XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL EM ENFERMARIA ATRAVÉS DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS COM OS SOFTWARES AGI-32 E LICASO: ESTUDO DE CASO LOCALIZADO NO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO GAFFREÉ E GUINLE (HUGG) - RJ

Alexandre Gois de Andrade (1) Patrizia Di Trapano (2); Mauro C. de Oliveira Santos (3)
(1) Engenheiro de Produção, Mestrando PROARQ/FAU/UFRJ, PROARQ/FAU/UFRJ, alexgoislp@globo.com, Rua Ferreira Pontes, 264 apto 501 Andaraí
Rio de Janeiro-RJ 20541-280, + 55 (21) 3178-0669 + 55 (21) 99258-8242
DSc, Arquiteta, Professora adjunta EBA/UFRJ, Professora Colaboradora PROARQ/FAU/UFRJ, patrizia@eba.ufrj.br; patrizia@loggia.arq.br, PROARQ - Av. Pedro Calmon, 550/sl. 433, Prédio da Reitoria, Ilha do Fundão Rio de Janeiro-RJ 21941-590, + 55 (21) 3938-1661 + 55 (21) 3938-1662
(3) Arquiteto, Dsc - PROARQ UFRJ
maurosantos@fau.ufrj.br Av. Pedro Calmon, 550/sl. 433, Prédio da Reitoria, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro-RJ 21941-590, 55 21 3938-0288

RESUMO
Em edificações destinadas a ambientes de assistência à saúde, especificamente no que diz respeito à enfermarias, os sistemas de janelas têm fundamental importância, pois devem oferecer níveis adequados de iluminação natural no interior do ambiente, garantindo o conforto visual de seus ocupantes e favorecendo a economia de energia elétrica usada na iluminação artificial. Este trabalho tem como **objetivo** avaliar a quantidade e a qualidade da iluminação natural em enfermaria localizada na ala norte (D-03), terceiro pavimento do Hospital Universitário Gaffreé e Guinle – HUGG, verificando se os usuários desta edificação são beneficiados pela sincronização do ritmo circadiano através da análise da disponibilidade de luz natural e/ou da iluminação artificial no ambiente estudado. A **metodologia** se desenvolveu com o levantamento *"in loco"* das características físicas e materiais do ambiente; simulação em softwares de iluminação AGI-32 (simulação estática da iluminação artificial, expressos na forma de valores absolutos de iluminância ao nível dos olhos do paciente em conjunto com o índice *circadian stimulus* CS; e do LICASO (simulação dinâmica de iluminação natural, produzindo séries anuais de iluminâncias e disponibilidade de luz natural), comparando com os parâmetros cDA, ASE, UDI e CS *autonomy*. Os **resultados** mostram que a enfermaria D-03 apresenta uma quantidade de luz natural acima do estabelecido pelos critérios da IES LM-83-2012, em alguns meses do ano, em especial nos horários das 12 às 16h, influenciando no ganho de carga térmica no ambiente e gerando ofuscamento, ambos mitigáveis através do uso das janelas operáveis. A pesquisa demonstrou a métrica CS e o conceito de disponibilidade de luz natural (DA), utilizadas em conjunto, a fim de identificar problemas relacionados ao ritmo circadiano em ambientes de permanência prolongada como enfermarias, cujas soluções sejam por meio de iluminação natural ou artificial, têm potencial para beneficiar os usuários de ambientes de saúde. O software *LICASO* possui uma grande velocidade para simulação, é de fácil interação com o usuário e trabalha com a norma IES LM-83-2012, e permite customização, apresentando-se como uma alternativa para os profissionais da área de projetos eficientes.
Palavras-chave: simulação computacional, iluminação natural, ritmo circadiano, HUGG.

ABSTRACT
In buildings designed for health care environments, specifically in regard to wards, window systems are of fundamental importance, as they must provide adequate levels of natural lighting within the environment, guaranteeing the visual comfort of its occupants and favoring the economy electrical energy used in artificial lighting. This work aims to evaluate the quantity and quality of natural illumination in the ward located in the north wing (D-03), third floor of the University Hospital Gaffreé and Guinle - HUGG, verifying if the users of this building are benefited by the synchronization of the circadian rhythm through the analysis of the availability of natural light and / or artificial lighting in the studied environment. The methodology was

developed with the "in loco" survey of the physical and material characteristics of the environment; Simulation in AGI-32 lighting software (static simulation of artificial illumination, expressed as absolute values of illuminance at the patient's eye level in conjunction with the circadian stimulus CS index, and LICASO (dynamic simulation of natural light producing series annual illuminance and natural light availability), comparing with the parameters cDA, ASE, UDI and CS autonomy. The results show that the D-03 ward presents an amount of natural light above that established by the criteria of IES LM-83-2012, in some months of the year, especially in the hours of 12 a.m. to 4:00 p.m., influencing the gain of thermal load in the environment and generating glare, both mitigable through the use of operable windows. This demonstrated the CS metric and the concept of daylight autonomy (DA), used together to identify problems related to the circadian rhythm in extended dwelling environments such as wards, whose solutions, whether through natural or artificial lighting have potential to benefit health care users. LICASO software has a high speed for simulation, is easy to interact with the user and works with the IES LM-83-2012 standard, and allows customization, presenting itself as an alternative for professionals in the field of efficient projects.
Keywords: computer simulation, daylight, circadian rhythm, HUGG.

1. INTRODUÇÃO

1.1. A influência da iluminação circadiana no ser humano.

No século XXI, em que pese o que pareça ser o senso comum, a "luz de hospital" de cor branca, fria e monótona, vem sendo substituída pelo conceito que privilegia o conforto, assim como o da integração com a luz natural, dinâmica e, portanto, com variações de cor e de intensidade. Para tanto se faz necessário identificar nos projetos soluções inovadoras e voltadas para o bem-estar dos atores da edificação.

