

ILUMINAÇÃO NATURAL EM AMBIENTES DE APRENDIZAGEM: UMA ANÁLISE DAS SALAS DE CURSINHOS PRÉ-VESTIBULARES E DO RITMO CIRCADIANO DOS ALUNOS

Mariana Campos Chaim (IC) e Erika Ciconelli de Figueiredo (Orientador)

Apoio: PIBIC Mackpesquisa

RESUMO

Este trabalho tem como finalidade investigar a iluminação natural em salas de aula de Cursos Pré-Vestibulares, a fim de estabelecer relações entre a disponibilidade de luz natural, qualidade de aprendizado e aprovação nas melhores universidades do país. Foram selecionadas três instituições nas cidades de São Paulo e Piracicaba, nas quais foram feitas medições *in loco* da iluminância e simulações nos *softwares* Relux, para melhor compreensão do comportamento da luz natural no interior da sala de aula em diferentes períodos do ano, e ALFA, para analisar os efeitos não-visuais da luz e sua influência no ritmo circadiano. A iluminação natural é a principal reguladora do ritmo circadiano, o relógio biológico do organismo, e efeitos não-visuais podem ser desencadeados a partir de uma adequada exposição a ela. A partir das medições e simulações analisou-se o comportamento da luz natural no ambiente interno da sala de aula, evidenciando como a iluminação natural não se distribui de maneira uniforme, principalmente no caso de aberturas concentradas em apenas uma das paredes. As simulações com o *software* ALFA evidenciaram a importância da iluminação adequada (natural e artificial) para a promoção de um ambiente que estimule o estado de alerta dos alunos e, conseqüentemente, o aprendizado, sendo a iluminação natural, na maioria dos casos, a fonte de luz mais eficaz. Por fim, constatou-se a necessidade de pesquisas mais aprofundadas e com maior participação dos alunos para comprovar a influência da iluminação natural nas aprovações dos alunos.

Palavras-chave: iluminação natural, ritmo circadiano, escola, ALFA

ABSTRACT

This research paperwork aims to investigate conditions of daylighting in Preparatory Courses' classrooms to establish correlations between daylight availability, learning skills and exam approvals at the best universities of the country. Three institutions were selected in cities of São Paulo and Piracicaba, where illuminance measurements *in loco* were taken and simulations in Relux, a software that was made to further understand daylight's behavior inside a classroom at different times of the year, and ALFA, a software that analyze lighting non-visual effects and its influence on circadian rhythm. This research presents a study on daylight as the main regulator of circadian rhythm (biological clock of human's organism) and its non-visual effects as well. The analysis' results presented daylight behavior in different classrooms, showing how daylight is not uniformly distributed, especially when their windows are

concentrated in only one of the existing walls. Simulations with ALFA tool showed the importance of adequate lighting (daylight and electric light) for the promotion of an environment that stimulates students' alertness and, consequently, learning skills, in which daylighting is, overall, the most effective light source. To conclude, further information and research are required to prove daylighting's influence on student approvals.

Keywords: Daylight, circadian rhythm, school, ALFA

1. INTRODUÇÃO

A iluminação natural afeta de forma significativa a atividade humana, influenciando, inclusive, na capacidade e disposição para aprender (BERTOLLOTTI, 2007). As lâmpadas fluorescentes, que surgiram na década de 40 (WILLIS, 1995), transformaram completamente a relação do homem com o ambiente de habitação e trabalho (EDWARDS; TORCELLINI, 2002). A independência dos recursos naturais, como iluminação e ventilação naturais, gerou uma revolução nos projetos de arquitetura. A configuração do edifício e a distribuição interna dos ambientes não estavam mais atreladas aos recursos naturais, e estavam sujeitas apenas à própria criatividade do projetista ou às questões de cunho financeiro, como o valor da locação (WILLIS, 1995 apud FIGUEIREDO, 2011). A partir da década de 70, com a crise do petróleo, as preocupações com o consumo de energia e questões ambientais deram espaço para a revalorização da iluminação natural (KREMER, 2002) e questões relacionadas ao bem-estar.

Luz, saúde e desempenho apresentam correlações positivas: a luz natural é o principal indicador do tempo ambiental, que afeta e regula o ritmo circadiano nos seres humanos (LOCKLEY; PECHACEK; ANDERSEN, 2008). Os seres humanos evoluíram sobre a influência da iluminação natural e do ciclo claro-escuro, desenvolvendo respostas fisiológicas e psicológicas às variações da luz do dia (ARIES; AARTS; VAN HOOFF, 2013). Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a variabilidade da luz natural proporciona ao homem noções de tempo, enquanto as diferentes intensidades de luz, sombras e reprodução de cores da luz natural configuram informações importantes para a regulação de seu relógio biológico.

Estudos comprovam os efeitos positivos da iluminação natural em ambientes internos, especialmente em espaços ocupados por longos períodos como escritórios, casas, quartos de hospitais, escolas dentre outros (ÁLVAREZ, 2020). Edwards e Torcellini (2002), analisando hospitais, edifícios de escritórios e escolas realizaram estudos sobre os benefícios da iluminação natural, dentre eles: redução do absenteísmo, aumento de produtividade, diminuição da ocorrência de dores de cabeça, SAD¹ e fadiga ocular, além da melhora da tensão mental, física e de estados psicológicos, fisiológicos e redução dos níveis de estresse.

Os fatores relacionados às condições ambientais exercem um papel de destaque na assimilação do conhecimento, e, portanto, boas condições de iluminação favorecem o desempenho visual, otimizando o processo de aprendizagem (BERTOLLOTTI, 2007). Segundo Plympton, Conway e Epstein (2000), a iluminação natural nas escolas pode melhorar os resultados dos alunos em testes, a saúde e o desenvolvimento físico. Dessa forma, alguns

¹ SAD = *Seasonal Affective Disorder*, uma forma de depressão que apresenta um padrão temporal característico, ocorrendo principalmente no outono e inverno.

questionamentos sobre cursos pré-vestibulares foram levantados. As salas de aulas dos cursos pré-vestibulares possuem uma iluminação adequada, do ponto de vista do ritmo circadiano, para que possam promover a máxima concentração, foco e disciplina dos seus alunos? Pode-se traçar um paralelo entre aprovação em universidades e qualidade da luz das salas de aula?

Visando o estudo e a investigação das indagações acima descritas o objetivo deste trabalho é analisar, no mínimo, duas salas de aula de diferentes cursinhos pré-vestibulares para verificar a possibilidade de relacionar o desempenho e aprovação dos alunos e a quantidade e a qualidade de iluminação natural disponível nas salas de aula. Entende-se, obviamente, que há mais fatores determinantes para a aprovação do estudante, no entanto, esta pesquisa busca investigar as questões relacionadas ao desempenho dos alunos e a qualidade e a quantidade da luz natural disponível nas salas de aula. A pandemia durante a pesquisa trouxe algumas limitações ao trabalho, pois não foi possível fazer entrevistas *in loco*. Outra limitação foi a obtenção do nível de aprovação dos cursinhos, objetos de estudo desta pesquisa. Contudo, por meio da leitura de artigos específicos e uso do *software* ALFA (*Adaptive Lighting for Alertness*), recém-lançado pelo Solemma, ligado ao MIT, foi possível obter respostas em relação ao problema da pesquisa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A luz natural que atinge um edifício é formada pela luz diretamente vinda do sol (raios solares), luz difusa da atmosfera e luz refletida do chão e de outras superfícies (DAYLIGHTING IN BUILDINGS, 1994). A iluminação natural é influenciada pelas condições do céu, podendo variar, portanto, desde a incidência direta de sol (luz intensa) ao céu encoberto com nuvens (luz difusa e suave) (BENYA *et al.*, 2003).

A quantidade e a qualidade da iluminação natural em qualquer lugar variam de acordo com a hora do dia, época do ano e condições meteorológicas. A quantidade de luz natural que um edifício recebe também depende do entorno imediato (orientação e inclinação do terreno, presença ou ausência de obstruções e a refletividade das superfícies próximas) (DAYLIGHTING IN BUILDINGS, 1994).

