

**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**

**A OTIMIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO  
NAS SALAS DE AULA DO EDIFÍCIO PAULA SOUZA**

**Grupo 5 – Turma 3**

**Professor Sérgio Cirelli Angulo**

Arthur Poreto de Oliveira - 11805547

Flavio Seiji Taniguchi Nakamura - 11805422

Jose Saturnino da Silva Neto - 11808853

Reinaldo Avelino da Silva Junior - 11805759

Thomaz Proenca Leite de Barros - 11966033

Vinicius Lopes de Queiroz - 11806170

**São Paulo**

**Mai 2020**

**Resumo:** A iluminação de um ambiente é uma etapa fundamental para garantir o bem estar e o conforto de seus frequentadores. Garantir uma luminosidade adequada através de uma combinação harmônica entre o aproveitamento da luz natural durante as fases do dia e a disposição das luzes artificiais não só traz benefícios aos usuários como também traz impactos futuros, evitando gastos excessivos e desnecessários com a iluminação artificial. Assim, uma iluminação adequada também é sinônimo de sustentabilidade. Aplicando essa ideia a um contexto de sala de aula, é de suma importância manter o conforto ótico dos alunos e dos docentes nos ambientes acadêmicos para assim incentivar a produtividade e o melhor aproveitamento das aulas. Através da utilização de um questionário para os frequentadores do edifício, foi ressaltada a dificuldade de visualização da lousa de giz e da tela do projetor nas salas de aula. A origem desse problema foi atribuída especialmente à luminosidade da sala pois, em seu excesso, acaba-se clareando a tela e a lousa, comprometendo a visualização. Ademais, a falta de aproveitamento da luz natural gera despesas relacionadas à iluminação artificial. Tendo em vista esse problema, soluções foram propostas, sempre priorizando a sustentabilidade e os efeitos positivos de curto a longo prazo. Dessa forma, foram definidos critérios de comparação, assim como o seu reatamento com base em conclusões justificadas em estudos científicos ou dados estatísticos. Em seguida, as soluções elencadas foram comparadas uma a uma tendo como referência tais critérios, processo que levou à conclusão de que a instalação de dimmers eletrônicos juntamente com lâmpadas de led era a solução mais vantajosa.

**Palavras-chave:** sala de aula, iluminação, sustentabilidade, conforto, solução.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - 1º seção de perguntas do questionário.....	8
Figura 2 – 2º seção de perguntas do questionário.....	9
Figura 3 – 2º seção de perguntas do questionário.....	10
Figura 4 - Tabela comparativa entre critérios.....	21
Figura 5 - Tabela de normalização dos pesos.....	21
Figura 6 - Tabela comparativa entre soluções para o critério custo de instalação.....	22
Figura 7 - Tabela comparativa entre soluções para o critério tempo de instalação.....	23
Figura 8 - Tabela comparativa entre soluções para o critério manutenção.....	23
Figura 9 - Tabela comparativa entre soluções para o critério economia.....	24
Figura 10 - Tabela comparativa entre soluções para o critério impacto ambiental.....	25
Figura 11 - Tabela comparativa entre soluções para o critério conforto.....	25
Figura 12 - Tabela dos resultados.....	26
Figura 13: Curso dos usuários.....	26
Figura 14: Ano de graduação dos usuários.....	27
Figura 15: Opinião pública a respeito das soluções.....	27
Figura 16: Dimmer eletrônico.....	28
Figura 17: Economia gerada pelo dimmer.....	29
Figura 18: Tabela de iluminâncias por classe de tarefas visuais.....	30
Figura 19: Quantidade de lux em escolas.....	30
Figura 20: Possível disposição das lâmpadas na S-15.....	32

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Respostas da pergunta 5.....	12
Gráfico 2 – Respostas da pergunta 6.....	13
Gráfico 3 – Respostas da pergunta 7.....	13
Gráfico 4 – Respostas da pergunta 8.....	14
Gráfico 5 – Respostas da pergunta 9.....	14
Gráfico 6 – Respostas da pergunta 10.....	14
Gráfico 7 – Respostas da pergunta 11.....	15
Gráfico 8 – Respostas da pergunta 12.....	15
Gráfico 9 – Respostas da pergunta 13.....	16

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	DESENVOLVIMENTO DAS ETAPAS DO PROJETO.....	7
2.1	Levantamento de dados.....	7
2.2	Análise de dados.....	11
2.2.1	<i>Análise de dados da primeira seção.....</i>	<i>11</i>
2.2.2	<i>Análise de dados da segunda seção.....</i>	<i>12</i>
2.3	Definição do problema.....	16
2.4	Alternativas para solução do problema.....	17
2.5	Definição de critérios de avaliação.....	18
2.6	Determinação de méritos dos critérios.....	19
2.6.1	Custo de instalação.....	19
2.6.2	Tempo de instalação.....	19
2.6.3	Manutenção.....	20
2.6.4	Economia.....	20
2.6.5	Impacto ambiental.....	20
2.6.6	Definição dos pesos.....	20
2.7	Escolha de solução.....	21
2.7.1	Custo de instalação.....	22
2.7.2	Tempo de instalação.....	22
2.7.3	Manutenção.....	23
2.7.4	Economia.....	24
2.7.5	Impacto ambiental.....	24
2.7.6	Conforto.....	25
2.7.7	Resultado.....	26
2.8	Especificações da solução.....	28
3	Conclusões/Referências.....	33

# 1. INTRODUÇÃO

A iluminação é um dos elementos mais significativos para o desenvolvimento de uma edificação, sendo um aspecto bastante explorado em projetos arquitetônicos. Quando há uma combinação harmoniosa entre a iluminação natural e a artificial proporciona-se um bem-estar aos usuários do ambiente através do conforto visual e, até mesmo, térmico. Segundo M. Rice [2], o ponto importante é que o corpo humano deseja ser saudável e, para ter um poder físico e mental muito grande, é necessário ter um ambiente adequado. Cada célula do corpo humano é capaz de detectar e responder corretamente às influências positivas e negativas nos ambientes.

De acordo com o escritor Michael Borgers [3], há uma regra geral a qual diz que a iluminação ideal é de 300 a 500 lux para a área de trabalho (trabalho em um computador e anotações escritas), de 500 a 1000 lux para o trabalho normal de mesa de escritório e mais de 1000 lux para desempenho visual (como desenho detalhado ou mecânica precisa).