Dentre as autoras mais citadas em publicações sobre arquitetura hospitalar ao longo dos últimos cem anos está, sem dúvida, Florence Nightingale, enfermeira britânica que participou da guerra da Criméia e influenciou projetos com suas recomendações em duas publicações: *Notes on Nursing* e *Notes on Hospitals*. Ao incentivar a adoção de aberturas laterais nas edificações hospitalares pavilhonares, Nightingale tinha como objetivo principal propiciar a ventilação natural. Entretanto, em seus estudos, percebeu que a luz também tinha papel terapêutico, afirmando que a "luz é essencial tanto para a saúde quanto para a recuperação" (NIGHTINGALE, 2017, p. 23), e que o "A cama de um paciente deve estar sempre no local mais iluminado da sala; e ele deveria poder ver pela janela" (Idem).

Hamilton (apud HAMILTON e WATKINS, 2009, p. 78) afirma que "ambiente de cura é o resultado de um projeto que demonstra melhorias mensuráveis no estado físico e psicológico de pacientes, visitantes, médicos e funcionários". Quanto maior o tempo de exposição a uma determinada tipologia, maior é o potencial para que o ambiente tenha um impacto mensurável no indivíduo. A condição física do mesmo também deve ser levada em consideração. Os frágeis, os recém-nascidos e aqueles que são dependentes de outras pessoas são mais suscetíveis ao ambiente, especialmente nos aspectos potencialmente negativos. Esta é uma das razões pelas quais é importante que o ambiente hospitalar seja acolhedor, ou no mínimo, não cause nenhum prejuízo à saúde do paciente (HAMILTON e WATKINS, 2009).

Ao realizar análise específica do aproveitamento da luz natural na arquitetura, Fonseca (2007) desenvolve seus estudos sobre os seus benefícios e as relações com a saúde e o bem-estar do ser humano, ao permitir a integração dos ambientes internos e externos. Ao sintetizar essas ideias, afirma a autora que a luz natural "possibilita a desejada sincronia entre o funcionamento orgânico e os sinais temporais externos, num favorecimento, em última instância, ao conforto, bem-estar e desempenho" (FONSECA, 2007, p. 43). Ao abordar as convergências e divergências nas pesquisas que relacionavam a influência da luz nas respostas biológicas no ser humano, Martau (2009, p. 128), afirma que "podem ser inadequadas as práticas e a legislação atual, que preconizam atender tão somente aos requisitos visuais, baseados na iluminância do ambiente e não nas respostas fisiológicas das pessoas, baseadas na luz incidente nos olhos".

A CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) regulamenta e padroniza as métricas relativas a emissão da luz como a radiometria (relativo a energia luminosa emitida em comprimentos de onda específicos) e fotometria, ou seja, os aspectos da percepção desta luz pela retina, a qual varia com os comprimentos de onda, e é intrinsicamente dependente da sensibilidade dos fotorreceptores. Aliás, neste tocante, afirma Rea (2011, p. 8, 9, 10 e 11) que em termos práticos e com a devida ênfase ao tema do ritmo circadiano e sua relação com a luz, esta pode ser decomposta nas seguintes características: quantidade; espectro; distribuição espacial; tempo de exposição e o momento da exposição.

A todos os mecanismos vislumbrados, Rea et al (2005), propôs uma métrica para ser consistente e plausível em relação à biologia humana. Esta métrica é baseada em um modelo matemático que é capaz de prever supressão de melatonina noturna através de um índice denominado CS, ou seja, uma ferramenta baseada

na composição espectral de fontes de luz e os aspectos de sensibilidade do olho humano.

A luz circadiana (CLA) e o estímulo circadiano (CS) são dois índices que caracterizam as sensibilidades espectral e absoluta do sistema circadiano humano. O gráfico indicado na figura 1 deriva de medições da supressão noturna da melatonina. Os níveis de estímulo circadiano em diferentes níveis de iluminância fotóptica também são mostrados (FIGUERO e REA, 2017):

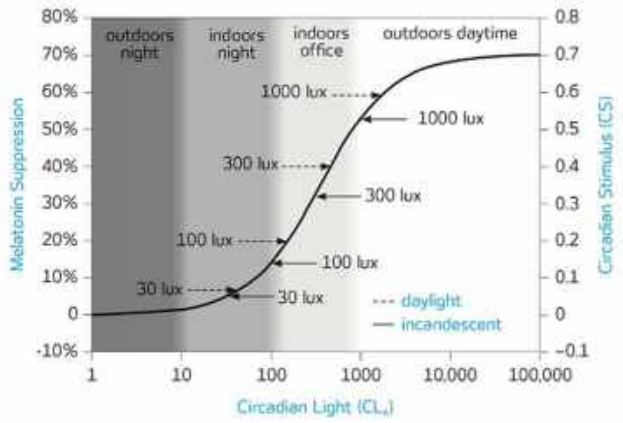

Figura **1** - Estímulo Circadiano (CS) versus Luz Circadiana (CLA). Fonte: Figuero e Rea, 2017.

A luz circadiana é a irradiação ponderada pela sensibilidade espectral de cada mecanismo de foto transdução da retina que estimula o relógio biológico, medido pela supressão noturna da melatonina. O estímulo circadiano é uma transformação da luz circadiana em unidades relativas, variando de zero (o limiar para ativação do sistema circadiano) a 0,7 (saturação de resposta) e é diretamente proporcional à supressão noturna da melatonina após uma hora de exposição à luz (FIGUERO e REA, 2017).

1.2. Disponibilidade de luz natural

A disponibilidade de luz natural no ambiente construído depende prioritariamente da luz direta do sol e daquela difundida pela atmosfera, que em função da latitude, posição do sol, estação do ano e variações climáticas pode proporcionar mais ou menos luz em determinadas localidades. Portanto, trata-se de uma estimativa baseada em algoritmos (modelos matemáticos) cujas referências são devidas ás medições realizadas em diversos países ao longo de décadas (ABNT 15215-2, 2007).

