

APRIMORANDO A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS AUDITÓRIOS DOS BLOCOS DOS PROFESSORES I E II DO CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS - UFERSA: ESTUDO LUMINOTÉCNICO

VALQUIRIA MELO SOUZA CORREIA
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO - UFERSA

MARCILIO LUÍS VIANA CORREIA

VALESKA ARAUJO SOUZA
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO - UFERSA

WIGNA RAFAELA DA SILVA

Introdução

Este estudo tem como objetivo contribuir para a sustentabilidade através da análise da eficiência energética nos auditórios dos blocos de professores I e II do Centro Multidisciplinar de Angicos (CMA – UFERSA/RN), uma instituição federal de ensino superior. O aumento do consumo de energia elétrica é um problema que afeta não somente as instituições públicas, mas também ao meio ambiente, já que a geração de energia pode contribuir para a emissão de gases de efeito estufa.

Problema de Pesquisa e Objetivo

O objetivo principal é garantir uma iluminação adequada e confortável para os usuários, ao mesmo tempo em que se reduz o desperdício de energia elétrica e se promove uma maior eficiência energética.

Fundamentação Teórica

O aumento do consumo de energia elétrica é um problema que afeta não somente as instituições públicas, mas também ao meio ambiente, já que a geração de energia pode contribuir para a emissão de gases de efeito estufa. Para reduzir o desperdício e aumentar a eficiência energética, o estudo utiliza técnicas de análise luminotécnica para calcular e medir a quantidade de luz necessária em cada ambiente. Isso permitirá que as luminárias sejam ajustadas de acordo com as necessidades dos usuários, evitando assim o uso excessivo de energia elétrica.

Metodologia

Para realizar as medições, o estudo utilizou um luxímetro, responsável por medir a densidade e intensidade de luz em pontos estratégicos dos auditórios I e II dos Blocos dos Professores do CMA- UFERSA. A análise se concentrou na intensidade da luz, verificando a distribuição da luminosidade e pesquisando a existência de ofuscamento, que pode afetar o conforto visual dos usuários.

Análise dos Resultados

Os métodos de cálculos utilizados nesse estudo foram o método dos lúmens, definido pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) e o método ponto a ponto que se baseia na lei de Lambert. Ao aplicar essas técnicas, espera-se que seja possível reduzir os custos com energia elétrica, contribuir para a sustentabilidade e proporcionar maior conforto visual aos usuários nos auditórios.

Conclusão

Conclui-se que a análise luminotécnica é uma ferramenta importante para a promoção da eficiência energética em instituições públicas de ensino superior, como a UFERSA, contribuindo para a redução do impacto ambiental, a redução de custos e para a melhoria da qualidade de vida dos usuários.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/CIE 8995- 1:2013. Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013. COSTA, G.J.C. Iluminação econômica: cálculo e avaliação. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006. 576 p. DUTRA, L.; LAMBERTS, R.; PEREIRA, R.O.F. Eficiência energética na arquitetura. 3. ed. São Paulo: ProLivros, 2014. G-LIGHT. Diferença entre as lâmpadas de LED, as incandescentes e as fluorescentes: Lâmpadas fluorescentes e lâmpadas de LED. 2019. Disponível em: <https://www.g-light.com.br/diferenca-entre-as-lampadas-de-led-as-incandescentes-e-as-fluoresce>

Palavras Chave

Eficiência energética, Luminotécnico, Iluminação

Agradecimento a órgão de fomento

PICI-UFERSA/ PIVIC-UFERSA

APRIMORANDO A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS AUDITÓRIOS DOS BLOCOS DOS PROFESSORES I E II DO CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS - UFERSA: ESTUDO LUMINOTÉCNICO

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história, a iluminação sempre foi uma preocupação para a humanidade, especialmente em ambientes onde não há luz natural disponível. Como solução, o homem utilizou o fogo como a primeira fonte de luz artificial, descoberto acidentalmente na pré-história. Além de produzir calor, o fogo também emite luz, tornando-se uma alternativa viável para iluminar cavernas e abrigos. Com o tempo, a tecnologia evoluiu e novas fontes de luz foram criadas, como as velas e os lampiões a óleo.

