

ANÁLISE LUMINOTÉCNICA E PROJETO DE APRIMORAMENTO EM ESCOLAS PÚBLICAS NO MUNICÍPIO DE DOURADOS – MS E PRESIDENTE PRUDENTE – SP

Leite, Mariana Manzoni¹; Omido, Agleison Ramos²;
mariana.manzonileite@gmail.com¹; agleisonomido@ufgd.edu.br²;

RESUMO

Uma boa iluminação em ambientes de trabalho requer projetos luminotécnicos que compreendam a importância da visualização eficiente das tarefas a serem executadas. Construções educacionais são tratadas como ambiente de trabalho para a ABNT NBR 8995-1:2013, dada a permanência dos alunos e profissionais nas instituições e ao desenvolvimento da aprendizagem ser realizado extensamente por meios visuais. Considerando-se a importância do tema exposto, o presente trabalho analisou a iluminação existente nos ambientes mais relevantes da Escola Estadual Floriano Viegas Machado e da Escola Estadual Monsenhor Sarrion, localizadas nos municípios de Dourados (MS, Brasil) e Presidente Prudente (SP, Brasil), respectivamente. A investigação contou com a utilização do aparelho Luxímetro, capaz de medir o fluxo incidente nos planos de trabalho, nos ambientes: sala de aula, sala dos professores, biblioteca, laboratório de química e laboratório de informática. Apesar de passarem por reformas elétricas recentes, todos os ambientes analisados em ambas as escolas resultaram em valores insatisfatórios se comparados aos propostos por norma. Como alternativa de correção, utilizou-se do Método dos Lúmens para redimensionar os 10 ambientes e encontrar o número correto de luminárias a serem instaladas. Para fins de comparação e precisão de valores, o *software* DIALux evo® foi utilizado, com luminárias do tipo CCN07-E232, 2X32W-T8, retiradas do catálogo da fabricante Lumicenter. Os dois métodos apresentaram valores parecidos entre si, mas diferentes dos existentes nos ambientes estudados, confirmando a necessidade de reparos e aumento no número de luminárias.

Palavras-chave: Construções educacionais; luminotécnica; Método dos Lumens.

ABSTRACT

Good lighting in work environments requires lighting designs that understand the importance of efficiently visualizing the tasks to be performed. Educational constructions are treated as a working environment for ABNT NBR 8995-1:2013, given the permanence of students and professionals in institutions and the development of learning being carried out extensively by visual means. Considering the importance of the exposed theme, the present work analyzed the existing lighting in the most relevant environments of the Floriano Viegas Machado State School and Monsenhor Sarrion State School, located in the municipalities of Dourados (MS, Brazil) and Presidente Prudente (SP, Brazil), respectively. The investigation relied on the use of the Luxmeter device, capable of measuring the flow incident on the work plans, in the environments: night classroom, teachers' room, library, chemistry laboratory and computer laboratory. Despite undergoing recent electrical reforms, all environments analyzed in both schools resulted in unsatisfactory values compared to the proposed standard. As a correction alternative, the Lumens Method was used to resize the 10 environments and find the correct number of luminaires to be installed. For purposes of comparison and precision of values, the DIALux evo® *software* was used, with luminaires of type CCN07-E232, 2X32W-T8, taken from the Lumicenter manufacturer's catalog. The two methods presented values similar to each other, but different from those existing in the environments studied, confirming the need for repairs and an increase in the number of luminaires.

Keywords: Educational buildings; lighting technique; Lumens Method.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade por meio da comunicação e relações interpessoais sempre esteve atrelado aos fatores sonoros, térmicos e visuais, como relata Dorigo (2007). Para Pizarro (2005) essas interações estão diretamente relacionadas ao conforto ambiental no qual os indivíduos se encontram, sendo ampliada tal percepção em escolas, por serem consideradas de longa permanência e essenciais socialmente. Com isso, Pizarro (2005) admite a importância dos fatores citados, com foco na iluminação, estarem voltados à qualidade de vida e consumo energético responsável.

Em entrevista para Godoi (2013), a doutora em Engenharia Civil, Betina Martau, afirma haver maior produtividade em ambientes de trabalho com luz artificial bem planejada, somado à melhoria no conforto e bem estar, enquanto para locais com iluminação insuficiente, é notória a queda do desempenho na realização de tarefas visuais, sendo ainda mais acentuada em situações de exposição prolongada.

Levando-se em consideração a grande quantidade de profissionais e alunos presentes nas escolas e a quase totalidade do ensino ser oferecida por meios visuais, somada à elevada carga horária escolar, chama-se atenção para a situação luminotécnica das escolas no qual, segundo Hybiner (2015), apresenta em âmbito nacional um histórico de padronização para as instituições, que desconsidera as especificações de projeto individual para cada edificação, e atualmente se encontra como foco de pesquisas que buscam não somente reparar tais falhas consequentes da falta de projeto, como também melhorar o desempenho luminoso dos ambientes.

Para além do solo brasileiro e a necessidade de correções, a iluminação em construções educacionais também se mostra relevante. Hybiner (2015) constata que em países do Hemisfério Norte, os estudos são voltados para aprimoramento das tecnologias e aplicações da luz natural e artificial, de modo a reduzir o consumo de energia e fomentar melhorias nas execuções de atividades. Pode-se citar como exemplo uma grande pesquisa realizada em 153 classes distribuídas em 27 escolas no Reino Unido, no qual foi possível comprovar impactos positivos gerados pela exposição corretamente orientada à luz natural e pela prevenção do risco de ofuscamento, além de um progresso significativo na aprendizagem dos alunos que puderam desfrutar de ambientes com iluminação artificial devidamente planejadas (BARRETT et al., 2015).

Para tanto, hoje são várias as legislações e recomendações técnicas existentes objetivadas em qualificar e quantificar adequadamente a iluminação de diferentes ambientes. Este é o caso da ABNT NBR 8995:2013, que orienta valores de iluminância, limitações de ofuscamento e a qualidade da cor específicos para cada atividade, sendo

utilizada no presente trabalho, na Escola Estadual Floriano Viegas Machado, localizada no município de Dourados – MS e na Escola Estadual Monsenhor Sarrion, localizada no município de Presidente Prudente – SP, nos ambientes: salas de aulas noturnas, laboratórios de química e de informática, biblioteca e salas de professores.

Por meio deste estudo, foi realizada uma análise luminotécnica de ambas as instituições através de medições presenciais com o equipamento luxímetro, seguidas de averiguações acerca do iluminamento previsto por norma, utilizando-se do Método Manual dos Lúmens e do *software* DIALux evo®, propondo possíveis melhorias e realizando um comparativo entre o conforto visual oferecido em duas instituições de ensino públicas, sendo uma no estado de São Paulo e outra no Mato Grosso do Sul.