Em função da existência de várias pesquisas e propostas de metodologias para avaliação da disponibilidade de luz do dia, o IES publicou o LM-83-12, *Approved Method for Daylight Metrics,* a fim de melhorar o desempenho das ferramentas de previsão e simulação de luz natural. As qualidades dinâmicas de um espaço dotado de luz natural requerem diferentes métodos de avaliação daqueles que foram desenvolvidos para um espaço que é eletricamente iluminado. Em um espaço artificialmente iluminado a iluminância média é um parâmetro relevante na análise da qualidade do projeto luminotécnico. Entretanto, este índice não faz tanto sentido em um ambiente naturalmente iluminado, devido a distribuição não uniforme das iluminâncias, por conta do posicionamento das fenestrações e da relação entre as áreas das aberturas e a área do ambiente. Outro aspecto não menos importante é que a avaliação de luz natural deve ser considerada ao longo do tempo, e, como esta varia conforme o clima local, do aspecto do céu e das estações do ano, há de se considerar como critério de projeto a localização da edificação e a respectiva adequação dos modelos computacionais utilizados (IES LM-83-12, 2012 p.1).

Ainda no que tange a essa avaliação, o Céu de Perez, mostra um modelo matemático usado para descrever a distribuição da luminância relativa da abóbada celeste, sendo considerado referência para cálculos e simulações de luz natural. A base de cálculo não está baseada necessariamente na média de determinado dia e local, mas sim nos dados que melhor expressam as condições de céu do dia que se pretende simular. Os parâmetros seriam brilho do céu e nebulosidade, representados através de valores que indicam irradiação direta e difusa (PEREZ, R. et.al, 2003).

O conceito de autonomia de luz natural, ou *daylight autonomy* (DA), é definido como a porcentagem do ano no qual a iluminância de tarefa em um plano de trabalho é atingida sem a necessidade do uso da iluminação artificial. As definições dos níveis de iluminação são as propostas pelas normas locais para cada tipo de ambiente e tarefa. (AEC, 2009).

De forma pioneira, Nabil e Mardaljevic (2006), propuseram uma nova abordagem ao problema da

métrica da luz natural denominada *useful daylight illuminance* (UDI). Em contraste com o *daylight factor* (DF) que utiliza uma porcentagem, ou seja, um número que representa uma avaliação pontual do espaço, a UDI utiliza dados meteorológicos atualizados, onde as condições dos céus são dinamicamente consideradas resultando em previsão de iluminâncias em cada momento (hora) do dia, em um ano, para cada ponto do ambiente sob análise. Dentre as razões para se utilizar a UDI, Nabil e Mardaljevic (2006) defendem o uso de uma faixa de iluminâncias consideradas úteis, entre 100 a 2000 lux. Criticam o conceito da DA afirmando que a simples adoção de um valor mínimo (por exemplo 500lux), como alvo para atingir uma determinada economia de energia, não leva em conta as preferências dos usuários e os momentos em que pode ocorrer desconforto provocado por ofuscamento e contrastes excessivos. Em razão disso, valores de iluminância inferiores a 100 lux são considerados insuficientes, seja como fonte única no espaço ou como complemento a artificial. Já os valores entre 100 e 500lux caracterizam-se como suficientes desde que tenham a possibilidade do uso de complementação de luz artificial. Na faixa de 500 a 2000 lux são percebidos como desejáveis ou toleráveis e aqueles acima de 2000 lux se caracterizam por gerar desconforto luminico, térmico ou ambos.

O IES LM-83-12, após identificar, revisar e avaliar diversas metodologias utilizadas nas ferramentas de previsão e simulação de luz natural, desenvolveu duas métricas, (parâmetros de comparação que utilizam diversos métodos de cálculo), baseadas nos critérios da iluminância suficiente em um ambiente naturalmente iluminado e do risco potencial da penetração excessiva da luz do sol direta.

A primeira métrica denomina-se *Spatial Daylight Autonomy* (sDA), ou seja, uma medida da iluminância em uma determinada superfície, tendo como resultado um valor percentual da área de piso que exceda um nível de iluminação especificado (por exemplo 300 lux), para uma quantidade de horas anuais (por exemplo 50% das horas úteis - 8:00h às 18:00h). Adotou-se a forma de expressar dotada de termo: $sDA_{lux,\ \%,}$ ou seja, o termo sDA, seguido da iluminância mínima especificada e do percentual de horas úteis no ano, ambas subscritas (IES LM-83-12, 2012 p.1 e p.3).

A fim de proporcionar uma nova dimensão a esta análise, a segunda métrica *Annual Sunlight Exposure* (ASE) foca na potencial fonte de desconforto visual oriunda da luz direta do sol em ambientes internos de trabalho. É definida como um valor percentual da área analisada que exceda um nível de iluminação natural direta especificado, por um determinado número de horas no ano. De forma análoga à sDA, adotou-se a expressão $ASE_{lux,\ horas,}$ ou seja, o termo ASE, seguido da iluminância máxima especificada e das respectivas horas úteis no ano em que esta condição se aplique, ambas subscritas (IES LM-83-12, 2012 p.1 e p.10). Vale lembrar que as duas métricas devem ser aplicadas nas mesmas condições e ambientes, e que as mesmas são complementares, sendo assim, podem proporcionar aos pesquisadores e profissionais de projetos arquitetônicos uma melhor compreensão de como se avalia os espaços naturalmente iluminados.