Em 1851, no Brasil Irineu Evangelista de Souza, o Barão de Mauá, iniciou pelas ruas uma iluminação que era utilizada através do famoso lampião a gás. Já no fim do século XIX Thomas Alva Edison, conseguiu produzir com excelência as primeiras lâmpadas elétricas incandescentes, e a partir disso, a demanda mundial por energia elétrica passou a ser utilizada em larga escala.

Devido ao fato de que o consumo de energia elétrica está diretamente relacionado ao uso excessivo de recursos artificiais de iluminação, um sistema de iluminação superdimensionado e equipamentos que geram alto consumo resultam em elevados gastos com energia e manutenção.

Levando em consideração o aumento contínuo no consumo de energia ao longo dos anos, torna-se cada vez mais importante adotar medidas para reduzir o desperdício e melhorar a eficiência energética. Nesse contexto, a utilização de uma análise luminotécnica se mostra como uma opção viável e eficaz para alcançar esse objetivo.

De acordo com a NBR ISO/CIE 8995 “Uma boa iluminação propicia a visualização do ambiente, permite que as pessoas vejam, se movam com segurança e desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, precisa e segura, sem causar fadiga visual e desconforto. A iluminação pode ser natural, artificial ou uma combinação de ambas.”

A realização desse estudo visa mostrar se um determinado ambiente está recebendo uma iluminação artificial adequada e eficiente, analisando se possui o número correto de luminárias e avaliando a distribuição da luz no espaço. O método utiliza técnicas e cálculos precisos que podem ser aplicados em diversos tipos de ambientes, tanto profissionais quanto pessoais. O objetivo principal é garantir uma iluminação adequada e confortável para os usuários, ao mesmo tempo em que se reduz o desperdício de energia elétrica e se promove uma maior eficiência energética.

Isso é especialmente importante considerando-se o aumento do consumo de energia elétrica ao longo dos anos e a necessidade de reduzir o impacto ambiental causado pelo uso excessivo de recursos energéticos. Além disso, a análise luminotécnica também pode contribuir para a redução de custos de manutenção dos sistemas de iluminação, uma vez que ajuda a identificar problemas e falhas no sistema, permitindo que sejam corrigidos antes que se tornem mais graves.

Neste estudo, foram realizadas medições nos auditórios do bloco dos professores I e bloco dos professores II do Centro Multidisciplinar de Angicos (CMA - UFERSA), com o objetivo de otimizar a iluminação e, conseqüentemente, reduzir desperdícios e controlar gastos. Para isso, foram utilizadas técnicas específicas para calcular a luminosidade necessária em um ambiente e adaptá-la às necessidades dos usuários. As medições foram realizadas em pontos estratégicos, definidos em pequenos retângulos na superfície das carteiras dos auditórios, com cálculos realizados no centro desses pontos. O objetivo principal foi

determinar se a iluminação artificial nos auditórios era adequada e se o número de luminárias instaladas era suficiente para atender às necessidades dos usuários. Com base nos resultados obtidos, foram feitas recomendações para melhorar a eficiência energética e o conforto visual nos auditórios, a fim de contribuir para a sustentabilidade e economia de energia.

2 REFERENCIAL

Ao longo do tempo, a evolução da iluminação artificial tem sido impressionante. Desde a invenção da lâmpada incandescente por Thomas Edison no final do século XIX, a indústria de iluminação vem avançando rapidamente. Com o surgimento de novas tecnologias e materiais, houve uma significativa melhoria na qualidade e eficiência das fontes de luz, proporcionando uma iluminação mais duradoura, econômica e sustentável.

Atualmente, existem diversas opções de lâmpadas e luminárias no mercado, como as lâmpadas LED, fluorescentes, halógenas, entre outras. A iluminação artificial é essencial em diversos ambientes, seja em residências, escritórios, comércios ou indústrias, proporcionando conforto visual e segurança. Além disso, a tecnologia atual permite que a iluminação seja controlada de forma inteligente, por meio de sistemas automatizados, sensores e reguladores de intensidade.

Segundo (Creder, 2007) a luz é o aspecto da energia radiante que um observador humano constata pela sensação visual, determinado pelo estímulo da retina ocular. Diante disso, é possível definir a luz como uma forma de energia, pois ela pertence ao espectro eletromagnético, que inclui também ondas de rádio, raios X, raios infravermelhos e raios ultravioleta.