Pode-se distinguir os critérios de iluminação em dois aspectos: os aspectos qualitativos e os quantitativos. Os aspectos qualitativos da iluminação estão relacionados com a sensação global de conforto dos usuários enquanto os aspectos quantitativos são avaliados de acordo com os valores de iluminâncias disponíveis no plano de trabalho (SANTOS, 2002).

A luminância do campo de visão do observador é um dos principais indicadores da qualidade da iluminação de um ambiente. Ela é medida na direção das zonas onde são realizadas tarefas visuais, nas suas proximidades e na direção das superfícies afastadas.

Outros fenômenos que afetam a qualidade da iluminação são a reflexão e a incidência de luz solar, as quais podem ocasionar ofuscamento, incomodidade e desconforto visual (SANTOS, 2020).

Para a determinação de aspectos quantitativos da luz, é utilizada a medida da iluminância. Expressa em lux, a iluminância indica a quantidade de luz (lúmens) por unidade de área (m²) que incide sobre um determinado ponto (GARROCHO, 2005).

Na década de 1890, a comprovação de doenças relacionadas à falta de luz evidenciou que existem efeitos não-visuais relacionados às questões de iluminação. O impacto da luz na saúde humana é evidente, mas ainda há muito o que ser estudado, principalmente acerca de questões não-visuais: um maior nível de iluminação nos olhos pode, por exemplo, aumentar o estado de alerta, o bem-estar e a produtividade (DIAS *et al.*, 2014).

De acordo com Benya *et al.* (2003), a visão humana é possibilitada por dois sistemas visuais distintos, os cones e os bastonetes, que funcionam de formas diferentes, mas em conjunto para possibilitar a visão. Os bastonetes contribuem para a visão periférica, estão distribuídos uniformemente pela retina e são particularmente efetivos em baixos níveis de iluminação. Eles são mais sensíveis à tons cinzas e ao movimento, sendo encontrados na maioria dos animais. Os cones permitem a visualização de cores, e estão concentrados em sua maioria na pequena área central da retina, chamada fóvea. O sistema focal direciona o centro da nossa atenção enquanto o sistema periférico é responsável pelo contexto visual. Quando os níveis de iluminância se tornam muito baixos para os cones, os bastonetes na visão periférica tomam o controle da situação (BENYA *et al.*, 2003).

O sistema do olho humano também funciona para redefinir o relógio biológico (ritmo circadiano), sincronizando-o com o horário local. O sistema circadiano é o responsável por regular o organismo, deixando-o em sincronia com as 24 horas do ciclo de luz e sombra. Dessa forma, o ciclo circadiano regula as respostas fisiológicas e neuroendócrinas humanas, como os ciclos de sono-vigília, estado de alerta, temperatura corporal central, pressão arterial e produção de melatonina e cortisol (JUNG; INANICI, 2018). Nota-se, portanto, que a luz que incide na retina tem um profundo efeito sobre a nossa saúde e bem-estar (FIGUEIRO; NAGARE; PRICE, 2017).

Mecanismos fotorreceptores e as bases do Sistema Nervoso Central atuam nas respostas visuais e não-visuais à luz (LOCKLEY; ARENDT; SKENE, 2007). O olho humano possui células fotorreceptoras sensíveis à uma faixa do espectro luminoso, as quais não estão relacionadas à percepção visual de imagem. Elas são chamadas de células ganglionares da retina intrinsecamente fotossensíveis (ipRGCs) e estão relacionadas à ativação e sincronização do ritmo circadiano (FONSECA, 2020).

Uma nova opsina, a melanopsina, foi identificada nas células ganglionares fotossensíveis da retina (ipRGCs), que são sensíveis à luz e comunicam esses efeitos não-visuais da luz. Essas células são mais sensíveis a comprimentos de onda curtos (espectro azul), aproximadamente quatrocentos e oitenta nanômetros (480 nm), sendo que os aspectos de absorção da melanopsina se diferem do espectro de absorção de cones ou bastonetes (fotorreceptores tradicionais contidos na retina). O ritmo circadiano e os efeitos de estado de alerta da luz são estimulados pelos comprimentos de onda curto, sendo, portanto, compatíveis com a melanopsina, sugerindo assim sua atuação na influência no ritmo circadiano e nos demais efeitos não-visuais da luz (LOCKLEY; ARENDT; SKENE, 2007).

Estudos evidenciam que tanto os fotorreceptores como os ipRGCs estão envolvidos na fototransdução circadiana, processo usado pela retina para converter luz em sinais elétricos para o sistema nervoso central. Os bastonetes indiretamente controlam o limiar absoluto do caminho da síntese de fototransdução circadiana através do neurônio All amácrino, o principal neurônio que direciona os sinais dos cones e bastonetes para as células ganglionares. Os cones são os fotorreceptores dominantes da entrada fótica para as células ganglionares a partir de níveis elevados de luz (nos quais os bastonetes se encontram saturados): sua participação se deve através dos neurônios bipolares azuis e amarelos (b-y), os quais fornecem dados fóticos para o sistema circadiano por meio de sinapses com os ipRGCs. Apenas os sinais dos *S-Cones* (*short wavelength sensitive*) são capazes de diretamente relacionar a luz às respostas dos ipRGCs e um segundo tipo de neurônio amácrino restringe o reconhecimento dos ipRGCs apenas para o sinal azul do espectro bipolar b-y (FIGUEIRO; NAGARE; PRICE, 2017).

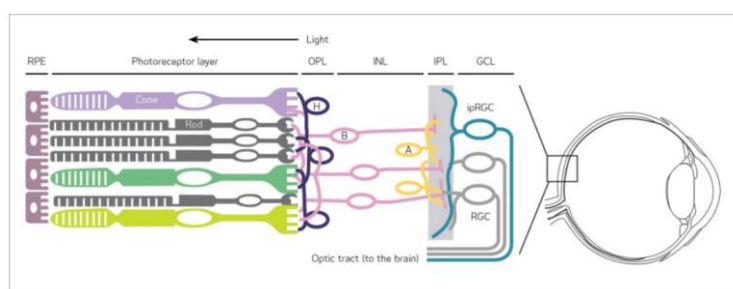


Figura 1 - Detalhe da retina do olho humano (FIGUEIRO; REA, 2017apud *Lighting Research Center*)

O conteúdo espectral, a intensidade da luz natural e artificial afetam o relógio biológico. Dessa forma, a habilidade de se medir a quantidade de luz circadiana em ambientes externos, comparada a ambientes internos é essencial para entender os impactos de decisões projetuais e desenvolver manuais e recomendações sobre a luz circadiana (JUNG; INANICI, 2018). Um espaço iluminado com luz natural passará por diferentes condições de luz ao longo do dia e do ano, exclusivas para cada edifício e local. Desse modo, de acordo com o nível de iluminação a que é exposto e conjuntamente com as características do espaço projetado

(posição, tamanho, orientação e tipo de aberturas), pode-se dizer que cada ambiente apresenta um potencial circadiano (ANDERSEN; MARDALJEVIC; LOCKLEY, 2011).

O potencial circadiano do espaço visa determinar como, quando e em que medida o ciclo circadiano de um indivíduo é influenciado pelo ambiente no qual se encontra. Ele é influenciado pelo modo como o espaço é ocupado, uma vez que a iluminação será circadiana de acordo com o modo pelo qual é detectada, variando, portanto, com (1) os hábitos que o indivíduo tem de olhar ou não em direção à luz e (2) a magnitude da iluminação difusa do ambiente, resultado de reflexões das superfícies do espaço (ANDERSEN; MARDALJEVIC; LOCKLEY, 2011).

Desse modo, de acordo com Fonseca (2020) o ambiente iluminado não é suficiente para o estímulo circadiano, pois a direção do olhar se mostra muito importante: em uma sala com janelas laterais, o estímulo circadiano ocorreria nos indivíduos que olham em direção das aberturas, como evidenciado pela figura 2 a seguir. Cada círculo representa uma pessoa, e o estímulo circadiano só aconteceria com o olhar nas direções em amarelo, ou seja, em direção às janelas.

