 cm. Tanto o teto quanto as vigas são pintados na cor branca, garantindo maior reflexão da luz e uma estética uniforme. As portas, por sua vez, apresentam acabamento na cor cinza claro.

A sala de aula de estudo também possui cortinas, utilizadas principalmente para controlar a luminosidade durante projeções de apresentações e vídeos. No entanto, para a análise de insolação, essas cortinas serão desconsideradas, pois o objetivo é avaliar se as aberturas da sala oferecem iluminação natural suficiente para atender às necessidades lumínicas do ambiente, considerando tanto os aspectos visuais quanto não visuais do ser humano.

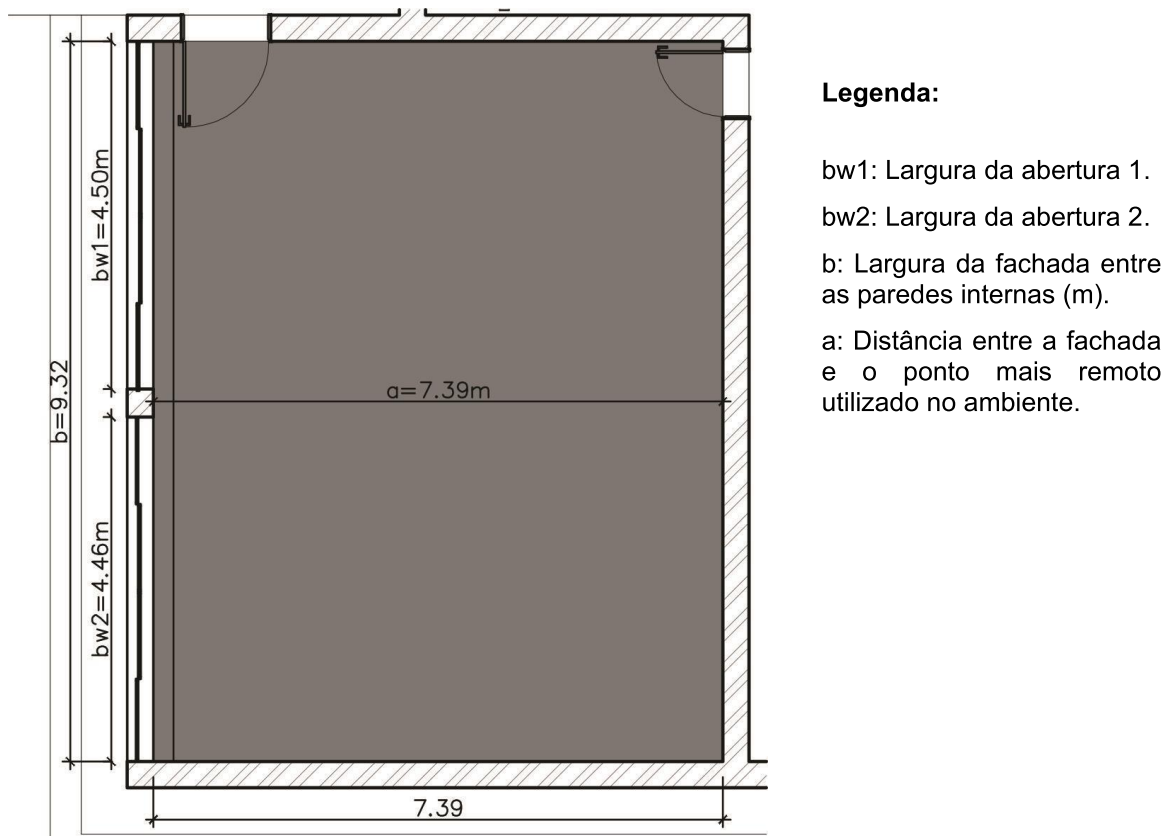
Além disso, a sala de aula de estudo está equipada com mobiliário adequado às suas funções. O espaço conta com 15 mesas, uma avulsa à frente da sala e as outras formando duplas. Elas possuem formato de "L" com tampos na cor branca e cadeiras avulsas feitas de material sintético na cor preta, proporcionando conforto e funcionalidade aos usuários. Complementando a estrutura, há também um quadro

branco fixado em uma das paredes, essencial para as atividades didáticas e apresentações.

4.2 AVALIAÇÃO DAS ABERTURAS DA SALA DE AULA DE ESTUDO

Conforme abordado no subtítulo “2.4.1 – As normas brasileiras e a iluminação de ambientes” deste trabalho, a partir da ABNT, norma 15215-3, são apresentados três níveis de recomendação de avaliação da vista para o exterior. Nesta etapa da dissertação será apresentada a avaliação da sala de aula de estudo, identificando em qual nível ela se encontra (I, II ou III).

Figura 25 - Avaliação do nível de vista da sala de aula de estudo



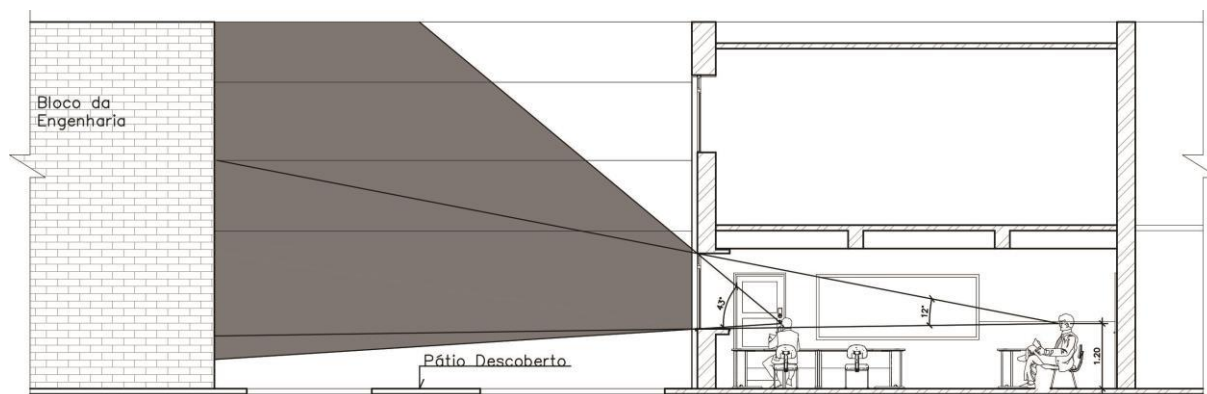
Fonte: Autora, 2025.

Com base na Figura 25, é possível analisar que as duas aberturas de janela bw1 e bw2 somadas ($b=9,32\text{m}$) possuem valor maior que a medida da fachada até a parte mais remota da sala de aula de estudo ($a=7,39\text{m}$). O espaço físico

apresentado pela sala de aula de estudo atende a dimensão de abertura recomendada pela norma.

Na Figura 26, considerando dois pontos de referência, que correspondem ao 1º ponto de visão de um usuário que se encontra mais próximo da abertura da janela e outro 2º usuário mais afastado, verificando a vista para o exterior com base em seu campo de visão a 1,20m do piso, tem-se que o 1º usuário possui ângulo de visão exterior em 45°, conseguindo atingir uma porção de céu, uma porção de paisagem antrópica e/ou natural, mas não uma porção de terreno externo. O usuário 2º, mais ao fundo da sala possui angulação de 12° e consegue atingir uma vista com uma porção de paisagem antrópica, somente.

Figura 26 - Corte esquemático mostrando os ângulos visuais



Fonte: Autora, 2025.

Com base na análise da Figura 26, é possível concluir que o usuário 1º possui nível II e o usuário 2º possui nível I de recomendação de avaliação da vista para o exterior.

A avaliação do espaço por meio de níveis de adequação de suas vistas levando em consideração a posição do usuário no ambiente é importante para recomendar a exposição de luz natural diária e a iluminância diária. Com base na Norma 15215-3, e levando em consideração que a análise foi realizada em um mesmo ambiente, será elegido o Nível II. Como pode ser observado na Tabela 6, para o Nível elegido a recomendação de exposição diária à insolação é de no mínimo uma hora e meia por dia.

Tabela 6 - Recomendação de exposição solar diária

Nível de recomendação	Insolação mínima
Nível I	Atendimento ao critério mínimo de desempenho térmico da ABNT NBR 15575-1 ou ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5
Nível II	1,5 h
Nível III	3,0 h

Fonte: ABNT (2024b), modificado pela autora.

Outro fator que deve ser atendido é a incidência solar mínima no ambiente de estudo, a partir do Nível em que este está inserido Tabela 7. A Iluminância-Alvo (EA) é definida a partir da média ponderada das áreas analisadas na edificação. Os níveis recomendados de iluminância são definidos pela fração específica ($F_{\text{plano},\%}$) do plano de referência em um ambiente interno, ou seja, a fração do espaço em que a Iluminância-Alvo (EA) é incidida. São estabelecidas a Iluminância-Alvo mínima ($E_{A \text{ min}}$) e a fração do plano de referência, $F_{\text{plano},\%}$ mínimo. É dado a fração de horas de luz natural ($F_{\text{tempo},\%}$) que deve ser calculada em um intervalo de 10 h.

Tabela 7 - Recomendações de distribuição de luz do dia para aberturas

Nível de recomendação	Iluminância-alvo E_A lx	Fração de espaço para nível-alvo $F_{\text{plano},\%}$	Iluminância-alvo mínima $E_{A \text{ min}}$ lx	Fração de espaço para nível-alvo mínimo $F_{\text{plano},\%}$	Fração de horas de luz natural $F_{\text{tempo},\%}$
Nível I		40 %		60 %	
Nível II	250	55 %	100	75 %	50 %
Nível III		70 %		90 %	

Fonte: (ABNT, 2024b), modificado pela autora.

Pela Tabela 7, com base no Nível II, que foi estabelecido por este estudo, pode-se empreender que, a Iluminância-Alvo (EA) média deve incidir em 55% da fração do espaço, ou seja, a incidência média deve incidir em 55% da sala de aula de estudo. E quando da incidência mínima de luz, em 75% do espaço analisado. Tanto a incidência de iluminância média quanto a mínima, devem incidir por 50% do tempo de uso do ambiente estudado.

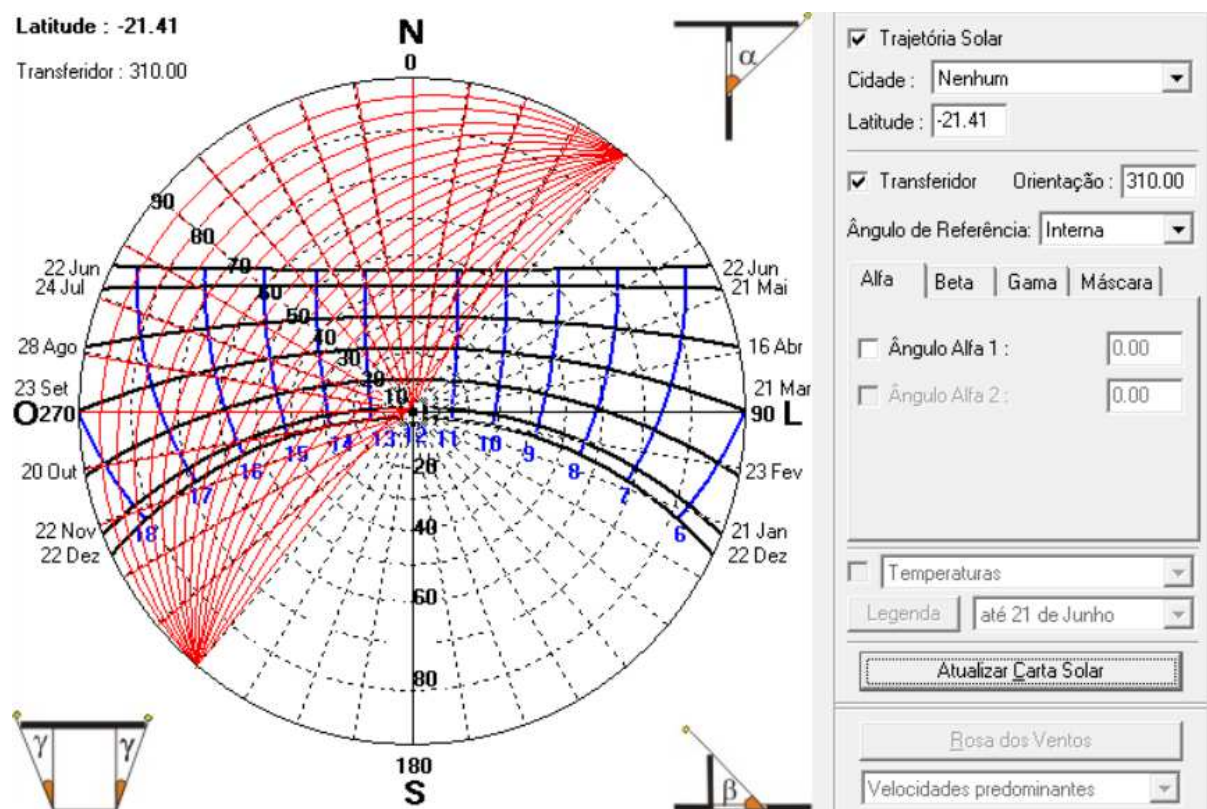
As análises de iluminância da sala de aula de estudo serão dadas na seção “4.4 – Teste de insolação DIALux”, por meio da utilização do *software DIALux*.

4.3 ESTUDO DE INSOLAÇÃO

O primeiro fator de estudo será realizar a análise dos ângulos de insolação das aberturas da sala de aula selecionada para este estudo, com o intuito de analisar a incidência de luz natural no ambiente. Como método, foi utilizada a carta solar da cidade de Juiz de Fora (Latitude $21^{\circ}41'20''\text{S}$ e Longitude $43^{\circ}20'40''\text{O}$), obtida por meio do software *Analisis SolAr* que fornece a posição em relação a incidência solar que a fachada se encontra.

A partir da análise do software identificou-se que a fachada a ser estudada está a noroeste, como pode ser observado na Figura 27.

Figura 27 - Carta solar para a cidade de Juiz de Fora



Fonte: (Sol-Ar, 2025).

As análises foram realizadas nos períodos que compreendem os solstícios de inverno, que ocorre em 22 de junho, e de verão, que acontece em 22 de dezembro.