Portanto, podemos dizer que a luz é apenas energia eletromagnética visível cuja amplitude de onda sensibiliza nosso sistema visual e nos proporciona percepção e visão. Já a radiação infravermelha, embora seja outra forma de radiação eletromagnética, não é invisível aos nossos olhos e não desperta nossa sensibilidade visual, ao contrário, nos faz sentir sensação térmica na forma de calor. Como mencionado anteriormente, a luz visível faz parte do espectro da radiação eletromagnética.

O fluxo luminoso é um dos parâmetros mais importantes para se desenvolver um projeto luminotécnico, pois é responsável pela radiação total que é emitida em todas as direções de uma fonte luminosa ou também uma fonte de luz que é capaz de produzir estímulo visual. Sua unidade de medida é em Lumens (lm) no sistema internacional de unidades (NBR 8995-1, 2013) para verificar quantos lumens são emitidos por uma fonte luminosa, é necessário medir as direções onde se deseja ter essa informação, já que uma fonte luminosa nunca irradia luz uniformemente em todas as direções.

A NBR ISO 8995-1 é direcionada para ambientes de trabalho internos, e todas as novas obras e reformas devem estar adequadas à determinação. A nova norma substitui a ABNT NBR 5413 (Iluminância de interiores), com última revisão em 1992, e a ABNT NBR 5382 (Iluminação de ambientes de trabalho), que havia sido inicialmente publicada em 1977 e que se encontrava sem atualização há 28 anos (desde 1985). (ABEE-MG, 2008)

A luminância é um dos conceitos que a luminotécnica apresenta. Ela descreve a medição da quantidade de emissão de luz, que passa através ou é refletida a partir de uma superfície. É através da luminância que o homem enxerga. Antigamente era chamada de brilho, que significa que a luminância está ligada aos brilhos. Porém, existe uma diferença

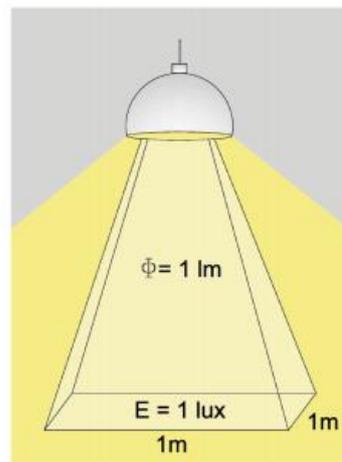
entre a luminância e o brilho, a luminância é uma excitação visual e é quantitativa, enquanto o brilho é a resposta visual. Sua unidade de medida é candela por metro quadrado (cd/m^2).

Luminância está ligada aos contrastes, por exemplo a leitura de uma página escrita em letras pretas (refletância 10%) sobre um fundo branco (papel, refletância 85%) isso revela que a luminância das letras se torna menor do que a luminância do fundo, e sendo assim, a leitura “cansa menos os nossos olhos”.

Contudo, quando há uma certa proximidade das luminâncias, como no caso da linha de costura e do tecido, se torna mais difícil de se observar (contraste reduzido) com isso, há uma necessidade de mais luz. O efeito psicológico das luminâncias é grande no indivíduo, quando se vê e se compara luminâncias.

A iluminância é definida como a relação entre o fluxo luminoso (Φ) em lumens (lm), que descreve a luz que incide numa superfície e a superfície sobre uma determinada área. Ela é dada em Lux (lx) onde corresponde a uma unidade de iluminamento ou iluminância, sendo assim, um lúmen para cada superfície de um metro quadrado.

Figura 1 - Iluminância



Fonte: Manual de iluminação PROCEL, (2011)

De acordo com a norma NBR 8995-1 (2013), o ofuscamento é uma sensação visual intensa que pode ser causada por áreas brilhantes dentro do campo de visão, resultando em desconforto ou incapacidade visual. Esse efeito pode ser provocado por reflexos em superfícies especulares, conhecido como ofuscamento refletido ou reflexões veladoras. É essencial limitar o efeito do ofuscamento nos usuários, a fim de prevenir erros, fadiga e acidentes.

3 METODOLOGIA

Com o objetivo de identificar e avaliar os impactos da implementação de medidas de eficiência energética, realizou-se um estudo de caso na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA/RN). Além disso, este projeto buscou investigar a intensidade da luz nos auditórios I e II do CMA-UFERSA, avaliando sua distribuição e possíveis efeitos de ofuscamento. Para alcançar esses objetivos, foram selecionados pontos estratégicos dentro dos auditórios para realizar medições precisas e coletar os dados necessários para a análise.