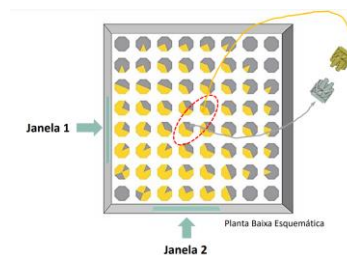


Figura 2 - Planta baixa esquemática de uma sala com duas aberturas (FONSECA, 2020).

Pesquisas de BOUBEKRI *et al.* (2014) sobre a análise da influência de ambientes de trabalho com e sem janela na exposição à luz, sono, atividades físicas, e qualidade de vida, demonstraram que indivíduos em ambiente com janelas apresentaram maior exposição à luz, melhores qualidades de sono, mais atividades físicas, e maiores taxas de qualidade de vida que indivíduos em ambientes sem janelas. Sono insuficiente ou qualidade reduzida foram associados a níveis mais elevados de cortisol à noite, metabolismo de glicose prejudicado, aumento de apetite devido à diminuição de níveis de leptina e índice massa corporal mais alto. Além disso, aumento da fadiga, deterioração do desempenho e da concentração mental apresentados podem levar ao aumento das taxas de erros e riscos de lesão (BOUBEKRI *et al.*, 2014).

Estudos de West *et al.* (2011), avaliaram a luz de comprimento de onda curto para investigar em que ocasiões seria possível induzir a supressão da melatonina, utilizando para isso indivíduos expostos a iluminâncias que variaram entre os índices de 0,09 – 562 lux de uma luz de LED 469 nm e uma luz branca fluorescente de 4000K. Constatou-se que,

considerando a mesma fonte de luz, os valores mais altos de irradiância apresentaram supressão de melatonina mais significativa que os índices inferiores: a irradiância de 18,7 lux apresentou maior supressão de melatonina que as irradiâncias nos índices 0,09, 0,47 e 1,87 lux enquanto que a iluminância de 9,4 lux resultou uma supressão mais significativa do hormônio que o índice mais baixo 0,09 lux (WEST *et al.*, 2011 apud FIGUEIRO; NAGARE; PRICE, 2017). Comparando-se as duas fontes de luz, os autores contataram:

Para a fonte fluorescente branca de 4000 K, um irradiância de 40mW/cm² (85,4 lux) induziu uma supressão de melatonina que foi: (1) significativamente menor do que a registrada para 300 e 600mW/cm² (281 e 562 lux, respectivamente) de luz LED 469nm, (2) significativamente maior do que para a irradiância mais baixa do LED 469nm de 0,1mW/cm² (0,09lux), e (3) não é significativamente diferente das irradiâncias do LED de 0,5 a 75mW/cm² (0,47 até 70,2lux, respectivamente) (WEST *et al.*, 2011 apud FIGUEIRO; NAGARE; PRICE, 2017, p.43).

Em seus estudos, Andersen, Mardaljevic e Lockley (2011), determinaram valores mínimos para a probabilidade de uma determinada exposição à luz desencadear efeitos no estado de alerta do organismo. Determinou-se, para isso, a iluminância circadiana equivalente a um dado valor de iluminância (visual) para fontes variadas de luz, estabelecendo assim uma correlação entre grupos de iluminantes conhecidos (i.e., tipos de fontes, como lâmpadas ou céu com e sem sol) e os estados de alerta subjetivos (figura 04). Os autores aproximaram a iluminação natural à três componentes padrões da CIE, *Commission Internationale de l'Eclairage*: D55 para a incidência solar direta, D65 para as condições de céu encoberto e D75 para um céu azul aberto. Os iluminantes definidos pela CIE estão relacionados com a matiz de cor do céu: D55 apresenta matiz cor 5500K, o D65 possui matiz de cor 6500K e o D75, 7500K (ver figura 03). Nos estudos de Andersen, Mardaljevic e Lockley (2011), os autores aproximaram tais características de coloração do céu às condições de céu acima descritos.

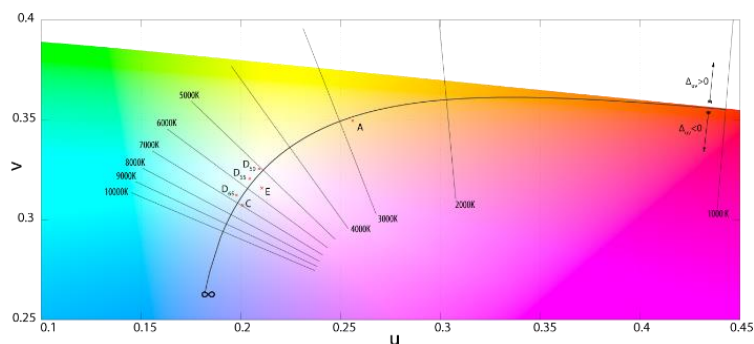


Figura 3 - linhas de temperatura relacionada aos padrões de iluminantes da CIE

A partir da figura 04, observa-se que a iluminância equivalente-circadiana mínima de 300lx para a luz fluorescente de 4100K - que resultou em 100% de alerta segundo estudos de Cajochen *et al.* (2000) apud Andersen; Mardaljevic; Lockley (2011) - seria equivalente a 190lx

para o iluminante D65 da CIE (céu encoberto). Da mesma forma, a iluminância equivalente-circadiana mínima de 210lx do iluminante D55 da CIE (luz do sol) seria equivalente a 180lx para o iluminante D75 da CIE (céu aberto) (ANDERSEN; MARDALJEVIC; LOCKLEY, 2011).

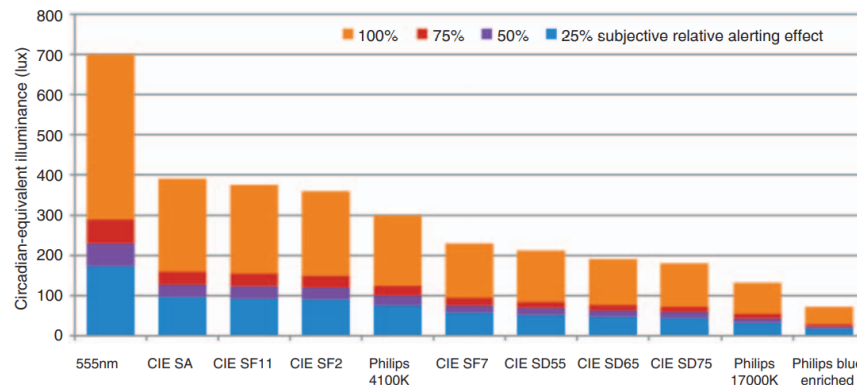


Figura 4 - Iluminâncias necessárias para ocasionar efeitos no estado de alerta. No gráfico são apresentadas as iluminâncias circadianas que induzem à 100% de alerta (laranja), 75% de alerta (vermelho), 50% de alerta (roxo) e 25% de alerta (azul claro) (ANDERSEN; MARDALJEVIC; LOCKLEY, 2011).

Segundo Miller e Irvin (2019), uma nova métrica espectral passou a ser utilizada para avaliar as consequências da luz relacionadas à saúde, bem-estar e estados de alerta, relaxamento ou sono: são as relações melanópicas/fotópicas (M/P). Visão fotópica é a designação dada à sensibilidade do olho em condições de intensidade luminosa que permitam a distinção das cores. Essa relação compara o potencial melanópico (referente aos ipRGCs) com a capacidade da fonte de luz de produzir luz apropriada para a visão de detalhes no período diurno (fotópica). Pesquisas evidenciam que quanto mais energia é emitida na faixa espectral à qual as ipRGCs são mais sensíveis (480nm), maior é o potencial de alerta da fonte de luz; por outro lado, quanto mais baixa a relação M/P, melhor são as condições para o sono.