Além disso, como mostram os dados de pesquisa pela Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Delft, na Holanda, cada atividade praticada em sala de aula precisa de suas próprias condições de luz. Durante o dia, existem várias tarefas visuais diferentes em sala. Portanto, os altos requisitos para a qualidade da luz são importantes. Alunos e professores se beneficiam de uma iluminação que os apoia de maneira ideal no desempenho de suas atividades. A tabela abaixo demonstra, qualitativamente, como deve ser a iluminação em tais ambientes:

Task	the teacher	the student	Standard Illuminance	
			In the class	In general
1	Writing on blackboard	Reading on blackboard	500 lux (vertical)	200 lux
2	Talking to the students	Paying attention to the teacher	300 lux	300 lux
3	Showing a presentation (slides, powerpoint, television program, etc.)	Looking onto the screen	300/10 lux	10 lux
4	Paying attention to working students	Writing, reading drawing, etc.	300 lux	300 lux
5	Coaching computer activities	Looking to the computerscreen and the paper	50 lux	300 lux above the computer
6	Preparing lessons	Not present	300 lux	50 lux

Fonte: Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Delft [4]

“Primeiramente, para uma melhor compreensão da qualidade da luz do dia nas escolas, foram feitas medições em um número de escolas existentes. Isso mostrou que era difícil comparar as diferentes escolas com as um ao outro. As divisões das salas de aula eram diferentes e o mesmo vale para plantas no peitoril da janela, desenhos no vidro da janela, edifícios opostos e verde público, etc. É claro que o problema mais importante é que as medições em diferentes escolas não podem ser feitas ao mesmo tempo nas mesmas condições climáticas. Por esse

motivo, para obter mais informações sobre a luz do dia nas escolas, nove projetos diferentes de sala de aula foram simulados com o 'dRadiance'. Modelo básico 'Corridor Window' tem uma janela de telhado acima do corredor e o modelo de situação 'Corridor 02' vazou telhados acima do corredor. Os modelos de situação são baseados em projetos de escolas reais. Todos os nove modelos satisfazem os regulamentos de construção holandeses” [4]

Nesse sentido, vale ressaltar que se faz necessário aproveitar a posição do Sol ao longo do dia para que seja possível otimizar a utilização da luz natural, obtendo desta forma um local sustentável, evitando gastos desnecessários com energia elétrica, fruto da iluminação artificial excessiva. Porém, deve-se tomar os devidos cuidados com a incidência demasiada dos raios solares, que podem resultar em desconforto térmico e gerar custos em razão da utilização de aparelhos para ajustar a temperatura do espaço em questão.

Este trabalho aborda sobre a necessidade de readequar as salas de aula do Edifício Paula Souza, para dispor de uma iluminação apropriada e sustentável, gerando conforto visual e térmico para atender às necessidades dos alunos e docentes no local.

## **2. DESENVOLVIMENTO DAS ETAPAS DO PROJETO**

### **2.1 Levantamento de dados**

O trabalho foi fundamentado segundo parte do método de RANGEL e FORMOSO et al (2020), que consiste em primeiro identificar um problema, após isso estudar para conhecer profundamente sobre o problema e em sequência desenvolver uma solução para resolver o problema.

Na etapa inicial do trabalho, deu-se por necessário realizar uma coleta de dados sobre os frequentadores das salas de aula do prédio da Engenharia Civil, para saber quais aspectos das salas causavam um maior desconforto nas pessoas, definindo assim, problemas mais relevantes relacionados ao ambiente.

O questionário foi elaborado com duas seções de perguntas, julgadas relevantes. A primeira seção continha perguntas sobre a graduação e frequência de uso das salas da civil, com o intuito de traçar o perfil do entrevistado. Já a segunda seção solicitava uma avaliação pessoal do entrevistado sobre aspectos específicos das salas e ainda havia um espaço disponível para que a pessoa fizesse uma breve citação de algum outro problema existente, distinto dos já mencionados no questionário, mas que julgasse importante e que causasse desconforto nos frequentadores.

Dentre esses aspectos específicos colocados na pesquisa estão os seguintes tópicos: a dificuldade em localizar as classes por conta da divisão entre pares e ímpares; a temperatura e a ventilação; a disposição e quantidade de tomadas em cada sala; e a visualização da projeção e da lousa. A partir destes tópicos formulou-se 13 perguntas para o questionário, que foi desenvolvido na plataforma “Google Forms” (Figura 1, 2 e 3).

Esse questionário foi divulgado nas redes sociais, em grandes grupos exclusivos de alunos da Escola Politécnica, nas plataformas digitais “WhatsApp” e “Facebook” para obter o maior número de respostas possíveis.



Figura 1 - 1º seção de perguntas do questionário

Qual graduação você está cursando? *	Qual semestre/ano você está cursando? *
<input type="radio"/> Engenharia Civil	<input type="radio"/> Primeiro ano
<input type="radio"/> Engenharia Ambiental	<input type="radio"/> Segundo ano
<input type="radio"/> Engenharia Mecânica	<input type="radio"/> Terceiro ano ou mais
<input type="radio"/> Engenharia de Produção	
<input type="radio"/> Engenharia Elétrica	
<input type="radio"/> Engenharia Química	Com que frequência você tem (ou teve) aulas no prédio da civil? *
<input type="radio"/> Engenharia de Materiais / ABI	<input type="radio"/> Uma vez por semana
<input type="radio"/> Engenharia de Minas	<input type="radio"/> Duas vezes or semana
<input type="radio"/> Engenharia da Computação	<input type="radio"/> Três ou mais vezes por semana
<input type="radio"/> Engenharia de Petróleo	
<input type="radio"/> Engenharia Mecatrônica	
<input type="radio"/> Engenharia Metalúrgica	Onde você costuma ter aulas? *
<input type="radio"/> Engenharia Naval	<input type="checkbox"/> Salas de aula
<input type="radio"/> Outros...	<input type="checkbox"/> Laboratórios

Fonte: Autores

Figura 2 – 2º seção de perguntas do questionário

Você tem dificuldade em encontrar as salas de aula / laboratórios com base nos números? \*

1 2 3 4 5

Nenhuma dificuldade      Muita dificuldade

...

Temperatura da sala proporcionada pelo ar condicionado: \*

1 2 3 4 5

Não me incomoda em nada      Incomoda muito

Ventilação (ou falta de ventilação) das salas: \*

1 2 3 4 5

Não me incomoda em nada      Incomoda muito

Disposição e quantidade de tomadas \*

1 2 3 4 5

Não me incomoda em nada      Incomoda muito

Há algum outro problema relacionado às salas de aula que gostaria de acrescentar?

Texto de resposta curta

---

Fonte: Autores

Figura 3 – 2º seção de perguntas do questionário

Comprometimento da visualização plena do projetor em razão da iluminação natural e/ou artificial: *						
	1	2	3	4	5	
Não me incomoda em nada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Incomoda muito
Telão de projeção localizado em frente à lousa: *						
	1	2	3	4	5	
Não me incomoda em nada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Incomoda muito
Dificuldade da visualização da lousa de giz quando você senta no fundo ou nas laterais da sala: *						
	1	2	3	4	5	
Não me incomoda em nada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Incomoda muito
Você acha que a substituição da lousa de giz por lousas de vidro ou quadro branco seria uma boa solução? *						
	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

Fonte: Autores

## **2.2 Análise de dados**

Após a divulgação, o questionário manteve-se disponível durante 4 dias para coletar a maior quantidade de respostas possíveis. No final desse período, um total de 106 respostas foram obtidas e posteriormente convertidas em gráficos.

Em seguida, o questionário foi fechado e os resultados encontrados foram analisados. Dessa maneira, concluiu-se que, dentre as opções, “a má disposição e falta de tomadas” foi o problema mais recorrente entre os alunos nas salas de aula, com maior número de votos.

No entanto, ponderando um panorama geral, o problema que o grupo julgou mais relevante, e também o segundo mais votado pelos alunos, foi: “o prejuízo da visualização da lousa de giz quando o aluno está localizado no fundo ou nas laterais da sala”, pois o tema abrange aspectos que podem trazer benefícios mais convenientes e duradouros ao ambiente acadêmico, além de poder ser atrelado a outro tema do formulário “comprometimento da visualização plena do projetor em razão da iluminação natural e/ou artificial”.

