

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Gregory Thainã do Espírito Santo

**PROJETO DE EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA DA ILUMINAÇÃO
DAS SALAS DE AULA DA UFSM E PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE
CONTROLE DO NÍVEL DE ILUMINAÇÃO**

Santa Maria, RS, Brasil

2021

Gregory Thainã do Espirito Santo

PROJETO DE EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA DA ILUMINAÇÃO DAS SALAS DE AULA DA UFSM E PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DO NÍVEL DE ILUMINAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do título de **Engenheiro Eletricista**.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Pinheiro Bernardon

Gregory Thainã do Espirito Santo

PROJETO DE EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA DA ILUMINAÇÃO DAS SALAS DE AULA DA UFSM E PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DO NÍVEL DE ILUMINAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do título de **Engenheiro Eletricista**.

Aprovado em 10 de fevereiro de 2021:

Daniel Pinheiro Bernardon, Dr. Eng. (DESP-UFSM)
(Presidente/Orientador)

André Ross Borniati, Eng. (UFSM)

Filipe Carloto, Eng. (UFSM)

Santa Maria, RS, Brasil
2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Josmar Roque do Espírito Santo, que infelizmente não pôde me acompanhar até o fim desta caminhada, e Tânia Maria de Moraes do Espírito Santo, por todo o amor e carinho que deram a mim durante toda a minha vida e por seus bons exemplos.

Ao meu irmão, Jonathan Thomas do Espírito Santo, por sempre ter me apoiado em todos os momentos.

Ao meu orientador, Dr. Daniel Pinheiro Bernardon por ter me orientado durante a iniciação científica e também na elaboração do meu TCC.

À Deus por me proporcionar saúde e condições de seguir minha caminhada de estudos até aqui.

À CPFL Energia, por ter acreditado no projeto.

E, por fim, a todos aqueles que de alguma forma foram importantes na minha caminhada até o presente momento.

RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso II
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Santa Maria

PROJETO DE EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA DA ILUMINAÇÃO DAS SALAS DE AULA DA UFSM E PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DO NÍVEL DE ILUMINAÇÃO

Autor: Gregory Thainã do Espírito Santo
Orientador: Dr. Daniel Pinheiro Bernardon
Data e Local de Defesa: online, 10 de fevereiro de 2021.

A eficiência energética é algo que vem sendo cada vez mais debatido em nossa sociedade, pois é algo que está diretamente ligado ao meio ambiente. Quando pensa-se em eficiência energética voltada à eletricidade isso fica ainda mais evidente, pois uma grande quantidade das inovações criadas necessita de energia elétrica para seu funcionamento, como é o caso dos carros elétricos, por exemplo. Este trabalho tem como objetivo trazer maneiras e aumentar a eficiência energética dos circuitos de iluminação das salas de aula da Universidade Federal de Santa Maria, bem como trazer a modelagem financeira das soluções abordadas no decorrer do estudo. Dentre os resultados obtidos, há a projeção de economia de até 16,7 mil reais anuais para os quatro prédios analisados em sua totalidade, além de uma estimativa total da ufsm com base em dados retirados de salas de outros prédios. Ao final, o trabalho ainda traz um protótipo de sistema de controle da iluminação das salas de aula, que servirá como apoio para maximizar as soluções desenvolvidas. O estudo foi feito com base da NBR 8995 e com o apoio do software DIALux Evo, utilizado para fazer as simulações luminotécnicas. O sistema de controle foi projetado e simulado no TinkerCad, ferramenta gratuita da internet.

Palavras-chave: Eficiência energética, Modelagem financeira, Luminotécnica;

ABSTRACT

Final Course Paper
Graduation Course in Electrical Engineering
Federal University of Santa Maria

ENERGY EFFICIENTIZATION PROJECT FOR THE LIGHTING OF CLASSROOMS AT UFSM AND PROTOTYPE OF A LIGHTING LEVEL CONTROL SYSTEM

Author: Gregory Thainã do Espirito Santo
Adivisor: Daniel Pinheiro Bernardon
Date and Local of Defense: online, 10th february, 2021.

Energy efficiency is something that is being increasingly debated in our society, as it is directly linked to our environment. When we think about energy efficiency focused on electricity, this becomes even more evident, since a large number of the innovations created need electrical energy for their operation, as is the case with electric cars, for example. This work aims to bring ways and increase the energy efficiency of the lighting circuits in the classrooms of the Federal University of Santa Maria, as well as to bring the financial modeling of the solutions covered during the study. Among the results obtained, there is a projection of savings of up to R\$ 16.700,00 annually for the four buildings available in their entirety. At the end, the work also brings a prototype of a lighting control system for classrooms, which will serve as support to maximize the solutions developed. The study was made based on NBR 8995 and with the support of the DIALux Evo software, used to perform the lighting simulations. The control system was designed and simulated in TinkerCad, a free tool on the internet.