O *software* de simulação ALFA, *Adaptive Lighting for Alertness*, recentemente desenvolvido pela empresa Solemma, ligado ao MIT, permite a previsão e o controle dos efeitos não-visuais da luz, a fim de criar ambientes mais seguros, saudáveis e produtivos. Este programa apresenta em seus resultados a relação M/P para avaliar o espectro de luz do ambiente simulado:

A ferramenta ALFA pode prever a quantidade de luz absorvida pelos fotorreceptores não-visuais de um observador, dado sua localização e direção de visão. Uma vez que esses receptores absorvem luz a partir da melanopsina, a quantidade é referida como Lux Melanópico Equivalente, ou EML. Usando o ALFA, pode-se prever rapidamente o EML para uma série de

posições de visualização em qualquer ambiente de iluminação, o que permite calcular créditos de iluminação circadiana WELL² (HAUER *et al.*, 2019).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método adotado envolveu abordagens quantitativas e qualitativas a respeito da iluminação natural em ambientes de salas de aula de cursos pré-vestibulares. Como a pesquisa envolveu instituições que se mostraram relutantes em participar, para maior aceitação e conforto dessas instituições definiu-se que os seus nomes não seriam revelados, utilizando-se assim pseudônimos em letras (A, B, C) para se referir a elas.

A abordagem quantitativa desta pesquisa envolveu a seleção das instituições convidadas a participar do projeto, levantamento de suas salas de aula, medição da iluminância presente nas mesmas (considerando apenas a condição de iluminação natural), além de simulações computadorizadas.

Primeiramente foi realizado um levantamento dos cursos pré-vestibulares a serem estudados em São Paulo, considerando-se as instituições que apresentam maior índice de aprovação de alunos nas melhores Universidades do país. Os contatos com as instituições foram feitos via e-mail, telefone e visita ao local, a fim de explicar a importância da pesquisa e convencê-las a participar do projeto. Infelizmente, houve relutância e desconfiança por parte das instituições em colaborar com a pesquisa: apenas um dos cursos pré-vestibulares de São Paulo se mostrou interessado em participar. Essa instituição será designada como “A”. O projeto se estendeu então para Piracicaba, cidade localizada no interior do estado de São Paulo. Dos cursinhos selecionados, duas instituições (denominadas por essa pesquisa como “B” e “C”) concordaram em participar do projeto. As demais instituições se recusaram, mesmo após o contato presencial.

O método empregado foi: 1- Levantamento das características das salas de aula, com a finalidade de produção de desenhos (plantas, cortes e elevações) de cada ambiente estudado. Para o levantamento foram utilizadas trenas manuais e a laser, para maior precisão de informações. Os levantamentos foram feitos nos períodos de intervalo das aulas das instituições, durante o horário de almoço e final das aulas, para não interferir no cronograma

²A WELL *Building Certification* é um sistema de certificação de sustentabilidade de edificações, que segue parâmetros de saúde e bem-estar dos ocupantes. São consideradas sete conceitos: ar, água, alimentação, iluminação, aptidão física, conforto e mente (CHAVES, 2020). Em 2016 o *Well Being Institute* publicou um guia que inclui condições para o projeto de iluminação circadiana baseada na medida da Iluminância Melanópica Equivalente (EML). Ele estabelece que em ambientes de trabalho com luz natural, 75% das mesas deve atingir no mínimo 200 EML entre as 9h00 e as 13h00 por dia (HAUER *et al.*, 2019).

da instituição. 2- Medição da iluminação natural das salas (quando possível) em cinco pontos, com um luxímetro calibrado, sendo um ponto no exterior da sala de aula e os outros 4 distribuídos pelo interior do ambiente. Os pontos foram definidos a partir de critérios que permitissem a adaptação para o formato de cada sala de aula e de forma que se entendeu que seria possível avaliar a sala de acordo com a distribuição da luz natural: um ponto no exterior, para verificar a iluminância média do dia; o segundo ponto no interior da sala, bem próximo ao vidro, para verificar transmissão luminosa do vidro; o terceiro ponto a exatamente um metro da parede com aberturas, para verificar a distribuição luminosa a partir de um metro; o quarto ponto ao meio da sala e o quinto ponto na parede oposta à janela, para assim verificar o decréscimo da luz natural na sala e, assim, relacioná-los com os planos de trabalho (carteiras dos alunos). Os pontos internos foram localizados de modo que formassem uma reta perpendicular à parede das janelas. As medições foram feitas durante um dia com céu claro, sem nuvens, no período da manhã, em horários que variaram entre 9h e 12h (a depender da sala) nos dias 15 de fevereiro de 2020 (Instituição B) e 7 de março de 2020 (Instituição C). 3- Desenvolvimento de modelos 3D das salas de aula nos *softwares* de arquitetura SketchUp, para as simulações no programa ALFA. 4- Desenvolvimento de modelos 3D no programa Relux para simulações de iluminação natural e artificial. 5- Simulações utilizando o *software* ALFA, a partir das modelagens no programa SketchUp, para avaliar os estímulos aos efeitos não-visuais em cada sala de aula. Foram realizadas a simulação de três salas, sendo uma de cada instituição estudada para o dia 21/03 às 9h, com céu claro. Como as aberturas das salas nas quais foram feitas as simulações estão voltadas para nordeste e sudoeste, a escolha do dia foi feita em função do equinócio, que é o período do ano que o sol se encontra em uma trajetória intermediária entre o inverno (momento do ano que o sol está mais baixo no céu) e o verão (quando o sol está mais alto no céu, atingindo 90° ao meio-dia). O horário foi estabelecido em função do horário de aula de ambas as instituições: o período matutino era comum entre elas. 5- Discussão dos resultados. 6- Considerações finais.

O programa ALFA, um plugin do software de modelagem Rhinoceros 3D, faz a avaliação da iluminação no plano vertical, diretamente na altura do olho dos ocupantes do ambiente (1,20m a partir do piso acabado). O programa também desenvolve a simulação para o plano horizontal (a 0,76 m do piso acabado), para que seja possível entender todo o contexto da simulação. Os materiais disponíveis no programa já trazem uma indicação da relação M/P, indicando que os materiais, além da luz, proporcionam alterações no ritmo circadiano. A Figura 6, a seguir, indica parte da tabela de materiais do programa.

O programa avalia a posição da cabeça dos alunos em 8 direções e as representa com um círculo dividido em 8 partes. Os resultados das simulações são apresentados de duas

formas: estado de alerta (relação M/P) e iluminância melanópica equivalente (*equivalent melanopic lux*). Para esta pesquisa, elegeu-se a análise pelo estado de alerta por possibilitar uma forma mais direta de tratamento dos dados.

O ALFA considera que o estado de alerta ocorre quando $M/P > 0.9$, considerando M a iluminação melanópica e P a fotópica. Quando a relação $M/P < 0.35$ o programa considera que os ocupantes se encontram em um estado de relaxamento, o que implica em uma boa qualidade do sono, o que não é esperado em uma sala de aula. O parâmetro intermediário $0.35 < M/P < 0.9$ indica um estado neutro, ou seja, a quantidade de luz é indiferente em relação ao espectro da luz que estimula o ritmo circadiano. Estes parâmetros da legenda das simulações estão indicados na Figura 5.

O programa avalia o espectro da cor da luz, em relação ao estímulo do estado de alerta. Para as simulações com iluminação artificial foram utilizadas lâmpadas tubulares de LED 4000 K, a mesma temperatura de cor utilizada nas salas de aula. Esta temperatura de cor da luz é mais estimulante para o ritmo circadiano.

Embora o ALFA seja o principal programa na avaliação do ritmo circadiano, outras avaliações foram desenvolvidas no programa Relux, um software suíço que desenvolve cálculos de iluminação natural e artificial. Com ele foi possível compreender a distribuição da luz natural nas salas, de acordo com as características dos ambientes (refletância dos acabamentos, pé direito, transmissão luminosa dos vidros, entre outros).