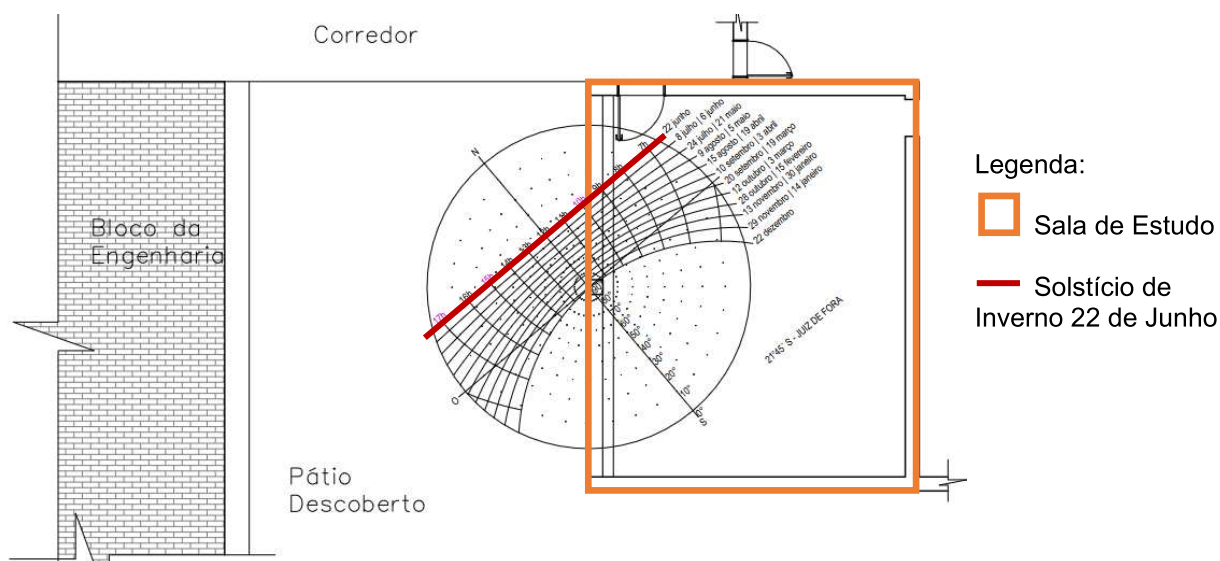
Os horários entre 9h da manhã e 17h foram escolhidos porque compreendem o turno de funcionamento do PROAC.

- Solstícios de inverno 22 de junho

A carta solar foi colocada sobre a fachada de estudo conforme a Figura 28. Foram identificados os ângulos de insolação (Altura solar e Azimute - Az), no período de solstício de inverno, nos horários próximos às 10h AM, às 15h PM e às 17h PM.

Verificou-se que a radiação solar direta incide na fachada analisada somente a partir das 10h da manhã, justificando a escolha desse horário para o início dos estudos. Com base nas simulações realizadas, inclusive por meio do software SketchUp, observou-se que o pico de incidência solar nas aberturas ocorre por volta das 15h. Após às 17h, horário em que se encerram as atividades do PROAC, a fachada não apresenta mais exposição significativa à radiação solar Figura 28.

Figura 28 - Carta solar aplicada a fachada de estudo Sala PROAC

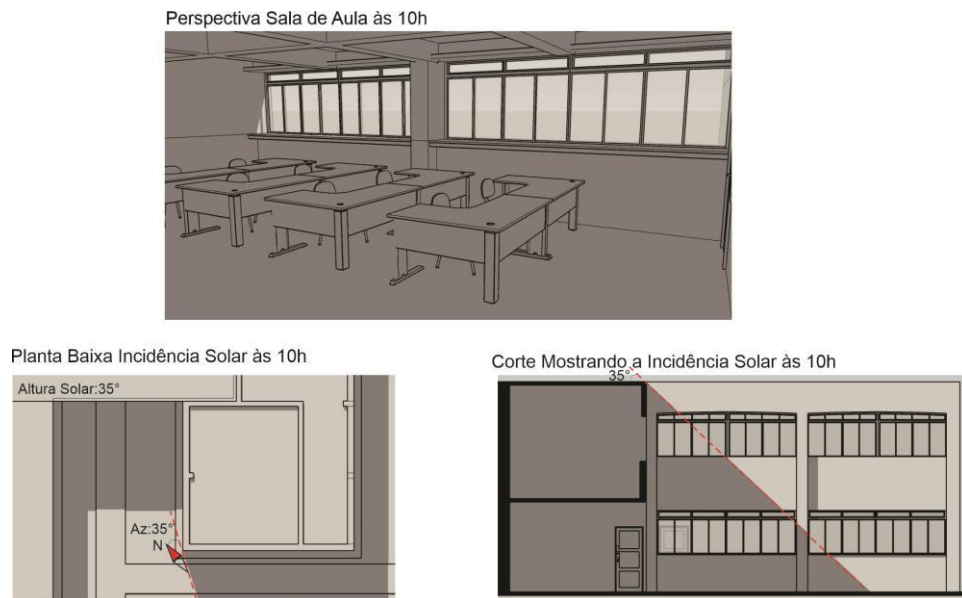


Fonte: Autora, (2025).

A primeira análise ocorre por volta das 10h, quando o sol começa a incidir na fachada de estudo. A Figura 29 mostra que, nesse horário, a incidência solar está a 35° de azimute norte e a altura solar também é de 35°. Nessa condição, a fachada analisada ainda recebe sombra significativa do prédio da Engenharia, permitindo

que apenas a primeira abertura da janela da sala de aula comece a receber luz solar direta.

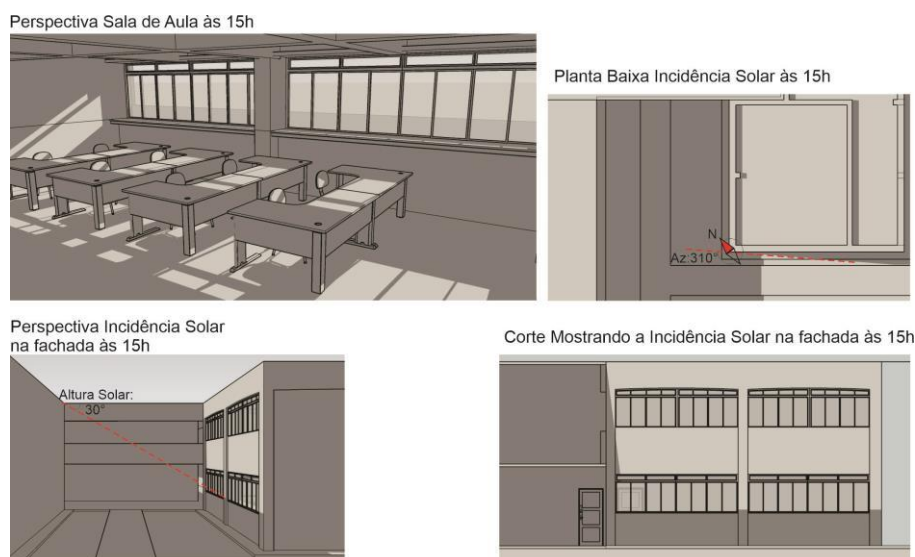
Figura 29 - Incidência de luz natural às 10h AM



Fonte: Autora, (2025).

Analizando a trajetória solar ao longo do dia, a partir do software Sketchup e com o auxílio do estudo da carta solar, observou-se que por volta das 15h, a angulação solar neste horário, 310° de Az, faz com que a insolação incida nos dois vãos de janela, já a altura solar de 30°, faz com que o sol preencha todo o vão na altura de seu comprimento, iniciando-se no peitoril. Neste momento não há a interferência de sombreamento por parte dos blocos da engenharia, como pode ser observado na Figura 30.

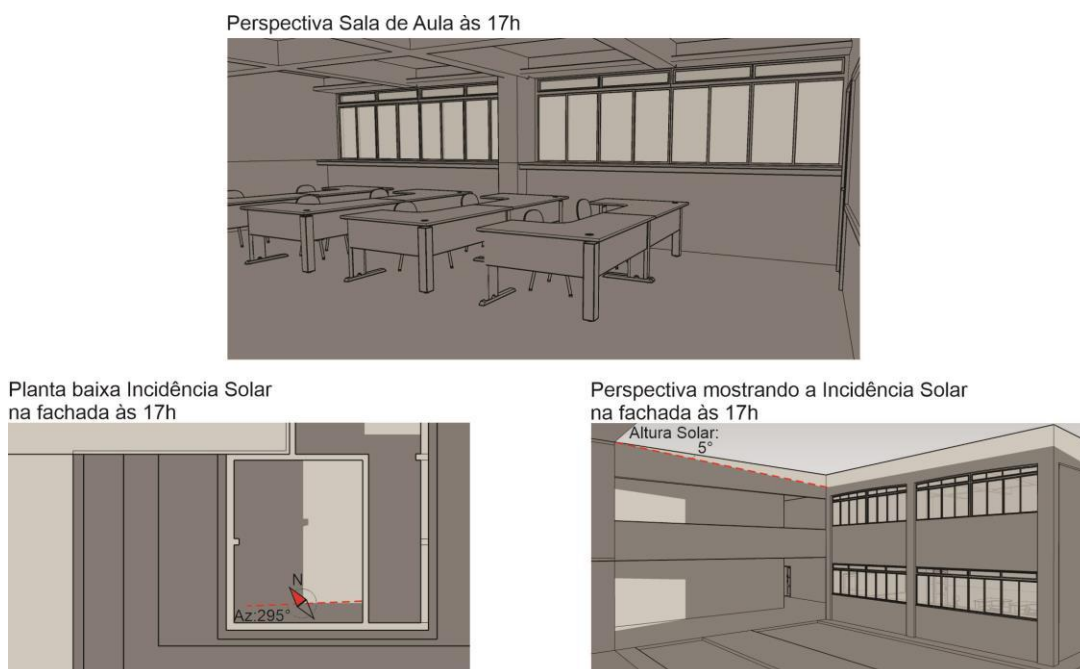
Figura 30 - Incidência de luz natural às 15h PM



Fonte: Autora, (2025).

Às 17h a posição da incidência solar possui o azimuth em 295° e Altura solar em 5° , ou seja, o sol está se pondo no horizonte, fazendo com que o bloco de edifício da engenharia sombreie a sala de estudos conforme mostra a Figura 31.

Figura 31 - Incidência de luz natural às 17h PM



Fonte: Autora, (2025).

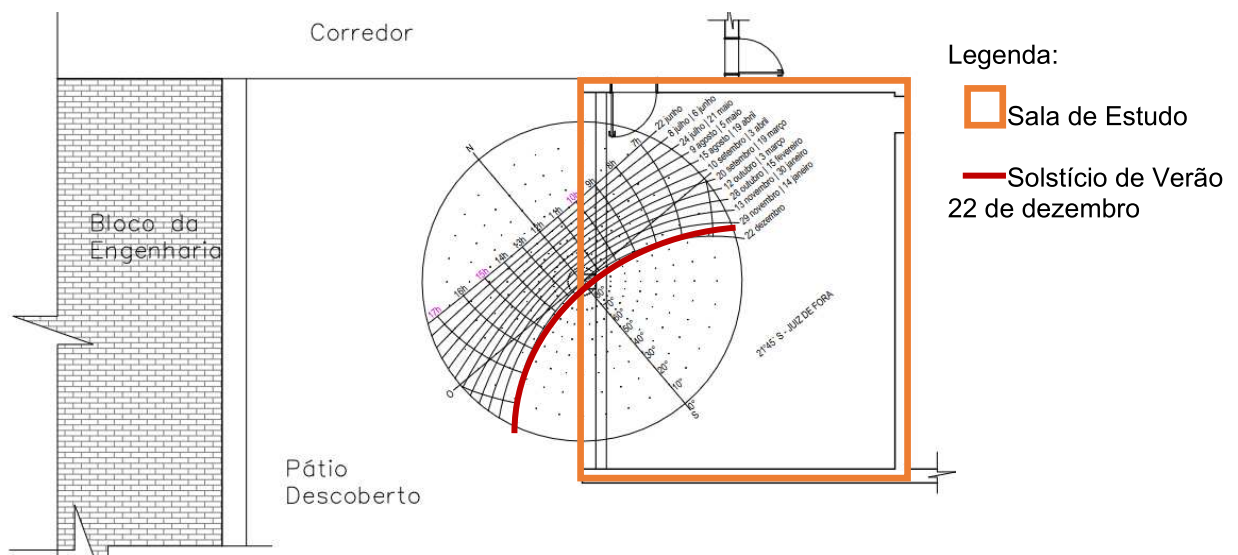
É possível concluir que no solstício de inverno de 22 de junho a incidência solar atinge o interior da sala de aula de estudo com maior intensidade no período

de 15h. A partir das 17h a radiação ainda atinge a fachada, mas não mais no interior da sala de aula.

- Solstício de verão 22 de dezembro.

Quando se trata do solstício de verão, é possível observar, a partir da Figura 32, que os horários de incidência solares são diferentes se comparados ao solstício de inverno. No caso desta data, a incidência solar na fachada de estudo se inicia por volta das 13 horas, Figura 32.

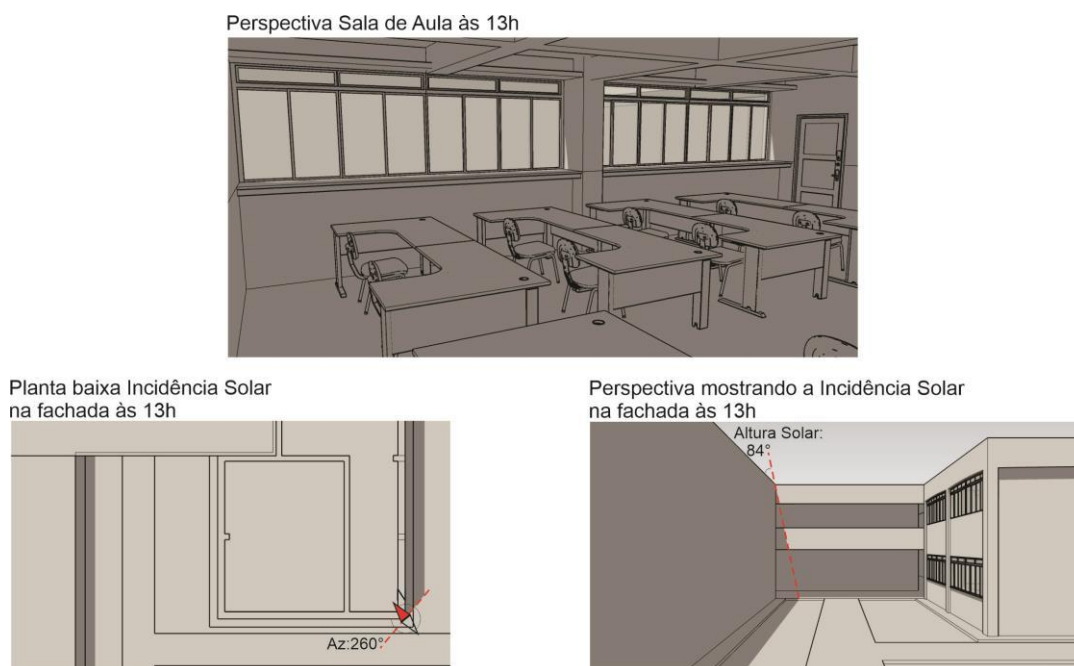
Figura 32 - Carta solar aplicada a fachada de estudo Sala PROAC Solstício Verão



Fonte: Autora, (2025).