Alguns softwares podem avaliar as disponibilidades de luz natural internas a uma edificação de forma estática como o DIALUX e o AGI32. Em ambos, dado um modelo computacional de um ambiente dotado de fenestrações e fechamentos da envoltória, localizados geograficamente em suas coordenadas de latitude e longitude, o software pode então calcular as iluminâncias instantâneas de um determinado horário de um dia escolhido para análise. Os valores estáticos de iluminância obtidos através destes softwares de simulação podem ser comparados com as normas, como por exemplo, a ISO 8995-2013 a fim de avaliar sua adequação aos ambientes e as tarefas ali realizadas.

Entretanto, quando se trata de avaliar a disponibilidade de luz natural de forma dinâmica e que atenda aos conceitos propostos pelos organismos de certificação de eficiência energética, faz-se necessário o uso de softwares com esta funcionalidade. Estes programas se utilizam de uma base de dados meteorológicos (TMY: *Tipical Meteorological Year*), no Brasil denominada de Normal Climatológica, série 1961 a 1990, sendo que recomenda-se utilizar os dados da estação mais próxima à edificação a fim de obter uma melhor precisão na simulação.

O mercado de softwares de simulação de iluminação natural em edificações disponibiliza vários produtos como o Adeline, *Daysim*, *Daylight* 1-2-3, EPS-r, Lumen Micro, Radiance e SPOT (AEC, 2009 p. 29), além destes, alguns pesquisadores brasileiros utilizam o Troplux. Entretanto, nesta pesquisa foi utilizado o *LICASO*, da empresa *Lighting Analysis*, que nos concedeu uma licença educacional. O programa permite a utilização de diversos tipos de céus padrões, como o céu de Perez, produzindo relatórios com os seguintes parâmetros: Iluminância, sDA, UDI, ASE, entre outros.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como **objetivo** avaliar a quantidade e a qualidade da iluminação natural em enfermaria localizada na ala norte (D-03), terceiro pavimento do Hospital Universitário Gaffreé e Guinle – HUGG, verificando se os usuários desta edificação são beneficiados pela sincronização do ritmo circadiano através da análise da disponibilidade de luz natural e/ou da iluminação artificial no ambiente estudado.

3. MÉTODO

A **metodologia** se desenvolveu nas seguintes etapas: levantamento "*in loco"* das características físicas e materiais do ambiente; simulação em softwares de iluminação AGI-32 (simulação estática da iluminação artificial, expressos na forma de valores absolutos de iluminância ao nível dos olhos do paciente em conjunto com o índice *circadian stimulus* CS; e do LICASO (simulação dinâmica de iluminação natural, produzindo séries anuais de iluminâncias e disponibilidade de luz natural), comparando com os parâmetros sDA, ASE, UDI; avaliação do CS *autonomy*. Os softwares foram fornecidos pela empresa *Lighting Analysts*, ambos com licenças estudantis.

3.1. Características da enfermaria

O HUGG, de projeto assinado por Porto D'Ave e Häring, está localizado na Cidade do Rio de Janeiro, no Bairro da Tijuca. O hospital é uma unidade suplementar da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, sendo um hospital geral para consultas e procedimentos agendados. Dotado de arquitetura singular, com enfermarias destacadas do corpo principal da edificação, monobloco com jardim interno, proporcionando vantagens como a ventilação e iluminação naturais, conforme a indicação da figura 2. A planta baixa da edificação e a localização da enfermaria em estudo estão indicadas na figura 3.



Figura 2 – Foto aérea do HUGG.



Figura 3 - Planta baixa e setorização da enfermaria.

A enfermaria D-03 localiza-se na fachada nordeste do edifício, é voltada ao tratamento dos pacientes de doenças pulmonares, e tem como característica apresentar duas fachadas dotadas de sete janelas de madeira, operáveis com sistema de abertura em folhas, além de uma sacada, totalizando assim 15 aberturas. O ambiente interno é composto por paredes e teto pintados de branco, piso em cerâmica bege. A fim de ser utilizada no período noturno, a enfermaria D-03 é dotada de 10 luminárias de sobrepor, para quatro lâmpadas fluorescentes tubulares T8 32W, 4000K, distribuídas uniformemente em 2 fileiras de 5 luminárias. A cama tem altura de 95 cm e está com a cabeceira em oposição às janelas (Figuras 4, 5 e 6).



Figura 4: Foto da enfermaria.

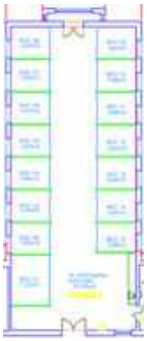

Figura 5: Planta Baixa

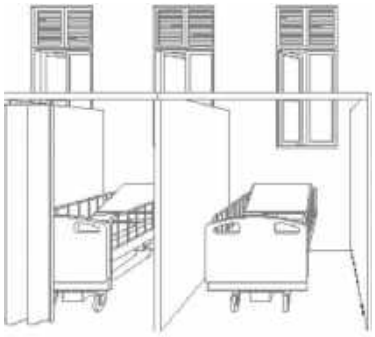

Figura 6: Vista

3.2. Simulação com o Software *AGI-32* – Simulação estática

O AGI32 é uma ferramenta de simulação de iluminação natural e artificial, da empresa *Lighting Analysis* - Colorado EUA, que nos concedeu uma licença educacional, utilizada para calcular a quantidade de luz que será fornecida pelas luminárias instaladas no ambiente ou com base na localização geográfica através de suas coordenadas de latitude e longitude. O software pode então calcular as iluminâncias instantâneas de um determinado horário de um dia escolhido para análise, fornecendo soluções numéricas e renderizadas para quase todas as aplicações de iluminação, natural ou artificial, internas ou externas. Os valores estáticos de

iluminância (Figura 7), obtidos através deste software de simulação podem ser comparados com a norma NBR ISO/CIE 8995-1 (2013). O Céu de Perez foi o modelo matemático usado para descrever a distribuição da luminância relativa da abóbada celeste, sendo considerado referência para cálculos e simulações de luz natural (Figura 8).