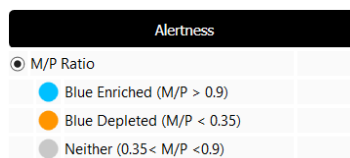


Figura 5 - legenda dos resultados no programa ALFA

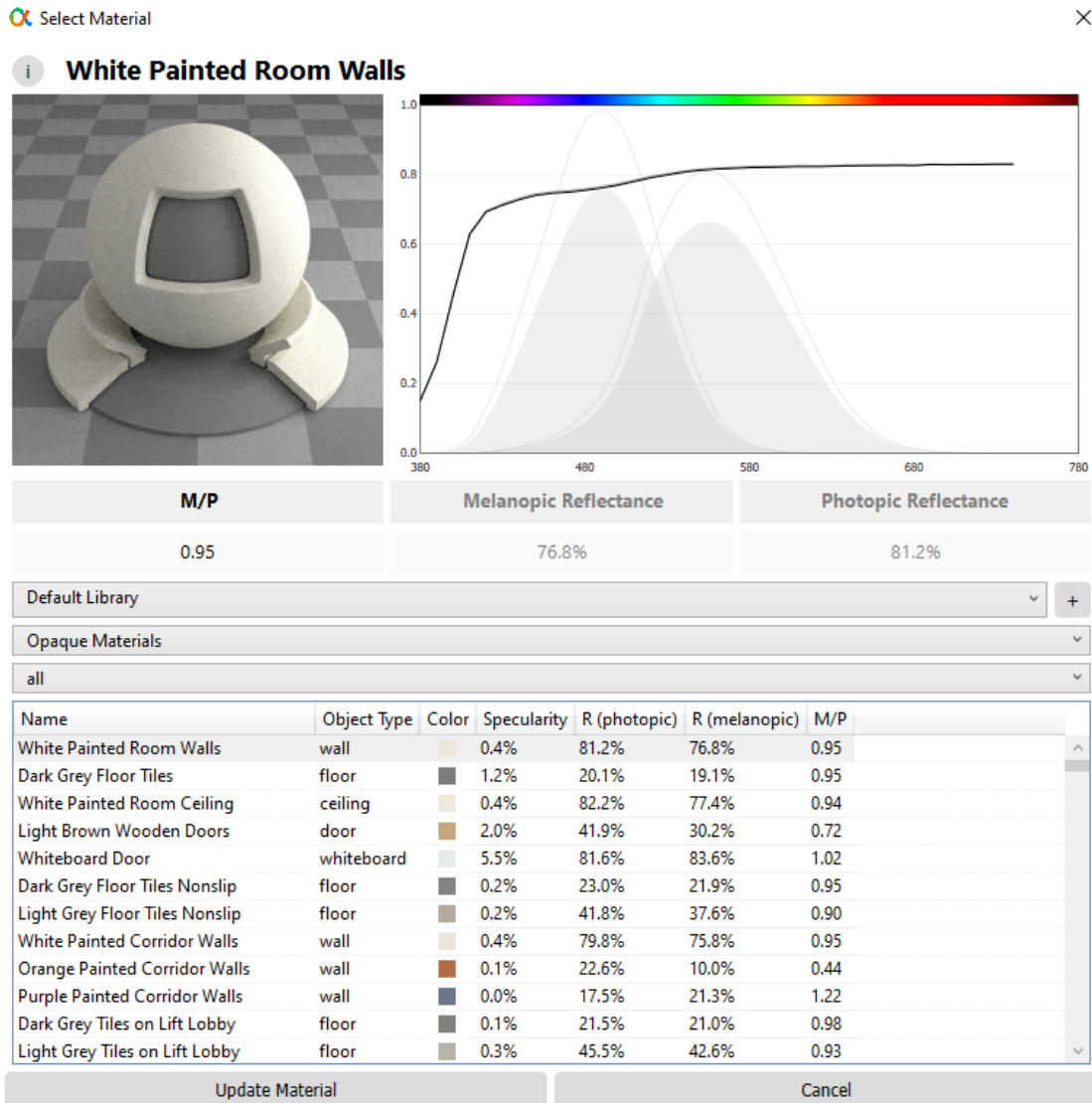


Figura 6 – Tabela de materiais disponibilizada no ALFA para aplicação na simulação. Nota-se que para cada material são fornecidas as relações M/P correspondentes: o material e as cores também influenciam nos estímulos aos estados de alerta.

Instituição A

Foram analisadas e levantadas cinco salas de aula distintas, mas apenas uma foi selecionada para a simulação no programa ALFA, a qual será denominada Sala A-01. Uma importante característica dessa instituição é o fato de suas salas de aula não apresentarem janelas. A avaliação desta instituição foi importante, pois serviu de comparação em relação à avaliação do ritmo circadiano dos alunos em ambientes com e sem janelas.

Sala A-01- A sala de aula apresenta pé direito de 3,0 m, dimensão de 7,46 m por 15,96 m e não possui janelas. Apresenta paredes e teto claros (pintura branca) e piso escuro (carpete na cor verde escuro). A posição da lousa foi representada por uma linha verde.

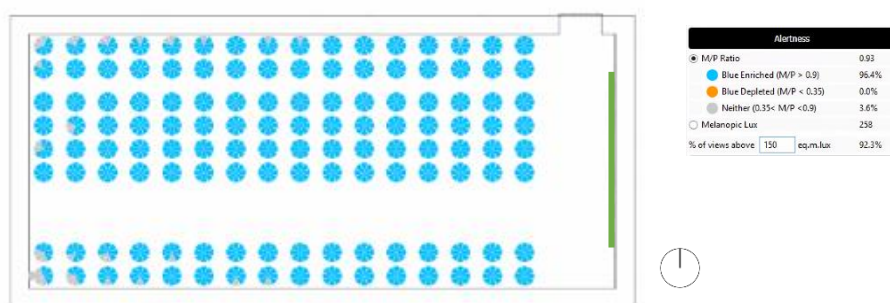


Figura 7 - Simulação (ALFA) do estado de alerta dos alunos na sala com iluminação artificial

Nesta simulação (Figura 7) desenvolvida apenas com iluminação artificial, o estado de alerta (cor azul) atingiu uma porcentagem de 96,4% das vistas e o estado neutro (cor cinza), 3,6%, não apresentando nenhuma vista que estimulasse o estado de sono e relaxamento (0%). Na imagem percebe-se que a sala apresenta condições estimulantes em relação aos efeitos não-visuais da luz, uma vez que o estado de alerta, representado pela cor azul, prevalece por toda a sala e em quase todas as vistas. Embora a sala não apresente possibilidades de iluminação natural, a iluminação artificial proporciona o estímulo ao estado de alerta dos alunos. No entanto, conforme os estudos teóricos realizados, a iluminação natural, com sua intensidade característica e possibilidade de variação dos tons da luz, manteria o estado de alerta ainda melhor, bem como o bem-estar dos alunos na sala.

Instituição B

Localizada na cidade de Piracicaba, apresenta duas salas de aula destinadas a atividades do curso pré-vestibular. Elegeu-se uma delas para as análises e simulações feitas no ALFA, a qual será denominada Sala B-01.

Sala B-01 - A sala de aula apresenta pé direito de 3,05 m e dimensão de 5,93 m por 10,50 m, onde as aberturas estão voltadas para a orientação nordeste e concentradas na parede localizada ao fundo da sala. As janelas apresentam peitoril de 1,20 m, altura total de 1,50 m e vidro transparente (Tvis 80%), o que contribui para a entrada de luz natural. A sala apresenta paredes e teto claros (pintura branca), piso escuro (material vinílico na cor marrom claro com pequenas manchas brancas).

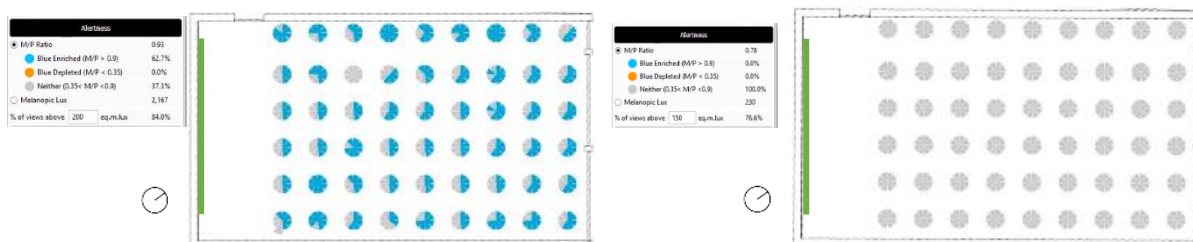


Figura 8 - Simulação (ALFA) estado de alerta dos alunos na sala com iluminação natural (à esquerda); simulação (ALFA) estado de alerta dos alunos na sala com iluminação artificial (à direita).