A incidência solar na fachada no solstício de verão se inicia a partir das 13h PM, quando a altura solar faz um ângulo de 84° com o vão da abertura de janela da fachada de estudo, o azimuth possui ângulo de 260° . Os ângulos de incidência solares e a visualização da insolação na fachada de estudo podem ser vistas na Figura 33.

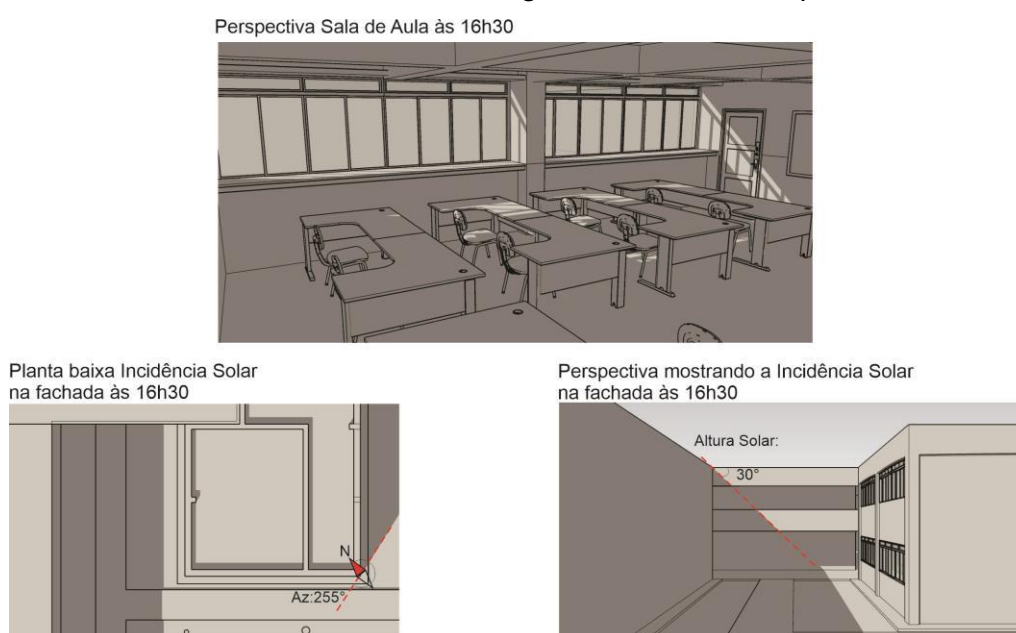
Figura 33 - Incidência de luz natural a partir das 13h PM



Fonte: Autora, (2025).

No período da tarde por volta das 16:30, a incidência solar dentro da sala de aula de estudo atinge seu pico, sendo o período do dia quando a insolação máxima se projeta no piso. Quando seu azimute é de 255° e a altura solar é de 30°, como pode ser observado na Figura 34.

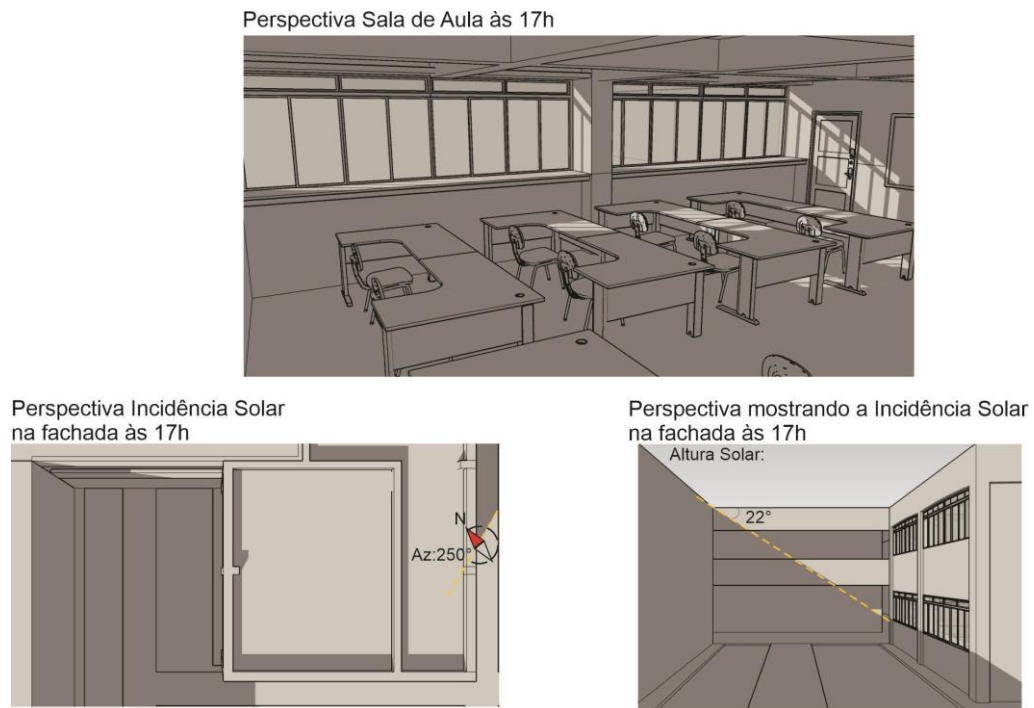
Figura 34 - Incidência de luz natural atinge sua totalidade a partir das 16h30 PM



Fonte: Autora, (2025).

Por volta das 17h da tarde no solstício de verão, a incidência solar atinge o interior da sala de aula, mas de forma menos intensa. A posição da incidência solar neste período é sudoeste, possuindo 250° de azimute e 22° de altura solar, Figura 35.

Figura 35 - Incidência de luz natural a partir das 17h PM - Verão



Fonte: Autora, (2025).

Às 17:30 é o momento em que o sol deixa de incidir na abertura da janela da sala de estudo, no solstício de verão. É possível concluir que no solstício de verão de 22 de dezembro a incidência solar atinge o interior da sala de aula de estudo entre 13h, quando incide no peitoril da abertura de janela, até pouco depois das 17h00 da tarde, ou seja, são 4h de exposição solar. A maior intensidade acontece no período aproximado às 16h00 da tarde; a partir de 17:30 a insolação não mais atinge a sala de aula de estudo.

4.4 TESTE DE INSOLAÇÃO DIALUX

O *DIALux* é um software que oferece visualização, cálculo e planejamento de iluminação de diferentes espaços, desde salas individuais ou todo um edifício, até

instalações de iluminação externas como em ruas, levando em consideração a luz do dia ou somente a iluminação artificial (DIALux, 2024).

Pode ser observada uma diferença entre os testes de iluminação natural realizados tanto a partir do *software Sketchup* e da análise de insolação realizada por meio da carta solar, em comparação aos estudos realizados pelo *software DIALux*, onde este último não reconhece com exatidão o sombreamento causado pelos edifícios ao redor, nos horários simulados nos solstícios de verão e de inverno. Optou-se por reproduzir no *software DIALux* as mesmas condições de céu e consequente insolação para a localização onde a sala de aula de estudo está inserida, com o intuito de encontrar, por meio da utilização do *software*, a iluminância dada em lux que adentra na sala de aula nos períodos do ano e horários estudados.

Para a realização dos testes com o *software DIALux* foram utilizadas as referências baseadas na Norma 15215-3, como por exemplo, o plano de análise localizado a 0,75m acima do piso da área a ser analisada e a exclusão de uma faixa de 0,5m das paredes (ABNT, 2024b).

Neste estudo os fatores de refletância para superfícies foram considerados conforme preconizado na Norma 15215-3, devido à dificuldade em se precisar quais revestimentos foram utilizados na constituição da sala de aula em estudo e as refletâncias de cada material conforme cada fabricante. Devido a isso, optou-se por utilizar as informações, sugeridas pela norma, desta forma, as refletâncias utilizadas foram para o teto de 0,9; nas paredes interiores de 0,8; piso de 0,4 (ABNT, 2024b).

- Solstício de inverno 22 de junho

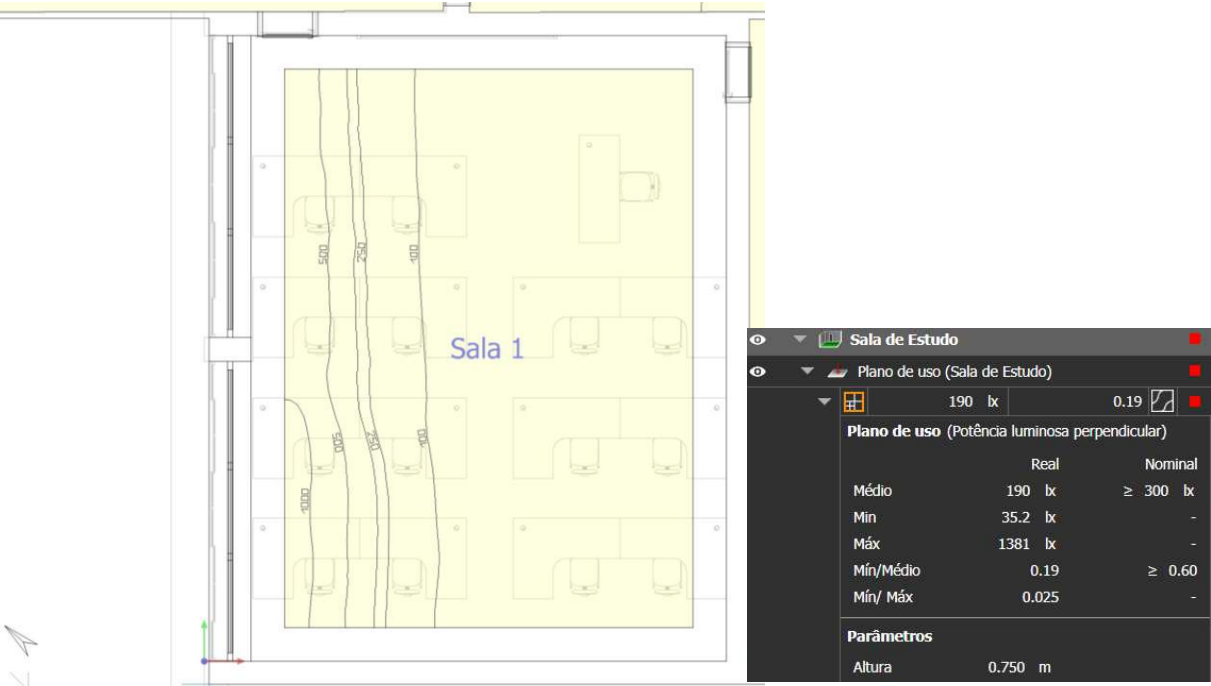
O estudo utilizando *software DIALux* se inicia reproduzindo os períodos já estudados no subtópico 4.3, no solstício de inverno, 22 de junho nos horários de 10h AM, 15h PM e 17h PM.

A primeira verificação de incidência solar acontece por volta das 10h, momento em que os raios solares começam a atingir a fachada analisada. Nesse horário, o sol apresenta um azimuth norte de 35°, coincidindo também com o ângulo de elevação solar. Nessa condição, a fachada em questão ainda se encontra parcialmente sombreada pelo edifício da Engenharia, permitindo que apenas a primeira abertura da janela da sala de aula comece a receber luz solar direta.

No período indicado das 10h da manhã, o maior índice de iluminância ocorre próximo das aberturas de janelas, com valores dados em lux que vão de 1381

máximo a 35,2 lux mínimo, a média de iluminância da sala de aula é de 190 lux. Com base na localização das carteiras localizadas mais próximas às aberturas de janela, somente as primeiras carteiras atendem as necessidades lumínicas de 300 lux. o restante da sala de aula de estudo está abaixo do preconizado pela norma ABNT NBR 8995-1:2013 para este tipo de ambiente, como pode ser observado na Figura 36.