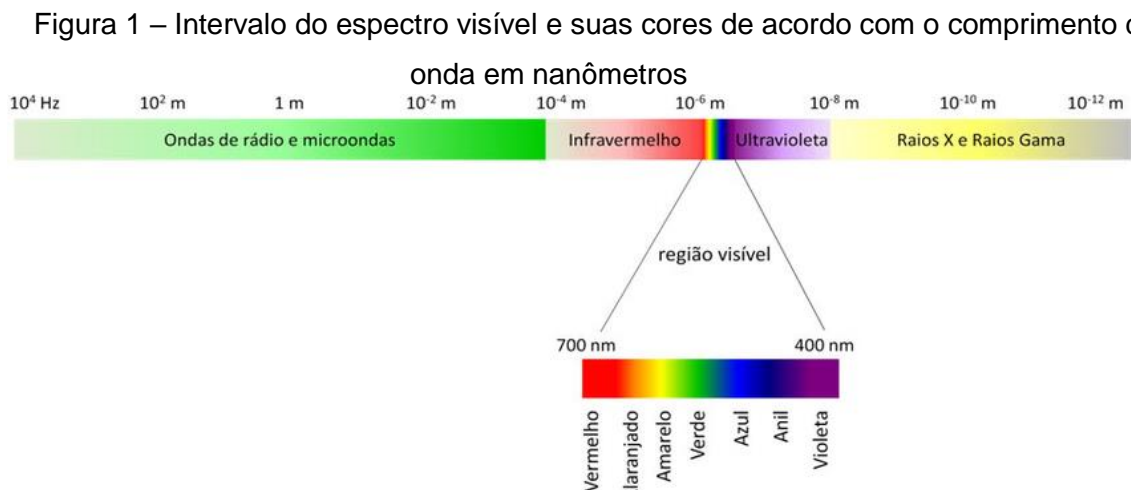
2 FUNDAMENTOS DA LUMINOTÉCNICA

2.1 Luz

De acordo com Creder (2013), luz é a energia radiante de ondas eletromagnéticas perceptíveis ao olho humano pela sensação visual de claridade, causada pelo estímulo da retina ocular. Comprimentos de onda menores que 380nm (nanômetros) são considerados de raios ultravioleta, entre 380nm e 760nm são visíveis a olho nu (espectro visível), enquanto acima de 760nm são considerados comprimentos de onda de raios infravermelhos.

2.2 Cor

As cores são reações da percepção sensorial humana para cada valor de comprimento de onda. Na Figura 1 é possível notar as diferentes cores formadas pelo fenômeno energético dentro do espectro visível, ilustradas por Scarinci (2014).



Fonte: SCARINCI (2014).

2.2.1 Reprodução de cor (R_a)

De acordo com a ABNT NBR 8995-1:2013, a reprodução da cor é um tema relevante para que um ambiente tenha suas cores apresentadas de maneira natural e correta, além de garantir um bom desempenho visual, conforto e bem estar.

De modo a fornecer informações objetivas acerca da reprodução das cores, a mesma norma determina valores mínimos recomendados do índice geral de reprodução de cor R_a onde, para uma fonte de luz com a máxima qualidade de reprodução de cor, este valor será 100 e para fontes com menos esse valor diminui proporcionalmente.

Ainda é recomendado que interiores com ocupação prolongada não utilizem lâmpadas com R_a inferior a 80, como é o caso das áreas estudantis e se pode observar na Tabela 1, que reúne os valores de R_a retirados da ABNT NBR 8995-1:2013, mínimos para cada ambiente de interesse neste trabalho:

Tabela 1 – Valores de reprodução de cor (R_a) para cada ambiente, tarefa ou atividade

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	R_a
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	80
Salas de aplicação e laboratórios	80
Salas dos professores	80
Salas de ensino de computador	80
Área de leitura	80

Fonte: Adaptado de NBR 8995-1 (ABNT, 2013).

2.3 Fluxo Luminoso (Φ)

Seguindo o que é descrito pela ABNT NBR 8995-1:2013, fluxo luminoso é a potência da radiação total que uma fonte de luz emite, sendo representado por " Φ " e seu valor medido em lúmens (lm). Nas lâmpadas, a eficiência de um fluxo luminoso é condicionada à potência (*Potência*) consumida pela fonte, sendo ela representada pela Equação 1:

$$Eficiência\ luminosa = \frac{\Phi}{Potência} \quad (1)$$

Onde a potência deve ser em Watts, e a eficiência luminosa em Lúmens/Watts.

2.4 Iluminância (E)

Iluminância (E) é a relação obtida entre a emissão de um lúmen de fluxo luminoso perpendicular a uma área de 1 m² de superfície plana, representada pela Equação 2:

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (2)$$

Onde “ Φ ” é medido em lúmens (lm), “ S ” é o valor da área em metros quadrados (m^2) e a relação de lm/m^2 é conhecida como lux (lx), unidade de medida de “ E ”.

Na prática, tal razão corresponde a uma iluminância média, uma vez que a distribuição de um fluxo luminoso sobre uma superfície não é uniforme, a menos que a luz seja muito pontual, sem se estender à superfície. Na ABNT NBR 8995-1:2013 são especificados valores mínimos de iluminância média para cada área de tarefa baseados nos fatores: requisitos para a tarefa visual, segurança, aspectos psicofisiológicos, economia e experiência prática. Seguindo o propósito deste trabalho, a Tabela 2 reúne valores fornecidos pela norma de iluminância média \overline{Em} , medidos em lux, para cada ambiente a ser estudado nas escolas:

Tabela 2 – Valores de iluminância média \overline{Em} para cada ambiente, tarefa ou atividade

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	\overline{Em}
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500
Salas de aplicação e laboratórios	500
Salas dos professores	300
Salas de ensino de computador	500
Área de leitura	500

Fonte: Adaptado de NBR 8995-1 (ABNT, 2013).

O menor valor possível para a iluminância num ambiente é de 20 lux, onde já se é perceptível as características da face humana. Valores acima deste seguem uma escala recomendada pela norma, que aumenta regularmente em torno de 1,5 vezes, são estes: 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000 e 5000 lux. Assim como a reprodução da cor possui valor mínimo para ambientes de trabalho contínuo, a iluminância mínima nessa situação é de 200 lux.