Keywords: Energy efficiency, Financial modeling, Lighting engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração dos comprimentos de onda.	14
Figura 2 - Representação do fluxo luminoso.	15
Figura 3 - Representação da iluminância.	16
Figura 4 - Representação da luminância.	17
Figura 5 - Curva característica de um LDR.	18
Figura 6 - Simulação de uma das salas de aula no DIALux Evo.	23
Figura 7 - Sala com disposição de lâmpadas fluorescentes.	24
Figura 8 - Disposição atual das lâmpadas da sala de 25,62m ² .	25
Figura 9 - Modelo de controle de iluminação da sala de 25,62m ² .	26
Figura 10 - Controle proposto ao meio dia para as salas de 25,62m ² .	27
Figura 11 - Antiga disposição de lâmpadas Fluorescentes.	28
Figura 12 - Novo arranjo com todas as lâmpadas ligadas.	29
Figura 13 - Controle proposto para o controle das luminárias com luz do sol às 18 horas.	30
Figura 14 - Disposição antiga de lâmpadas fluorescentes.	31
Figura 15 - Simulação com 12 lâmpadas às 8 horas da manhã.	32
Figura 16 - Modelo de divisor de tensão.	42
Figura 17 - Circuito de controle projetado.	43
Figura 18 - Demonstração da alimentação do circuito.	46
Figura 19 - Apoio para a explicação da função de cada elemento.	47
Figura 20 - Circuito de controle funcionando.	48
Figura 21 - Saídas para o ambiente mais escuro possível.	48
Figura 22 - Circuito com um ponto claro e outro escuro.	49
Figura 23 - Saídas para o circuito com um ponto claro e outro escuro.	49
Figura 24 - Circuito com os dois pontos claros.	50
Figura 25 - Saídas para o circuito com os dois pontos claros.	50
Figura 26 - Circuito operando no seu limiar inferior.	51
Figura 27 - Saídas para o circuito operando no seu limiar inferior.	51
Figura 28 - Circuito ligeiramente abaixo do seu limiar inferior.	52
Figura 29 - Saídas para o circuito ligeiramente abaixo do seu limiar inferior.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelo de cálculo automatizado que possibilitou maior ganho de tempo no projeto.	22
Tabela 2 - Resultados energéticos para salas para até 10 alunos.	32
Tabela 3 - Resultados energéticos para salas para até 40 alunos.	32
Tabela 4 - Resultados energéticos para salas para até 40 alunos.	33
Tabela 5 - Indicadores econômicos para as salas que suportam até 10 alunos, somente LED.	33
Tabela 6 - Indicadores econômicos para as salas que suportam até 10 alunos, LED e fluorescente.	36
Tabela 7 - Indicadores econômicos para as salas que suportam até 50 alunos, somente LED.	37
Tabela 8 - Indicadores econômicos para as salas que suportam até 50 alunos, LED e fluorescente.	38
Tabela 9 - Indicadores econômicos para as salas que suportam até 40 alunos, somente LED.	39
Tabela 10 - Indicadores econômicos para as salas que suportam até 40 alunos, LED e fluorescente.	40

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CI	Circuito Integrado
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
LED	<i>Light Emissor Diode</i>
NBR	Norma Técnica Brasileira
ROI	<i>Return Over Investment</i>
TIR	Taxa Interna de Retorno
VP	Valor Presente
VPL	Valor Presente Líquido

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA	12
1.2	OBJETIVO GERAL	12
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.4	ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	LUMINOTÉCNICA	14
2.1.1	Luz	14
2.1.2	Fluxo Luminoso	14
2.1.3	Iluminância	16
2.1.4	Luminância	16
2.1.5	Intensidade Luminosa	17
2.1.6	Índice de Reprodução de Cor	17
2.1.7	Temperatura de Cor	18
2.1.8	NBR 8995	18
2.1.9	Light Dependent Resistor	18
2.1.10	Lâmpadas	19
2.1.10.1	Lâmpadas fluorescentes	19
2.1.10.2	Lâmpadas LED	19
2.2	AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS	19
2.2.1	Fluxo de Caixa	20
2.2.2	Valor Presente	20
2.2.3	Valor Presente Líquido	20
2.2.4	Payback	21
2.2.5	Taxa Interna de Retorno - TIR	21
2.2.6	Retorno Sobre o Investimento	21
3	METODOLOGIA	22
3.1	PROGRAMA PILOTO	22
3.2	PROJETO LUMINOTÉCNICO	22
3.2.1	Salas para até 10 alunos	24

3.2.2	Sala para até 50 alunos	27
3.2.3	Sala para até 40 alunos	30
3.2.4	Tabelas com resumo dos principais resultados	32
3.3	MODELAGEM FINANCEIRA	33
3.3.1	Sala para até 10 alunos – Comparação entre arranjos de lâmpadas LED	33
3.3.2	Sala para até 10 alunos – Comparação entre arranjos de lâmpadas LED e fluorescente	34
3.3.3	Sala para até 50 alunos – Comparação entre arranjos de lâmpadas LED	37
3.3.4	Sala para até 50 alunos – Comparação entre arranjos de lâmpadas LED e fluorescente	37
3.3.5	Sala para até 40 alunos – Comparação entre arranjos de lâmpadas LED	39
3.3.6	Sala para até 40 alunos – Comparação entre arranjos de lâmpadas LED e fluorescente	40
3.3.7	Conclusões da modelagem financeira	41
4	PROTÓTIPO DE SISTEMA DE CONTROLE LUMINOTÉCNICO	42
4.1	EXPLICAÇÃO DO CÓDIGO	44
4.2	EXPLICAÇÃO DO CIRCUITO ELÉTRICO	46
4.3	EXPLICAÇÃO DO SISTEMA	47
5	CONCLUSÃO	53
6	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

O uso de energia elétrica se intensifica cada vez mais a cada ano. Impressoras, máquinas automáticas para a manufatura, eletrodomésticos, eletrônicos e, mais recentemente, carros. Todas essas são inovações que intensificaram o uso de energia elétrica pela humanidade. Junto dessa intensificação veio um questionamento: como fazer esse consumo sustentável? Como garantir que o mundo terá matérias primas para a geração de energia em larga escala por um longo período de tempo?

A partir deste questionamento surgiu o ramo de estudos chamado eficiência energética, onde a energia elétrica é uma das formas de energia mais estudadas. Em 1985 o Brasil criou o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), visando promover o uso racional e eficiente de energia e combater seu desperdício (ELETROBRAS, 2012).

Em linhas gerais, a eficiência energética se baseia em três pilares: adoção do uso de novas tecnologias que consomem menos energia, mudança de hábitos do consumidor e políticas de conservação e uso racional de energia, como o Programa Brasileiro de Etiquetagem (CASTRO, 2015).

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2019, a matriz energética brasileira é majoritariamente hidráulica, com representatividade de 64,9% (EPE, 2020). Entretanto, por ser um país que sofre frequentemente com secas, é comum o uso de usinas termelétricas para complementar a produção de energia elétrica. Sendo assim, a eficiência energética é algo muito trabalhado no país, pois o uso de usinas termelétricas, além de aumentar o preço de produção, também colabora na poluição do meio ambiente.