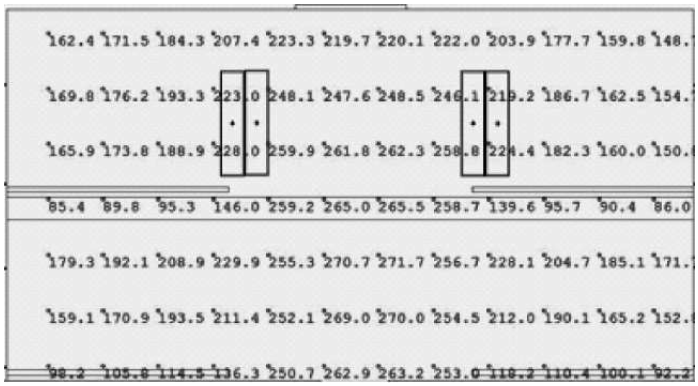

Figura 7: Planta com iluminâncias pelo software AGI-32

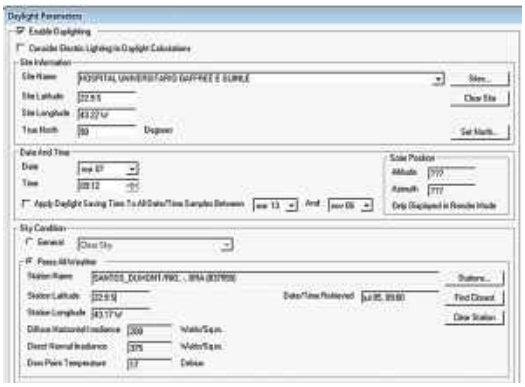

Figura 8: Parâmetros da simulação software AGI-32

Acosta et. al (2015), propôs a aplicação da métrica CS em conjunto com o conceito de autonomia de luz natural, ou DA. No artigo intitulado *Analysis of circadian stimulus allowed by daylighting in hospital rooms*, Acosta apresenta a métrica CS *Autonomy*, cujo objetivo é avaliar o percentual de dias em que os usuários receberiam um valor de CS que promovesse a sincronização do ritmo circadiano. O valor de CS proposto foi de 0,35 (definido como 50% do limite da saturação de supressão de melatonina) durante pelo menos uma hora no período da manhã. Para atingir tal objetivo, utilizou simulações computacionais no software DAYSIM 3.1.

A métrica CS, disponibilizada pelo *Lighting Research Center* (LRC), no *Rensselaer Polytechnic Institute* ainda não é recomendada pelo CIE, entretanto, a instituição disponibiliza e incentiva o uso de sua ferramenta de cálculo, disponível no sitio: https://www.lrc.rpi.edu/cscalculator/ e também através de uma planilha eletrônica que pode ser baixada em computadores para execução off-line.

Entretanto, para utilizar a calculadora CS é necessário conhecer a iluminância ao nível dos olhos e as fontes de luz utilizadas no ambiente em estudo. Portanto, o primeiro passo para utilização da métrica CS é realizar uma avaliação fotométrica para o ambiente, seja uma medição ou uma simulação. O segundo passo é o de inserir os dados relativos às distribuições espectrais das fontes de luz, e quando estas não estiverem disponíveis, podem ser utilizadas as distribuições padronizadas por categorias de lâmpadas do banco de dados da ferramenta.

3.3. Simulação com o Software *LICASO* – Simulação dinâmica

A empresa *Lighting Analysts* desenvolveu o software *LICASO*, um simulador de luz natural anual, que trabalha em conjunto com o software AGI-32. Até recentemente, as únicas opções para simulações anuais eram baseadas no *Radiance*, ferramenta de simulação de iluminação, como o software *DAYSIM*.

LICASO é um software de simulação anual que não se baseia no *Radiance* e no modelo *ray tracing*. Ele se baseia no método *radiosity* (ASHDOWN, 1994) e assim como o *DAYSIM,* também utiliza a base de dados meteorológicos (TMY: *Tipical Meteorological Year*) (ASHDOWN, 2017).

O *software* trabalha com a norma IES LM-83-12, que define métricas que serão utilizadas nesta análise: *Illuminance, Continuous Daylight Autonomy* (cDA) (Figura 9), *Useful Daylight Illuminance* (UDI), *Annual Sunlight Exposure* (ASE). Exemplo de ambiente simulado e o plano de medição (Figura 10).