Para cada seção de questões foi proposto um método diferente de análise dos dados.

### ***2.2.1 Análise de dados da primeira seção***

A primeira seção fornece informações sobre a graduação do aluno entrevistado. No que diz respeito à busca pelas patologias das salas de aula, as respostas dos estudantes dos últimos anos da graduação e os do curso de Engenharia Civil, tiveram uma ênfase maior na hora de analisar os dados obtidos, tendo em vista que esses alunos frequentam a mais tempo, no caso dos alunos dos últimos anos, e com maior regularidade, no caso dos alunos de Engenharia Civil. Portanto por conviverem mais nesses locais, estes estudantes tiveram mais chances em achar problemas com maior relevância.

### 2.2.2 Análise de dados da segunda seção

Na segunda seção, decidiu-se avaliar os aspectos escolhidos das salas de aulas, adotando uma escala de 1 a 5, em que 1 seria a resposta para quando o problema tivesse pouca relevância e 5 quando tivesse máxima relevância.

Para a pergunta 5, que tratava da dificuldade de encontrar as salas de aula pela organização baseada na paridade e imparidade da numeração dessas, 1 significava “nenhuma dificuldade” e 5 “muita dificuldade”. Estabeleceu-se considerar 3 como “indiferente”, por tanto quando considerar essa divisão de salas, só se considera avaliações 4 e 5 como problematizadoras desse aspecto (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Respostas da pergunta 5



Fonte: Autores

Como o número de pessoas que consideram a organização de salas pela paridade e imparidade do número das salas como problema é restrito a 25,7% dos entrevistados, esse aspecto foi descartado como principal patologia a ser resolvida.

Da pergunta 6 até a 11 adota-se a mesma escala, também de 1 a 5, mas dessa vez com 1 significando “não me incomoda em nada” e 5 “incomoda muito”. Novamente tratando 3 como “indiferente” e apenas considerando avaliações 4 e 5 como problematizadoras dos aspectos em questão de cada pergunta.

Dos entrevistados, 22,9 consideram a temperatura gerada pelo ar condicionado como um problema; 35,3% consideram a ventilação das salas como um problema; 46,6% consideram a disposição e quantidade de tomadas como um problema; 23,8% relatam sentir-se prejudicados pela iluminação natural para a visualização plena do projetor; 12,4% consideram a localização do projetor como um problema; e 42,9% relatam dificuldade na visualização da lousa de giz quando está sentado no fundo ou laterais das salas de aula (Gráficos de 2 a 7).

Gráfico 2 – Respostas da pergunta 6



Fonte: Autores

Gráfico 3 – Respostas da pergunta 7

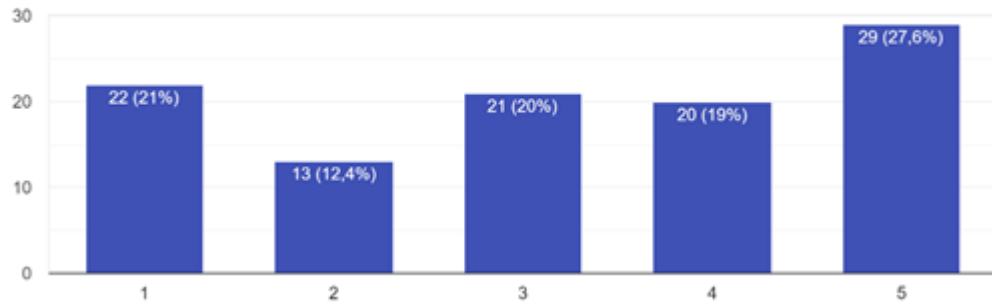


Fonte: Autores

Gráfico 4 – Respostas da pergunta 8

Disposição e quantidade de tomadas

105 respostas

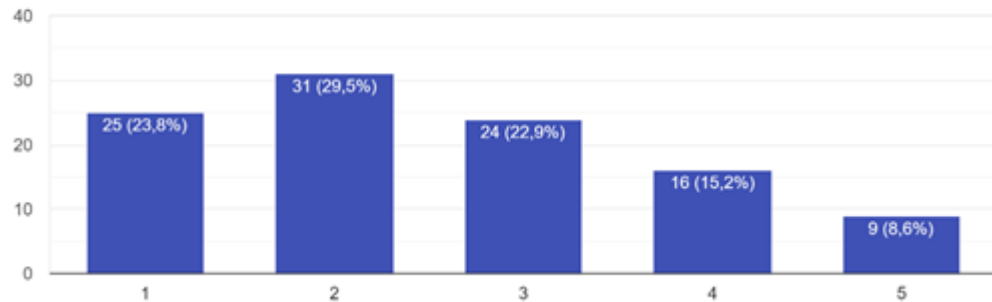


Fonte: Autores

Gráfico 5 – Respostas da pergunta 9

Comprometimento da visualização plena do projetor em razão da iluminação natural e/ou artificial:

105 respostas

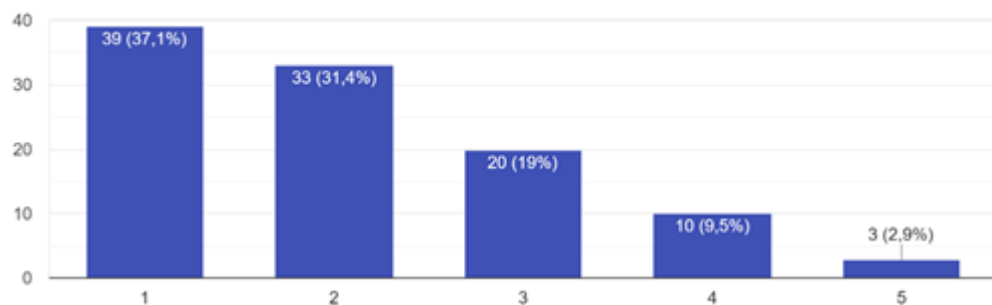


Fonte: Autores

Gráfico 6 – Respostas da pergunta 10

Telão de projeção localizado em frente à lousa:

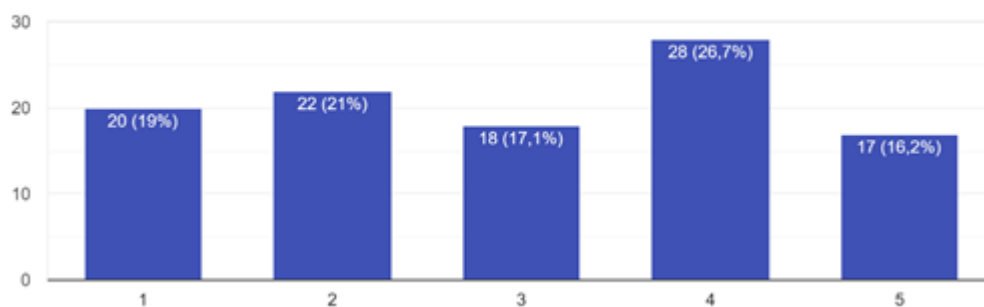
105 respostas



Fonte: Autores

Gráfico 7 – Respostas da pergunta 11

Dificuldade da visualização da lousa de giz quando você senta no fundo ou nas laterais da sala:  
105 respostas