1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Conforme já mencionado no capítulo 1, trabalhar com a eficiência energética no Brasil colabora não só com a parte financeira, mas também com o meio ambiente, pois o aumento da eficiência energética acarreta em uma menor necessidade do acionamento de usinas termelétricas durante períodos de secas, que normalmente se dão no verão.

Segundo dados de 2018, a Universidade Federal de Santa Maria consumia o equivalente a aproximadamente 1 milhão de reais em energia elétrica mensalmente. De acordo com Magalhães (2001), a iluminação de prédios públicos é responsável por 24% do gasto total com energia elétrica. Diante disso, uma série de medidas foram tomadas, dentre elas o projeto de efficientização energética da iluminação das salas de aula da UFSM. Este projeto visa diminuir o consumo de energia elétrica com a iluminação das salas de aula sem prejudicar a sua qualidade.

1.2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral apresentar maneiras de melhorar a eficiência energética da iluminação das salas de aula através da inserção de novas tecnologias e proposição de mudança de hábitos e nas instalações. Além disso, o estudo traz também a análise financeira de cada solução proposta, de modo a tirar uma conclusão sobre a sua viabilidade do ponto de vista monetário. Por fim, também é proposto um protótipo de sistema de controle de iluminação que maximiza os resultados de cada cenário proposto.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

1. Diminuir o consumo energético das salas de aula sem que a qualidade da iluminação seja prejudicada;
2. Fornecer ganhos financeiros para a Universidade Federal de Santa Maria;
3. Minimizar ao máximo o uso desnecessário de iluminação artificial nos locais de estudo;
4. Simular diferentes cenários para a iluminação das salas de aula no software DIALux Evo;
5. Trazer os resultados financeiros de cada solução proposta para a iluminação das salas de aula;
6. Propor um protótipo de sistema de controle de iluminação para as salas de aula.

1.4 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS

O trabalho divide-se em 4 capítulos, onde o capítulo 1 apresenta a introdução sobre o assunto tratado no decorrer do trabalho, além dos objetivos geral e específico. O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica, onde são abordados temas como luminotécnica e modelagem financeira.

No capítulo 3 é abordada a metodologia utilizada no trabalho, explicando detalhadamente os passos seguidos. O capítulo 4 apresenta as conclusões dos resultados obtidos e considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é dada ênfase aos conceitos principais de luminotécnica, eficiência energética e princípios de modelagem financeira, que são os pilares do trabalho desenvolvido.

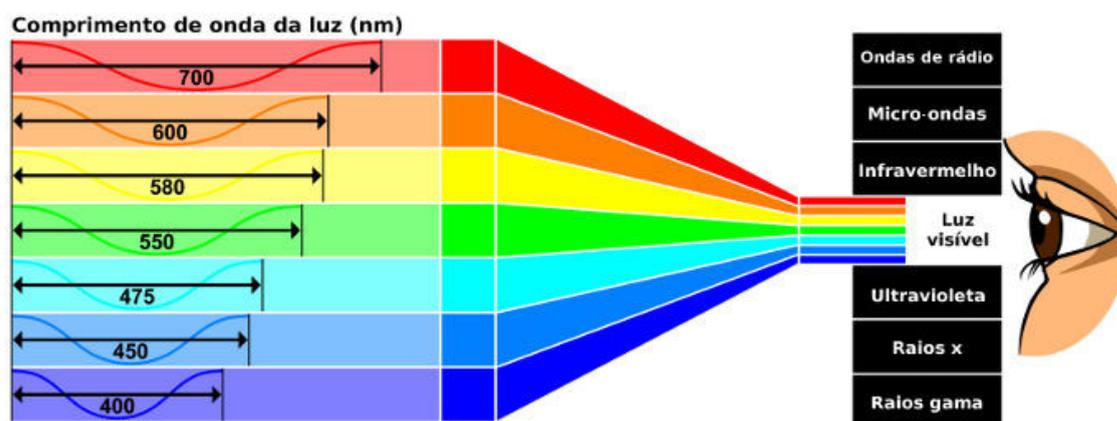
2.1 LUMINOTÉCNICA

Segundo Costa (2006), luminotécnica é o estudo de aplicação de iluminação artificial em espaços interiores e exteriores. Segundo o autor, a luminotécnica é, basicamente, a união de três pilares diferentes: fabricante, projetista e cliente. É uma ciência que busca o equilíbrio entre a qualidade da iluminação no ambiente e o custo de implementação e manutenção da iluminação artificial.

2.1.1 Luz

Segundo Osram (2000), a luz é a emissão de energia eletromagnética capaz de produzir uma sensação de visão. Ou seja, a luz são ondas eletromagnéticas cuja frequência está dentro do espectro visível (entre 470 e 750 nm). Ondas eletromagnéticas cuja frequência é menor que a menor frequência de luz visível são chamadas de infravermelho. As ondas eletromagnéticas cuja frequência é maior que a maior frequência de luz visível são chamadas de ultravioleta.

Figura 1 - Ilustração dos comprimentos de onda.



Fonte: Brasil Escola

2.1.2 Fluxo Luminoso

É a quantidade total de luz emitida por uma fonte luminosa em todas as direções. Ou seja, é a energia emitida ou refletida por segundo em todas as direções sob a forma de luz.

Sua unidade padrão no Sistema Internacional de Unidades é o lúmen. Um lúmen é o fluxo luminoso dentro de um cone de 1 esferorradiano, emitido por um ponto luminoso de intensidade invariável de 1 candela (Helio Creder).

Existem duas definições de lúmen: o lúmen teórico e o lúmen real. Essa diferenciação existe principalmente em lâmpadas de LED. O lúmen teórico (ou bruto) é o fluxo luminoso indicado pelo fornecedor a partir dos testes feitos na Esfera Integradora. Entretanto, fatores como calor, lentes e potência dos LEDs afetarão este valor, diminuindo-o e dando origem ao termo lúmen real.

A equação que rege o fluxo luminoso (ϕ) é dada pela equação (1).

$$\phi = E \times A \quad (1)$$

Onde E é a iluminância, dado em lux, e A é a área, em m².