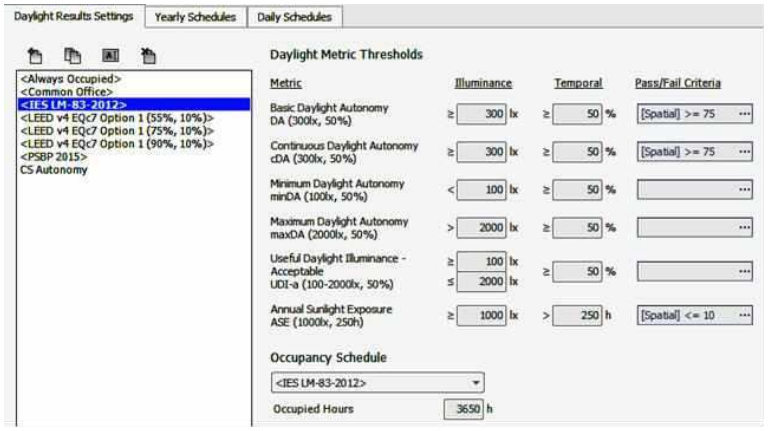

Figura 9: Padrão da simulação IES LM-83-2012 simulado no software LICASO

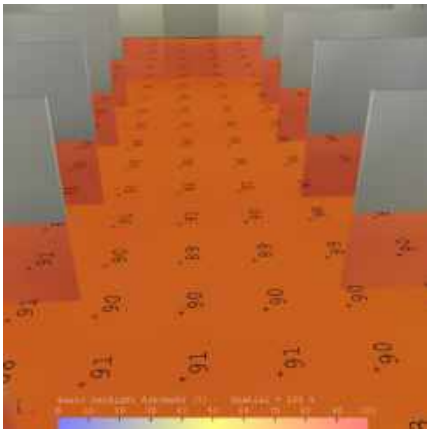

Figura 10: Vista 3D da sDA da enfermaria

3.4. Aplicação da CS *autonomy*.

A métrica *circadian stimulus* proposta por Rea em 2005, considera que, apesar da resposta à luz circadiana varie de pessoa a pessoa, um sistema de iluminação que promova um índice CS maior que 0,3 durante o dia (especialmente se for pela manhã), e menos que 0,1 à noite, já pode ser considerado um bom ponto de partida (FIGUERO e REA, 2017). Entretanto, este artigo utiliza a metodologia proposta por Acosta et. al (2015): CS *autonomy*, cujo objetivo é avaliar o percentual de dias em que os usuários da enfermaria receberiam um valor de CS de 0,35 durante pelo menos hora no período da manhã. Para a execução do método, introduzimos os dados referentes a exposição da luz natural, conforme o iluminante padrão da CIE D65 (6500K), disponibilizado na ferramenta de cálculo de CS da LRC (Figura 11).

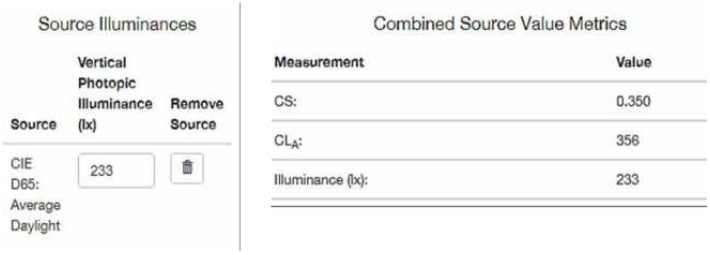

Figura 11: Cálculo de iluminância para fonte D65 e CS 0,35.

Portanto, através da calculadora de CS baseada na modelo de fototransdução de Rea et al (2005), foi determinado que a iluminância média precisava atender a um CS de 0,35; o que corresponde a 233 lux fotóptico no olho.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos mostram que a enfermaria D-03 pode permanecer todo o dia com a luz artificial apagada, e que ela apresenta uma quantidade de luz natural acima do estabelecido pelos critérios da IES LM-83-2012, em alguns meses do ano, em especial nos horários das 12 às 16h aproximadamente. Entretanto, apesar de apresentar iluminação lateral e eficiência lumínica, a sala precisará fazer uso das janelas operáveis para manter o conforto lumínico durante o ano.

As simulações estáticas de luz artificial com o software AGI-32 mostram valores de iluminâncias médias abaixo da norma quando se considera a tarefa de leitura no leito. Entretanto, como a simulação se utilizou de 276 pontos de medição pode ocorrer que alguns leitos tenham maiores ou menores valores de iluminância na região dos olhos do paciente. Neste estudo consideramos apenas a iluminância média no plano horizontal, a 1,0m de altura (decúbito dorsal - posição do paciente deitado sobre o leito, de costas para o colchão) obtida através de simulação no AGI, cujo valor apurado foi aproximadamente 170 lux. Ressalta-se que a NBR ISO/CIE 8995-1 (2013) recomenda valores de iluminância geral em enfermarias com 100 lux e a específica para leitura no leito em 300 lux.

Ao inserirmos os dados fotométricos e aqueles relativos ao tipo de lâmpada na ferramenta obtivemos os seguintes resultados para CS, CL_A, CCT (temperatura de cor correlata) e CRI (índice de reprodução de cor),

conforme figuras 12, 13, 14.

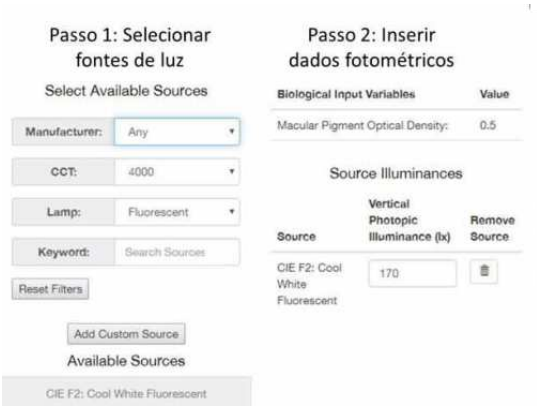

Figura 12: Entrada de dados

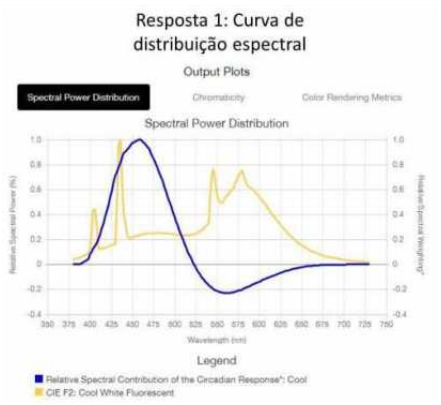

Figura 13: Curva de distribuição espectral



Figura 14: Resultados

Portanto, de acordo com os resultados da métrica combinada, o CS (*circadian stimulus*) apurado pela ferramenta foi de 0,152. Este valor indica que a iluminação artificial instalada na enfermaria tem uma pequena influência no ritmo circadiano de seus usuários, pois se encontra próximo ao valor mínimo do início da supressão de melatonina (0,1).

A simulação dinâmica utilizando os critérios da IES LM-83-12 apresentou resultados que demonstram que a enfermaria D-03 possui disponibilidade de iluminação natural em pelo menos 3 métricas: *Continuous Daylight Autonomy* (cDA), *Annual Sunlight Exposure* (ASE) e *Useful Daylight Illuminance – Acceptable* (UDI), conforme tabela 1.