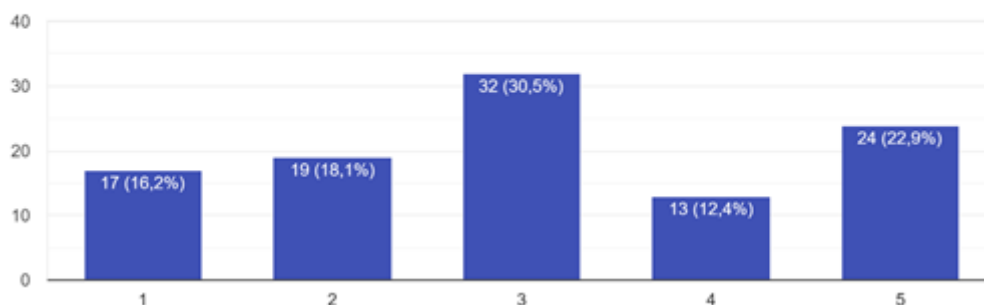


Fonte: Autores

Para a última pergunta, o questionado deveria avaliar a ideia de substituir a lousa de giz por lousas de vidro para tentar mitigar o problema de visualização. O número 1 significava “discordo totalmente” e o 5 “concordo totalmente”. Nesse caso essa medida só seria considerada viável se: o problema da visualização da lousa de giz fosse o mais incômodo para os frequentadores do Edifício Paula Souza e se a maioria dos questionados escolhessem 4 ou 5. No caso apenas 35,3% acharam interessante essa solução, e o problema da disposição e quantidade de tomadas foi considerado mais incômodo do que o da lousa de giz (Gráfico 8).

Gráfico 8 – Respostas da pergunta 12

Você acha que a substituição da lousa de giz por lousas de vidro ou quadro branco seria uma boa solução?  
105 respostas



Fonte: Autores



Por fim, a pergunta 13 foi disponibilizada como um espaço adicional para quem quisesse relatar um problema sobre as salas de aula não mencionados na p, mas que não havia sido mencionado anteriormente no questionário. Entre as respostas dadas, é possível observar alguns tangenciamentos com o que já havia sido apresentado, mas também aspectos novos, que embora fossem relevantes, foram citados apenas uma vez (Gráfico 9).

Gráfico 9 – Respostas da pergunta 13

luzes queimadas
Problema de interferência na projecao do computador.
As cadeiras são muito próximas, dificultando a passagem dos alunos (que chegam atrasados principalmente - pq aí os bancos da frente ficam ocupados e diminuem ainda mais o espaço)
Falta de cortinas, carteiras pequenas, quadros não curvos
Há dificuldade em relação à obtenção de ofício para realização de eventos extracurriculares (ex: palestras, mesas redondas, etc...)
Algumas tem uma geometria e localização q da muito reflexo em alguns horarios
Não poderem ser acessadas em horários que não de aula. A burocracia para marcar horarios.
Muito apertadas
Queria ressaltar o problema de falta de palcos nas salas planas e alturadas lousas. Somente alunos na primeira fileira tem uma visão ampla.

Fonte: Autores

### 2.3 Definição do problema

Ao analisar os dados do questionário, constatou-se que o maior dos problemas dos estudantes nas salas do Prédio de Engenharia Civil é “a falta de tomadas e a má disposição delas”. Contudo, conforme previamente justificado, o problema adotado foi: “o comprometimento da visualização da lousa de giz quando o aluno está localizado no fundo ou nas laterais da sala” combinado com “comprometimento da visualização plena do projetor em razão da iluminação natural e/ou artificial”. Em razão da análise das necessidades mais relevantes ao ambiente acadêmico e com efeitos a curto e a longo prazo para as salas de aula, solucionar esse problema foi considerado mais pertinente.

Portanto, foi determinado que a problemática do trabalho é "A dificuldade da visualização da lousa e da tela de projeção", e este é o tema que irá nortear as etapas seguintes com o objetivo de obter uma solução a qual possibilitará uma visão plena da lousa e da tela de projeção, viabilizando conseqüentemente um conforto e uma maior produtividade para todos os frequentadores das classes em questão.



## 2.4 Alternativas para solução do problema

Tendo em vista o problema adotado, o principal motivo apontado como a fonte do comprometimento da visualização dos elementos nas salas de aula foi a luminosidade natural ou a artificial, tanto em razão do excesso de reflexão dos raios de luz na lousa e na tela de projeção, quanto em sua falta, dificultando enxergar o conteúdo que está sendo transmitido.

A resolução desse problema consiste em alcançar soluções alternativas para mitigá-lo sempre levando em conta questões sustentáveis e economicamente viáveis em relação a luminosidade.

Dentre as possibilidades levantadas para a solução do excesso de luz destacam-se:

- A utilização de cortinas de tecido opaco, nas janelas ou a adoção de persianas internas;
- o emprego de persianas externas (brises) verticais, horizontais ou mistas, do tipo fixa, móvel ou colmeia;
- a aplicação de insulfilmes refletores, ou adesivos nos vidros;
- a utilização de cores escura nos móveis e nas pinturas das paredes do ambiente em questão;
- o uso de venezianas nas janelas; a utilização, junto aos vidros, de tela do modelo “blackout”;
- o emprego de cortinas do tipo rolo;
- a implementação de dimmers, que, proveria um maior controle humano sobre a iluminação do ambiente, possibilitando ajustar, até um certo grau, o conforto luminoso da sala dependendo do horário do dia.

Já em relação aos recursos para solucionar a falta de luz dos locais estão:

- a implementação de dimmers, que, promoveria um maior controle humano sobre a iluminação do ambiente, possibilitando ajustar, até um certo grau, o conforto luminoso da sala dependendo do horário do dia.
- a adição de mais luzes artificiais no ambiente, com maior potência;
- a troca das lâmpadas atuais por modelos mais potentes;
- modificar a atual disposição das luminárias;
- utilizar cores claras no mobiliário e na pintura das paredes;

Depois de consideráveis discussões e pesquisas, chegou-se a escolha de três soluções: uso de dimmers junto com a troca das lâmpadas por modelos de LED, **adição de lâmpadas fluorescentes e realização da pintura das paredes das salas de aula em cores mais claras e mais refletoras, todas referentes ao problema da escassez de luz, empecilho esse elencado relevante.**

## 2.5 Definição dos critérios de avaliação

Buscou-se elencar critérios de avaliação que fossem diversificados e relevantes. No tocante aos aspectos econômicos, foram escolhidos: “custo de instalação”, o principal norteador do valor do financiamento necessário para implementar a solução; “valor da manutenção”, que também é de extrema importância, visto que será a base dos gastos a longo prazo, e “economia”, que como o próprio nome sugere, refere-se ao capital e aos recursos poupados, principalmente a médio e longo prazo. Já no âmbito ambiental, “ impacto ambiental” reflete o quão danosa determinada solução é para a natureza. Por fim, elencou-se os critérios “tempo de instalação”, fundamental na realização de qualquer obra ou serviço nos dias de hoje, e “conforto”, que dialoga com os benefícios que a resolução do problema acarreta aos indivíduos. Desse modo, com tais critérios selecionados, definiu-se uma escala de comparação de critérios, que varia de 1 a 5 (1-igualmente relevante/ 2- moderadamente mais relevante/ 3- acentuadamente mais relevante/ 4- muito mais relevante / 5- extremamente mais relevante), e uma de soluções, que também varia de 1 a 5 (1 - igualmente preferível / 2 - pouco mais preferível / 3 - moderadamente preferível / 4 - acentuadamente mais preferível / 5- extremamente preferível), para, como os próprios nomes sugerem, ranquear a importância dos parâmetros e das resoluções entre si.