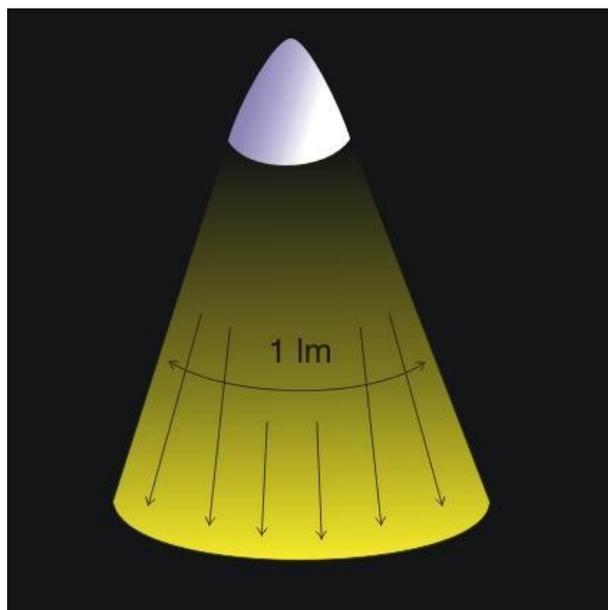
Ao isolarmos ϕ , teremos o fluxo total que será necessário em uma área para atingir um determinado valor de iluminância pré estabelecido.

O rendimento de uma lâmpada é dado pela equação (2).

$$\eta = \frac{\phi}{P} \left(\frac{lm}{w} \right) \quad (2)$$

Onde P é a potência da fonte luminosa dada em watt. O cálculo do rendimento é de extrema importância para determinarmos a eficiência luminosa da fonte que estamos estudando, ou seja, é uma grandeza que está diretamente ligada ao consumo de energia elétrica da instalação de iluminação de um ambiente. A Figura 2 exemplifica como é o fluxo luminoso na prática.

Figura 2 - Representação do fluxo luminoso.



Fonte: Wikipedia

2.1.3 Iluminância

A iluminância é o fluxo luminoso incidente em uma determinada área. Pode ser encontrada com o nome de iluminamento ou densidade de intensidade luminosa em algumas literaturas.

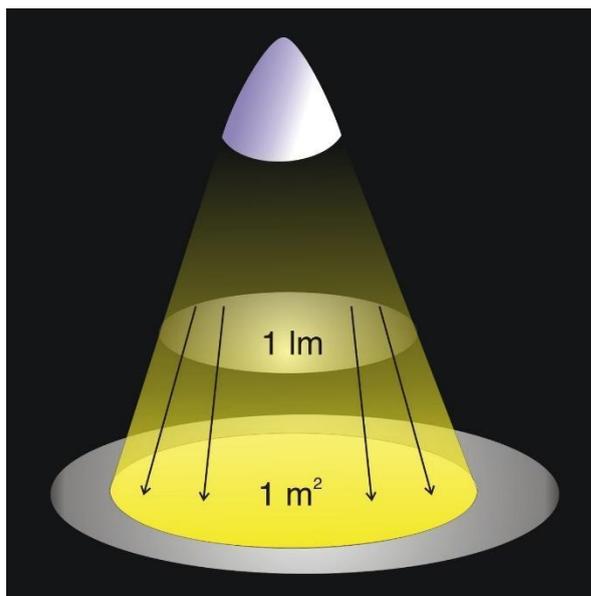
Sua unidade de medida é o lux, que é incidência a 90 graus de 1 lúmen em uma superfície de 1 m². Representada pela letra E, a equação que rege a iluminância é dada pela equação (3).

$$E = \frac{\phi}{A} \text{ lux} \quad (3)$$

Onde ϕ é o fluxo luminoso, dado em lúmen, e A é a área, em m².

A iluminância tem papel crucial no projeto luminotécnico de um recinto, uma vez que a NBR 5101, norma que rege a iluminação pública e a NBR 8995, norma que rege a iluminação em ambientes de trabalho, utilizam a iluminância como unidade padrão. A Figura 3 demonstra de maneira gráfica o conceito de iluminância.

Figura 3 - Representação da iluminância.



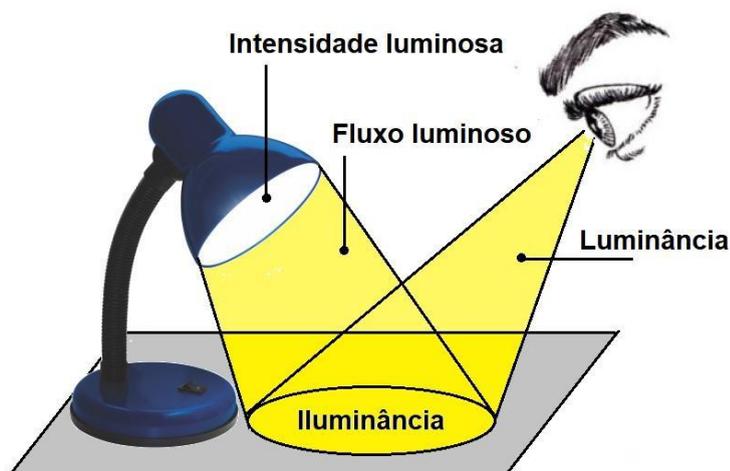
Fonte: Wikipedia

2.1.4 Luminância

É a iluminância em uma determinada direção, como mostra a Figura 4. Ou seja, é o fluxo luminoso emitido por uma determinada superfície de área A em uma determinada direção. Assim, a luminância é a grandeza que mede a luz percebida pelo olho em uma determinada direção.

Ter conhecimento da luminância e da iluminância é de extrema importância, pois é este fenômeno que nos possibilita ter a percepção de todos os objetos que refletem a luz. A unidade de medida dessa grandeza é candela por metro quadrado (cd/m^2) ou nit.

Figura 4 - Representação da luminância.



Fonte: Guia da Engenharia

2.1.5 Intensidade Luminosa

A intensidade luminosa é o fluxo luminoso contido em um ângulo sólido em uma dada direção. Segundo Creder (2016), também pode ser definida como a intensidade luminosa, na direção perpendicular, de uma superfície plana de área igual a $1/600000$ metros quadrados, de um corpo negro à temperatura de fusão da platina, sob a pressão de 101325 newtons por metro quadrado (1 atm).