É possível ainda, que condições não usuais solicitem ajustes em pelo menos um nível acima ou abaixo da escala acima citada, no valor de iluminância média indicada para o ambiente, tarefa ou atividade em questão. Também há recomendação para a redução da iluminância, e deve ocorrer quando os detalhes forem excepcionalmente grandes ou possuírem alto contraste, ou a tarefa for feita em tempo excepcionalmente curto.

Considerando diferentes tarefas executadas num mesmo ambiente, a norma ainda solicita uma padronização nas iluminâncias, sem que haja mudanças drásticas entre a iluminância na área de tarefa e o seu entorno imediato. Para tanto, na ABNT NBR 8995-1:2013 é possível observar limites, reproduzidos no Quadro 1, que limitam a diminuição da iluminância de cada entorno ao se considerar a solicitada para cada tarefa.

Quadro 1 – Valores limites de diminuição de iluminância da tarefa para seu entorno imediato

Iluminância da tarefa (lux)	Iluminância do entorno imediato (lux)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Mesma iluminância da área de tarefa

Fonte: Adaptado de NBR 8995-1 (ABNT, 2013).

2.5 Ofuscamento

Ofuscamento é a percepção de áreas extremamente brilhantes ou contrastantes com a iluminância do ambiente para o observador. Foi inserido a partir da ABNT NBR 8995-1:2013 como critério no planejamento dos ambientes, tarefas ou atividades, através do Índice Limite de Ofuscamento Unificado (UGR_L), para prevenção de erros, fadigas ou acidentes. Encontra-se na norma os seguintes valores na escala crescente de desconforto para o UGR_L: 13, 16, 19, 22, 25 e 28. Através do método tabular detalhado na norma CIE 117 – 1995, é possível calcular o Índice de Ofuscamento Unificado (UGR) pela Equação 3:

$$UGR = 8 * \log \left(\frac{0,25}{L_B} * \sum \frac{L^2 * \omega}{p^2} \right) \quad (3)$$

Onde:

L_B = iluminância de fundo em candela por metros quadrados (cd/m²);

L = iluminância de cada luminária na direção do olho do observador em candela por metros quadrados (cd/m²);

ω = ângulo da parte luminosa da luminária junto ao olho do observador em graus (°);

p = índice de posição Guth de cada luminária.

Para os ambientes de interesse, a Tabela 3 organiza os valores do Índice:

Tabela 3 – Valores de Índice limite de ofuscamento unificado (UGR_L) para cada ambiente, tarefa ou atividade

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	UGR _L
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	19
Salas de aplicação e laboratórios	19
Salas dos professores	22
Salas de ensino de computador	19
Área de leitura	19

Fonte: Adaptado de NBR 8995-1 (ABNT, 2013).

Apesar da grande quantidade de detalhes solicitados na ABNT NBR 8995-1:2013 para a adequação aos valores propostos de UGR_L, todas as informações são voltadas

exclusivamente para projeto, inclusive o cálculo por meio do método tabular e os índices de posição Guth (inseridos em *softwares* de iluminação que realizam o dimensionamento automático) possuem a função de determinar o valor do UGR para a situação do projeto.

Faltam na norma recomendações da metodologia a ser seguida para análise de ambientes já construídos e descrição de equipamentos capazes de realizar a medição in loco do Índice de Ofuscamento Unificado; deste modo, e considerando que o atual trabalho teve suas medições realizadas no período noturno, abstraiu-se as medições deste item nos locais de estudo.

3 METODOLOGIA

3.1 Instituições Educacionais em Dourados (MS) e Presidente Prudente (SP)

Escolheu-se para o trabalho duas construções educacionais de porte semelhante, tornando justa a análise dos ambientes escolhidos. Ambas são de domínio estadual e compreendem salas de aula para ensino fundamental e médio no período diurno e noturno, salas dos professores, bibliotecas, laboratórios de química e de informática. As instituições contam com aulas noturnas nos mesmos ambientes em que as diurnas ocorrem, cabendo averiguação das conformidades com a norma para o caso mais crítico (noturno).

3.1.1 Escola Estadual Floriano Viegas Machado

Localizada em Dourados, no estado do Mato Grosso do Sul, na Rua Ciro Melo, 5305, Jardim Guanabara, com código postal 79833-080, a escola possui infraestrutura de um pavimento que compreende além dos ambientes investigados, dependências e sanitários com acessibilidade, cozinha e alimentação fornecida, água filtrada e quadra de esportes.

De acordo com informações fornecidas pelo diretor da escola, a instituição recentemente finalizou uma grande reforma em toda a sua rede elétrica e ainda se encontra no processo de melhorias, tendo sido possível visualizar obras em andamento na quadra esportiva e arredores do edifício.

Acerca dos 5 ambientes de interesse, foram realizados registros fotográficos para melhor visualização do mobiliário abrangente. A escola conta com uma padronização nas esquadrias, com portas de 80x210cm e janelas de 80x150cm posicionadas a 140cm do piso de cada ambiente. As Figuras 2 e 3 são os registros dos ambientes:

Figura 2 – Sala de aula, sala de professores e biblioteca da E.E. Floriano Viegas Machado



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 3 – Laboratórios de Química e Informática da E.E. Floriano Viegas Machado



Fonte: Autoria própria (2022).

Como é possível notar, todos os ambientes são retangulares. Suas dimensões foram medidas através de uma trena tradicional, sendo seus valores informados na Tabela 4:

Tabela 4 – Dimensões dos ambientes estudados na Escola Estadual Floriano Viegas Machado

Ambiente	Largura (m)	Comprimento (m)	Pé Direito (m)
Sala de aula	6,2	7,9	2,9
Sala dos professores	3,9	7,6	2,9
Biblioteca	3,8	6,2	2,9
Laboratório de Química	6,1	8,6	2,9
Laboratório de Informática	7,1	8,5	2,9

Fonte: Autoria própria (2022).

3.1.2 Escola Estadual Monsenhor Sarrion

Localizada em Presidente Prudente, no estado de São Paulo, na Rua Marcondes Filho, 93, Vila Roberto, com código postal 19013-160, a escola possui infraestrutura de dois pavimentos que compreende além dos ambientes investigados, dependências e sanitários com acessibilidade, cozinha e alimentação fornecida, água filtrada e quadra de esportes, exatamente os mesmos itens que a primeira escola analisada.

O diretor da escola também afirmou ter finalizado uma obra recente na escola, todavia, foi apenas uma substituição das antigas lâmpadas fluorescentes tubulares do edifício por lâmpadas de LED. O diretor não soube especificar o modelo das lâmpadas utilizadas.