## **2.6 Determinação dos méritos para os critérios**

Com base em dados oriundos de fontes confiáveis, chegou-se às seguintes comparações entre a relevância dos critérios.

### **2.6.1 Custo de instalação**

O custo de instalação se mostrou: acentuadamente mais relevante do que o tempo de instalação, pois, embora, no cotidiano atual, tempo seja algo precioso e escasso, o valor do financiamento inicial é que define a viabilidade de um projeto, de forma geral; acentuadamente menos relevante que a manutenção, pois os custos a médio e longo prazo, em muitas das vezes supera o gasto inicial; muito menos relevante do que a economia, visto que o valor poupado a médio e longo prazo pode superar sem grandes desafios o financiamento inicial do projeto; moderadamente menos relevante que o impacto ambiental, haja visto a importância óbvia do meio ambiente para com a vida humana; moderadamente mais relevante que o conforto, pois em, apesar dos indivíduos terem seu desempenho afetado negativamente por condições desfavoráveis de trabalho, com o provável curto orçamento disponível para a implementação da solução, alguns itens de conforto devem ser colocados de lado.

### **2.6.2 Tempo de instalação**

O tempo de instalação se mostrou muito menos relevante que a manutenção, pois mesmo que a implementação da solução seja imediata, de nada adianta caso as despesas a médio e longo prazo forem muito elevadas; acentuadamente menos relevante que a economia, já que poupar quantidades consideráveis de capital e de recursos é muito mais interessante do que realizar um projeto de forma imediata, de forma geral; acentuadamente menos relevante do que o impacto ambiental, visto que o imediatismo é consideravelmente menos relevante do que o meio ambiente; pouco menos importante que o conforto, haja visto que caso é interessante que sejam implementados itens de conforto, tendo como base os benefícios à produtividade individual que eles acarretam.

### **2.6.3 Manutenção**

A manutenção se mostrou igualmente relevante que a economia, tendo em mente que, de maneira geral, tais aspectos são igualmente importantes de se considerar, representando as despesas e a economia, respectivamente, a médio e longo prazo; igualmente relevante que o impacto ambiental, tem como base o fato de que é preciso se atentar aos danos à natureza e ao limite do orçamento disponível para o projeto; acentuadamente mais relevante que o conforto, da mesma forma que o custo de instalação é em relação ao último.

### **2.6.4 Economia**

A economia se mostrou um pouco mais relevante que o impacto ambiental, pois embora seja urgente a necessidade de se preservar ao máximo o meio ambiente, a possibilidade de ter o valor investido inicialmente recuperado por meio da poupança de capital é muito atrativa; acentuadamente mais importante que o conforto, pelos mesmos motivos apresentados na comparação entre esse parâmetro e o custo de instalação.

### **2.6.5 Impacto ambiental**



O impacto ambiental se mostrou muito mais relevante que o conforto, pois alguns itens de conforto podem facilmente ser colocados de lado quando comparados com a possibilidade de preservação ambiental.

### **2.6.6 Definição dos pesos**

A partir disso, utilizou-se o método AHP (Analytic Hierarchy Process) para obter os pesos de cada um dos critérios:

Figura 4 - Tabela comparativa entre critérios

Comparação de critérios						
	Custo de instalação	Tempo de instalação	Manutenção	Economia	Impacto ambiental	Conforto
Custo de instalação	1,00	3,00	0,33	0,25	0,50	2,00
Tempo de instalação	0,33	1,00	0,25	0,33	0,33	0,50
Manutenção	3,00	4,00	1,00	1,00	1,00	3,00
Economia	4,00	3,00	1,00	1,00	2,00	3,00
Impacto ambiental	2,00	3,00	1,00	0,50	1,00	4,00
Conforto	0,50	2,00	0,33	0,33	0,25	1,00
Soma	10,83	16,00	3,92	3,42	5,08	13,50

Fonte: Aatoria do grupo



Figura 5: Tabela da normalização dos pesos

Normalização dos pesos							
	Custo de instalação	Tempo de instalação	Manutenção	Economia	Impacto ambiental	Conforto	Nota
Custo de instalação	0,09	0,19	0,09	0,07	0,10	0,15	0,11
Tempo de instalação	0,03	0,06	0,06	0,10	0,07	0,04	0,06
Manutenção	0,28	0,25	0,26	0,29	0,20	0,22	0,25
Economia	0,37	0,19	0,26	0,29	0,39	0,22	0,29
Impacto ambiental	0,18	0,19	0,26	0,15	0,20	0,30	0,21
Conforto	0,05	0,13	0,09	0,10	0,05	0,07	0,08
Soma	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: Aatoria do grupo

## 2.7 Escolha de solução

Para auxiliar no processo de escolha da solução a ser trabalhada, utilizou-se novamente método AHP, no qual foi estabelecida uma escala de importância relativa entre as possíveis soluções propostas, citada anteriormente, possibilitando assim comparar as três soluções integradas.


### 2.7.1 Custo de instalação

**Dimmer x Adição de lâmpadas** - Dimmer é acentuadamente preferível à adição de lâmpadas fluorescentes, visto que o custo de se renovar a parte elétrica é muito superior ao custo de implementação de dimmers e das lâmpadas de led.

**Dimmer x pintura das Paredes** - Dimmer é acentuadamente preferível à pintura das paredes, pois o custo de renovar a pintura das paredes, sem mão de obra especializada, gira em torno de R\$1500,00 por sala, valor bem superior ao dos dimmers e das lâmpadas de led.

**Adição de lâmpadas x Pintura das paredes** - Pintura de paredes é pouco mais preferível à adição de lâmpadas, haja visto que o custo de se ampliar a rede elétrica de uma sala de aula é de cerca de R\$2000,00.

Figura 6 - Tabela comparativa entre soluções para o critério custo de instalação



Custo de instalação	Dimmer	Adição de lâmpadas	Pintura das paredes
Dimmer	1,00	4,00	4,00
Adição de lâmpadas	0,25	1,00	2,00
Pintura das paredes	0,25	0,50	1,00
Soma	1,50	5,50	7,00

Fonte: Autoria do grupo

### 2.7.2 Tempo de instalação

**Dimmer x Adição de lâmpadas** - Dimmer é extremamente preferível à adição de lâmpadas fluorescentes, já que o tempo necessário para instalar um dia não passa de um dia, enquanto que é preciso ao menos um mês inteiro para adicionar novas lâmpadas, considerando os ajustes à rede elétrica.

**Dimmer x pintura das Paredes**- Dimmer é pouco mais preferível à pintura das paredes, a qual necessita de cerca de 5 dias para ser realizada adequadamente.

**Adição de lâmpadas fluorescentes x pintura das Paredes** - Dimmer é acentuadamente preferível à pintura das paredes, com base nos dados já levantados.

Figura 7 - Tabela comparativa entre soluções para o critério tempo de instalação

Tempo de instalação	Dimmer	Adição de lâmpadas	Pintura das paredes
Dimmer	1,00	5,00	2,00
Adição de lâmpadas	0,20	1,00	0,25
Pintura das paredes	0,50	4,00	1,00
Soma	1,70	10,00	3,25

Fonte: Aatoria do grupo

### 2.7.3 Manutenção

**Dimmer x Adição de lâmpadas** - Dimmer é moderadamente preferível à adição de lâmpadas fluorescentes, uma vez que as lâmpadas de LED, incluídas na instalação do dimmer, duram até quatro vezes mais que as fluorescentes.