Foram utilizados métodos de cálculo baseados na Comissão Internacional de Iluminação (CIE) para medir a densidade e intensidade da luz em pontos estratégicos nos

auditórios. O método dos lúmens e o método ponto a ponto baseado na Lei de Lambert foram utilizados para coletar os dados necessários para análise.

As medições foram realizadas com o auxílio de um luxímetro (Figura 2) nos auditórios do bloco de professores I e II em diferentes horários. No bloco de professores I, a medição da iluminância foi realizada em fevereiro de 2023 às 10h05, 16h00 e 18h20, permitindo a entrada de luz natural cujas as janelas de vidro estavam com as persianas recolhidas e as luzes do auditório acesas. Já no bloco de professores II, as medições foram feitas em horários distintos: pela manhã às 10h38, pela tarde às 14h00 e pela noite às 18h40.

Figura 2 - Luxímetro utilizado nas medições



Fonte: incorzul (2023)

O auditório de professores I tem uma área de 113,13 m² fica a oeste e devido a isso há uma maior incidência solar a tarde. O bloco dos professores I, é composto por um corredor central amplo e salas dos professores. O auditório fica localizado no final do corredor, possui duas janelas em cada uma das fachadas laterais, como pode ser observado nas Figuras 3 e 4.

Figura - 3 Bloco de auditório professores I

Figura - 4 Bloco de auditório professores I



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O segundo auditório, fica a leste e por este motivo, há uma maior incidência solar pela manhã, fica localizado no bloco de professores II, tem uma área de 113,13m², onde possui duas janelas em cada uma das fachadas laterais, assim como no auditório I.

Figura - 5 Bloco de auditório professores II

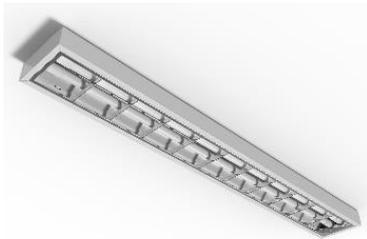
Figura - 6 Bloco de auditório professores II



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

As luminárias utilizadas nos auditórios são de dois tipos, tubular sobreposta ao forro encontrada através de pesquisa na internet com o seguinte nome: Luminária para 2 lâmpadas LED 20w vazia 120cm sobrepor com Aletas de Alumínio 148105 – da marca Lumepetro, essa luminária se encontrava sem o vidro de proteção, que é responsável por proteger as lâmpadas de insetos e poeira. A outra foi encontrada em pesquisa pelo nome: luminária redonda *plafon new clean* 30cm, vidro teto para 2 lâmpadas.

Figura- 7 Tubular sobreposta ao forro



Fonte: Submarino.com

Figura- 8 Luminária redonda



Fonte: Google (2023)

As lâmpadas dos auditórios são de dois tipos tubular fluorescente da marca Philips e bulbo LED da marca ELGIN, conforme Quadro 1 e Anexos 1 e 2.

Quadro 1 – Informações técnicas das lâmpadas

Lâmpada	Dados elétricos	Informações gerais	Dados técnicos de luz	Aprovação e aplicação
	Consumo de energia: 16W (potência)	Tipo: Fluorescente tubular TLDRS16W CO-1	Fluxo luminoso nominal: 1070lm Designação da cor: luz natural fria Temperatura de cor correlacionada: 4100 K	Modelo: T8 Eficiência luminosa: 66,87 lm/W Conteúdo de mercúrio (Hg): 8,0mg
	Consumo de energia: 9W (potência)	Tipo: Bulbo LED	Fluxo luminoso nominal: 810lm Designação da cor: branca fria Temperatura de cor correlacionada: 6500 K	Modelo: A60 Eficiência luminosa: 90 lm/W Conteúdo de mercúrio (Hg): O (zero) mge não

				emite infravermelhos
--	--	--	--	----------------------

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

No levantamento da iluminação artificial, foram coletadas as potências elétricas e as quantidades das lâmpadas usadas nos auditórios. Essa coleta foi feita no dia 8, 9 e 10 de fevereiro de 2023, e podem sofrer alterações se houver substituição de alguma lâmpada. São utilizadas duas lâmpadas por luminária, segundo o catálogo da LUMILUZ a luminária tem um rendimento de 64%. Os dados obtidos para estudo podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 - Quantidade de lâmpadas e tipos de instalação