Na simulação (Figura 8) desenvolvida apenas com iluminação natural, o estado de alerta (cor azul) atingiu uma porcentagem de 62,7% das vistas e o estado neutro (cor cinza), 37,3%, não apresentando nenhuma vista que estimulasse o estado de sono e relaxamento (0%). Observa-se que o estímulo ao estado de alerta foi alcançado em praticamente todas as carteiras da sala, no entanto, prevalecendo a direção do olhar voltado para as janelas, lado oposto à lousa, onde se observou a prevalência do estado neutro para o ritmo circadiano. Em algumas posições mais distantes da abertura observou-se o decréscimo do estado de alerta dos alunos quando estão com os olhos voltados para a lousa. Nestas posições, estima-se que possa haver maior dificuldade de concentração por parte dos alunos.

Na simulação desenvolvida apenas com iluminação artificial, o estado neutro (cor cinza) atingiu a porcentagem de 100% das vistas, enquanto o estado de alerta (cor azul) e o estado de sono ou relaxamento (cor laranja) não foram alcançados (0%). Os resultados evidenciam que a luz artificial presente na sala não foi suficiente para estimular efeitos não-visuais do organismo, promovendo um ambiente que não estimula o estado de alerta dos alunos. Nota-se que essa condição pode configurar um espaço monótono, sem dinamicidade e sem variabilidade de tons da luz, podendo prejudicar o conforto e bem-estar de alunos e professores, assim como os níveis de concentração e assimilação de conteúdo após um longo período.

Instituição C

Localizada em Piracicaba, foram levantadas ao todo quatro salas de aula e elegeu-se uma delas para as análises e simulações feitas no ALFA, a qual será denominada Sala C-01.

Sala C-01 - A sala apresenta configuração retangular com as dimensões de 8,70 m de largura por 11,40 m de comprimento, com um pé direito de 3,20 m. As aberturas ocupam toda a extensão da parede lateral orientada para sudoeste. Elas estão voltadas para um corredor lateral externo, que apresenta um muro de divisa de terreno, com altura aproximada de 2,50m. As janelas possuem vidros transparentes (Tvis 80%) com altura total de 1,98 m. O peitoril tem 1,17 m de altura. Os acabamentos possuem cores claras: as paredes apresentam pintura branca, o teto apresenta forro de PVC branco e o piso é revestido com cerâmica branca.

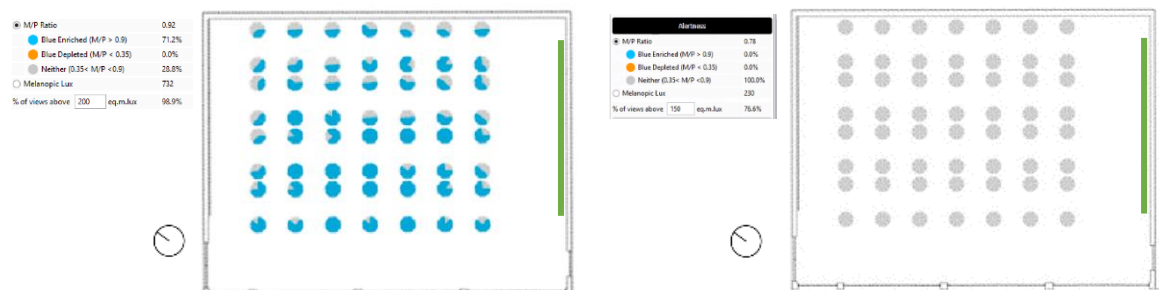


Figura 9 - Simulação (ALFA) estado de alerta dos alunos na sala com iluminação natural (à esquerda); simulação (ALFA) estado de alerta dos alunos na sala com iluminação artificial (à direita).

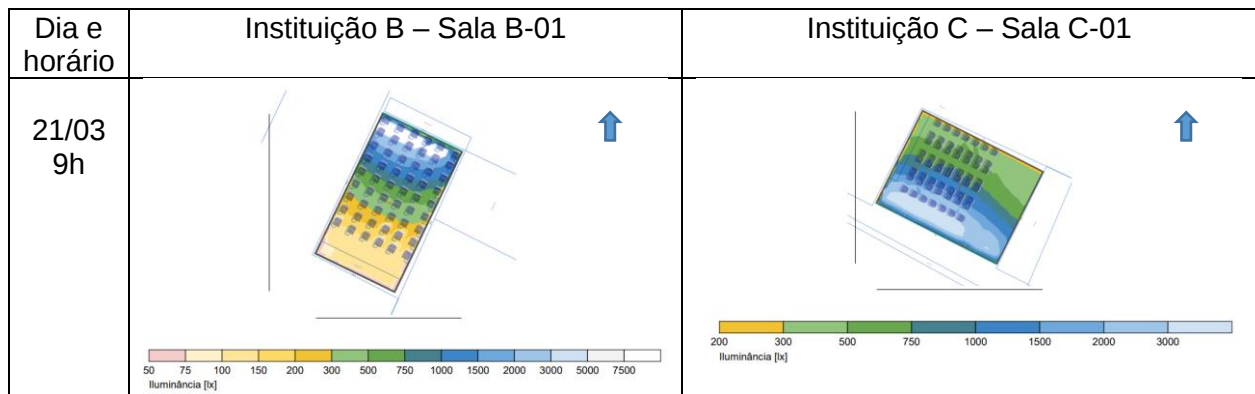
Na simulação (Figura 9) desenvolvida apenas com iluminação natural, o estado de alerta (cor azul) atingiu uma porcentagem de 71.2% das vistas e o estado neutro (cor cinza), 28,8%, não apresentando nenhuma vista que estimulasse o estado de sono e relaxamento (0%). Observa-se que o estímulo ao estado de alerta foi alcançado em todas as carteiras da sala, prevalecendo principalmente na direção do olhar voltado para as janelas. O estado neutro foi observado principalmente nas direções de vistas voltadas ao lado oposto das janelas, na direção da parede lateral e do fundo da sala. Em algumas posições mais distantes da abertura observou-se o decréscimo do estado de alerta dos alunos quando estão com os olhos voltados para a lousa. Nestas posições, estima-se que possa haver maior dificuldade de concentração por parte dos alunos. Os resultados atingidos evidenciam a eficácia da luz natural em estimular o estado de alerta dos alunos. Nota-se que os alunos mais próximos das janelas são mais beneficiados, pois apresentam mais direções de vistas nas quais o estado de alerta é ativado, no entanto, algumas posições de carteiras distantes das aberturas também conseguem atingir boa quantidade de vistas com o estado de alerta estimulado, provavelmente devido às reflexões de luz proporcionadas pelos materiais e cores presentes na sala.

Na simulação desenvolvida apenas com iluminação artificial, o estado neutro (cor cinza) atingiu a porcentagem de 100% das vistas, enquanto o estado de alerta (cor azul) e o estado de sono ou relaxamento (cor laranja) não foram alcançados (0%). Os resultados evidenciam que a luz artificial presente na sala não foi suficiente para estimular efeitos não-visuais do organismo, promovendo um ambiente que não estimula o estado de alerta dos alunos, e que pode não estimular o aprendizado, exigindo um esforço maior do aluno. Nota-se que essa condição pode configurar um espaço monótono, sem dinamicidade e sem variabilidade de tons, podendo prejudicar o conforto e bem-estar de alunos e professores, assim como os níveis de concentração e assimilação de conteúdo após um longo período.

As simulações com o software Relux auxiliaram na compreensão e melhor visualização da distribuição da luz natural pela sala, verificada anteriormente nas medições *in loco*. A seguir registra-se um exemplo dessas simulações em cada sala de aula, no mesmo dia e horário definidos para as simulações: 21/03, 9h.