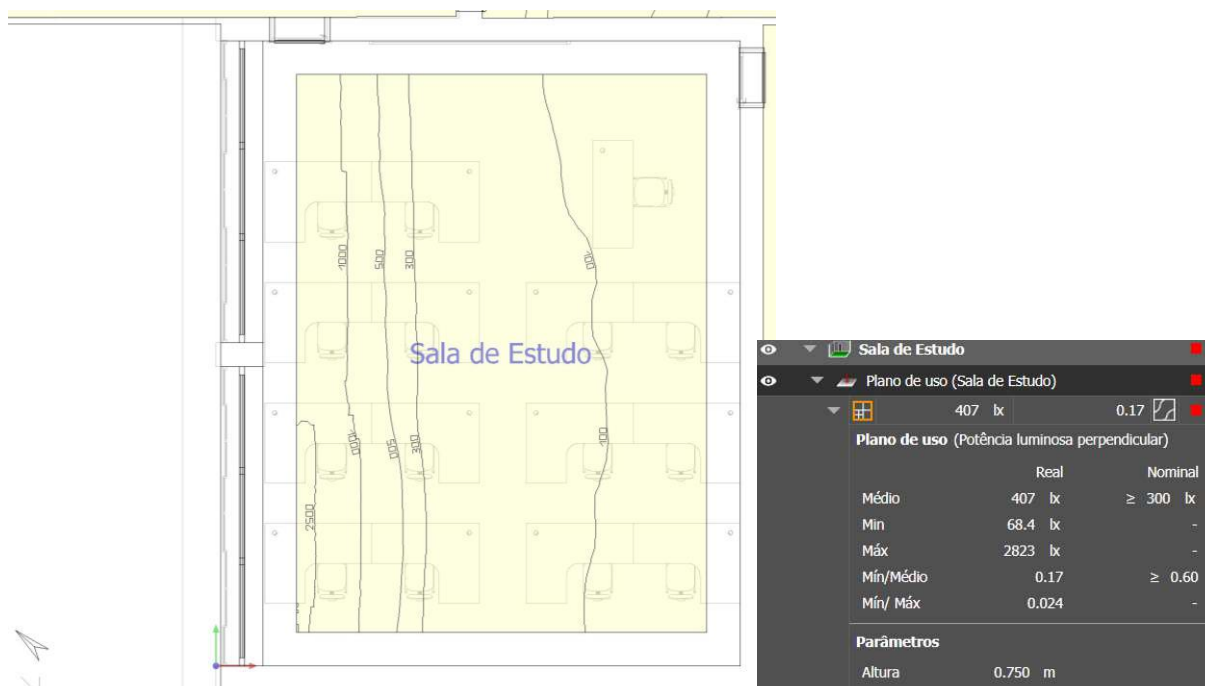
Figura 36 - Incidência solar dada em lux sala de estudo às 10h AM



Fonte: Autora (2025).

O horário de 15h do solstício de inverno é o período observado de maior insolação no interior da sala de aula de estudo para esta data, quando se tem angulação solar neste horário de 310° de Az e altura solar de 30°. Observa-se que para este período a iluminância máxima alcançada no interior da sala de aula de estudo é de 2823 lux (nas carteiras localizadas mais próximas a janela) e mínimo de 68,4 lux nas áreas mais próximas às paredes sem aberturas de janela. A média de iluminância na sala de aula corresponde a 407 lux, acima do exigido pela norma, que é de 300 lux. As informações apresentadas podem ser observadas na Figura 37.

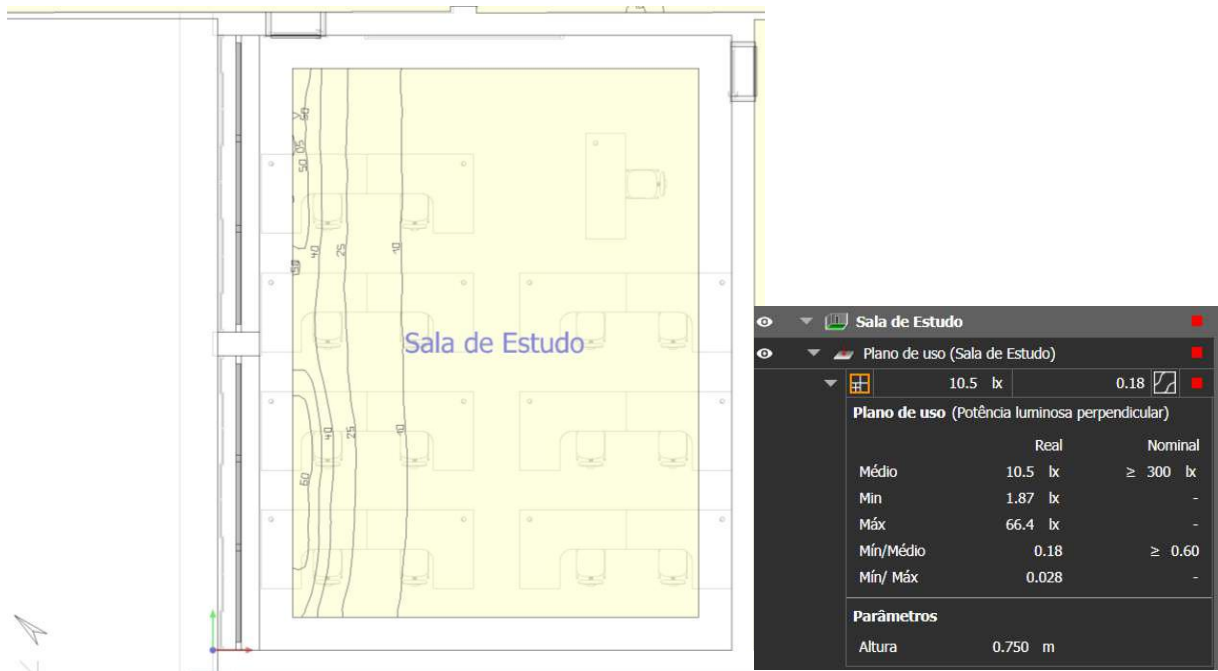
Figura 37 - Incidência solar dada em lux sala de estudo às 15h PM



Fonte: Autora (2025).

Às 17h, período analisado nas simulações da seção 4.3, quando a insolação não incide na fachada da sala de aula de estudo, devido ao sombreamento gerado pelo bloco da engenharia localizado a sua frente. A posição da incidência solar possui o azimuth em 295° e altura solar em 5° . Neste horário, como pode ser observado na Figura 38, a incidência solar máxima dentro da sala de aula de estudo é de 66,4 lux e mínima de 1,87 lux, o valor médio encontrado para este período foi de 10,5 lux, muito abaixo dos 300 lux preconizados pela Norma ABNT NBR 8995-1:2013 para salas de aula. É possível observar também, que para este horário mesmos as carteiras próximas aos vãos de janela, não possuem incidência solar adequada.

Figura 38 - Incidência solar dada em lux sala de estudo às 17h PM



Fonte: Autora (2025).

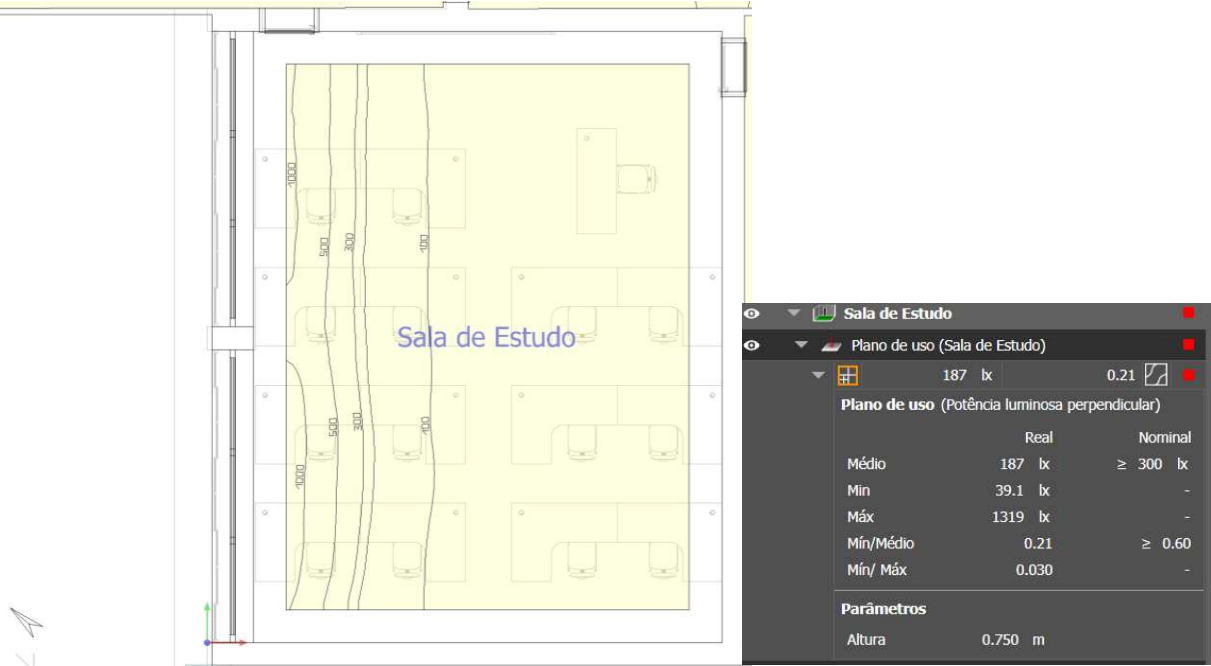
Como conclusão, é possível observar que a iluminação natural nos horários analisados para o período do solstício de inverno 22 de junho é insuficiente na maior parte do tempo de exposição no interior da sala de aula de estudo, somente atingindo a iluminação adequada no período das 15h da tarde, quando a média de incidência solar corresponde a 407 lux.

A seguir é apresentado o estudo de insolação a partir do *software DIALux*, onde foram reproduzidas as mesmas condições do período apresentado para o solstício de verão de 22 de dezembro, estudados na seção 4.3 para este período.

- Solstício de verão 22 de dezembro.

A incidência solar na fachada de estudo para esse período se inicia por volta das 13 PM, com a altura solar de 84° e o azimuth de 260°. É possível observar a partir da Figura 39, que a incidência solar máxima para este período é de 1319 lux, sendo sua ocorrência nas primeiras fileiras de carteiras localizadas próximas à abertura da janela. A insolação mínima encontrada foi de 39,1 lux, onde se localizam as carteiras mais próximas às paredes sem aberturas e janelas. A insolação média no horário do dia apresentado foi de 187 lux, abaixo do preconizado pela norma.

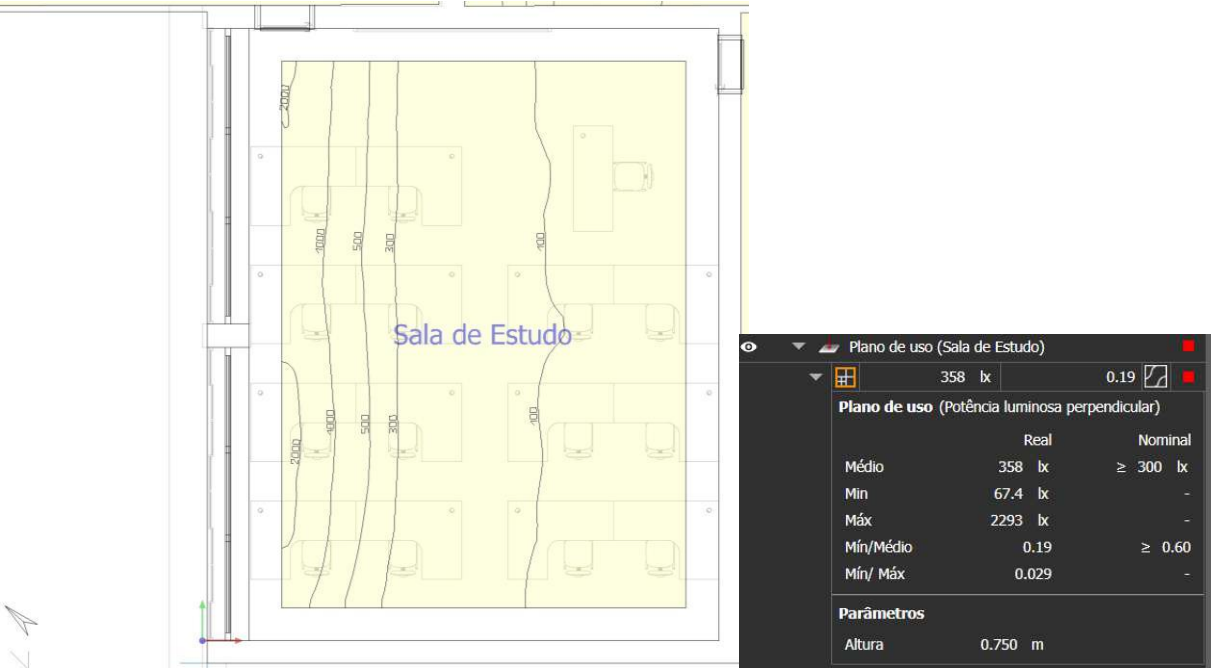
Figura 39 - Incidência solar dada em lux sala de estudo às 13h PM



Fonte: Autora (2025).

A partir das 16h30 PM a incidência solar atinge seu pico no interior da sala de estudo, neste período o azimuth é de 255° e a altura solar é de 30°. A incidência solar máxima foi de 2293 lux e a mínima foi de 67,4 lux. Observa-se que neste período as duas fileiras de carteira localizadas próximas às aberturas das janelas, recebem incidência solar entre 300 lux (o mínimo exigido pela norma) e mais de 2000 lux, que corresponde a uma incidência direta de sol, que além de causar ofuscamento, pode provocar desconforto térmico. A incidência média encontrada na sala foi de 358 lux, estando dentro do preconizado pela Norma ABNT NBR 8995-1:2013, como pode ser observado na Figura 40.

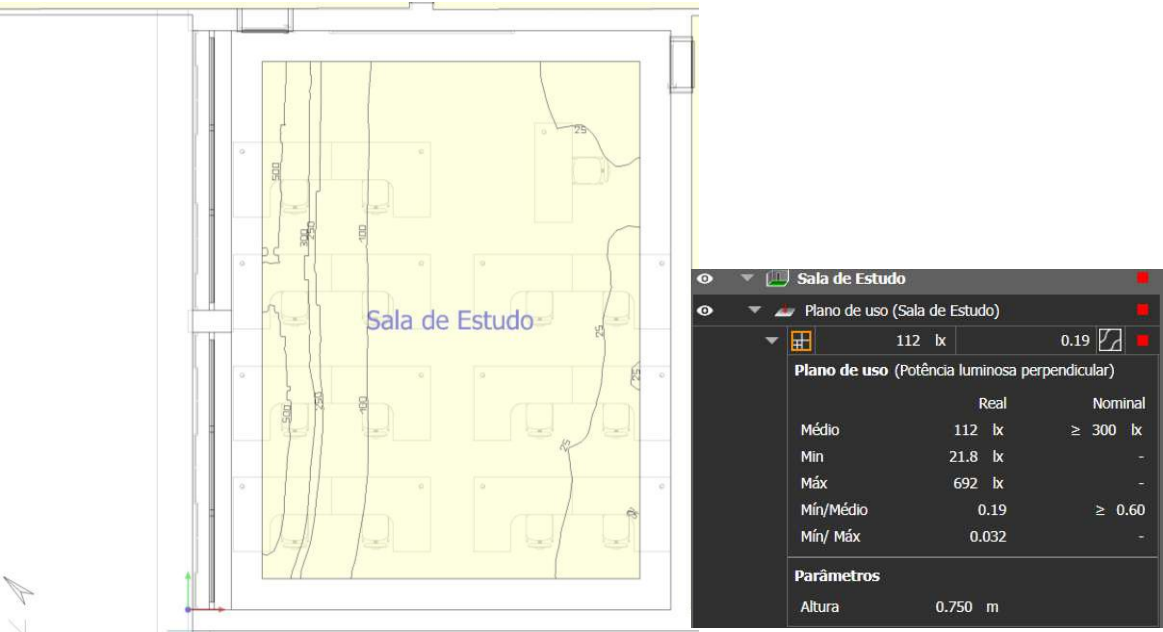
Figura 40 - Incidência solar dada em lux sala de estudo às 16h30 PM



Fonte: Autora (2025).