Auditório	Quantidade de lâmpada tubular (16W)	Quantidade de lâmpada bulbo (9W)	Quantidade de luminária por sala	Luminária tubular	Luminária tipo bulbo	Lâmpada por luminária
I	24	12	18	12	6	2
II	24	12	18	12	6	2

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

O levantamento de todas as dimensões pertinentes ao estudo da iluminação nos ambientes foi feito com o auxílio de uma trena milimétrica. Os dados obtidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Dimensões do auditório

Auditório	Largura (m)	Comprimento (m)	Altura do chão até a luminária(m)	Altura do plano de trabalho a luminária (m)
I	14	8,08	2,7	1,97
II	14	8,08	2,7	1,97

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

4. ANÁLISE DOS DADOS: ESTUDO LUMINOTÉCNICO

Segundo a NBR 8995-1 (ABNT,2013), de modo geral designa-se que as análises e medições devem ser feitas na área apropriada e repetidamente em pontos específicos. O tamanho da malha é dado pela Equação 4 a seguir:

Equação 1

$$p = 0,2 \times 5^{\log 10^d}$$

p - é o tamanho da malha, expresso em metros (m);

d - é a maior dimensão da superfície de referência, expressa em metros (m).

O número de pontos é determinado pelo número inteiro mais próximo da relação d para p . Portanto, a malha de cálculo é subdividida em pequenos retângulos para a superfície de referência retangular, com os pontos de cálculo em seu centro, conforme a Tabela 3. Para ajustar a distribuição da malha, sugere-se alguns arredondamentos, onde o conjunto de pontos de medição foram distribuídos conforme as Figuras 11 e 12.

Tabela 3 - Parâmetros de cálculo da malha de medição

Auditório	d (m)	p	d/p	Número de pontos
I	14	$\log(14)$ $p = 0,2 \times 5 \times 10 = 1,1461$	12.2	15
II	14	$\log(14)$ $p = 0,2 \times 5 \times 10 = 1,1461$	12.2	15

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

O auditório I possui porta de vidro com largura de 0,75m e altura de 2,10m, já o auditório II possui porta de vidro com largura 0,80m e altura de 2,10m com janelas de vidro e também uma porta corta fogo e saída de emergência. Contam com 12 luminárias tubular composta por duas lâmpadas 16w, e 6 luminárias tipo redonda composta por duas lâmpadas (9w) cada. A altura do chão até a luminária é de 2,7m e a altura do plano de trabalho a luminária é de 1,97m. Os auditórios tem 113,13 m², tem 14m de largura e 8,08m comprimento. A distribuição dos pontos na malha de medição figuras 9 e 10.

Figura 9 - Distribuição dos pontos – Aud I

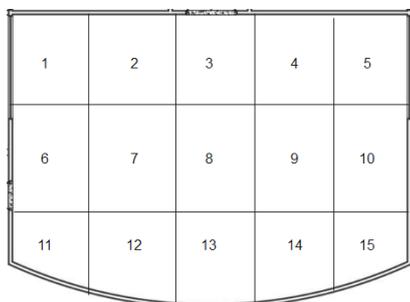
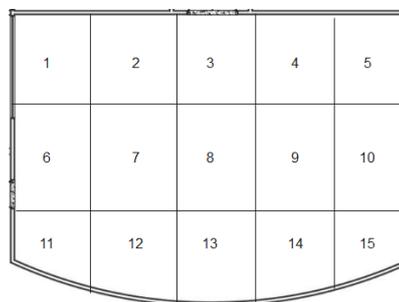