Analisando os mesmos ambientes que a escola anterior, também foram executados registros fotográficos para compreensão das mobílias e suas cores. As esquadrias também possuíam padrão, suas portas tinham 80x210cm e as janelas, maiores que as da E.E. Floriano Viegas Machado, mediam 130x220cm posicionadas a 70cm dos pisos. As Figuras 4 e 5 são os registros dos ambientes:

Figura 4 – Sala de aula, sala dos professores e biblioteca da E.E. Monsenhor Sarrion



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 5 – Laboratório de Química e Informática da E.E. Monsenhor Sarrion



Fonte: Autoria própria (2022).

A Escola Estadual Monsenhor Sarrion não possui todos os ambientes retangulares; a sala dos professores possui um formato de L e o laboratório de química possui seu ambiente disposto num retângulo principal e dois complementares. As dimensões dos dois ambientes são observáveis na Figura 7. Apesar da incompatibilização na forma dos ambientes, há uma prevalência retangular em todos, sendo suas dimensões principais de comprimento e largura medidas com trena tradicional e informadas na Tabela 5:

Tabela 5 – Dimensões dos ambientes estudados na Escola Estadual Monsenhor Sarrion

Ambiente	Largura (m)	Comprimento (m)	Pé Direito (m)
Sala de aula	4,5	6,8	2,9
Sala dos professores	6,3	6,9	2,9
Biblioteca	6,9	13,4	2,9
Laboratório de Química	6,8	9,2	2,9
Laboratório de Informática	6,7	10,6	2,9

Fonte: Autoria própria (2022).

3.2 Condições de iluminação existente

Como apresentado nas tabelas 1, 2 e 3, a norma espera valores mínimos de R_a , $\overline{E_m}$ e UGR_L que servem de limites a serem respeitados em projetos de iluminação, com seu dimensionamento podendo ser feito através do Método de Lúmens ou por *softwares* próprios para essa função.

Quanto à análise de ambientes já existentes, a ABNT NBR 8995-1:2013 define em seu Anexo B a malha de cálculo para projeto de sistema de iluminação e verificação da iluminância nas instalações do ambiente de trabalho. A ABNT NBR 15215-4:2005, que trata do procedimento para medição das condições de iluminação em ambientes internos também possui um método de investigação por meio de pontos, todavia para o dado trabalho, optou-se por priorizar a norma de 2013 e o método nela descrito, considerando-se a importância dos ambientes escolares serem reconhecidos como áreas de trabalho e possuírem uma metodologia própria oferecida na norma.

De acordo com a ABNT NBR 8995-1:2013, por meio das Equações 4 e 5, obtém-se o tamanho da malha e a quantidade de pontos a serem investigados, respectivamente:

$$p = 0,2 * 5^{\log_{10}d} \quad (4)$$

$$n = \frac{d}{p} \quad (5)$$

Onde:

- p = tamanho da malha em metros (m);
- d = comprimento da superfície de referência em metros (m);
- n = quantidade de pontos de investigação.

O valor de “ d ” deve ser a largura somente nos casos em que a superfície de referência tenha uma relação entre comprimento e largura menor que 0,5 ou maior que 2, o que não ocorre no locais estudados e portanto não se altera as Equações 4 e 5.

O número de pontos (n) a serem investigados no local deve ser o valor inteiro mais aproximado do resultado da divisão, sem exceder o valor encontrado para o tamanho da malha (p), ou seja, recomenda-se que utilize-se o próximo inteiro imediato. Além disso, os pontos devem ser localizados no centro de cada retângulo formado pela malha na superfície investigada. Finalmente, sabendo a metodologia para a análise do ambiente, realiza-se as medições de iluminância no centro de cada ponto, sendo a iluminância média $\overline{E_m}$, a média aritmética de todos os valores encontrados.

Nos ambientes em estudo, a Tabela 6 resume os resultados encontrados para p e n :

Tabela 6 – Número de pontos (n) a serem investigados em função do tamanho da malha (d) e comprimento da superfície (p) dos ambientes estudados

Ambiente	E.E. Floriano Viegas Machado				E.E. Monsenhor Sarrion			
	d (m)	p (m)	n	Aprox.	d (m)	p (m)	n	Aprox.
Sala de aula	7,9	0,85	9,31	12	6,8	0,76	8,90	9
Sala dos professores	7,6	0,83	9,21	12	6,9	0,77	8,94	9
Biblioteca	6,2	0,72	8,66	9	13,4	1,23	10,92	12
Lab. de Química	8,6	0,90	9,56	12	9,2	0,94	9,75	12
Lab. de Informática	8,5	0,89	9,52	16	10,6	1,04	10,18	12

Fonte: Autoria própria (2022).

A última coluna da Tabela 6, chamada “Aprox.” como abreviação de “Aproximação”, foi um critério adotado para este trabalho, respeitando o mínimo imposto pela norma, de modo a otimizar a divisão do ambiente.

Desta forma, tomando como exemplo a sala de aula da E.E. Floriano Viegas Machado, que solicita 9,31 pontos de investigação, com o arredondamento solicitará uma divisão de 10 retângulos. A norma pede que as formas da divisão se assemelhem a quadrados, e conseqüentemente uma malha com 12 divisões gera maior uniformidade, e ainda respeita o mínimo. Para o laboratório de informática, optou-se por uma divisão ainda mais conservadora e uniforme, de 16 pontos.

Resumidamente, para todos os ambientes respeitou-se o mínimo e utilizou-se a divisão de pontos em que as partes mais se assemelharam com quadrados.

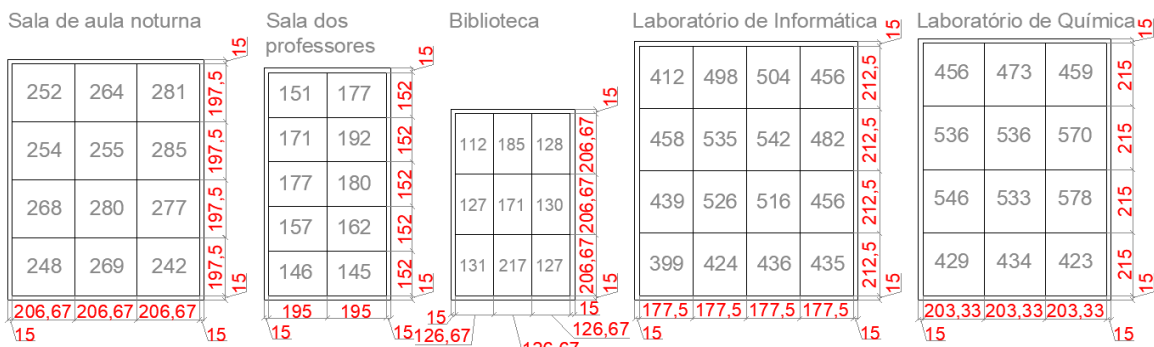
3.2.1 Equipamento de medição Luxímetro

Para a investigação dos pontos exigidos por norma, utiliza-se o aparelho Luxímetro. A Faculdade de Engenharia da UFGD disponibiliza aos acadêmicos o modelo de luxímetro digital portátil THAL-300, da empresa INSTRUTHERM.