Às 17h, observa-se que a incidência solar média é de 112 lux sendo insuficiente com base nos 300 lux preconizados pela Norma ABNT NBR 8995-1:2013. A incidência máxima nesse período é de 692 lux e a mínima é de 21,8 lux como pode ser observado na Figura 41.

Figura 41 - Incidência solar dada em lux sala de estudo às 17h PM - verão



Fonte: Autora (2025).

Como conclusão, é possível observar que a iluminação natural nos horários analisados para o período do solstício de verão 22 de dezembro é insuficiente na maior parte do tempo de exposição no interior da sala de aula de estudo, somente atingindo a iluminação adequada no período das 16h30 da tarde, quando a média de incidência solar corresponde a 358 lux. Contudo, observando-se as figuras anteriores é possível observar que a insolação no verão possui incidência mais constante nos horários analisados de 13h às 17h da tarde, embora não suficientes a suprir as necessidades lumínicas determinadas na Norma ABNT NBR 8995-1:2013 de 300 lux.

4.5 IRRADIANCE TOOLBOX (PLANILHA DE LUCAS)

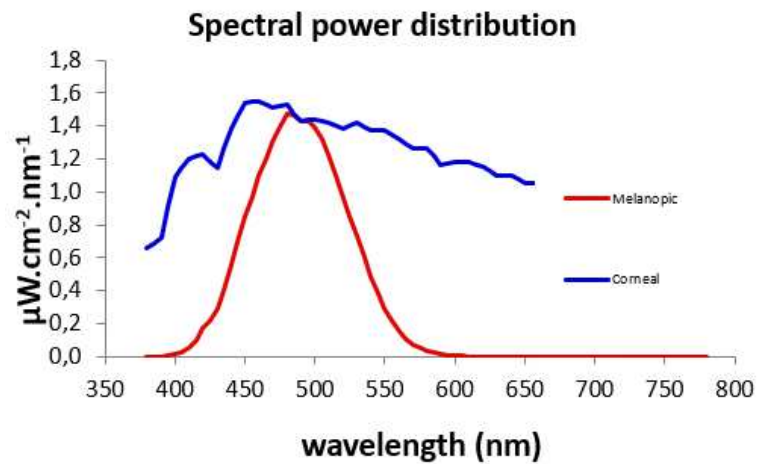
Como o objetivo da pesquisa consiste em analisar a incidência da luz solar no interior da sala de aula em estudo, será empregada a ferramenta *Irradiance Toolbox*, por meio da realização de um teste hipotético. Para tal, utilizar-se-á uma das sete fontes de luz disponíveis no item 2 da ferramenta, especificamente a fonte de "luz do dia", cujas temperaturas de cor encontram-se previamente determinadas. Para esse tipo de aplicação, é necessário configurar o item 1 da planilha no "modo aproximado", o que implica que o resultado obtido representará uma estimativa do comportamento da luz natural no ambiente analisado, conforme recomendado no *User Guide* de Lucas (2013).

A seguir, no item 2 da ferramenta *Irradiance Toolbox*, será selecionada a unidade de trabalho, que será a iluminância (lux), bem como a quantidade a ser analisada. Para isso, foi utilizado os valores obtidos nas simulações realizadas com o software DIALux, considerando as iluminâncias médias dos períodos do ano (solstícios de inverno e verão) nos respectivos horários avaliados.

- Solstício de inverno 22 de junho

No período estudado às 10h da manhã, a média de iluminância da sala de aula é de 190 Lux. Gráfico 3 apresenta o pico de estímulo visual (córnea) na linha de cor azul, em aproximadamente $1,6 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$, próximo a 450nm. Os estímulos não visuais (melanopsina), representados pela cor vermelha do gráfico, apresentam sua estimulação máxima em aproximadamente $1,4 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$ em 480 nm.

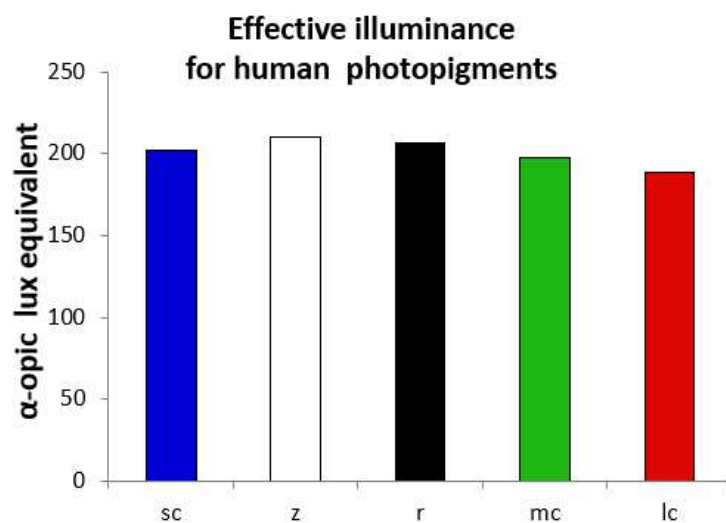
Gráfico 3 - Distribuição espectral da luz do Dia 6500K em 190 lux



Fonte: Autora, (2025).

A ferramenta *Irradiance Toolbox* fornece ainda, um gráfico de barras que apresenta a estimulação, tanto das células fotorreceptoras visuais quanto das não visuais. A partir do Gráfico 4, pode-se observar que, o estímulo não visual apresentado pela barra na cor branca, que corresponde à melanopsina, apresenta estimulação média maior do que o estímulo visual, ou seja, a partir de uma iluminância de 190 lux as células não visuais reagem como se estivessem recebendo 210 lux de estimulação, 20 lux a mais do que o recebido.

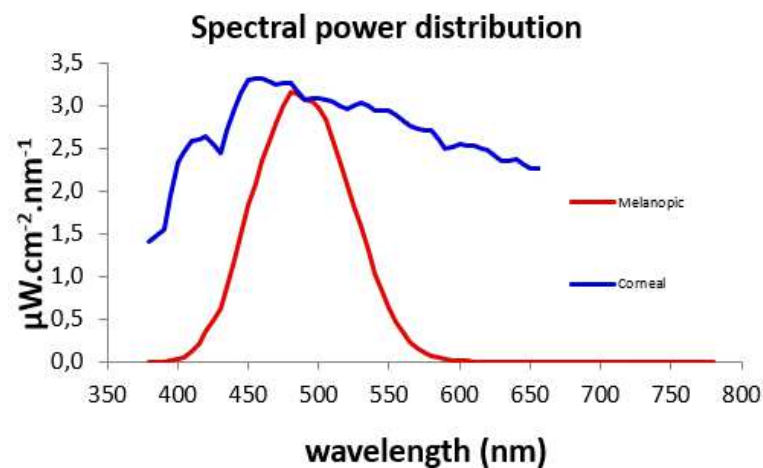
Gráfico 4 - Estimulação da melanopsina a 190 lux



Fonte: Autora, (2025).

No horário de 15h do solstício de inverno, a média de iluminância na sala de aula corresponde a 407 lux. O pico de estímulo visual (córnea) na linha de cor azul, foi de aproximadamente $3,4 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$, próximo a 450 nm. Os estímulos não visuais (melanopsina), representados pela cor vermelha do gráfico, apresentam sua estimulação em aproximadamente $3,1 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$ em 480 nm, Gráfico 5.

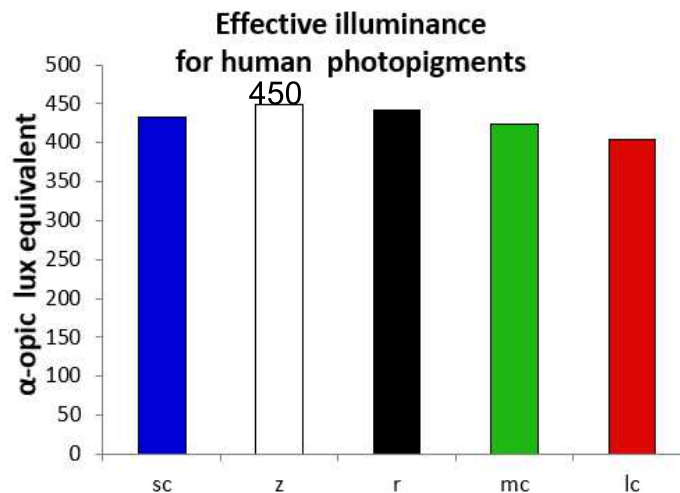
Gráfico 5 - Distribuição espectral da luz do Dia 6500K em 407 lux



Fonte: Autora, (2025).

Como pode ser observado na Gráfico 6, por meio da barra na cor branca representando as células não visuais (melanopsina), a estimulação a partir de 407 lux para as células visuais, corresponde a um estímulo de aproximadamente 450 lux para as células não visuais, ou seja, 43 lux a mais de estimulação.

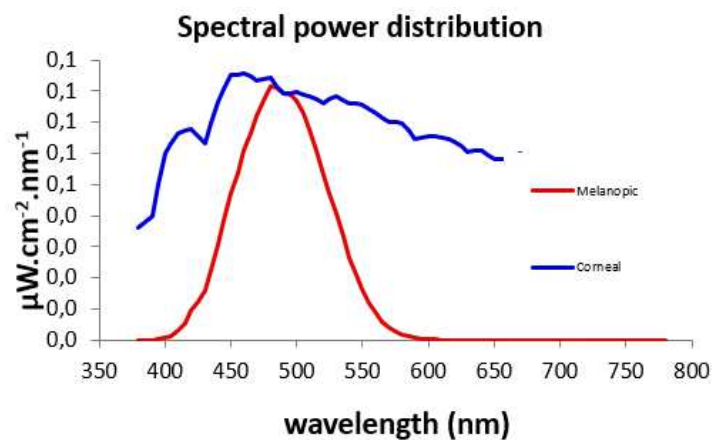
Gráfico 6 - Estimulação da melanopsina a 407 lux



Fonte: Autora, (2025).

Às 17h PM, o valor médio encontrado para este foi de 10,5 lux, o gráfico gerado é observado na Gráfico 7, onde pode ser observado, o pico de estímulo visual (córnea) na linha de cor azul, de aproximadamente $0,1 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$, próximo a 450 nm. Os estímulos não visuais (melanopsina), representados pela cor vermelha do gráfico, apresentam sua estimulação em aproximadamente $0,1 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$ em 480 nm. Ou seja, tanto as células visuais quanto as não visuais, possuem estimulação quase nula.

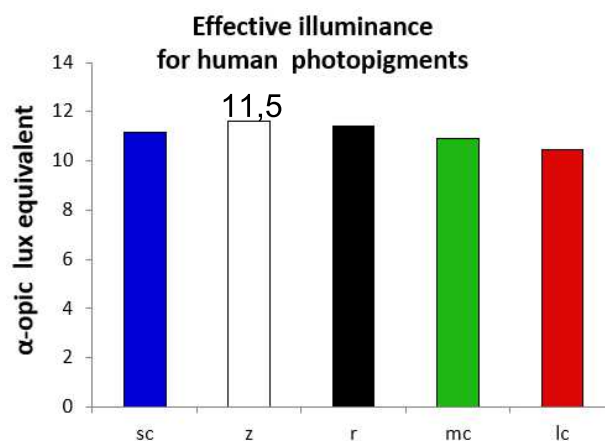
Gráfico 7 - Distribuição espectral da luz do Dia 6500K em 10,5 lux



Fonte: Autora, (2025).

Como pode ser observado na Gráfico 8, quando as células não visuais, barra na cor branca, recebem a iluminância de 10,5 lux, elas são mais estimuladas em apenas 1 lux, possuindo uma estimulação de 11,5 lux.

Gráfico 8 - Estimulação da melanopsina a 10,5 lux



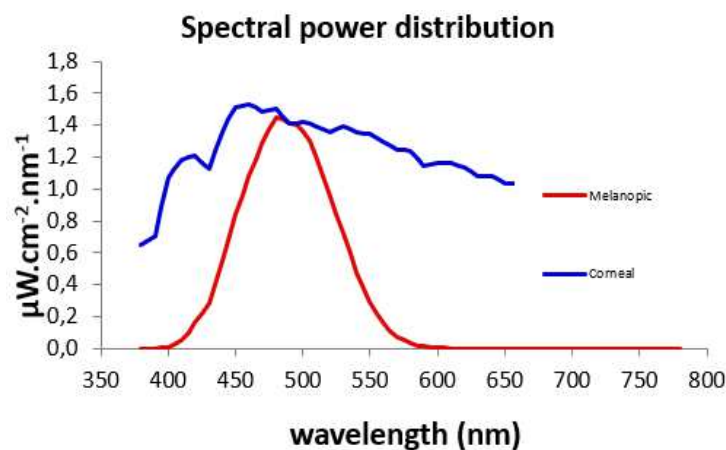
Fonte: Autora, (2025).

Os testes foram realizados também no período do solstício de verão e serão apresentados a seguir.

- Solstício de verão 22 de dezembro.

A incidência solar na fachada de estudo se inicia no período em torno das 13 PM. É Possível observar a partir da Gráfico 9, que a incidência solar média no horário do dia apresentado de 187 lux, o pico de estímulo visual (córnea) na linha de cor azul, é de aproximadamente $1,5 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$, próximo a aproximadamente 450 nm. Os estímulos não visuais (melanopsina), representados pela cor vermelha do gráfico, apresentam sua estimulação em aproximadamente $1,4 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$ em 480 nm.