De maneira mais simplória, podemos defini-la como a quantidade de luz emitida por uma fonte em uma determinada direção. É um conceito muito utilizado em refletores, casos em que o ângulo do fecho de luz está diretamente relacionado com a intensidade luminosa.

Sua unidade de medida é a candela e é regida pela equação (4).

$$I = \frac{\phi}{\Omega} \quad (4)$$

Onde I é a intensidade luminosa, em candelas, ϕ é o fluxo luminoso, em lúmens, e Ω é o ângulo sólido coberto pela incidência de luz, medido em esferorradianos.

2.1.6 Índice de Reprodução de Cor

É o índice que indica a aparência da cor da luz, com escala variando de 0 a 100. A lâmpada incandescente apresenta Índice de Reprodução de Cor (IRC) de 100 e é a base para as demais fontes luminosas. Quanto menor o IRC de uma lâmpada, menor a fidelidade da cor dos objetos iluminados por essa lâmpada. Ou seja, um objeto colorido pode ter a sua cor

ofuscada ou até mesmo levemente modificada se o IRC da lâmpada que o ilumina não for alto o suficiente. As lâmpadas LED possuem IRC acima de 70, o que lhes confere uma boa qualidade de iluminação, reproduzindo as cores de maneira satisfatória e conferindo maior detalhamento aos objetos iluminados (SALES, 2012).

2.1.7 Temperatura de Cor

É a aparência da luz emitida por uma determinada fonte luminosa. Luzes de tom amarelado têm uma baixa temperatura de cor, enquanto que luzes de tom claro (como lâmpadas LED brancas) têm sua temperatura de cor mais alta.

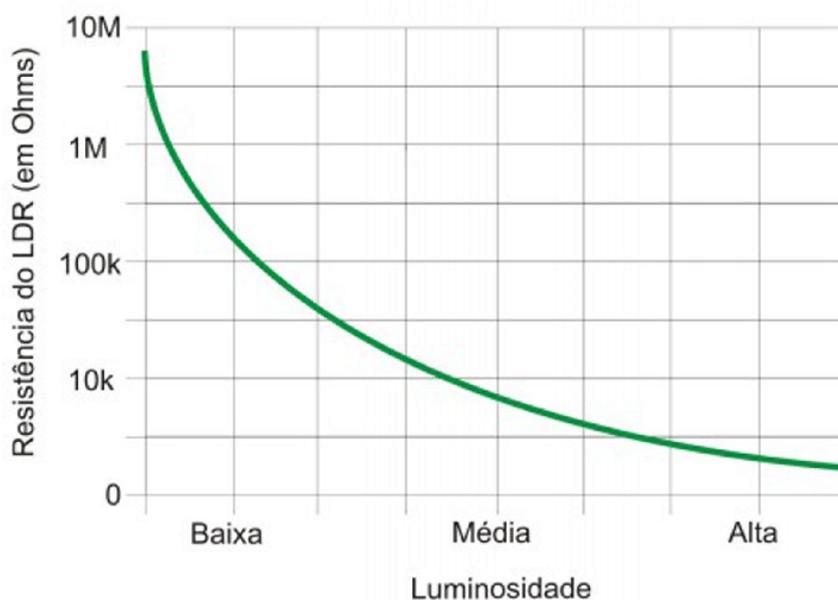
2.1.8 NBR 8995

É a norma brasileira que rege os padrões para a iluminação de interiores. A norma rege que para salas de aula onde o foco é a educação de adultos, como é o caso deste estudo, a iluminância deve ser de 500 lux e fator de uniformidade 0,7.

2.1.9 Light Dependent Resistor

É um resistor cuja resistência varia de acordo com a iluminância do ambiente em que ele está inserido. Neste tipo de dispositivo, quanto maior a iluminância no ambiente, menor a sua resistência, como está representado na Figura 5.

Figura 5 - Curva característica de um LDR.



Fonte: Macêdo, Josué & Pedroso, Luciano & Costa, Giovanni. (2018). **Aprimorando e validando um fotogate de baixo custo.**

2.1.10 **Lâmpadas**

As lâmpadas comercializadas em larga escala têm quatro principais características: potência elétrica absorvida (W), fluxo luminoso (lm), temperatura de cor (K) e índice de reprodução de cor (IRC). Existem vários tipos de lâmpadas no mercado. Neste documento serão relatados apenas dois tipos: fluorescentes e LED.

2.1.10.1 **Lâmpadas fluorescentes**

As lâmpadas fluorescentes têm a luz gerada por uma descarga elétrica contendo um gás interno. Possuem em seu interior uma pequena quantidade de mercúrio e um material feito de fósforo converte a luz ultravioleta em luz visível. Possuem eficiência e tempo de vida maiores que as lâmpadas incandescentes, mas menores que as lâmpadas LED (Dos Santos, 2015).

2.1.10.2 **Lâmpadas LED**

As lâmpadas LED são fabricadas a partir do diodo LED, um semicondutor que produz luz quando é diretamente polarizado. Segundo Dos Santos (2015), uma grande vantagem das lâmpadas feitas a partir de semicondutores é o fato de materiais semicondutores não serem prejudiciais ao meio ambiente.

Dos Santos (2015) afirma que a lâmpada LED pode utilizar até 82% menos energia elétrica quando comparada com uma lâmpada incandescente e durabilidade até 833% maior que a de uma fluorescente, o que gera menores custos com o consumo energético e também com sua manutenção. Ainda segundo esse autor, sua luz também não agride tecidos, fato que lhe confere largo uso em lojas de roupas, principalmente em vitrines.

Assim como qualquer componente eletrônico, o custo de fabricação dessas lâmpadas tende a diminuir com o tempo. Como consequência disso, é visto uma popularização cada vez maior deste tipo de lâmpadas no uso doméstico.