Por meio do luxímetro, e seguindo o procedimento de utilização proposto no manual fornecido junto ao equipamento, mediu-se os valores para cada ponto, apresentados na Figura 6 e Figura 7:

Figura 6 – Valores encontrados de iluminância para cada ponto investigado da E.E.

Floriano Viegas Machado



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 7 – Valores encontrados de iluminância para cada ponto investigado da E.E.

Monsenhor Sarrion



Fonte: Autoria própria (2022).

3.3 Dimensionamento de iluminação

3.3.1 Método dos Lumens

Sendo a opção mais aplicada aos projetos de iluminação devido sua boa precisão e rapidez, de acordo com Niskier (2021), o método dos Lumens consiste num processo detalhado de equações para obtenção do número e disposição de luminárias necessários ao projeto. Para tal, é levado em consideração que áreas de trabalho possuem seu iluminamento de interesse no plano em que a tarefa está sendo executada.

O método dos Lumens se inicia com a Equação 6, do fluxo total Φ (medido em lumens):

$$\Phi = \frac{E * S}{u * d} \tag{6}$$

Onde:

- S = área do ambiente, em m²;

- E = iluminância desejada, em lux (valores apresentados na Tabela 2);
- u = fator de utilização;
- d = fator de depreciação e refletâncias do teto e paredes.

O fator de utilização “ u ” é dado pela razão entre o fluxo utilizado e o fluxo luminoso emitido pelas luminárias escolhidas. Seu valor foi retirado de Niskier (2021), através de uma tabela em função do índice de local e do fator de reflexão resultante da cor das paredes e tetos. Para a realização do trabalho, os trechos relevantes das tabelas de índice de local e fator de reflexão estão apresentados nos Quadros 2 e 3:

Quadro 2 – Índice de local em função das dimensões do ambiente

Iluminação indireta e semi-indireta		Altura do teto (m) 2,75 a 2,90
Largura do local (m)	Comprimento do local (m)	Índice do local
3,70 (3,40 – 3,80)	6,00 – 9,00	F
4,30 (4,00 – 4,70)	6,00 – 9,00	E
6,00 (5,80 – 6,60)	6,00 – 9,00	D
7,30 (6,70 – 7,90)	9,00 – 13,00	C
	13,00 – 18,30	C

Fonte: Adaptado de NISKIER (2021).

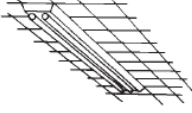
Quadro 3 – Valores de refletância de paredes e tetos

Refletâncias de paredes e tetos	
Teto branco	75%
Paredes claras	30%

Fonte: Adaptado de NISKIER (2021).

Com os valores retirados dos quadros acima, encontram-se os valores de fator de utilização (u) no Quadro 4 (resumido para o modelo de luminária usado nos ambientes estudados) a serem aplicados na equação 6 do fluxo total:

Quadro 4 – Valores de fator de utilização para luminária número 15 em função do índice de local e da refletância de teto e paredes

Luminária		Teto		75 %			50 %			Descrição
		Paredes		50 %	30 %	10 %	50 %	30 %	10 %	
Fator de depreciação	Tipo	Índice do local	Coeficientes de utilização							
⑮		↑	J	0,32	0,25	0,20	0,30	0,24	0,20	Calha chanfrada l = 1,0 h
			I	0,40	0,32	0,27	0,38	0,31	0,26	
			H	0,47	0,39	0,34	0,44	0,38	0,32	
			G	0,53	0,46	0,40	0,50	0,44	0,39	
			F	0,58	0,51	0,45	0,55	0,49	0,44	
			E	0,64	0,58	0,52	0,61	0,56	0,51	
			D	0,68	0,62	0,58	0,65	0,60	0,56	
			C	0,72	0,66	0,62	0,68	0,64	0,60	
			B	0,76	0,71	0,67	0,72	0,69	0,66	
			A	0,79	0,75	0,72	0,76	0,72	0,70	

Fonte: Adaptado de NISKIER (2021).

Há ainda a incógnita do fator de depreciação “d” a ser inserida na equação 6. Este valor é facilmente encontrado na primeira coluna do Quadro 4, em função da luminária a ser escolhida. Para todos os ambientes das duas escolas “d” terá valor 0,80.

Por fim, conhecendo-se os valores de fluxo total necessário e o fluxo luminoso de cada luminária (considerando o fluxo de todas as lâmpadas contidas nas luminárias) calcula-se a quantidade de luminárias “n” a serem instaladas no ambiente pela Equação 7:

$$n = \frac{\Phi}{\varphi} \tag{7}$$

Onde:

- Φ = fluxo total necessário, em lumens;
- φ = fluxo de uma luminária, em lumens;

Devido às reformas em ambas as escolas, para o dimensionamento se assemelhar à situação atual das instituições, escolheu-se a luminária de código CCN07-E232, da fabricante LUMICENTER, que comporta 2 lâmpadas de LED de 32W-T8, com 2350 lumens de fluxo luminoso cada, de acordo com Philips (2022). Ao total, cada luminária fornecerá um fluxo luminoso de 4700lm. Deste modo, a equação 7 será função de $\varphi = 4700\text{lm}$.

3.3.1 DIALux evo®

De maneira prática, o *software* DIALux evo® é uma opção tecnológica para este trabalho de modo a otimizar o dimensionamento da iluminação dos ambientes estudados. Por meio dele, é possível inserir todos os dados referentes ao projeto, como as plantas dos ambientes, os objetos que ocupam os espaços ou o tipo de luminária e permitir que seus cálculos sejam realizados automaticamente. Deste modo, com a utilização do *software*

obtém-se conclusões mais concretas sobre o dimensionamento necessário aos 5 ambientes de cada escola em comparação ao método manual (dos Lumens) e ao existente.