**Dimmer x pintura das Paredes** - Dimmer é moderadamente preferível à pintura das paredes, já que a parede precisará ser pintada novamente antes de a lâmpada LED e o dimmer

**Adição de lâmpadas fluorescentes x pintura das Paredes** - Dimmer é moderadamente preferível à pintura das paredes, uma vez que as lâmpadas fluorescentes apresentam uma maior durabilidade em relação à pintura das paredes.

Figura 8 - Tabela comparativa entre soluções para o critério manutenção

Manutenção	Dimmer	Adição de lâmpadas	Pintura das paredes
Dimmer	1,00	3,00	3,00
Adição de lâmpadas	0,33	1,00	3,00
Pintura das paredes	0,33	0,33	1,00
Soma	1,67	4,33	7,00

Fonte: Aatoria do grupo



#### 2.7.4 Economia

**Dimmer x Adição de lâmpadas** - Dimmer é acentuadamente preferível à adição de lâmpadas, visto que a redução do consumo de energia em 10% com um dimmer é capaz de duplicar a vida útil da lâmpada, o que implica uma maior economia a longo prazo em relação à adição.

**Dimmer x pintura das Paredes** - Dimmer é moderadamente preferível à pintura das paredes, visto que o ganho na instalação dos LEDs é superior à mudança de cor das paredes.

**Adição de lâmpadas fluorescentes x pintura das Paredes** - A pintura das paredes é pouco mais preferível à adição de lâmpadas, visto que a economia, quando comparada, é bem próxima, observando-se que a pintura leva uma pequena vantagem.

Figura 9 - Tabela comparativa entre soluções para o critério economia

Economia	Dimmer	Adição de lâmpadas	Pintura das paredes
Dimmer	1,00	4,00	3,00
Adição de lâmpadas	0,25	1,00	0,50
Pintura das paredes	0,33	2,00	1,00
Soma	1,58	7,00	4,50

Fonte: Aatoria do grupo

#### 2.7.5 Impacto ambiental

**Dimmer x Adição de lâmpadas** - Dimmer é acentuadamente preferível à adição de lâmpadas, visto que o dimmer é capaz de reduzir ainda mais o consumo das lâmpadas LED, que por sua vez já consomem menos que as fluorescentes.

**Dimmer x pintura das Paredes** - Dimmer é igualmente preferível à pintura das paredes, uma vez que o impacto gerado pelas duas soluções é extremamente baixo.

**Adição de lâmpadas fluorescentes x pintura das Paredes** - Pintura das paredes é extremamente preferível à adição de lâmpadas, visto que a tinta é ecológica e a adição de lâmpadas fluorescentes aumenta muito o consumo energético, o que agrava o impacto ambiental.

Figura 10 - Tabela comparativa entre soluções para o critério impacto ambiental

Impacto ambiental	Dimmer	Adição de lâmpadas	Pintura das paredes
Dimmer	1,00	4,00	1,00
Adição de lâmpadas	0,25	1,00	0,20
Pintura das paredes	1,00	5,00	1,00
Soma	2,25	10,00	2,20

Fonte: Aatoria do grupo

### 2.7.6 Conforto

**Dimmer x Adição de lâmpadas** - Dimmer é moderadamente preferível à adição de lâmpadas, visto que, pelo método UGR (Unified Glare Rating)[8], o conforto proporcionado pelo dimmer é maior, já que a lâmpada LED tem uma luminância maior que a fluorescente

**Dimmer x pintura das Paredes** - Dimmer é pouco mais preferível à pintura das paredes, pois o conforto proporcionado pelas duas soluções é bem similar, com uma leve desvantagem para a pintura, que permite apenas uma refletividade de 45%

**Adição de lâmpadas fluorescentes x pintura das Paredes** - Adição de lâmpadas é igualmente preferível à pintura das paredes, visto que o benefício gerado por ambas, embora de forma diferente, seja praticamente o mesmo, sem nenhum desequilíbrio que possa favorecer alguma delas.

Figura 11 - Tabela comparativa entre soluções para o critério conforto

Conforto	Dimmer	Adição de lâmpadas	Pintura das paredes
Dimmer	1,00	3,00	2,00
Adição de lâmpadas	0,33	1,00	1,00
Pintura das paredes	0,50	1,00	1,00
Soma	1,83	5,00	4,00

Fonte: Aatoria do grupo

### 2.7.7 Resultado

Assim, após aplicação do método APH, supracitado, chegou-se à conclusão de que a melhor solução seria de fato a **dos Dimmers, aliada à substituição das lâmpadas atuais por modelos de LED.**

Figura 12: Tabela dos resultados

Resultado							
Resultado	Custo de instalação	Tempo de instalação	Manutenção	Economia	Impacto ambiental	Conforto	Nota Final
Dimmer	0,66	0,57	0,57	0,62	0,43	0,55	0,57
Adição de lâmpadas	0,21	0,10	0,29	0,14	0,10	0,21	0,18
Pintura das paredes	0,13	0,33	0,14	0,24	0,47	0,24	0,26
Soma	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

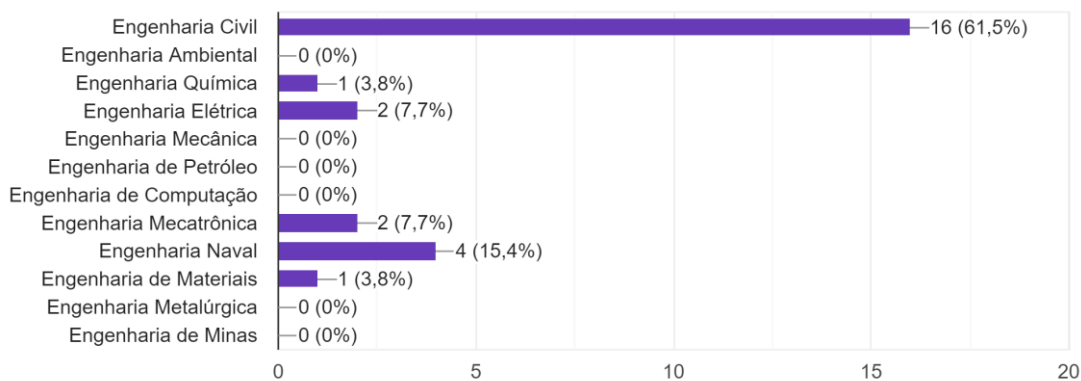
Fonte: Autoria do grupo

Posteriormente, realizamos um segundo formulário apresentando as soluções que tínhamos, a fim de adquirir a opinião pública a respeito das alternativas. A seguir, os resultados que obtivemos, que contribuíram, de certa forma, no fortalecimento de nossa escolha:

Figura 13: Curso dos usuários

Qual o seu curso ?