Uma outra grande vantagem das lâmpadas LED com relação às lâmpadas fluorescentes está no fato de que as fluorescentes são compostas por componentes químicos altamente nocivos ao meio ambiente, fazendo com que elas necessitem de um descarte especial. Anualmente são despejados ao meio ambiente aproximadamente 3,5 toneladas de mercúrio no Brasil (CETRIC, 2012). Já as lâmpadas LED, quase 98% do seu material é descartável, além delas não possuírem metais pesados em sua composição (ECYCLE).

2.2 AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS

Quando são feitas análises para um determinado investimento normalmente se deseja investir uma quantia no presente para colher uma quantia maior no futuro. Normalmente quem faz o investimento está interessado em três pontos principais: as expectativas de retornos futuros, o quão certo é o retorno e qual é a chance de ele não ocorrer. Normalmente, mais de um investimento são postos na balança e aquele que apresentar os melhores indicadores geralmente fica com a preferência.

Este subcapítulo visa apresentar os indicadores trabalhados no presente estudo para concluir se a solução proposta é ou não justificada financeiramente.

2.2.1 Fluxo de Caixa

É a projeção de entrada e saída de recursos financeiros em uma instituição. É uma ferramenta extremamente importante para gerar um maior controle financeiro da instituição, bem como é um excelente termômetro para a saúde financeira da mesma.

2.2.2 Valor Presente

É um indicador que informa o valor intrínseco de um investimento. No caso deste trabalho, o valor presente é o quanto que o potencial de retorno do projeto vale nos valores atuais, desconsiderando a inflação que ocorrerá no horizonte de eventos. Ele pode ser calculador a partir da equação (5).

$$V_P = \sum_{t=1}^n \frac{V_F}{(1+i)^t} \quad (5)$$

Onde VP é o valor presente das entradas, VF é o valor futuro, ou seja, o potencial retorno do projeto, i é a taxa, t é o período avaliado e n é o número total de períodos.

A taxa é também chamada de custo de capital, custo de oportunidade ou retorno mínimo exigido e representa os riscos dos fluxos de caixa, ou seja, o quão previsíveis eles são. Normalmente é usada como o retorno mínimo exigido para que o investimento seja válido. Assim, quanto maior for o risco, maior será a taxa e, portanto, menor o valor presente do ativo.

2.2.3 Valor Presente Líquido

O dinheiro hoje não tem o mesmo valor que tinha anos atrás e provavelmente não terá o mesmo valor dentro de alguns anos. Isso ocorre por uma série de fatores, onde o principal deles é a inflação. O valor presente líquido (VPL) é uma métrica que traz para o presente todos os fluxos de caixa futuros, nos dando uma visão bastante precisa do quão positivo ou negativo será o investimento a ser feito. Para que um investimento se justifique, seu VPL precisa ser maior que zero, sendo que quanto maior o seu valor, mais o investimento é justificado. O VPL pode ser calculado pela equação (6).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (6)$$

Onde VPL é o valor presente líquido, FC_t é o fluxo de caixa, i é a taxa de desconto, t é o período avaliado, n é o número de períodos e I_0 é o investimento inicial.

Aprofundando um pouco mais no conceito de VPL, temos que um VPL de 0 (zero) indica que o retorno do investimento é igual ao investimento inicial, cobrindo apenas o custo de oportunidade e o risco que o investidor assumiu. Um VPL menor que 0 indica que o investimento é inviável, pois o valor investido inicialmente nunca será recuperado. Um VPL maior que 0 indica que o seu retorno será maior que o investimento necessário, trazendo, assim, benefícios financeiros ao investidor.

2.2.4 Payback

É o tempo necessário para que a receita adquirida a partir de um determinado investimento consiga cobrir o valor investido. Em outras palavras, é o tempo necessário para que um investimento comece a trazer retornos financeiros.

2.2.5 Taxa Interna de Retorno - TIR

É a taxa de desconto para que o VPL de um investimento seja zero. É um método muito útil para comparar com a taxa de atratividade mínima que os tomadores de decisão julgam como necessária para justificar um investimento e então poderem ter um embasamento concreto na decisão. Sua equação é a mesma do VPL, mas agora igualada a zero, conforme mostra a equação (7).

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (7)$$

Se a TIR for igual ao custo de capital temos a situação em que o VPL é 0, ou seja, o investimento retorna apenas o que foi investido inicialmente. Se a TIR for menor que o custo de

capital teremos que o VPL é menor que 0 e, portanto, o investimento não se justifica financeiramente. Por fim, normalmente se deseja uma TIR maior que o custo de capital, pois isso irá acarretar em um VPL maior que 0.

2.2.6 Retorno Sobre o Investimento

O retorno sobre o investimento, também chamado de ROI (Return Over Investment) é uma métrica indispensável para saber o potencial de retorno financeiro que um investimento pode trazer. Seu valor pode ser obtido através da equação (8).

$$ROI(\%) = \frac{Receita - Custo}{Custo} \times 100 \quad (8)$$

3 METODOLOGIA

3.1 PROGRAMA PILOTO

Antes de serem iniciadas as simulações, foi feito um pequeno projeto piloto em algumas salas de aula da Universidade Federal de Santa Maria com o objetivo de analisar se a troca das lâmpadas fluorescentes por LED era uma solução plausível na prática para os ambientes selecionados.

Antes da troca inicial das lâmpadas foram feitas medições da iluminância dos ambientes em pontos estratégicos (cantos das salas, onde normalmente a iluminação é mais precária). Essas medições foram feitas também após a troca das lâmpadas para efeito de comparação.

A troca das lâmpadas se mostrou muito positiva, chegando em casos de uma melhora de até 57% na iluminância, como ocorreu na sala 2264, do prédio 74A, onde as 48 lâmpadas fluorescentes antigas foram substituídas por 24 lâmpadas LED.

Uma vez que a troca das lâmpadas se mostrou promissora por si só, os estudos passaram a objetivar encontrar maneiras de deixar os arranjos de lâmpadas LED mais efetivos e também compará-los com os arranjos de lâmpadas fluorescentes.

3.2 PROJETO LUMINOTÉCNICO

Inicialmente, foram retiradas as medidas da largura, comprimento e altura de alguns modelos padrão de salas de aula da UFSM, principalmente dos Centros de Tecnologia (prédio 7) e de Ciência Naturais e Exatas (prédio 16A).