Figura 10 - Distribuição dos pontos – Aud II

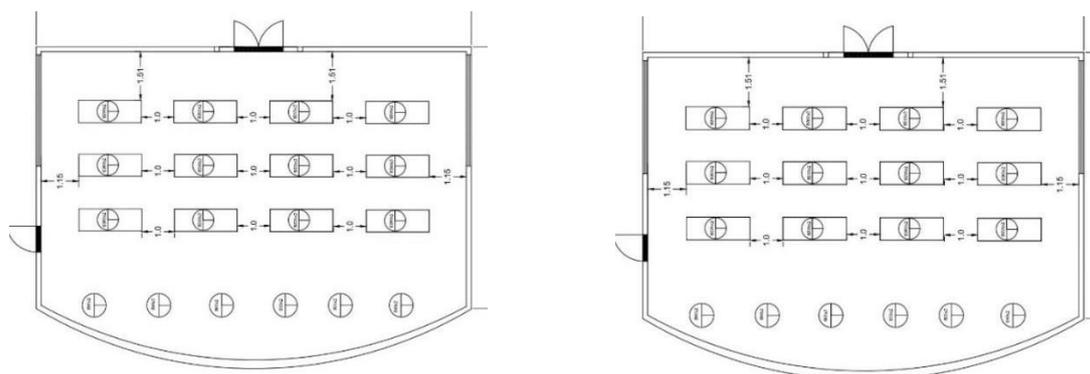


Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

A planta das luminárias do auditório I e II, estão representadas nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 – Planta das luminárias auditório I

Figura 12 – Planta das luminárias auditório II



Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

4.1 COLETA DAS ILUMINÂNCIAS

A medição da iluminação foi realizada nos dias 8, 9 e 10 de fevereiro de 2023, às 10h05 da manhã e às 16h00 da tarde no auditório I, já no auditório II, foram realizadas as 10h38 da manhã e pela tarde às 14h00, respectivamente. As medições no horário da manhã e tarde aconteceram com todas as luzes apagadas e as persianas ficaram abertas para proporcionar a iluminância fornecida pela fonte de luz natural. As medições à noite foram feitas no auditório I às 18h20 e no auditório II às 18h40 do dia 10 de fevereiro de 2023. As medição artificial estão presente nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Medições de lux da iluminação artificial - Auditório I

Pontos	Lux		
	Manhã	Tarde	Noite
1	650	626	353
2	810	624	580
3	755	664	641
4	624	591	561
5	690	599	557
6	618	536	504
7	540	546	513
8	731	718	687
9	625	598	577
10	450	408	390
11	425	394	382
12	435	419	405
13	430	409	392
14	413	370	350
15	410	369	359

Tabela 5 - Medições de lux da iluminação artificial - Auditório II.

Pontos	Lux		
	Manhã	Tarde	Noite
1	458	612	696
2	670	678	265
3	573	575	478
4	650	637	712
5	508	494	531
6	469	485	213
7	651	630	406
8	659	663	527
9	702	686	670
10	587	487	607
11	300	300	285
12	368	325	311
13	360	366	380
14	357	375	354
15	311	350	318

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

A média aritmética dos valores obtidos para cada ponto de medição natural estão presente nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Medições de lux da iluminação natural - Auditório I

Pontos	Lux	
	Manhã	Tarde
1	115	40
2	110	53
3	54	35
4	74	16
5	153	20
6	45	30
7	61	31
8	48	33
9	39	9
10	37	11
11	425	12
12	435	11
13	430	11
14	413	40
15	410	53

Tabela 7 - Medições de lux da iluminação natural- Auditório II

Pontos	Lux	
	Manhã	Tarde
1	323	285
2	81	78
3	37	55
4	114	86
5	60	93
6	219	210
7	114	115
8	65	63
9	80	65
10	124	97
11	13	22
12	14	22
13	14	24
14	11	22
15	12	19

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

4.2 MÉTODO DOS LÚMENS

Para obter um estudo luminotécnico mais aprofundado nos auditórios, foi realizado o método dos lumens. Segundo (Creder, 2007) o método dos lumens consiste em determinar o fluxo luminoso total (Φ), e posteriormente, pode-se determinar o número de luminárias de um determinado local em função do nível de iluminância que se deseja ter no ambiente. A quantidade de luminárias desse método pode ser obtido a partir das seguintes equação:

Equação 2 e Equação 3

$$\Phi = \frac{S \times Em}{U \times d} \quad n = \frac{\Phi}{\varphi}$$

Onde:

Φ - fluxo luminoso total, em lumens;

Em - nível de iluminância mantida, em luxes;

S - área do recinto, em metros quadrados;

U - fator de utilização ou coeficiente de utilização;

d - fator de depreciação ou de manutenção;

n - número de luminárias;

φ - fluxo por luminárias, em lumens.