26 respostas

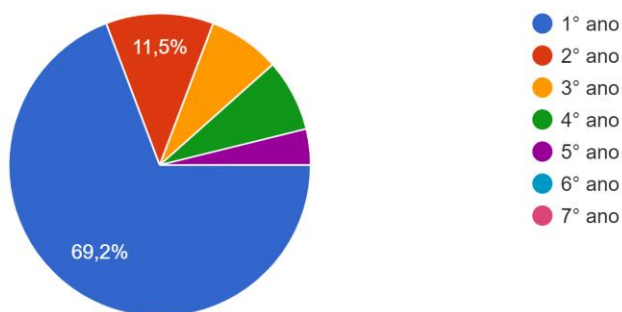


Fonte: Autoria própria

Figura 14: Ano de graduação dos usuários

Qual ano você está ?

26 respostas

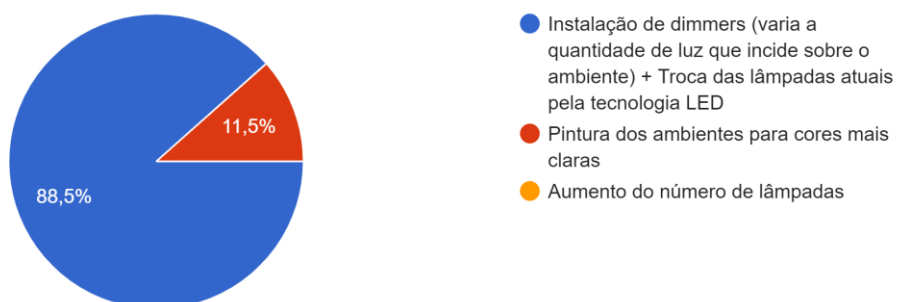


Fonte: Autoria própria

Figura 15: Opinião pública a respeito das soluções

Na sua opinião, (levando em conta o CUSTO, ECONOMIA de energia, IMPACTOS ambientais, entre outros) , qual a solução mais adequada a ser implantada :

26 respostas



Fonte: Autoria própria

## 2.8 Especificações da solução

Como definido anteriormente, a solução definida pelo grupo para o problema de dificuldade da visualização da lousa e da tela de projeção é a **instalação de dimmers eletrônicos nas salas de aula, em conjunto com as lâmpadas de LED dimerizadas, lâmpadas específicas que permitem o uso desse tipo de tecnologia.** Esses instrumentos **possibilitam que os usuários das salas de aula possam ajustar, até certo grau, a luminosidade artificial, da sala de aula, podendo adequar a vista em função do horário do dia e da posição do sol em relação a sala.**

Figura 16: Dimmer eletrônico



Fonte: Ali Express

Dito isso, Dimmers eletrônicos comuns, em sua maioria, custam até 50 reais e lâmpadas de LED dimerizadas, cerca de 40 reais. Apesar de um custo mais alto em relação às lâmpadas comuns, segundo Tainá Volf, designer de interiores, no site “volfarquitectura.com.br”, em seu artigo: As diferenças das lâmpadas[5], se considerarmos uma média de uso diário de 2,5 horas, uma lâmpada incandescente comum terá uma vida útil de aproximadamente 8 meses, enquanto que uma lâmpada LED terá de 25 anos.

Além disso, vale ressaltar que existem dois tipos de sistemas de dimmers: os Dimmers Resistivos, que diminuem a intensidade de energia enviada para a lâmpada consumindo a energia que não é usada, ou seja, quando a lâmpada está totalmente ligada, o dimmer não consome energia, não trazendo economia de energia, apesar de conseguir aumentar a vida útil das lâmpadas; e Dimmers Eletrônicos, que atuam “cortando” a onda elétrica muito rapidamente, fazendo com que menos energia siga para a lâmpada, aumentando a vida útil da lâmpada e diminuindo o consumo de energia. Ficando-se, assim, evidente a superioridade de dimmers eletrônicos, quanto trata-se de preservação ambiental, como mostra a figura 13 da Lutron

Electronics, uma empresa do ramo de iluminação [6], que mostra o quanto se economiza energia quando a luz está a uma dada potência.

Ressalta-se também que o roteiro de instalação da solução é relativamente simples, envolvendo primeiramente a substituição das tomadas pelos dimmers, atentando-se, principalmente, a ordem dos fios e seguindo os passos:

1. Ligue um cabo da saída do disjuntor até um dos cabos do dimmer;
2. Conecte o cabo de retorno do dimmer ao contato central do receptáculo (boquilha);
3. Ligue o cabo neutro ao receptáculo;

após isso, basta realizar a troca das lâmpadas.

Finalmente, é de extrema importância ressaltar que há casos onde não se deve utilizar dimmers, segundo o website Mundo da Elétrica [7], sendo eles:

- Em Lâmpadas fluorescentes;
- Lâmpadas dicroicas com transformadores eletrônicos;
- e Cargas menores que 40 W.

Figura 17: Economia gerada pelo dimmer

AMBIENTE	LUZ EMITIDA %	ECONOMIA %	AUMENTO DA VIDA ÚTIL
	<b>90%</b>	<b>10%</b>	<b>2 vezes</b>
	<b>75%</b>	<b>20%</b>	<b>4 vezes</b>
	<b>50%</b>	<b>40%</b>	<b>20 vezes</b>
	<b>25%</b>	<b>60%</b>	<b>Mais de 20 vezes</b>

Fonte: Lutron Electronics

Para finalizarmos o projeto, é interessante conferir as condições do sistema lumínico já implantado, analisando os parâmetros de lumens e lux. "Lux é a intensidade luminosa (iluminância) por unidade de área ( $m^2$ ). É igual à quantidade de lúmen por metro quadrado ( $lx = lm / m^2$ ). A distância entre a fonte de luz e a superfície interfere na quantidade de lux obtida. Resumindo, Lux é a quantidade de luz que chega em uma superfície" [9].

Figura 18: Tabela de iluminâncias por classe de tarefas visuais

**Tabela 1 - Iluminâncias por classe de tarefas visuais**

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 - 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 - 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 - 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 - 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: NBR 5413 - ABNT

De acordo com a norma técnica NBR 5413, em salas de aula, a quantidade de lux pode variar de 200 a 500. Neste cálculo iremos adotar o máximo permitido, 500 lux.

Figura 19: Quantidade de lux em escolas

**5.3.13 Escolas**

- salas de aulas ..... 200 - 300 - 500
- quadros negros ..... 300 - 500 - 750
- salas de trabalhos manuais ..... 200 - 300 - 500
- laboratórios
- . geral ..... 150 - 200 - 300
- . local ..... 300 - 500 - 750

Fonte: NBR 5413 - ABNT

Com a área da sala de aula S-15, extraído da planta do prédio da civil, é possível calcular a quantidade de lumens necessárias para o ambiente:

$$LUX = \frac{LÚMEN}{M^2}$$

Dito que, a área da S-15 é de 88,58 m<sup>2</sup> e a quantidade de lux é 500:

$$500 = \frac{LÚMEN}{88.58}$$

$$LÚMEN \approx 44290$$

As lâmpadas tubulares LED de 40 W, potência necessária para utilizarmos o dimmer, contém, em média, 2000 a 2500 lúmens. Com o valor do lúmen da lâmpada a ser instalada, conseguimos descobrir a quantidade de lâmpadas necessárias para uma iluminação adequada do ambiente:

$$Q. \text{ de lâmpadas} = \frac{Q. \text{ lúmen do ambiente}}{\text{lúmen da lâmpada}}$$

$$Q. \text{ de lâmpadas} = \frac{44290}{2300} (* \text{ adotado - 2300 lúmens})$$