Tabela 1 - Métricas simuladas conforme IES LM-83-2012.

Métrica: cDA (300lx, 50%)			**Critério: [espacial] > = 75**		**Horas de uso: 3650**	
Pontos	Média	Máximo	Mínimo	Med/Min	Max/Min	Espacial
276	93%	95%	89%	1,0%	1,1%	100%
Métrica: ASE (1.000lx, 250h)			**Critério: [espacial] < = 10**		**Horas de uso: 3650**	
Pontos	Média	Máximo	Mínimo	Med/Min	Max/Min	Espacial
276	95h	360h	89%	+ ∞	+ ∞	7,6%
Métrica: UDI-a (100-2.000lx, 50%)			**Critério: Média] > = 80**		**Horas de uso: 3650**	
Pontos	Média	Máximo	Mínimo	Med/Min	Max/Min	Espacial
276	89%	95%	64%	1,4%	1,5%	100%

Em relação a métrica cDA, cujo objetivo é apresentar iluminância mínima de 300 lux, em 50% das horas (3650) disponíveis em uma área não inferior a 75% do ambiente, os dados mostram que em 100% da área em estudo a métrica foi atendida.

De modo semelhante, a ASE atende aos critérios de que, no máximo 10% da área (o resultado foi 7,6%) apresenta iluminância maior que 1.000 lux, em mais de 250 horas.

Em relação a UDI, a enfermaria pode ser considerada aprovada, pois a faixa de iluminâncias consideradas úteis, entre 100 a 2000 lux, foi atendida em 89% dos pontos de simulação (o critério de aprovação é 80%), ou seja, em apenas 11% do espaço podem ocorrer desconforto luminico e térmico. Entretanto, ao analisarmos os resultados das simulações dinâmicas realizadas com o software LICASO em uma forma gráfica, que descreve as iluminâncias máximas em horas do dia e ao longo de um ano, observa-se que, das 12:30h às 16:30h existe um risco de ofuscamento e aumento de carga térmica, principalmente nos meses de março a setembro (Figura 15).

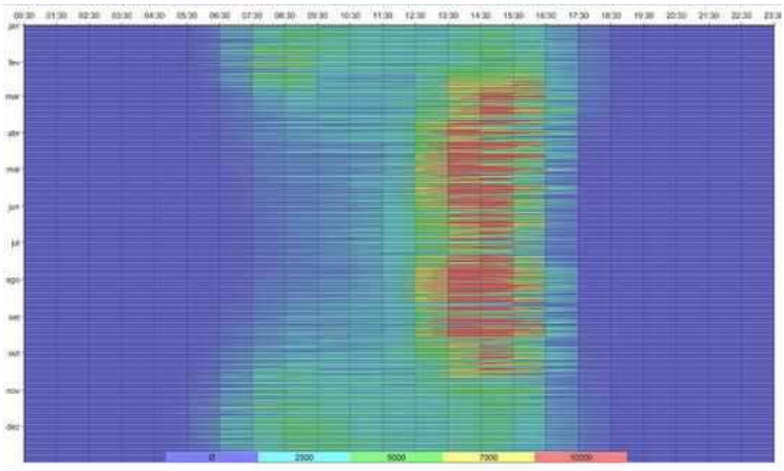

Figura 15: Mapa temporal de iluminância – máximos horas/mês

Para o cálculo da CS *autonomy*, Acosta et. al (2015), foi introduzida uma configuração especifica no software LICASO, de forma que atendesse aos padrões de horário (entre as 7:30h as 12:30h), assim como a iluminância fotóptica (233 lux), ao nível dos olhos (1m na horizontal, obtida pela calculadora CS. Estes valores foram considerados para todas métricas disponíveis no software, conforme figuras 16 e 17:

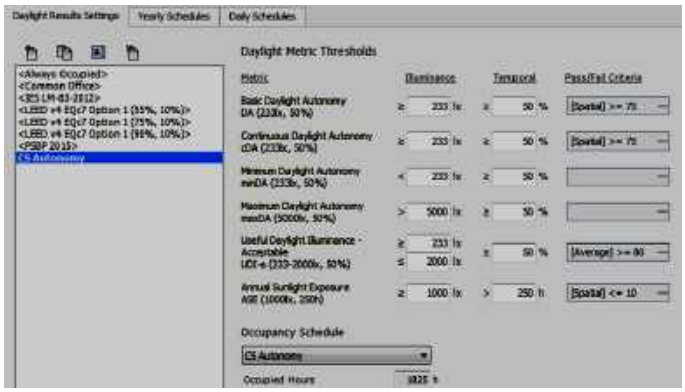

Figura 16: Padrão da simulação CS *autonomy* criado no LICASO

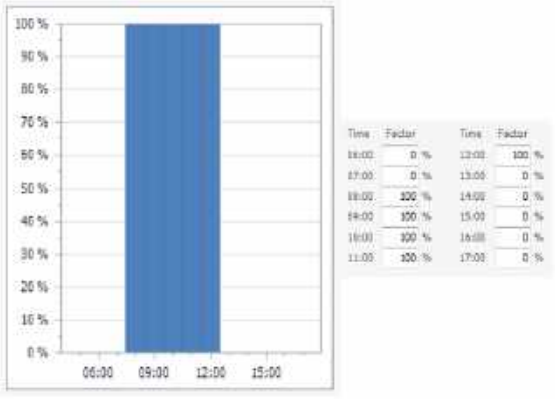

Figura 17: Programação diária (manhãs) do CS *autonomy*

A última métrica CS *autonomy* com resultados apresentados na tabela 2, está fundamentada na metodologia proposta por Acosta et. al (2015), e aplicada ao modelo computacional da enfermaria D-03, onde as iluminâncias fotópticas no plano horizontal, ao nível dos leitos devem ter o valor de 233 lux. A enfermaria receberia então um valor de CS de 0,35 durante pelo menos uma hora no período da manhã. Considerou-se o iluminante padrão da CIE D65 (6500K), disponibilizado na ferramenta de cálculo de CS da LRC.