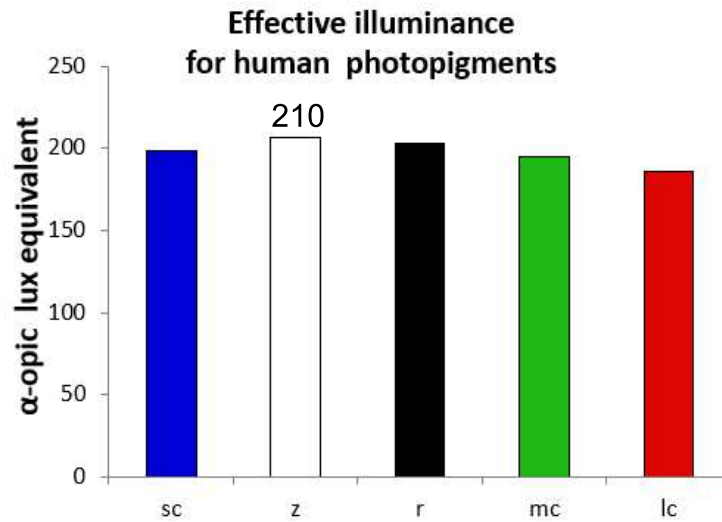
Gráfico 9 - Distribuição espectral da luz do Dia 6500K em 187 lux



Fonte: Autora, (2025).

A partir da Gráfico 10, pode se observar que, o estímulo não visual apresentado pela barra na cor branca, que corresponde à melanopsina, apresenta estimulação média maior do que o estímulo visual, ou seja, a partir de uma iluminância de 184 lux, as células não visuais reagem como se estivessem recebendo aproximadamente 210 lux de estimulação, 26 lux a mais do que o recebido.

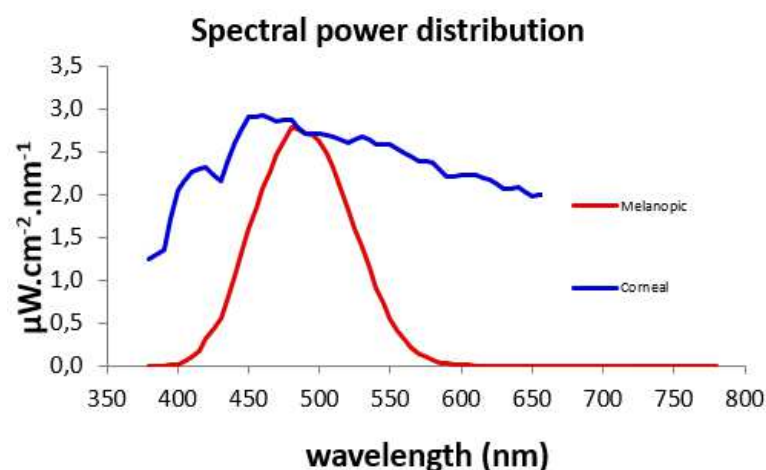
Gráfico 10 - Estimulação da melanopsina a 184 lux



Fonte: Autora, (2025).

A partir das 16h30 PM a incidência solar atinge seu pico no interior da sala de estudo, a incidência solar média encontrada na sala foi de 358 lux, como pode ser observado na Gráfico 11. O pico de estímulo visual (córnea) na linha de cor azul, é de aproximadamente $2,9 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$, próximo a 450 nm. Os estímulos não visuais (melanopsina), representados pela cor vermelha do gráfico, apresentam sua estimulação em aproximadamente $2,7 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$ em 480 nm.

Gráfico 11 - Distribuição espectral da luz do Dia 6500K em 358 lux

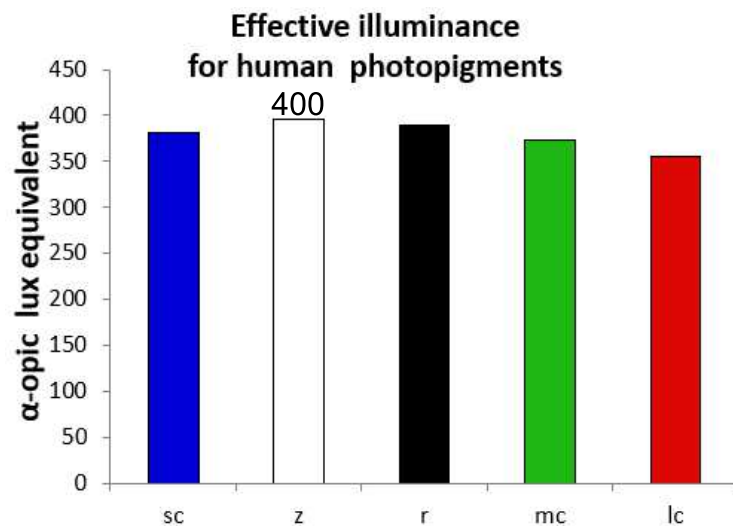


Fonte: Autora, (2025).

A partir do Gráfico 12, pode se observar que o estímulo não visual apresentado pela barra na cor branca, após receber uma iluminância de 358 lux as

reage como se estivesse recebendo aproximadamente 400 lux de estimulação, 42 lux a mais do que o recebido.

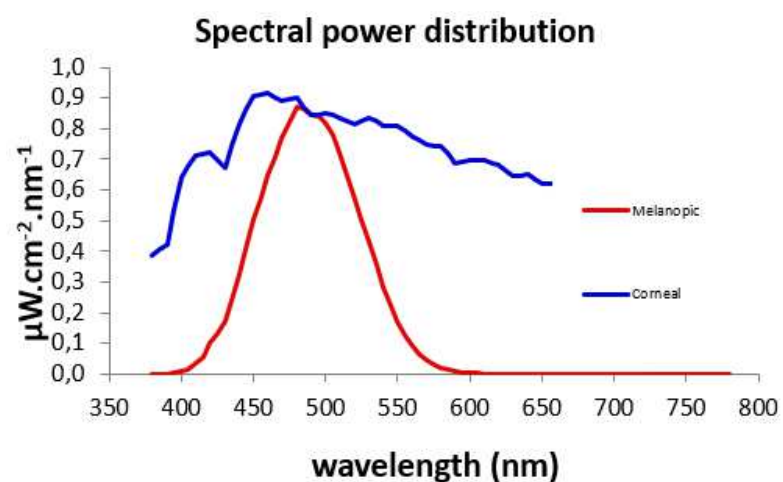
Gráfico 12 - Estimulação da melanopsina a 358 lux



Fonte: Autora, (2025).

Às 17h, observa-se que a incidência solar média é de 112 lux, como pode ser observado no Gráfico 13. O pico de estímulo visual (córnea) na linha de cor azul, é de aproximadamente $0,9 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$, próximo a 450 nm. Os estímulos não visuais (melanopsina), representados pela cor vermelha do gráfico, apresentam sua estimulação em aproximadamente $0,88 \text{ wcm}^2.\text{nm}^{-1}$ em 480 nm.

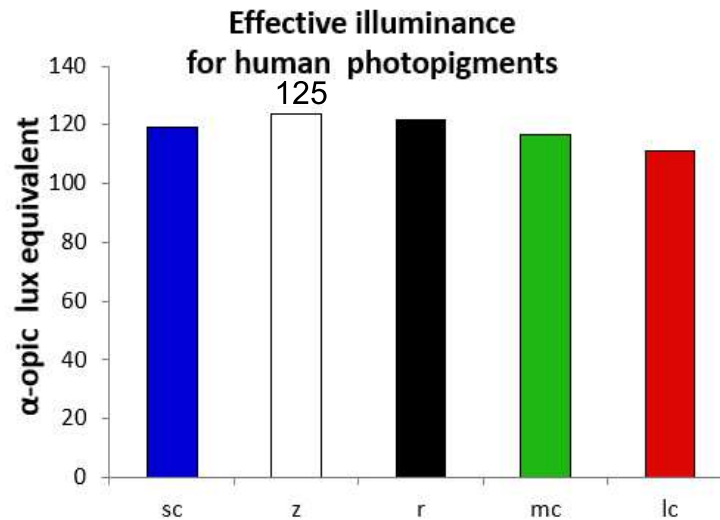
Gráfico 13 - Distribuição espectral da luz do Dia 6500K em 112 lux



Fonte: Autora, (2025).

No Gráfico 14 é observado o estímulo não visual apresentado pela barra na cor branca, que corresponde à melanopsina. Com uma iluminância de 112 lux as células não visuais reagem como se estivessem recebendo aproximadamente 125 lux de estimulação, 13 lux a mais do que o recebido.

Gráfico 14 - Estimulação da melanopsina a 112 lux



Fonte: Autora, (2025).

5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1 AVALIAÇÃO DAS ABERTURAS COM BASE NA NBR 15215-3, NBR 8995-1 E ESTUDO DE INSOLAÇÃO

Nos estudo de insolação realizado na seção 4.3, é possível analisar que em períodos determinados do dia, a incidência solar atinge diretamente as carteiras da sala de aula de estudo. No solstício de inverno de (22 de junho) a incidência é máxima às 15h, atingindo as duas primeiras fileiras de carteiras. No solstício de verão (22 de dezembro) a incidência solar é máxima por volta das 16h30, incidindo na primeira fileira de carteiras localizadas na frente da sala de aula de estudo. Essa incidência direta causa tanto desconforto térmico, quanto visual nos usuários.

Nas análises realizadas por meio do software DIALux, é possível comparar a incidência média lumínica nos dois períodos analisados (solstícios de inverno e verão), a partir da Tabela 8.

Tabela 8 - Comparação Incidências Lumínicas no período dos solstícios

Horários correspondentes Respectivamente	Incidência solar (Solstício de Inverno - SI)			Incidência solar (solstício de verão- SV)		
	Máxima (lux)	Mínima (lux)	Média (lux)	Máxima (lux)	Mínima (lux)	Média (lux)
10h (SI) e 13h (SV)	1381	35,2	190	1319	39,1	187
15h (SI) e 16:30h (SV)	2823	68,4	407	2293	67,4	358
17h (SI) e (SV)	66,4	1,87	10,5	692	21,8	112

Fonte: Autora, (2025).

É possível inferir que a incidência solar média, ao longo dos horários analisados, é maior no solstício de inverno, sendo o maior valor médio encontrado de 407 lux. O único horário de funcionamento da sala de aula, em que a incidência é maior no solstício de verão é às 17h, isso se deve, porque nesse período do ano o sol se põe mais tarde em comparação ao solstício de inverno.

No período da manhã, não há incidência direta de luz solar no ambiente, e, mesmo à tarde, quando há entrada de luz solar, a distribuição não é homogênea. Observa-se que determinadas áreas da sala permanecem com pouca ou nenhuma iluminação natural, mesmo nos períodos de maior incidência.

A partir do referencial bibliográfico levantado por este trabalho, embasado também nas normas NBR 15215 e NBR 8995-1, das quais puderam ser retirados valores médios de iluminância para satisfazer as necessidades lumínicas tanto dos estímulos visuais quanto dos não visuais, foi possível fazer a comparação dos valores médios e mínimos de iluminância adquiridos a partir dos testes realizados por este trabalho. Para simplificar foi feita a Tabela 9, com o intuito de compilar e comparar as informações encontradas.

Tabela 9 - Compilação dos dados sobre iluminância adequadas ao sistema visual

Horários correspondentes Respectivamente	Incidência solar (Solstício de Inverno - SI)			Incidência solar (solstício de verão- SV)		
	Máxima (lx)	Mínima (lx)	Média (lx)	Máxima (lx)	Mínima (lx)	Média (lx)
10h (SI) e 13h (SV)	1381	35,2	190	1319	39,1	187
15h (SI) e 16:30h (SV)	2823	68,4	407	2293	67,4	358
17h (SI) e (SV)	66,4	1,87	10,5	692	21,8	112
Para atingir o Nível II (NBR 15215-3)						
Iluminância-Alvo (250 lx)			Atende (407 lx)			Atende (358 lx)
Fração de horas de luz natural (50%)			Não atende			Não atende
Fração de espaço para nível-alvo (55%)			Não atende			Não atende
Para atingir a (NBR 8995-1)						
Salas de aula, salas de aulas particulares 300 (lx)			Não atende			Não atende

Fonte: Autora, (2025).

A Tabela 9 apresenta os valores de incidência mínimos, máximos e médios para a sala de aula de estudo nos períodos dos solstícios de Inverno e Verão. A partir da NBR 15215 é avaliado o Nível de vista para o exterior a partir de 3 camadas. A sala de aula de estudo possui Nível II, com base nessa análise é possível avaliar as iluminâncias adequadas, a porção do espaço em que ela deve incidir e o tempo.

No solstício de inverno, a iluminância-alvo na sala de aula de estudo é atendida em um período do dia, às 15h em 407 lux. Considerando a fração de horas de incidência de luz natural em 50% do tempo, para o período analisado no solstício de verão, a incidência começa às 10h até o período de 17h, totalizando 7 horas de incidência solar. Necessariamente e como preconizado pela NBR 15215-3, a sala de aula deveria ter uma incidência média de 250 lux, durante 3h30 de uso. A sala de

aula pode atender a insolação, mesmo porque o período de incidência solar na mesma é mais extenso. Com relação à fração de 55% do espaço ter incidência de luz do dia, a sala analisada pode ser que atenda, se a incidência lumínica de 250 lux se mantiver constante durante o período de 3h30 de uso. Com isso, pode se concluir que seriam necessários testes em todos os horários do período de incidência, que se inicia de 10h da manhã (horário que a incidência lumínica se inicia no ambiente) até às 17h (horário em que o atendimento ao público é encerrado), para se comprovar que em 50% do tempo de incidência solar na sala de aula de estudo, a insolação é de no mínimo 250 lux.

No solstício de verão, a iluminância-alvo na sala de aula de estudo é atendida em um período do dia, às 16h30 em 358 lux. Considerando a fração de horas de incidência de luz natural em 50% do tempo, para o período analisado no solstício de verão, a incidência começa às 13h até o período de 17h, totalizando 4 horas de incidência solar como preconizados pela NBR 15215-3. Necessariamente a sala de aula deveria ter uma incidência média de 250 lux, em 2 horas de uso, a sala de aula de estudo não atende essa necessidade lumínica. Com relação à fração de 55% do espaço ter incidência de luz do dia, a sala analisada não atende, podendo ser observado que na maior parte do tempo nem a metade da sala recebe incidência solar nos períodos analisados, olhar seção 4.3 Teste de insolação DIALux.