O nível de iluminância mantida em luxes, pode ser alcançado através dos requisitos para o planejamento da iluminação da NBR 8995-1/2013 onde a norma afirma que a iluminância mantida mínima para salas de aula e auditórios é de ($E_m = 500$ lux).

O coeficiente de utilização é o coeficiente que relaciona o fluxo luminoso inicial emitido através da luminária (fluxo total) e o fluxo recebido no plano de trabalho (fluxo útil), devido a isso, o coeficiente depende das dimensões do local, da cor do teto, das paredes e do acabamento das luminárias (Creder, 2007). Para obter este coeficiente, pode-se verificar o catálogo da luminária ou através da equação 4.

Equação 4

$$U = K \times N$$

Onde:

U - Coeficiente de utilização;

K - Índice do local.

N - eficiência da luminária

Equação 5

$$K = \frac{c \times l}{hm (c + l)}$$

Onde:

c - Comprimento do local;

l - Largura do local;

K - Índice do local

hm - Altura de montagem da luminária.

Dessa forma, os valores do índice local está representado na Tabela a seguir:

Tabela 8 - Índice do Local para os auditórios analisadas

Auditório	K
I	1,89
II	1,89

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

A eficiência da luminária pode ser obtido pelo catálogo LUMILUZ, onde é informado que a luminária de sobrepor ao forro tem uma eficiência de 64%. Assim, com todos os parâmetros é possível obter (com a equação 4) o coeficiente de utilização de acordo com cada especificação de cada leiaute, representado pela tabela 9.

Tabela 9 - Coeficiente de utilização dos auditórios analisados

Auditório	U
I	1.2096
II	1.2096

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

Após encontrar o coeficiente de utilização, é preciso encontrar o fator de depreciação. De acordo com Creder (2007), O fator de depreciação, relaciona o fluxo emitido no fim do

período de manutenção da luminária e o fluxo luminoso inicial da mesma, e pode ser obtido pela equação 6.

Equação 6

$$MF = FMFL \times FSL \times FML \times FMSS$$

Onde,

FMFL - Considera a depreciação do fluxo luminoso da fonte luminosa;

FSL - Considera o efeito de falha por envelhecimento da lâmpada;

FMSS - Considera a redução da reflectância devido à deposição de sujeira nas superfícies do recinto;

FML - Considera os efeitos de redução do fluxo luminoso devido ao acúmulo de sujeira nas luminárias.

Na NBR 8995-1/2013 é fornecido uma tabela com os fatores de depreciação indicados para lâmpadas fluorescentes. Para as lâmpadas de LED, o catálogo da LUMILUZ iluminação indica os fatores de depreciação (d) para as fontes luminosas de LED como: Limpo: 0,80 - Médio: 0,70 - Sujo: 0,60. De acordo com o observado na nas salas e nas luminárias contidas, foi adotado o fator de depreciação de $d = 0,70$.

O fluxo por luminária em lumens (ϕ) é obtido pela soma do fluxo luminoso nominal de duas lâmpadas, ou seja: $2 \times 1070 \text{ lm} = 2.140 \text{ lm}$, conforme o anexo II.

O fluxo da luminária tipo bulbo é de $2 \times 810 \text{ lm} = 1.620 \text{ lm}$, conforme o anexo I, ou seja somando as duas $2.140 + 1.620 = 3.760$. Diante dos valores das iluminâncias mantidas, áreas dos recintos, coeficiente de utilização, fatores de depreciação, e fluxo por luminárias obtidos, pode-se realizar o método dos lumens e encontrar os valores dos fluxos luminosos total e o número de luminárias.

Os valores encontrados pelo método dos lumens (utilizando as equações 2 e 3) estão representados na Tabela 10.

Tabela 10 - Fluxo total por ambiente

Auditório	Área (m ²)	E (lux)	U	d	Φ (lm)	φ (lm)	n° Luminárias	n° Luminárias Proposta
I	113,13	500	1.2096	0,70	66.804	3.760	17,8	18
II	113,13	500	1.2096	0,70	66.804	3.760	17,8	18

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

Diante dos números de luminárias que foram obtidos através da Tabela 9, realizou-se um arredondamento para mais, para proporcionar uma distribuição mais uniforme, para a instalação das luminárias e os fluxos luminosos. Assim, o número de luminárias propostas para os auditórios foi de 18.