Tomando como modelo a sala de aula da E.E. Monsenhor Sarrion, o processo no *software* consiste em inicialmente gerar a sala com o pé direito correto e inserir todo o mobiliário e esquadrias com as mesmas dimensões e cores do local investigado. A captura de tela do ambiente confeccionado no *software* é apresentada na Figura 8:

Figura 8 – Construção da sala de aula da E.E. Monsenhor Sarrion no DIALux evo®

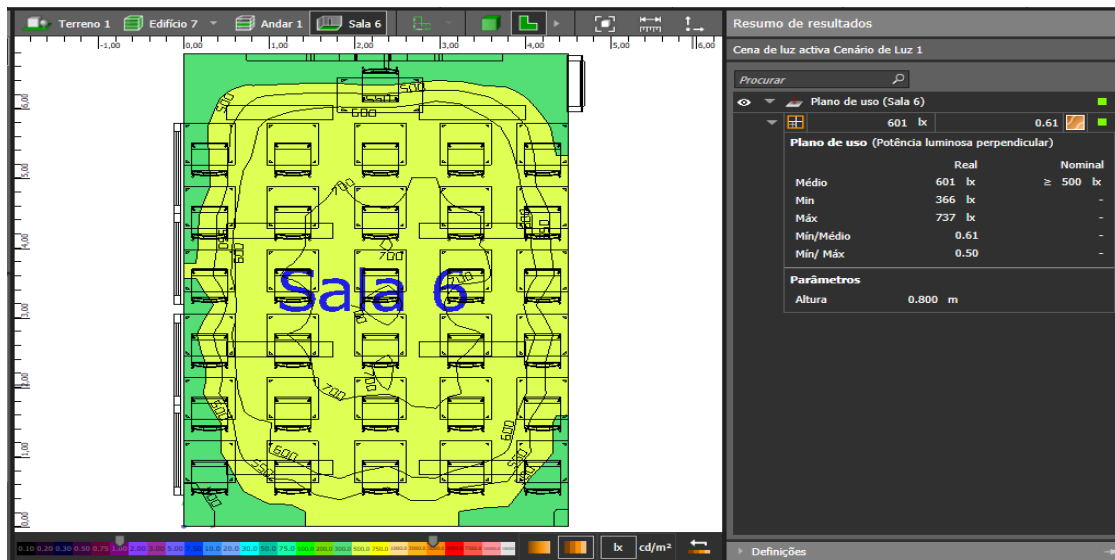


Fonte: Autoria própria (2022).

Na sequência, utilizando-se do arquivo de formato “.ies” fornecido no catálogo da luminária escolhida, iniciou-se o dimensionamento. Este arquivo contém todas as informações necessárias da luminária escolhida, facilitando o desenvolvimento, mas passível de mudanças. Por meio dele, foi necessário apenas modificar o modelo de lâmpada prevista, de fluorescente para LED, a previsão de iluminância nas duas salas de professores (que solicitam apenas 300lux ao invés dos 500lux padrão nos demais ambientes) e a altura da área executável de trabalho para o laboratório de Química da E.E. Floriano Viegas Machado, que possui plano de uso com 95cm de altura, os demais possuem 80cm.

Finalmente, bastou selecionar a opção “Desenhar distribuição retangular” no tópico “Luz” do *software* para demarcar o local a ser iluminado, que o posicionamento das luminárias foi feito de forma equidistante, sendo também ajustável o número de luminárias para respeitar o valor mínimo de iluminância média. As informações da iluminância prevista para o ambiente são fornecidas num quadro ao lado direito da tela e para melhor visualização ainda é possível ativar as “Cores Falsas” para delimitar a incidência de iluminação com o mesmo princípio das curvas de nível. Isso pode ser visualizado na continuação do dimensionamento da sala de aula da Figura 8, apresentada na Figura 9, onde percebe-se que para respeitar o mínimo de 500lux foram necessárias 8 luminárias resultando numa iluminância média do ambiente de 601lux.

Figura 9 – Dimensionamento da sala de aula da E.E. Monsenhor Sarrion no DIALux evo®



Fonte: Autoria própria (2022).

O procedimento descrito para a sala de aula da E.E. Monsenhor Sarrion, no qual encontrou-se um número previsto de 8 luminárias, resultando numa iluminância média de 601lux, com intervalos de iluminância variando de 300 a 700lux de acordo com as cores falsas visíveis na Figura 9, foi executado em todos os ambientes, respeitando-se suas características individuais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Condições de iluminação existente

A média aritmética dos valores existentes de iluminâncias pontuais das Figuras 6 e 7 para cada ambiente resultou nas colunas “ $\overline{E_m}$ exist.”, apresentadas na Tabela 7. Seus valores são comparados aos de iluminância necessários, “ $\overline{E_m}$ nec.” e o percentual efetivo existente para cada local também pode ser visualizado (% efet. $\overline{E_m}$):

Tabela 7 – Iluminância necessária, existente e percentual efetivo nos ambientes estudados

Ambiente	E.E. Floriano Viegas Machado			E.E. Monsenhor Sarrion		
	$\overline{E_m}$ exist.	$\overline{E_m}$ nec.	% efet. $\overline{E_m}$	$\overline{E_m}$ exist.	$\overline{E_m}$ nec.	% efet. $\overline{E_m}$
Sala de aula	265	500	53,00	387	500	77,40
Sala dos professores	166	300	55,33	192	300	64,00
Biblioteca	148	500	29,60	309	500	61,80
Lab. de Informática	470	500	94,00	274	500	54,80
Lab. de Química	498	500	99,60	305	500	61,00

Fonte: Autoria própria (2022).

Percebe-se pela Tabela 7 que ambas as instituições não atendem o mínimo recomendado por norma em nenhum dos ambientes analisados, apesar das reformas realizadas. A maioria dos locais de estudo apresentam um percentual de iluminação de 53% a 77,4% do recomendado. Os laboratórios da E.E. Floriano Viegas Machado são os mais próximos do iluminamento ideal, enquanto a biblioteca desta instituição é a mais prejudicada, com apenas 29,6% de iluminação necessária; tal fato pode ser justificado pela presença de estantes ocupando todo o comprimento do local em ambos os lados como se observa na Figura 2.

4.2 Dimensionamento de iluminamento

Todo o dimensionamento realizado pelo método dos Lumens compoendo as iluminâncias necessárias $\overline{E_m}$ (Tabela 2), suas dimensões (Tabelas 4 e 5), índices de local (Quadro 2), fatores de reflexão (Quadro 3), fatores de utilização “ u ” e depreciação “ d ” (Quadro 4), e finalmente o fluxo total Φ (Equação 6) é apresentado no Quadro 5. Deste modo, tornou-se possível calcular o número “ n ” de luminárias necessário para cada ambiente pela Equação 7. Acrescentou-se uma última coluna, representada pela letra “N”, fornecendo a quantidade de luminárias já existentes no edifício, observáveis nas Figuras 2, 3, 4 e 5.