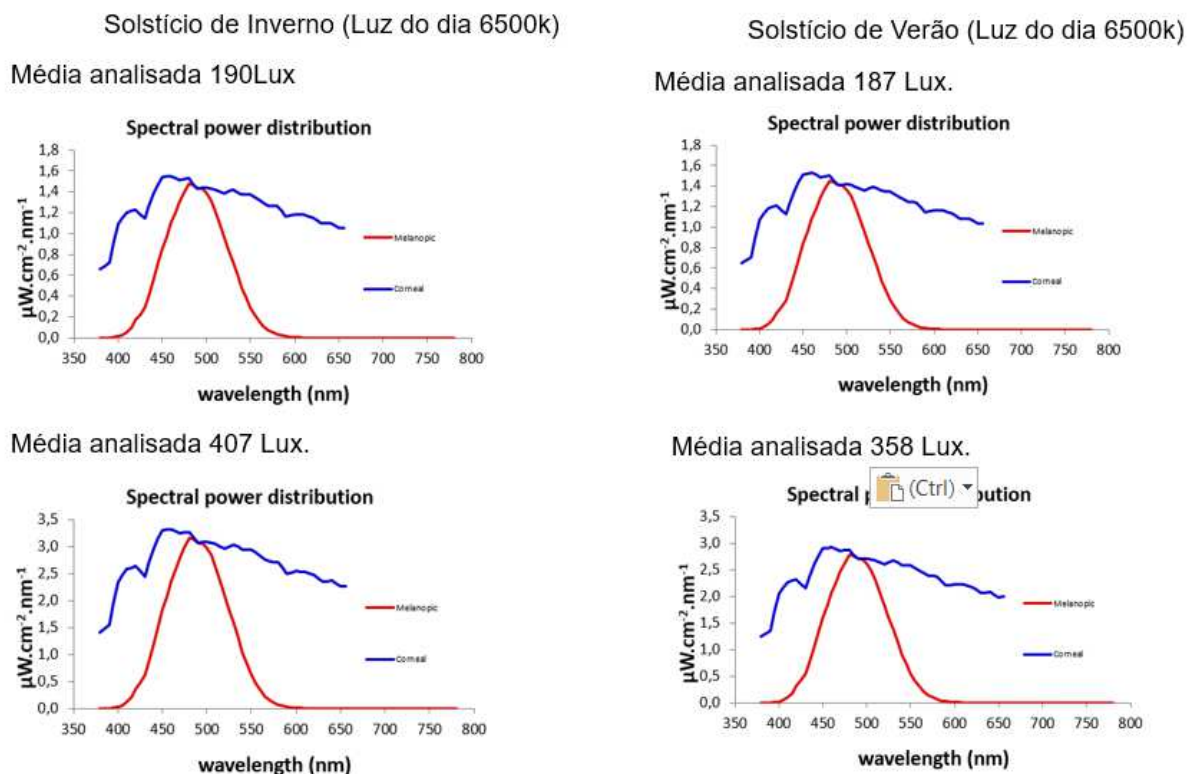
Ainda na Tabela 9 é apresentada uma informação da NBR 8995-1, em que ela fornece a iluminância mínima necessária para o conforto dos usuários em salas de aulas, com base em uma iluminação artificial e concernente ao sistema visual. É sabido que o foco desta pesquisa é a iluminação natural, porém, como parâmetro, será utilizada essa informação que oferece o valor mínimo de iluminância para o ambiente de estudo de uma sala de aula. A partir do que foi preconizado pela norma, pode-se inferir que a sala de aula de estudo não atende as necessidades lumínicas, uma vez que essa iluminância deveria ser constante. Desta forma, com base nos dados da Tabela 9, há só um horário do dia, nos dois períodos do ano, em que a iluminância mínima é atingida, por algumas horas.

5.2 AVALIAÇÃO DA ILUMINAÇÃO CIRCADIANA

É importante ressaltar que as análises de iluminância, nos solstícios de inverno e verão, foram realizadas com base na luz do dia. A *Irradiance Toolbox*

predefine a fonte de luz do dia em 6500k. Nos testes realizados por meio da ferramenta, a estimulação dos sistemas visuais e não visuais ocorreram dentro da mesma faixa de luz visível em todos os horários analisados nos solstícios de verão e inverno, com pico de estimulação para o sistema visual no comprimento de onda de aproximadamente 450 nm e para o sistema não visual de 480 nm, como pode ser observado no Gráfico 15.

Gráfico 15 - Distribuição espectral da luz do Dia (6500k) ao longo dos solstícios



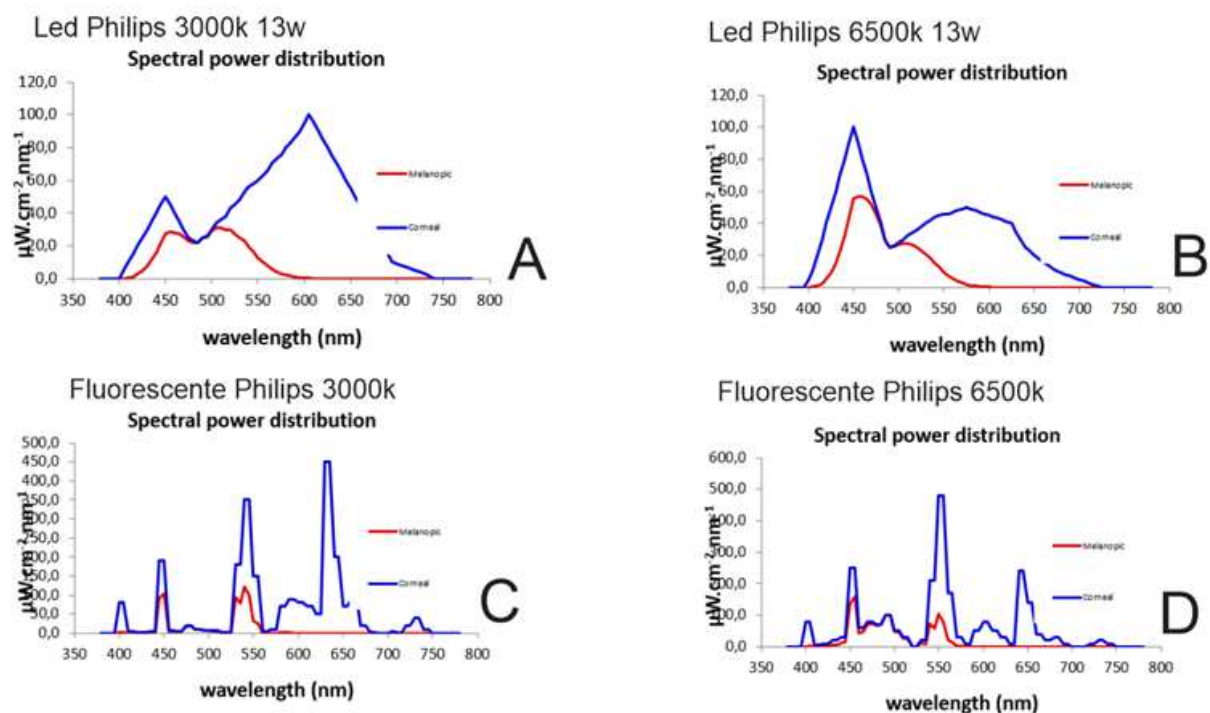
Fonte: Autora, (2025).

Faz-se um paralelo com o estudo apresentado no subtítulo “2.4.3 – Utilização da planilha de Lucas”, em que foram feitos testes com fontes de luz provenientes de lâmpadas LED e fluorescentes com temperaturas de cor entre 3000K e 6500K.

O Gráfico 16 apresenta os gráficos A e B, que representam os estímulos gerados por lâmpadas LED de 3000K e 6500K, respectivamente. Ambos revelam picos de resposta para o sistema visual semelhantes, ainda que possuam distribuições espectrais distintas, com o gráfico A concentrando-se no espectro alaranjado e o gráfico B, na luz azul. Isso indica que, mesmo com diferentes temperaturas de cor, lâmpadas com fluxo luminoso equivalente (de mesma

tecnologia e mesma potência) são percebidas de forma similar pelo olho humano. Além disso, os gráficos também analisam a ativação da melanopsina, associada ao estímulo não visual, com intensidade consideravelmente menor na lâmpada de 3000K e mais elevada na de 6500K, com picos sempre na parcela de comprimento de ondas para luz azul. Já os gráficos C e D, referentes a lâmpadas fluorescentes nas mesmas temperaturas de cor, 3000K e 6500K, demonstram estimulação ainda mais intensa das células não visuais, com picos bem maiores, respectivamente.

Gráfico 16 - Distribuição espectral de lâmpadas de led e fluorescente (3000 e 6500k)



Fonte: Autora, (2025).

É possível afirmar que o pico de estimulação do sistema visual ocorre a partir da intensidade da luz e não da distribuição espectral da lâmpada, diferentemente do sistema não visual, que independente da temperatura de cor (3000 a 6500K), possui pico sempre no espectro de luz de cor azul, corroborando com os estudos de (Higuchi *et al.* 2021; Nagare *et al.* 2019; Rea, Nagare e Figueiro, 2020), a luz azul impacta com maior rapidez e intensidade na supressão da melanopsina no corpo humano.

Os autores estudados também tentaram definir a iluminância necessária mínima para suprimir a melatonina. Alguns autores, como Nagare *et al.* (2019), chegaram a valores de aproximadamente 71 lux para uma exposição de 1 h. Em

outro estudo, Rea, Nagare e Figueiro (2020) encontraram 30 lux nos olhos por 30 min. Contudo, esses estudos foram realizados à noite, para definir um valor mínimo de iluminância para a supressão da melatonina noturna. Chaves (2020), por outro lado, apresenta o valor de 136 lux para supressão da melatonina durante o período diurno entre 8h e 13h.

Com o intuito de analisar as iluminâncias encontradas por meio dos testes realizados neste trabalho no período diurno, serão utilizados como parâmetro os valores encontrados nos estudos da autora Chaves (2020).

A seguir é apresentada a Tabela 10, que compara os valores de iluminâncias encontrados na sala de estudo, com base nos testes desenvolvidos nesta dissertação, os valores são divididos em horários dentro dos solstícios de inverno e verão. A partir da revisão bibliográfica, obtém-se o valor mínimo de iluminância para suprimir a melatonina em 136 lux. Contudo, é utilizado por Chaves (2020) outro valor, que seria uma média de iluminância (300 lux) para ambientes não residenciais, durante a metade do tempo de uso do ambiente de 8h às 18h, e sendo incidida em 50% do espaço. Coincidentemente, esses valores corroboram com a norma 8995-1, que elege 300 lux, para a iluminância adequada em salas de aula para o sistema visual através de luz artificial.

Tabela 10 - Comparação entre iluminâncias adequadas para o sistema não visual e as encontradas na sala de aula de estudo

	Incidência solar (Solstício de Inverno)			Incidência solar (solstício de verão)		
	10h	15h	17h	13h	16:30h	17h
	190	407	10,5	187	358	112
Iluminância mínima para suprimir a melatonina 8h às 13h (136lx)						
	Não atende			Não atende		
Iluminância ideal durante 8h às 18h (300lx)						
Fração de horas de incidência ideal (50%)	Não atende			Não atende		
Fração de espaço de incidência ideal (50%)	Não atende			Não atende		

Fonte: Autora, (2025).

Comparando os valores apresentados pela autora Chaves (2020) e os testes feitos na sala de aula de estudo, observa-se que a iluminância mínima para suprimir a melatonina pela manhã e excitar o cortisol no período entre 8h às 13h, não é atendido em nenhum período do ano na sala de aula de estudo, uma vez que, no

solstício de inverno, a incidência solar na fachada ne inicia a partir das 10h e no solstício de verão, a partir das 13h, antes destes horários nesses períodos, não há incidência, permanecendo a sala escura.

Comparando a iluminância ideal de 300 lux nos horários em 50% do tempo estipulado entre 8h às 18h, no solstício de inverno, embora exista incidência solar na sala de aula de estudo durante 7h, período entre 10h às 17h, a iluminância não é suficiente na maior parte do horário, havendo um pico por volta das 15h de 407 lux que estaria acima dos 300 lux ideais, contudo, ele não dura por 3h30min, que seria a metade do tempo. A fração de incidência lumínica de 300 lux em 50% do espaço analisado também não atende, primeiramente porque é possível observar que nos testes realizados na seção “4.3 Teste de insolação DIALux”, mesmo no período de pico a iluminância não chega a incidir em metade da sala; segundo que para valer a incidência lumínica precisa atingir a metade do tempo de uso da sala, e não é o que acontece.

Por fim, analisando o solstício de verão, é possível observar que a iluminância mínima para suprir a melatonina 136 lux no período entre 8h às 13h não é atendido pela sala de aula de estudo, uma vez que a incidência solar neste ambiente se inicia a partir de 13h. Comparando ainda a iluminância média de 300 lux, no período entre 8h às 18h no período do solstício de verão, é possível observar que a sala de aula de estudo não atende, porque não atinge a incidência de 300 lux em metade do tempo de uso, e também a incidência solar não alcança a metade do espaço utilizado de estudo.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal verificar, com base na NBR 15215 - Parte 4, se a iluminação natural presente, em um espaço construído é capaz de atender aos parâmetros lumínicos exigidos pelo sistema circadiano humano, utilizando como métrica o lux melanópico equivalente (Melanopic Equivalent Lux – EML). Para isso, foi selecionada uma sala de aula pertencente ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora (PROAC – UFJF), a fim de ilustrar a aplicação prática da metodologia proposta.

Dentre os objetivos específicos, destacam-se: a avaliação da influência da orientação solar nas aberturas envidraçadas com vista para o exterior, considerando sua adequação às exigências para o sistema não visual; e o teste de um método de análise da iluminação circadiana por meio da utilização da carta solar, do software DIALux e da Planilha de Lucas. A aplicação do estudo de caso permitiu verificar a eficácia dessas ferramentas na análise luminotécnica voltada ao bem-estar humano, contribuindo para o aprimoramento de estratégias projetuais mais saudáveis e alinhadas às normativas vigentes.