Após isso, foi feito o cálculo estimado do número de luminárias necessário para cada modelo de sala de aula a partir do método dos Lúmens, um método muito utilizado em estudos luminotécnicos. Nesta parte, foram utilizadas como bibliografias Hélio Creder e Cotrim. Mais tarde, parte deste método foi automatizado com o uso do software Excel, onde foi possível obter de maneira mais direta alguns destes cálculos, antes desenvolvidos à mão, fazendo o projeto ganhar maior agilidade. A Figura 6 mostra como o cálculo foi automatizado

Tabela 1 - Modelo de cálculo automatizado que possibilitou maior ganho de tempo no projeto.

Altura	3
Largura	6,1
Comprimento	10,5
Área	64,05

Plano de Trabalho	2,2
K	1,286145

Fonte: autor

Feito o cálculo prévio do número de luminárias, o estudo foi passado para o software DIALux Evo, um software gratuito desenvolvido especificamente para estudos luminotécnicos, mostrado na Figura 6. Nesta etapa, o objetivo foi encontrar os arranjos de luminárias que melhor atendiam a norma consumindo a menor energia elétrica possível.

Figura 6 - Simulação de uma das salas de aula no DIALux Evo.



Fonte: autor

É importante também informar as características das lâmpadas utilizadas para as simulações dos casos. Foram consideradas lâmpadas LED de 1,2m de comprimento, 18 Watts de potência e fluxo luminoso de 2000 lúmens, da fabricante Golden. Assim, a eficiência da lâmpada é de 111 lm/W. A temperatura de cor escolhida foi de 6500 K, que são as lâmpadas da cor branca. Esta temperatura de cor proporciona um maior contraste dos objetos no recinto, além de deixar o usuário mais alerta e produtivo.

Para as lâmpadas fluorescentes foram consideradas lâmpadas de 1,2m de comprimento, 40 Watts de potência e fluxo luminoso de 2300 lúmens, apresentando uma eficiência de 57,5

lm/W. A temperatura de cor também foi o branco frio, que é a faixa compreendida entre 5000 K e 6500 K.

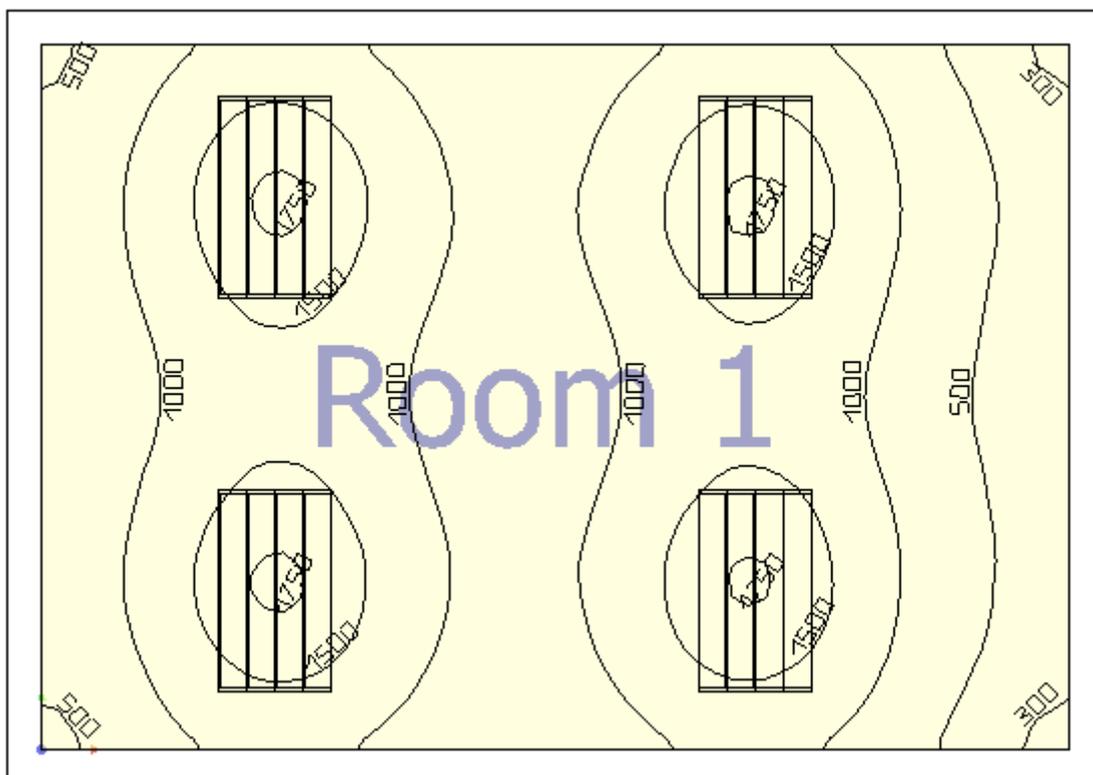
Os estudos foram dirigidos a uma extensa série de salas de aula. Conforme os estudos avançaram, o número de sala foi sendo restringido, pois, em geral, as salas da instituição seguem um padrão de construção. Diante disso, foram focados três casos: salas de aula pequenas, que abrigam turmas de menos de 10 alunos, como a sala 16 do prédio 16-A, do CCNE; salas de aula de turmas de tamanho padrão, de até 40 alunos, como a sala 263 do CT; e salas de aula de grande porte, com suporte para até 50 alunos, como a sala 13 do prédio 16-A do CCNE. Estes são os padrões que mais se repetem dentro da instituição (principalmente o segundo e o terceiro) e, portanto, os que receberam maior atenção do projeto

3.2.1 Salas para até 10 alunos

As dimensões para este padrão de sala de aula são 6,10 x 4,2 x 3,0 (largura x comprimento x altura, em metros), com uma área de 25,62m². Além disso, essa sala era iluminada por 16 lâmpadas fluorescente e hoje possui 8 luminárias LED.