Quadro 5 – Dimensionamento pelo Método dos Lumens

Ambiente	$\overline{E_m}$ nec. (lux)	Larg. (m)	Comp. (m)	Área (m ²)	Índice de local	u	d	Φ (lm)	n	N
E.E. Floriano Viegas Machado										
Sala de aula	500	6,2	7,9	48,98	D	0,62	0,8	49375	11	6
Sala dos prof.	300	3,9	7,6	29,64	E	0,58	0,8	19164	5	3
Biblioteca	500	3,8	6,2	23,56	F	0,51	0,8	28873	7	2
Lab. De Inform.	500	6,1	8,6	52,46	D	0,62	0,8	52883	12	12
Lab. De Química	500	7,1	8,5	60,35	D	0,62	0,8	60837	13	12
E.E. Monsenhor Sarrion										
Sala de aula	500	4,5	6,8	30,6	E	0,58	0,8	32974	8	9
Sala dos prof.	300	6,3	6,9	43,47	D	0,62	0,8	26292	6	4
Biblioteca	500	6,9	13,4	92,46	C	0,66	0,8	87557	19	18
Lab. De Inform.	500	6,8	9,2	62,56	C	0,66	0,8	59242	13	10
Lab. De Química	500	6,7	10,6	71,02	C	0,66	0,8	67254	15	9

Fonte: Autoria própria (2022).

Percebe-se pelas duas últimas colunas do Quadro 5 que, novamente em sua maioria, o existente se diverge do ideal. Apenas o laboratório de química da E.E. Floriano Viegas Machado possui o número correto de luminárias, enquanto a sala de aula da E.E. Monsenhor Sarrion apresenta mais luminárias do que o previsto e apesar disso os dois ambientes não oferecem o iluminamento ideal; tal incoerência pode ser justificada pelo modelo de lâmpada utilizado nas luminárias e/ou posicionamento inapropriado em planta, como se pode observar de exemplo a Figura 5, onde há uma luminária desconexa da malha de luminárias do laboratório de Informática da E.E. Monsenhor Sarrion.

Quanto ao dimensionamento realizado pelo DIALux evo®, obteve-se as seguintes informações resultantes do dimensionamento, apresentadas na Tabela 8:

Tabela 8 – Dimensionamento pelo *software* DIALux evo®

Escola	Floriano Viegas Machado			Monsenhor Sarrion		
	Nº de luminárias	Altura do plano de uso (m)	\bar{E}_m (lux)	Nº de luminárias	Altura do plano de uso (m)	\bar{E}_m (lux)
Sala de aula	10	0,8	535	8	0,8	601
Sala dos prof.	4	0,8	304	6	0,8	358
Biblioteca	8	0,8	569	21	0,8	513
Lab. De Inform.	12	0,8	542	14	0,8	502
Lab. De Química	12	0,95	593	15	0,8	577

Fonte: Autoria própria (2022).

De modo geral, os valores encontrados de luminárias pelo *software* se aproximam dos encontrados pelo método de Lumens. A exatidão entre os resultados não ocorre devido a maior complexidade do *software*, sua modelagem 3D permite a entrega de valores mais acurados em contrapartida ao método de Lumens, que generaliza detalhes como a refletância das diferentes cores nas paredes, tetos e mobiliário ou a área exata a ser projetada.

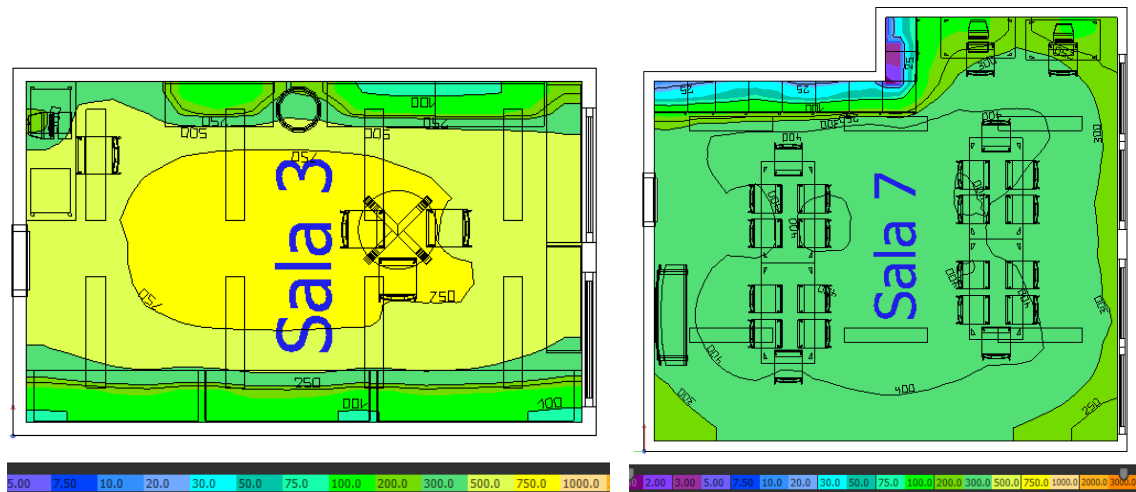
4.3 Considerações para o iluminamento

O dimensionamento, independentemente do método utilizado, não deve ser genérico, ambientes idênticos podem seguir a mesma forma de projeto, todavia, os 10 ambientes analisados neste trabalho possuem características bem distintas: cores, mobiliário, esquadrias e dimensões diferentes. Cabe ao investigador não somente analisar as condições existentes como também projetar o ambiente de maneira a otimizar a

iluminação, é o caso para os seguintes ambientes: biblioteca da E.E. Floriano Viegas Machado e biblioteca e sala dos professores da E.E. Monsenhor Sarrion.

Percebe-se na biblioteca da E.E. Floriano Viegas Machado e na sala dos professores da E.E. Monsenhor Sarrion a presença de computadores posicionados nos cantos dos locais. A Figura 10 transparece o problema nesse posicionamento:

Figura 10 – Biblioteca da E.E. Floriano Viegas Machado e Sala dos Professores da E.E. Monsenhor Sarrion com iluminação em cores falsas



Fonte: Autoria própria (2022).