Conclui-se que a iluminação natural da sala de aula de estudo, nos horários entre 9h às 17h, nos dois períodos do ano analisados, é ineficiente. No solstício de inverno, a incidência solar na fachada se inicia de 10h até as 17h, possuindo maior concentração lumínica no horário de 15h (média de 407 lux). Essa média é baseada em uma incidência solar direta sobre as duas primeiras fileiras da janela, que chega à máxima de 2823 lux, causando desconforto térmico e visual. No mesmo horário a iluminância mínima é de 68,4 lux, no fundo da sala. Nos outros horários analisados dentro desse período, a iluminância se encontra abaixo do necessário para atender as normas de iluminação, tanto para o sistema visual quanto do não visual. Desta forma, a iluminação natural não daria conta de oferecer conforto do sistema visual e nem do não visual aos usuários, durante o período de utilização da sala de aula de estudo.

No solstício de verão, a iluminação natural também é insuficiente para atender as necessidades lumínicas do sistema visual e não visual. A sala de aula de estudo, nesse período, possui incidência solar a partir de 13h até as 17h. Durante o período da manhã a sala não possui qualquer tipo de iluminação natural, e a incidência no período da tarde não é suficiente.

Desta forma, a iluminação dentro da sala de aula de estudo, para atender as necessidades lumínicas do sistema visual e do não visual, necessita ter auxílio do sistema elétrico, sendo assim, para o conforto do sistema visual a iluminância deve ser uniforme contando com 300 lux em todo o perímetro da sala de aula de estudo. Para atender as necessidades do sistema não visual, com base no levantamento do referencial bibliográfico realizado por este estudo, pode-se inferir que idealmente a iluminância deve incidir uniformemente no perímetro e possuir no mínimo de 136 lux a 300 lux, prioritariamente em 50% do tempo de utilização da sala de aula, com o intuito de suprimir a melatonina sem, no entanto, causar hiperestimulação das células (ipRGC). As lâmpadas mais adequadas a serem utilizadas seriam as de LED com TCC mais baixo, de 3500k.

Ainda é possível inferir que, embora a UFJF tenha sido construída com bases modernas priorizando a iluminação natural, com suas janelas em fita e seus jardins implementados entre os prédios, isso não foi suficiente para manter uma iluminação natural adequada.

A qualidade da iluminação em ambientes construídos vai além da simples inserção de luminárias para obtenção de iluminação artificial, ela é resultado de uma estratégia projetual que compreende a luz como elemento essencial da arquitetura. Como foi demonstrado neste estudo, diversas pesquisas apontam os impactos e as consequências que a iluminação inadequada pode representar na saúde física e mental dos usuários. A luz natural possui características dinâmicas, como variação de intensidade, espectro e direção, que nenhuma fonte artificial consegue reproduzir integralmente. Ao privilegiar a luz natural (iluminação circadiana) como fonte primária de iluminação, o arquiteto reconhece o seu essencial valor para o bem-estar humano. Assim, o projeto arquitetônico deve ser capaz de captar, conduzir e distribuir a luz natural de maneira qualificada, por meio do correto dimensionamento e posicionamento das aberturas, aliado ao uso de tecnologias contemporâneas que potencializam sua entrada e controle. Essa postura representa mais do que uma decisão técnica, revela uma concepção de projeto comprometida com a saúde, regulando funções essenciais do organismo ao longo do dia e da noite.

Como trabalhos futuros indica-se fazer as medições na sala de aula de estudo do PROAC ao longo do ano, com luxímetro, para validar as simulações. Outra contribuição de possíveis trabalhos seria comparar a iluminação artificial na sala de aula de estudo com a iluminação natural. Além disso, poderiam ser implementados

estudos comparativos em outras salas de aula em blocos com implantação diversa, para analisar a eficiência de sua iluminação, mesmo em uma construção contemporânea. Com esse mapeamento, poderia ser possível propor soluções que melhoram a iluminação natural com o intuito de aumentar o conforto dentro dos espaços e minimizar o consumo de energia elétrica durante o dia.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15215 - Iluminação Natural Parte 1: Conceitos básicos e definições**. Rio de Janeiro, ABNT, 2024a.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15215 - Iluminação Natural Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural e para a distribuição espacial da luz natural**. Rio de Janeiro, ABNT, 2022.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15215 - Iluminação Natural Parte 3: Procedimentos para avaliação da iluminação natural em ambientes internos**. Rio de Janeiro, ABNT, 2024b.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15215 - Iluminação Natural Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação natural Interna**. Segunda edição em 12/07/2023 e Versão corrigida 30/01/2024. Rio de Janeiro, ABNT, 2024c.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, ABNT, 2013.
- ANDREADI, A.; ANDREADI, S.; TODARO, F.; IPPOLITI, L.; BELLIA, A.; MAGRINI, A.; CHROUSOS, G. P.; LAURO, D. Modified Cortisol Circadian Rhythm: The Hidden Toll of Night-Shift Work. **International Journal Molecular Sciences**. 2025, 26, 2090. <https://doi.org/10.3390/ijms26052090>. 2025.
- BOYCE, P. R. Review: The Impact of Light in Buildings on Human Health. **Indoor and Built Environment**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 8–20, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228346234_Review_The_Impact_of_Light_in_Buildings_on_Human_Health. Acessado em: 09/12/2024.
- BROWN, G.Z.; DEKAY, M. **Sol, Vento e Luz: Estratégias para o projeto de Arquitetura**. 2ª edição. Artmed Editora. S.A. 2007.
- CABA, M; VALDEZ, P. **Ritmos circadianos: de la célula al ser humano**. Primera edición. Quehacer científico y tecnológico. 246 pg. Xalapa, Ver., México: Universidad Veracruzana, 2015.
- CASAGRANDE, C. G. **Iluminação Pública: Panorama, Tecnologias Atuais e Novos Paradigmas**. Editora Viseu. p. 351. 2021.
- CHAVES, N. P. **Novos processos de projeto: explorando a iluminação integrativa**. Dissertação Mestrado Universidade Federal do Rio Grane do Sul. 340 f.: il. Porto Alegre, RS, 2020.
- CHAVES, N. P.; MARTAU, B. T. Repensando o projeto de iluminação: avaliação de métricas de luz circadiana. In: simpósio brasileiro de qualidade do projeto no

ambiente construído, 6., 2019, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: PPGAU/FAUeD/UFU, 2019.

COSTA, G. J. C. **Iluminação Econômica**: Cálculo de Avaliação. 4° ed. Coleção Engenharia; fotometria. EDIPUCRS. 562 p. Porto Alegre. 2006.

DARÊ, A. C. As Relações Terapêuticas da Iluminação. O conforto luminoso através da fibra ótica. **Instituto Politécnico de Castelo Branco**. Lisboa – Portugal. Convergências: Volume XIII (35) 31 de maio. 2020.

DIALUX. Download DIALux evo 13. Version 5.13.0.9626, **evo 13**, Patch 4. 2024. Disponível em: <https://www.dialux.com/ES/descargar>. Acessado em: 03/04/2025

ELEMENTAR. **Blog Eletrônica Elementar**. Leds para aquário. 2017. Disponível em: <https://elementareletronica.wordpress.com/2017/03/19/leds-para-aquario/>. Acessado em: 16/04/2025.

FIGUEIRO, M. G.; SAHIN, L.; KALSHER, M.; PLITNICK, B.; REA, M. S. Exposição de longo prazo e durante todo o dia à luz circadiana-efetiva melhora o sono, o humor e o comportamento em pessoas com demência. **Journal of Alzheimer's Disease Reports**. Volume 4, Edição 1, Páginas 297 – 312, 2020.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**: arquitetura, urbanismo. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

GOOGLE. **Maps**. Imagens 2025 Airbus, dados do mapa 2025. Disponível em: https://www.google.com/maps/search/engenharia+ufjf/@-21.7776367,-43.3733029,375m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDMzMS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D. Acessado em 03/04/2025.

HELERBROCK, R. "Espectro eletromagnético"; **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico.htm>. Acesso em: 13 de janeiro de 2025.

HIGUCHI, S.; LIN Y.; QIU, J.; ZHANG, Y.; OHASHI, M.; LEE, SI.; KITAMURA, S.; YASUKOUCHI, A. Is the use of high correlated color temperature light at night related to delay of sleep timing in university students? A cross-country study in Japan and China. **J Physiol Anthropol**. 2021. Jun 8;40(1):7. doi: 10.1186/s40101-021-00257-x. PMID: 34103077; PMCID: PMC8188719.

LE CORBUSIER. *Vers une architecture*. Paris: Les Éditions G. Crès, 1923.

LUCAS, R. J. et al. **User Guide. Irradiance Toolbox**. Faculty of Life Sciences, University of Manchester, Manchester M13 9PT, UK. Oxford 18° october. P. 19. 2013.

LUCAS, R. J. Measuring and using light in the melanopsin age. **Trends Neurosci.** Department of health e human services USA. 37(1): 1–9. doi:10.1016/j.tins.2013.10.004. 2014.

MANCHESTER UNIVERSITY. Profile. Robert Lucas, BSc, PhD. **The University of Manchester Research Explorer.** 2024. Retirado de: <https://research.manchester.ac.uk/en/persons/robert.lucas>. Acesso em: 09/08/2024.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Projeteee – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Estratégias Bioclimáticas. **Uso da Carta Solar.** 2024. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee/implementacao/uso-da-carta-solar/>. Acesso em: 25/09/2024.

MARTAU, B. T. A luz além da visão, iluminação e sua influência na saúde e bem estar. **Revista LUME Arquitetura.** Edição 38. P 62 – 68. Julho, 2009.

NAGARE, R.; REA, M. S.; PLITNICK, B.; FIGUEIRO, M. G. Nocturnal melatonin suppression by adolescents and adults for different levels, spectra, and durations of light exposure. **J. Biol. Rhythms.** 34, 178–194. <https://doi.org/10.1177/0748730419828056>. 2019.

NELSON, R. J.; DEVRIES, A. C. Medical hypothesis: Light at night is a factor worth considering in intensive care units. **Advances in integrative medicine.** Volume 4, Issue 3, Pages 115-120. December, 2017.

NEVES, L. F.; GUIMARÃES, T. C. da C.; MOREIRA, F. D.; CASAGRANDE, C. G. Análise da Iluminação Circadiana e Adequação às Normas brasileiras em Ambientes Residenciais. **Revista Latino-americana de Ambiente Construído & Sustentabilidade**, [S. l.], v. 5, n. 23, 2024. DOI: 10.17271/qs3znd49. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/rlaac_sustentabilidade/article/view/5380. Acesso em: 5 jan. 2025.

OPTIVISTA. **Bayer.** Olho Humano. 2024. Disponível em: <https://www.optivista.com.br/olho-humano/olho-humano>. Acesso em: 03 jan. 2025.

PHILIPS. Para profissionais. Home. Produtos. Lâmpadas e fitas LED. Bulbo. Standard LED Bulbs. Folheto da Família. 2024. Disponível em: https://www.lighting.philips.com.br/prof/lampadas-e-fitas-led/bulbo/LEDBULB_CA/category. Acesso em: 15 set. 2024.

REA, M. S.; NAGARE, R.; FIGUEIRO, M. G. Predictions of melatonina suppression during the early biological night and their implications for residential light exposures prior to sleeping. **Nature, Scientific Reports.** <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70619-5>. 2020.

REZENDE, R. F.; REZENDE, V. L. F. M. O Campus da Universidade Federal de Juiz de Fora, a contribuição de um projeto moderno para uma cidade contemporânea. **Docomomo Brasil.** Rio de Janeiro, 2016. Disponível

em:<<http://docomomo.org.br/wp-content/uploads/2016/01/139.pdf>>. Acesso em: 14 março. 2025

SANTOS, L. F.; PEREIRA, C. J. Composição de cores através da calibração radiométrica e fotométrica de LEDs: Teoria e experimento. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, 2314. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Ms6RMysjPRwgTsYhM88Ntgd/#>. Acesso em: 01/08/2024.

SCARINCI, A. L.; MARILEI, F. O modelo ondulatório da luz como ferramenta para explicar as causas da cor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, 1309. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/69cJCxLXKMFgcWhGnHcd5rC/>. Acesso em: 1/08/2024.

SOARES FILHO, Ruy Barbosa. **Resposta humana à luz: alterações não visuais e o projeto luminotécnico residencial com LEDs**. 2018. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

SOLAR. **Software**: Analysis SolAr. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). Universidade Federal de Santa Catarina. 2025.

SOUZA, M. de O. R. **O programa MEC/BID III e o CEDATE na consolidação dos campi universitários no Brasil**. Dissertação Mestrado, Universidade Federal de Juiz de Fora. 131 f.: il. Juiz de Fora, MG, 2013.

STELLA. **Blog STELLA descomplica**. Você sabe a diferença entre fluxo, intensidade e eficiência luminosa?. 2024. Disponível em: <https://stella.com.br/blog/detalhes/4?diferenca-fluxo-intensidade-eficiencia-luminosa>. Acessado em: 12/07/24.

UFJF. Notícias. Arthur Arcuri: o campus e a genialidade de um engenheiro com alma de arquiteto. UFJF 60 anos. **Editoriais**. 13 de outubro de 2020. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/noticias/2020/10/13/arthur-arcuri-o-campus-e-a-genialidade-de-um-engenheiro-com-alma-de-arquiteto/>. Acessado em: 15/03/2025.

UNIPOTÊNCIA. Temperatura de cor é importante na escolha da lâmpada LED. **Revista Potência**. Universidade Potência Educação. 2019. Disponível em: <https://revistapotencia.com.br/portal-potencia/iluminacao/temperatura-de-cor-e-importante-na-escolha-da-lampada-led/>. Acessado em: 15/07/2024.

ZENITE.NU. **Revista eletrônica**. Astronomia no Zênite: 25 anos e divulgação científica. Glossário. Azimute. 2024. Disponível em: <https://zenite.nu/glossario/azimute>. Acessado em: 25/09/2024.

WALKER II, W. H.; BORNIGER, J. C; DIAZ M. M. G.; FERNANDEZ, O. H. M.; PASCOE, J. L.; DEVRIES, A. C.; NELSON, R. J. Acute exposure to low-level light at night is sufficient to induce neurological changes and depressive-like behavior.

Molecular Psychiatry, 25(5), pp. 1080–1093. 2020.
<https://www.nature.com/articles/s41380-019-0430-4>

WELL. **WELL certified**. About us. People – First Places. 2025. Disponível em:
<https://www.wellcertified.com/about-iwbi/> . Acessado em: 05/06/2025.