A sala da instituição B, com aberturas voltadas para a orientação nordeste, apresenta a iluminância máxima de 31900 lx, próximo às aberturas onde há incidência solar direta. A instituição C apresenta aberturas voltadas para sudoeste e a iluminância máxima foi de 3810 lx na simulação computadorizada. A orientação da abertura é fundamental na qualidade da luz resultante no ambiente interno. Embora a Instituição C possua uma abertura maior, sua

orientação permite a entrada de mais luz difusa do que luz solar direta a maior parte do ano, beneficiando o conforto visual dos alunos. Além disso, devido à sua maior profundidade, a sala B-01 apresenta maior variação de iluminância do que a sala C-01, respectivamente: de 31900 lx até aproximadamente 100 lx em direção à parede oposta e de 3810 lx até aproximadamente 300 lx em direção à parede aposta. Nota-se, portanto, que salas profundas não favorecem a distribuição da luz natural de forma eficiente.



4. RESULTADO E DISCUSSÃO

A etapa inicial desta pesquisa, a busca por instituições que concordassem em participar do projeto, foi difícil e se apresentou repleta de obstáculos, uma vez que a maioria das instituições contatadas se recusou a contribuir. No entanto, a tentativa de contato e algumas visitas às instituições evidenciaram que a maioria dos Cursos Pré-Vestibulares localizados principalmente na cidade de São Paulo não apresentam aberturas que permitam a entrada de iluminação natural em suas salas de aula, um reconhecimento importante a ser feito sobre a realidade das salas de aula dessas instituições e do cotidiano dos alunos que as frequentam.

A pesquisa em campo possibilitou a observação da entrada e distribuição da iluminação natural em várias salas. Observou-se que há variações significativas entre a iluminância medida próximo à abertura e na parede oposta à janela. Na sala de aula mais profunda Instituição B), por exemplo, registrou-se uma redução de 98,80% da iluminância entre o ponto mais próximo à abertura e o mais distante. A variação na iluminância, assim como a variação dos tons da luz natural, pode ser vista de uma forma negativa, quando resulta em ofuscamento, ou de uma forma positiva (quando a entrada da luz é filtrada por uma persiana, por exemplo, um vidro de controle solar ou proteções solares externas), de modo a contribuir com o estado de alerta dos alunos.

Nas salas de aula estudadas, as janelas (quando presentes) se encontram concentradas em uma das paredes laterais ou na parede oposta à lousa. Tal característica de

disposição espacial permite realizar suposições sobre o possível potencial circadiano de cada sala de aula, a partir dos estudos realizados ao longo desse trabalho. Segundo Andersen, Mardaljevic e Lockley (2011), o potencial circadiano do espaço pode ser calculado a partir da média do potencial circadiano dos indivíduos que o frequentam, considerando, para isso, as possíveis direções de vista no espaço como um todo. Dessa forma, a partir desse raciocínio, nota-se que as salas com aberturas laterais possivelmente apresentariam um ambiente com melhor potencial circadiano, isto é, seriam salas que estimulariam o estado de alerta e, consequentemente, a concentração, uma vez que os alunos voltariam seu olhar para a direção da luz natural com maior facilidade e com mais frequência ao longo do dia em relação às aberturas localizadas ao fundo da sala.

Instituição	M/P >0.9	M/P <0.35	0.35< M/P <0.9
A	-	-	-
B	62,7%	0%	37,3%
C	71,2%	0%	28,8%

Tabela 1 - Resultados das simulações ALFA na condição de iluminação natural

Instituição	M/P >0.9	M/P <0.35	0.35< M/P <0.9
A	96,4%	0%	3,6%
B	0%	0%	100%
C	0%	0%	100%

Tabela 2 - Resultados das simulações ALFA na condição de iluminação artificial

A partir do *software* ALFA, foram feitas simulações nas quais pôde-se verificar o raciocínio acima descrito: em ambas as simulações que consideram apenas a iluminação natural o estado de alerta com a posição dos olhos dos alunos voltados para a lousa foi atingido na maioria das posições na Sala C-01, mas em poucas posições na Sala B-01. Isso indica que, além da presença da iluminação natural nas salas, é fundamental que a posição das janelas na sala de aula seja pensada durante a fase projetual. Nota-se também que a sala da instituição C, que apresenta maior área de aberturas, registrou maior porcentagem de vistas que estimulam o estado de alerta dos alunos ($M/P > 0,9$) que a instituição B (Tabela 1).

Nas instituições B e C foram avaliadas condições de apenas iluminação natural e apenas iluminação artificial. Em ambas as instituições, a condição de iluminação natural, mostrou ser a que promove maior quantidade de vistas que despertam o estado de alerta de seus ocupantes ($M/P > 0,9$) (Tabela 1), evidenciando a eficácia da luz natural no estímulo dos estados de alerta do organismo, alcançando até mesmo os alunos mais distantes da parede com aberturas. Nas simulações com o *software* Relux, as salas dessas instituições atingiram uma boa média de iluminância (21/03 – 9h): 1700 lx (Sala B-01) e 1260 lx (Sala C-01).

A condição de apenas iluminação artificial nas salas das Instituições B e C se mostrou a pior, deixando os alunos em um estado neutro ($0,9 > M/P > 3,5$) que não influencia o ritmo circadiano (Tabela 2).

Na instituição A foi avaliada apenas a condição de iluminação artificial, uma vez que a sala não apresenta janelas. A simulação feita pelo ALFA registrou boa porcentagem de vistas que estimulam o estado de alerta ($M/P > 0,9$), provavelmente devido à quantidade e distribuição adequadas das luminárias (Tabela 2). A média de iluminância que atinge o plano de trabalho calculada foi de 387 lx, acima do mínimo estabelecido pela norma ABNT NBR CIE ISO 8995-1:2013 (300lx).

De acordo com simulações e estudos teóricos realizados, estima-se que os alunos que estão mais expostos a luz natural estejam mais propensos ao estado de alerta e, consequentemente, maior a absorção do conteúdo abordado em sala de aula (ARIES; AARTS; VAN HOOFF, 2013). A variação dos tons e intensidade da luz natural promove dinamicidade ao ambiente em comparação com uma sala com apenas iluminação artificial, onde a distribuição e qualidade da luz é monótona (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Uma pesquisa mais aprofundada e com a participação ativa dos alunos dos cursinhos mostrou-se necessária a fim de se investigar mais a fundo suas impressões sobre o ambiente de estudo e ensino que frequentam, e de avaliar a preferência ou não dos mesmos por ambientes com aberturas, para assim relacionar tais impressões com os efeitos não-visuais da luz natural e o ritmo circadiano.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho de iniciação científica investigou a realidade das salas de aula de Cursos Pré-Vestibulares localizados nas cidades de São Paulo e Piracicaba, a fim de analisar a disponibilidade de iluminação natural das salas dessas instituições e estabelecer relações com o ritmo circadiano, a qualidade de aprendizado e aprovações nos vestibulares.

Visando encontrar respostas para as questões que instigaram e nortearam esta pesquisa (qual a relação entre a disponibilidade de luz natural e a aprovação nas Universidades) foram planejados estudos de campo (análise quantitativa), aplicação de questionários aos alunos (análise qualitativa) e simulações. Devido às dificuldades ocasionadas em função da pandemia Covid -19, a análise qualitativa, que permitiria maior investigação em relação ao ritmo circadiano, efeitos não-visuais da luz natural e as impressões dos alunos, não pode ser concluída.

A partir do *software* Relux, que desenvolve simulações computadorizadas de iluminação, e das medições *in loco*, analisou-se o comportamento da iluminação natural no ambiente de sala de aula, evidenciando como a disponibilidade de luz natural pode sofrer grandes variações. Pôde-se observar a diferença de iluminância em locais próximos e distantes às janelas, evidenciando a falta de uniformidade de distribuição da luz pelo

ambiente, principalmente quando a fonte se concentra em apenas uma das laterais da sala, tipologia essa que prevaleceu entre as salas de aula estudadas.