4.3 MÉTODO PONTO A PONTO

O método ponto a ponto é utilizado para calcular a iluminância do ambiente, levando em conta a posição de cada luminária, e a influência na iluminação do espaço. Esse método é uma das formas mais precisas de determinar a quantidade de luminárias necessárias para

garantir a iluminação adequada em um ambiente. É realizado utilizando as seguintes equações:

Equação 7

$$N = \frac{Emed \times A}{n \times \varphi n \times U \times FM \times FFL}$$

Equação 8

$$Emed = \frac{N \times n \times \varphi n \times U \times FM \times FFL}{A}$$

N: número necessário de luminárias (tabela 10)

Emed: iluminância média (lux) =

A: área do ambiente (m²)= 113,13m² (tabela 10)

n: número de lâmpadas em cada luminária: 2 (tabela 1)

φn: fluxo luminoso de cada lâmpada (lm): tubular 1070 lm, bulbo 810 lm (quadro 1)

U: fator de utilização: 0,70

FM: fator de manutenção ou depreciação: 0,70 (tabela 10)

FFL: fator de fluxo luminoso do reator: 1.0

$$N = \frac{135,14 \times 113,13}{2 \times 1.070 \times 810 \times 0,70 \times 0,70 \times 1,0} = 18$$

$$Emed = \frac{18 \times 2 \times 1.070 \times 810 \times 0,70 \times 0,70 \times 1,0}{113,13} = 135,14$$

5 CONCLUSÃO

O estudo realizado nos auditórios dos blocos de professores I e II do Centro Multidisciplinar de Angicos/RN (CMA - UFERSA), buscou identificar os benefícios do uso de medidas de eficiência energética aplicáveis ao sistema de iluminação. De maneira geral, o sistema de iluminação dos auditórios mostrou condições adequadas para atender aos requisitos mínimos de iluminância exigidos pela NBR 8995-1.

De acordo com as medições, ficou claro o potencial de aproveitamento da luz natural. Foi visto de acordo com os cálculos realizados, que o número de luminárias e lâmpadas estão de acordo com o adequado.

Com esse estudo também foi possível notar que é necessário um dimensionamento mais adequado e realizar uma reforma no auditório do bloco dos professores II, pois o mesmo se encontra com um lado do teto faltando o material lã de vidro, e algumas das lâmpadas com mau funcionamento. Também foi visto que as persianas do auditório do bloco de professores I e do bloco de professores II, se encontram quebradas, o que afetaram as medições dos níveis de lux.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/CIE 8995-1:2013. Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

COSTA, G.J.C. Iluminação econômica: cálculo e avaliação. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006. 576 p.

DUTRA, L.; LAMBERTS, R.; PEREIRA, R.O.F. Eficiência energética na arquitetura. 3. ed. São Paulo: ProLivros, 2014.

G-LIGHT. Diferença entre as lâmpadas de LED, as incandescentes e as fluorescentes: Lâmpadas fluorescentes e lâmpadas de LED. 2019. Disponível em: <https://www.g-light.com.br/diferenca-entre-as-lampadas-de-led-as-incandescentes-e-as-fluorescentes/>. Acesso em: 13 out. 2022.

GRUPO INTRAL. Iluminação Inteligente. Especificações técnicas luminária OS-122. Disponível em: <https://www.intral.com.br/pt/produtos/#luminarias-para-lampadas-tubo-led/luminarias-para-lampadas-tubo-led/luminaria-os-122>. Acesso em: 01 abr. 2022.

LEDVANCE. Cálculo luminotécnico | método simplificado. Disponível em: <https://dammedia.ledvance.info/media/img/asset13981833/downloads/eBook%20C%C3%A1lculo%20Luminot%C3%A9cnico%20M%C3%A9todo%20Simplificado.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2022.

OLIVEIRA, Pedro Eugênio Nogueira. Análise e proposta de melhorias na eficiência energética destinada à iluminação: um estudo de caso do bloco de aulas 2 da UFERSA – Campus Angicos/RN. 2020. 65 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos/RN, 2020.

OSRAM. Manual luminotécnico prático: Limitação de ofuscamento. [S.l.]: OSRAM, [s.d.]. Disponível em: <https://www.osram.com/ds/tools-and-services/documents/lighting-design-guides.jsp>. Acesso em: [10 out. 2022].