Tabela 2 - Métricas simuladas conforme CS *autonomy*.

Métrica: cDA (233lx, 50%)			**Critério: [espacial] > = 75**		**Horas de uso: 1.825**	
Pontos	Média	Máximo	Mínimo	Med/Min	Max/Min	Espacial
276	100%	100%	99%	1,0%	1,0%	100%
Métrica: ASE (1.000lx, 250h)			**Critério: [espacial] < = 10**		**Horas de uso: 1.825**	
Pontos	Média	Máximo	Mínimo	Med/Min	Max/Min	Espacial
276	95h	360h	0%	+ ∞	+ ∞	7,6%
Métrica: UDI-a (233-2.000lx, 50%)			**Critério: [Média] > = 80**		**Horas de uso: 1.825**	
Pontos	Média	Máximo	Mínimo	Med/Min	Max/Min	Espacial
276	96%	100%	66%	1,4%	1,5%	100%

Para o cálculo da CS *autonomy*, foi introduzida uma configuração especifica no software LICASO, de forma que atendesse aos padrões de horário (entre as 7:30h as 12:30h – 5 horas/dia), totalizando 1.825 horas.

Observa-se que na métrica cDA, cujo objetivo é apresentar iluminância mínima de 233 lux, em 50% das horas (1.825) disponíveis em uma área não inferior a 75% do ambiente, os dados demostram que em 100% da área em estudo a métrica foi atendida.

De modo análogo ao estudo nos padrões da IES LM-83, a ASE atende aos critérios pois apenas 7,6% da área apresenta iluminância maior que 1.000 lux, em mais de 250 horas.

Quanto à métrica UDI, onde a faixa de iluminâncias consideradas úteis é de 233 a 2000 lux, esta foi atendida em 96% dos pontos de simulação (o critério de aprovação é 80%), ou seja, em apenas 4% da enfermaria podem ocorrer desconforto luminico e térmico.

5. CONCLUSÕES

A presente pesquisa ilustrou como a métrica CS e o conceito de disponibilidade de luz natural (DA), podem ser utilizadas em conjunto para auxiliar na identificação de problemas relacionados ao ritmo circadiano em ambientes de permanência prolongada como enfermarias, cujas soluções, sejam por meio de iluminação natural ou artificial tem potencial para beneficiar aos usuários de ambientes de saúde.

Uma das grandes vantagens do uso da simulação dinâmica da luz natural é a possibilidade de se desenvolver análises mais precisas através das métricas apresentadas, que podem auxiliar nas decisões de projeto. O software *LICASO* possui uma grande velocidade para simulação, é de fácil interação com o usuário e trabalha com a norma IES LM-83-2012, apresentando-se como uma alternativa para os profissionais da área de projetos eficientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

.ABNT: NBR ISO/CIE - 8995-1 2013 - **Iluminação de ambientes de trabalho**. 2013.

ABNT: NBR 15215-2: 2007 – **Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural.** 2007.

ACOSTA et. al. - **Analysis of circadian stimulus allowed by daylighting in hospital rooms**. Lighting Res. Technol. 2015. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1477153515592948

AEC - ARCHITECTURAL ENERGY CORPORATION. **Design brief: Understanding daylight metrics**. Energy design resources, 2009. Disponível em: https://energydesignresources.com/resources/publications/design-briefs/design-brief-understanding-daylight-metrics.aspx

ASHDOWN, Ian. **Climate-Based Daylight Modeling** (2016). Disponível em: https://lightinganalysts.com/climate-based-daylight-modeling/

_____ **Radiosity: A Programmer's Perspective** (1994). New York, NY: John Wiley & Sons.

_____JACKSON, Chris; SPAHN, Joel; SAEMISCH, Todd. **Licaso and Daysim**. 2017. Disponível em: https://lightinganalysts.com/licaso-and-daysim/

AZZA NABIL, JOHN MARDALJEVIC. **Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors**. Energy and Buildings 38. 2006.

FIGUERO, M; REA, M. **Quantifying Circadian Light and Its Impact**. Archlighting, 2017. Disponìvel em: https://www.archlighting.com/technology/quantifying-circadian-light-and-its-impact_o

FONSECA, Ingrid C.L. – **Dimensões da luz natural na interação do homem com a arquitetura – Estudos à luz de cúpulas de Brunelleschi, Michelangelo & Palladio**. Rio de Janeiro: UFRJ/FAU/PROARQ, 2007. Tese de doutorado em Arquitetura.

HAMILTON, D. Kirk; WATKINS, David H. **Evidence-based design for multiple building types**. Hoboken, John Wiley & Sons. 2009.

IESNA: IES LM-83-12 – **Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)**.

MARTAU, Betina T. **A luz além da visão: iluminação e sua relação com a saúde e bem-estar de funcionárias de lojas de rua e de shopping centers em Porto Alegre**. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. UNICAMP, 2009. Tese de Doutorado.

NIGHTINGALE, Florence. **Notes on Nursing- What it is, and what it is not.** Dover, New York, 2017 – Edição Digital. Disponível em: http://digital.library.upenn.edu/women/nightingale/nursing/nursing.html.

PEREZ, R. et.al, **All-Weather Model for Sky Luminance Distribution – Preliminary Configuration and Validation**. Solar Energy 50(3):235-245 (1993).

REA et al. **A model of phototransduction by the human circadian system.** Epub 2005. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16216333.

REA M. S.; FIGUERO M. G. **What is "healthy lighting?"**. International Journal of High-Speed Electronics and Systems. Vol. 20, No. 2 (2011). Disponivel em: https://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/S0129156411006623.