A partir do *software* ALFA, que avalia os efeitos da luz no ritmo circadiano, verificou-se a qualidade do espaço das salas de aula a partir dos efeitos não-visuais gerados pela iluminação: estado de alerta ($M/P > 0,9$); estado neutro, no qual não há influência no ritmo circadiano ($0,35 > M/P > 0,9$); e estado de relaxamento ou sono ($M/P < 0,35$). A iluminação natural disponível na sala de aula, a posição da janela no ambiente, assim como a direção do olhar do aluno, contribui para o estímulo de estados de alerta do organismo, influenciando na qualidade do aprendizado e disposição dos alunos que ocupam o espaço. Em uma mesma sala de aula há lugares e direções de visada que influenciam mais ou menos os estados de alerta, por isso, é essencial que o projeto arquitetônico adote diretrizes que contribuam para um melhor desempenho dos usuários do espaço.

6. REFERÊNCIAS

ÁLVAREZ, Santiago Porras. Natural Light Influence on Intellectual Performance. A Case Study on University Students. *Sustainability*, [S.L.], v. 12, n. 10, p. [S.I.], 20 maio 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su12104167>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/10/4167>. Acesso em: 05 jul. 2020

ANDERSEN, M; MARDALJEVIC, J; LOCKLEY, Sw. *A framework for predicting the non-visual effects of daylight – Part I: photobiology- based model*. *Lighting Research & Technology*, [s.l.], v. 44, n. 1, p.37-53, 13 fev. 2012. SAGE Publications. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1477153511435961>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

ARIES, Mbc; AARTS, Mpi; VAN HOOFF, J. *Daylight and health: A review of the evidence and consequences for the built environment*. ***Lighting Research & Technology***, [s.l.], v. 47, n. 1, p.6-27, 7 nov. 2013. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/1477153513509258>. Disponível em: <<https://bit.ly/39LYz3f>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

BENYA, James *et al.* ***Advanced lighting guidelines***. 3. ed. White Salmon, Wanew: White Salmon, Wanew Buildings Institute, 2003. 445 p. Disponível em: < <https://bit.ly/2Lg1yHO> >. Acesso em: 15 mar. 2019.

BERTOLLOTTI, Dimas. ***Iluminação Natural em projetos de escolas: uma proposta para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia***. 2007. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura, Fauusp, São Paulo, 2007.

BOUBEKRI, Mohamed *et al.* Impact of Windows and Daylight Exposure on Overall Health and Sleep Quality of Office Workers: a case-control pilot study. ***Journal Of Clinical Sleep Medicine***, [S.L.], v. 10, n. 06, p. 603-611, 15 jun. 2014. American Academy of Sleep Medicine (AASM). <http://dx.doi.org/10.5664/jcsm.3780>. Disponível em: <https://bit.ly/2Lg2IIM>. Acesso em: 20 jul. 2020.

CHAVES, Nathali Pimentel. Novos processos de projeto: explorando a iluminação integrativa. 2020. 338 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Ufrgs, Porto Alegre, 2020. Disponível em:

<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/216956/001120284.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 nov. 2021.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. *Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental*. Rio de Janeiro. Editora Reaven, 2003. 287p.

DAYLIGHTING IN BUILDINGS, 1994, Dublin. *Thermie program action*. Dublin: University College Dublin, Energy Research Group, 1994. Disponível em: https://www.markstephensarchitects.com/wp-content/uploads/2019/10/mb_daylighting_in_buildings.pdf. Acesso em: 20 maio 2020.

DIAS, Maíra Vieira *et al.* Iluminação e saúde humana: estado da arte em dispositivos de medição de luz no nível dos olhos. **Revista do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Fauusp**, São Paulo, v. 21, n. 36, p.210-227, 24 fev. 2015. Universidade de São Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2317-2762.v21i36p210-227>. Disponível em: < <https://bit.ly/3oJhNuM> >. Acesso em: 25 abr. 2020.

EDWARDS, L; TORCELLINI, P. *A literature review of the effects of natural light on buildings occupants*. Colorado: National Renewable Energy Laboratory – US Department of Energy, julho de 2002. 54 p. Disponível em: <https://bit.ly/2O62CiH>. Acesso em 15 jul. 2020

FIGUEIREDO, Erika Ciconelli de. **Abordagem sustentável da luz natural**. 2011. 221 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2011. Disponível em: < <https://bit.ly/3rlKobi> >. Acesso em: 25 mar. 2019.

FIGUEIRO, Mg; NAGARE, R; PRICE, Lla. Non-visual effects of light: How to use light to promote circadian entrainment and elicit alertness. *Lighting Research & Technology*, [S.l.], v. 50, p. 38-62, jul. 2017.

FIGUEIRO, Mariana; REA, Mark. Quantifying Circadian Light and Its Impact. **Architect Magazine**, 13 fev. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/3ddAaEI>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

FONSECA, Raphaela Walger da. *Luz na Quarentena*. Florianópolis: Lancon Arq, 2020. 12 slides, color.

GARROCHO, Juliana Saiter. *Luz natural e projeto de arquitetura: estratégias para iluminação zenital em centros de compras*. 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2005. Disponível em: <https://bit.ly/3tjcHZA>. Acesso em: 20 mar. 2020.

HAUER *et al.* M4.4 Report on modeling procedures for non-visual comfort. *Interreg*: European Regional Development Fund, p. 1-25, dez. 2019. Disponível em: https://www.facecamp.it/wp-content/uploads/2020/04/FACEcamp_M4.4_NonVisualComfort_final_topdf_compressed.pdf. Acesso em: 28 mar. 2021.

JUNG, B; INANICI, M. Measuring circadian lighting through high dynamic range photography. *Lighting Research & Technology*, [S.L.], v. 51, n. 5, p. 742-763, 10 ago. 2018. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/1477153518792597>

KREMER, Adriano. *A Influência de Elementos de obstrução solar no nível e na distribuição interna de iluminação natural: estudo de caso em protótipo escolar de Florianópolis*. 2002. Dissertação (mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://bit.ly/3jqKNGv>>

LOCKLEY, Steven W; ARENDT, Josephine; SKENE, Debra J. **Visual impairment and circadian rhythm disorders**. 2007. 24 f. Monografia (Especialização) - Curso de Medicina, Medicina do Sono, Harvard Medical School, Boston, 2007. Disponível em: <<https://bit.ly/3rwTAd3>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

LOCKLEY, Steven W.; PECHACEK, Christopher S.; ANDERSEN, Marilyne. Preliminary Method for Prospective Analysis of the Circadian Efficacy of (Day)Light with Applications to Healthcare Architecture. **Leukos**, Boston, p.1-26, jul. 2008. Disponível em: <<https://bit.ly/2MWDIBq>>. Acesso em: 23 jun. 2020.

MILLER, Naomi J.; IRVIN, Anne (Lia). M/P ratios – Can we agree on how to calculate them? *IES: Illuminating Engineering Society*, [S.l.], 27 set. 2019. Disponível em: <https://www.ies.org/fires/m-p-ratios-can-we-agree-on-how-to-calculate-them/>. Acesso em: 15 mar. 2021.

PLYMPTON, Patricia; CONWAY, Susan; EPSTEIN, Kyra. Daylighting in Schools: improving student performance and health at a price schools can afford. In: AMERICAN SOLAR ENERGY SOCIETY CONFERENCE, Não use números Romanos ou letras, use somente números Árabicos]., 2000, Madison, Wisconsin. *Conference Paper*. Washington, Dc: National Renewable Energy Laboratory, 2000. p. 1-7. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy00osti/28049.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2020.

SANTOS, António José Costa. Caracterização das condições ambientais de iluminação natural nos edifícios com base na avaliação "in situ". *Conferência Científica e Tecnológica em Engenharia: O Saber do Passado e O Desafio do Futuro*, Lisboa, Portugal, v., n., p. 01-08, 10 maio 2002. Disponível em: <https://bit.ly/3arsop2>. Acesso em: 10 ago. 2020.

Contatos: marichaim@gmail.com e erika.figueiredo@mackenzie.br