A iluminação, comumente posicionada equidistante de modo a preencher espaços iguais dentro da área do ambiente, resulta em cantos com menor incidência. O caso acima citado da biblioteca possui a desvantagem de todo o comprimento inferior ser preenchido por estantes da altura do pé direito, enquanto o canto superior esquerdo possui apenas o computador, e está numa faixa de iluminação de 300lux. Basta movimentar o equipamento para a parcela esquerda da escrivaninha que sua iluminação aumentará, como se observa a faixa de 500lux presente na grande maioria do local.

Para o caso da sala dos professores, há ainda outra consideração a ser feita. A ABNT NBR 8995-1:2013 solicita apenas 300lux de iluminância média para salas de professores, o que não é suficiente para a utilização de computadores, uma vez que salas com ensinamento de computador requerem 500 lux (valor utilizado de base para os laboratórios de informática). Entende-se, portanto, que esse tipo de ambiente não requer o uso das máquinas. Considerando a individualidade dessa sala, para as adequações com a norma seria necessário a utilização de luminárias exclusivas para fornecimento de iluminação adequada aos usuários dos computadores ou a realocação das máquinas para ambientes que naturalmente solicitem 500lux de acordo com a norma.

Por fim, em relação a biblioteca da E.E. Monsenhor Sarrion, o DIALux evo® solicitou 21 luminárias para respeitar a iluminância média do ambiente, enquanto o método dos Lumens supôs 3 luminárias a menos. Tal fato se deve ao posicionamento das estantes de livros do ambiente, como se observa na Figura 4. Com 21 luminárias, o ambiente ficou com grande parcela sobre as mesas de iluminação em 750lux, 50% a mais do que o necessário, passível de causar ofuscamento aos usuários, e áreas consideráveis de 100lux, apenas 20% do necessário. Uma reformulação no posicionamento do mobiliário, com as estantes dispersas entre as mesas ou em corredores mais espaçados facilmente distribuiria melhor toda a iluminação fornecida pelas 21 luminárias, podendo até diminuir este número.

5 CONCLUSÃO

Apesar das reformas realizadas, nenhum dos 10 ambientes investigados nas duas Escolas Estaduais respeita o mínimo de iluminação proposto pela ABNT NBR 8995-1:2013. Todos os ambientes possuem luminárias novas, compatíveis com as utilizadas para o dimensionamento pelo Método de Lumens e DIALux evo®, facilitando a adequação devido à disponibilidade no mercado e desconsiderando a vida útil das lâmpadas que poderiam diminuir potencialmente o valor de iluminância nos locais. O uso de lâmpadas LED, de 32W-T8 da marca Philips, trará resultados mais aproximados dos encontrados pelo *software*, desde que sejam corrigidos os números de luminárias.

Cabe ainda ressaltar a importância do entendimento de luminotécnica. Vários dos ambientes investigados podem ter sua qualidade de iluminação melhoradas com o posicionamento correto de mobiliário, como se pode observar nas duas bibliotecas: grandes mobílias próximas entre si causam zonas escuras que prejudicam toda a refletância do ambiente, diminuindo consideravelmente a iluminação do local. Regiões predeterminadas a serem menos iluminadas não devem receber áreas de trabalho que solicitem grandes índices de iluminância, como mesas com computadores.

Tais considerações otimizam o projeto, e conseqüentemente economizam o material a ser utilizado para as adequações propostas, que ao serem seguidas trarão a conformidade com a norma vigente para construções educacionais em cada um dos cinco ambientes de trabalho diferentes analisados. A ampla quantidade de critérios a serem analisados acerca da luminotécnica nas duas escolas possibilita ainda a continuação deste trabalho como sugestão para futuros projetos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma. 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho, Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<https://biblioteca.ufgd.edu.br>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma. 15215-4**: iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<https://biblioteca.ufgd.edu.br>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

BARBOSA, R. F. **Como a iluminação modifica espaços e o comportamento humano**. Lume Arquitetura, Ed. 78, p. 58-64, 2016. Disponível em: <https://www.lumearquitetura.com.br/lume/Upload/file/pdf/Ed78/ed_78%20At%20-%20Luz%20e%20o%20ambiente.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2022.

BARRETT, P.; DAVIES, F.; ZHANG, Y.; BARRETTE, L. **The impact of classroom design on pupil's learning: Final results of a holistic, multi-level analysis**. Building and Environment, v. 89, p. 118-133, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132315000700#bib8>>. Acesso em: 18 mar. 2022.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 15. ed. LTC, Rio de Janeiro, 2013.

DORIGO, A. L. **Condições de Luz Natural em Ambientes Escolares – Estudo do Projeto Padrão 023 da Rede Pública de Ensino do Estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Curso de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://www.logiarquitetura.com.br/wp-content/uploads/2014/12/PPGTE-Adriano-Dorigo.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2022.

GODOI, E. **A importância da iluminação na saúde e bem-estar das pessoas**. Lume Arquitetura, Ed. 65, p. 6-10, 2013. Disponível em: <https://www.lumearquitetura.com.br/lume/default.aspx?mn=634&c=1348&s=0&friendly=edicoes-anteriores#ctl18_conteudo_ctl00_pnlConteudoEspecifico>. Acesso em: 18 mar. 2022.

HYBINER, J. M. B. M. **ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO EM SALAS DE AULAS DE ESCOLAS DA REDE DE ENSINO PÚBLICA DAS SUPERINTENDÊNCIAS REGIONAIS DE ENSINO DE JUIZ DE FORA, PONTE NOVA E UBÁ, MG**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/7662>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

LUMICENTER. **CATÁLOGO DE PRODUTOS – CCN07-E**. Disponível em: <<https://www.lumicenteriluminacao.com.br/catalogo/ccn07-e-p2360/>>. Acesso em: 06 jun. 2022.

NISKIER, J. **Instalações Elétricas**. 7. ed. LTC, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: Minha Biblioteca. Acesso em 24 mar. 2022.

PHILIPS. **TLDRS32W-CO-25.** Disponível em: <
https://www.lighting.philips.com.br/prof/lampadas-e-tubos-convencionais/fluorescent-lamps-and-starters/t8/tl-d-standard-colours/927870003301_EU/product>. Acesso em: 04 jul. 2022.

PIZARRO, P. R. **Estudo das variáveis do conforto térmico e luminoso em ambientes escolares.** Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/89712>>. Acesso em: 17 mar. 2022.

SCARINCI, A. L.; MARINELLI, F. **O modelo ondulatório da luz como ferramenta para explicar as causas da cor.** Revista Brasileira de Ensino de Física, 36. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/69cJCxLXKMFgcWhGnHcd5rC/?lang=pt#>>. Acesso em: 04 jul. 2022.