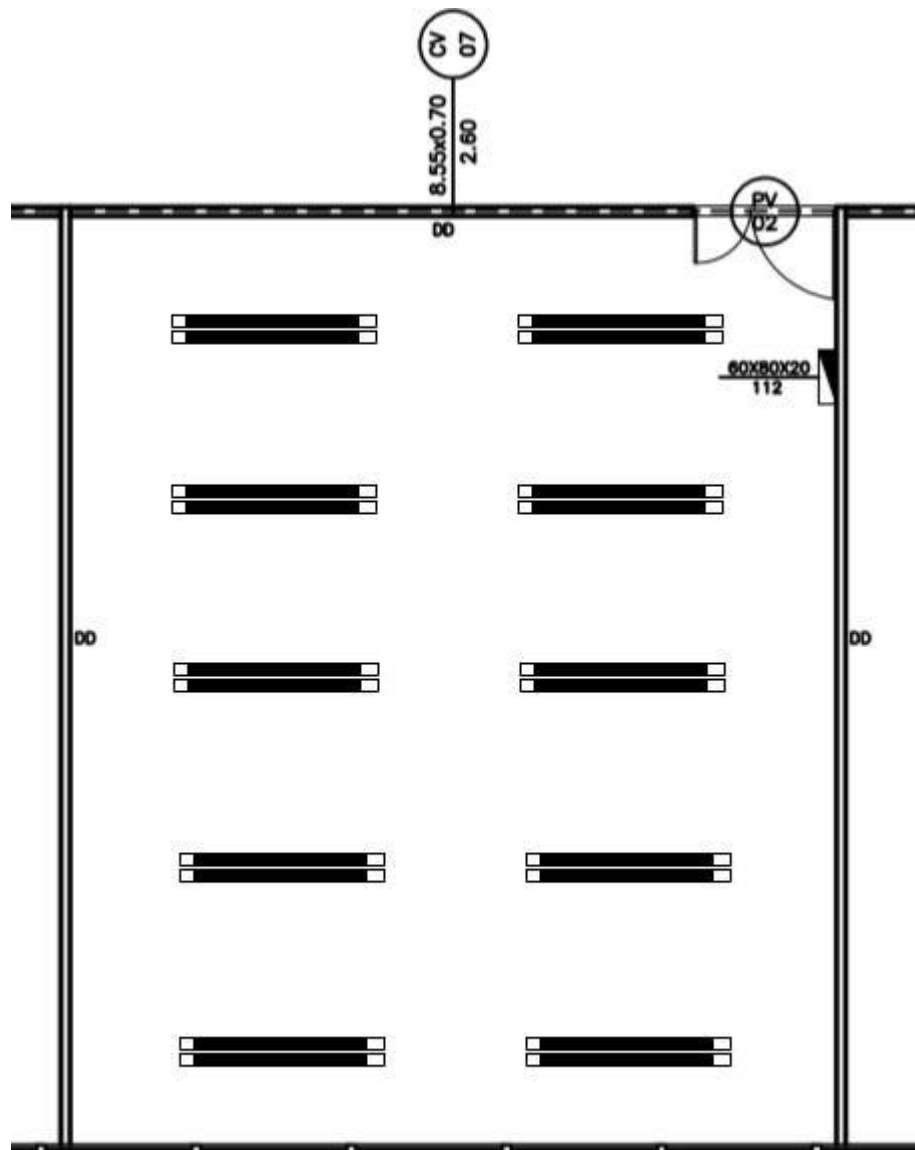
$$Q. \text{ de lâmpadas} \approx 20$$

(\* arredondamento para cima para fechar o último par de lâmpadas)

As lâmpadas tubulares são utilizadas, geralmente, em pares, logo teremos 10 pares de lâmpadas.



Figura 20: Possível disposição das lâmpadas na S-15



Fonte: Autoria própria

### 3. CONCLUSÕES/REFERÊNCIAS

Em primeiro lugar foi definida a importância primordial da iluminação nos estudos e no trabalho, tem como o base os dados citados por Michael Borgers e o estudo científico realizado pela dentro da Universidade de Delft. Em seguida, chegou-se a constatação de que a falta de iluminação era um problema mais grave do que o seu excesso, elencando três possíveis soluções para tal empecilho: a adição de lâmpadas fluorescentes, que foi logo descartada, resumidamente, pelo alto custo de se alterar a rede elétrica e pela não tão alta eficiência energética de tais lâmpadas; a pintura em cores mais claras e que reflitam mais a luz, que foi posteriormente colocada de lado devido ao também elevado custo e por não trazer resultados tão expressivos quanto a instalação de dimmers, juntamente com as lâmpadas de LED, que foi escolhida como a melhor solução, visto que é aprovada em aspectos econômicos, sensoriais, energéticos e ambientais.

## REFERÊNCIAS

- [1] RANGEL, P. A.; FORMOSO, C. T.; MIRON, L. I. G.; ECHEVESTE, M. E. S. **Método para a avaliação técnica da qualidade pós-ocupação de áreas de uso comum de Habitações de Interesse Social. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 171-194, jan./mar. 2020. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.** Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-862120200001003>>. Acesso em: 11 abr. 2020.
- [2] Rice, M. (2010). **Biologic Architecture Building Inspired by Nature. Natural Life, 22.** Disponível em: <<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=1921724821&Fmt=7&clientId=24792&RQT=309&VName=PQD>>. Acesso em 30/05/2020
- [3] BORGERS, Michael. **What is the Best Light for Studying?**. Disponível em: <<https://www.improvestudyhabits.com/what-is-the-best-light-for-studying/>>. Acesso em: 03/05/2020.
- [4] Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Delft, Holanda, **Luz Nas Escolas.** Disponível em: <[http://lightinglab.fi/IEAAnnex45/publications/Technical\\_reports/lighting\\_in\\_schools.pdf](http://lightinglab.fi/IEAAnnex45/publications/Technical_reports/lighting_in_schools.pdf)>
- [5] VOLF, Tainá, **As Diferenças Das Lâmpadas.** Disponível em: <<https://www.volfarquitectura.com.br/as-diferencas-das-lampadas/>>. Acesso em 23/05/2020.
- [6] LUTRON ELETRONICS, **Dimmerização – Conforto Visual com Economia de Energia.** Disponível em: <[http://www.dimero.com.br/dicas\\_arquitetos/pdf/Dimmeriza%C3%A7%C3%A3o%20-%20Conforto%20Visual%20com%20Economia%20de%20Energia.pdf](http://www.dimero.com.br/dicas_arquitetos/pdf/Dimmeriza%C3%A7%C3%A3o%20-%20Conforto%20Visual%20com%20Economia%20de%20Energia.pdf)> Acesso em: 23/05/2020
- [7] MUNDO DA ELETRICA, **Como funciona uma dimmer.** Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funciona-um-dimmer/>>. Acesso em: 23/05/2020
- [8] NORTHGATE LIGHTING.LTG, **What is UGR (Unified Glare Rating)?**. Disponível em: <<http://www.northgatelighting.co.uk/what-is-ugr/>>. Acessado em: 23/05/2020.
- [9] LUTERLED, **O que é lux ?**. Disponível em: <<https://www.luterled.com.br/o-que-e-lux-e-como-medi-lo/>>. Acessado em: 24/05/2020.