Com uma média de 1064 lux nessa sala, a Figura 7 mostra a disposição das lâmpadas quando a sala era iluminada por lâmpadas fluorescentes. O consumo total deste arranjo é de 0,64 kWh. Assumindo que a sala fique com as lâmpadas acesas, em média, 10 horas por dia e que existam 22 dias úteis em cada mês, temos um consumo mensal de 140,8 kWh.

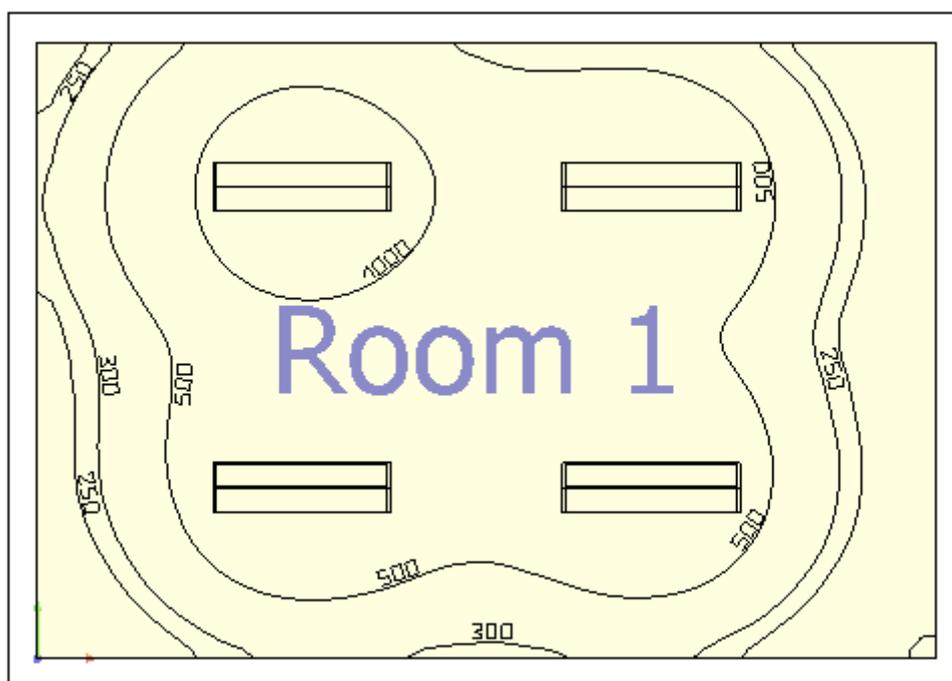
Figura 7 - Sala com disposição de lâmpadas fluorescentes.



Fonte: autor

Na disposição atual de lâmpadas LED (Figura 8), a iluminância média é 561 lux e o fator de uniformidade é 0,69. Esta sala tem um padrão de consumo de 0,144 kWh. Considerando-se um consumo de 10h diárias e 22 dias de funcionamento no mês, teremos que o consumo mensal desta sala é de 31,68 kWh. Se considerarmos uma tarifa de 90 centavos pelo kWh, o gasto mensal com energia com esta sala é de R\$ 28,51.

Figura 8 - Disposição atual das lâmpadas da sala de 25,62m².

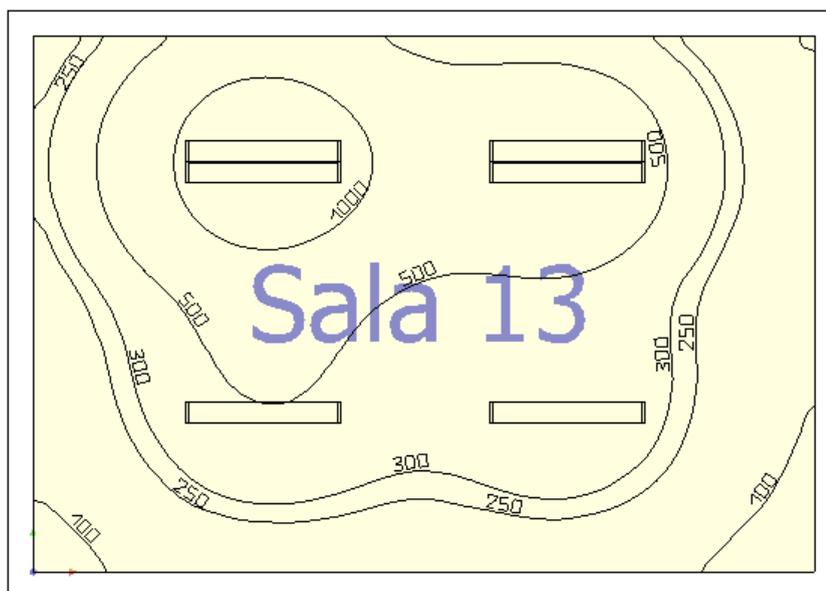


Fonte: autor

Por se tratar de uma sala de dimensões pequenas, e a disposição atual já estar muito próxima da norma, a margem para alguma disposição mais eficiente nesta sala era mínima. Todas as simulações foram feitas ignorando-se qualquer iluminação externa, isto é, as salas comportaram-se como grandes caixas sem entrada, para, assim, garantir que a norma estaria sendo atendida em qualquer cenário. Entretanto, sabemos que nesta sala são ministradas aulas durante o dia, permitindo, então, a entrada de luz natural pelas janelas. Esse fato é muito importante, uma vez que podemos melhorar a eficiência energética da sala de aula ao desligarmos duas das oito lâmpadas, o que reduziria o consumo desta sala em 25%, conforme é ilustrado na Figura 9.

Fazendo isso atinge-se uma média de 449 lux, o que fica bem próximo da norma, e ainda existe a possibilidade de obter os 561 lux atuais, entretanto, o fator de uniformidade fica bem abaixo da norma (de 0,7), em 0,55, mas ainda sendo possível atingir o 0,69 de atualmente. Considerando-se que um electricista cobre R\$ 100,00 para efetuar esta mudança nos interruptores, teremos que potencial economia mensal será de R\$ 7,13.

Figura 9 - Modelo de controle de iluminação da sala de 25,62m².



Fonte: autor

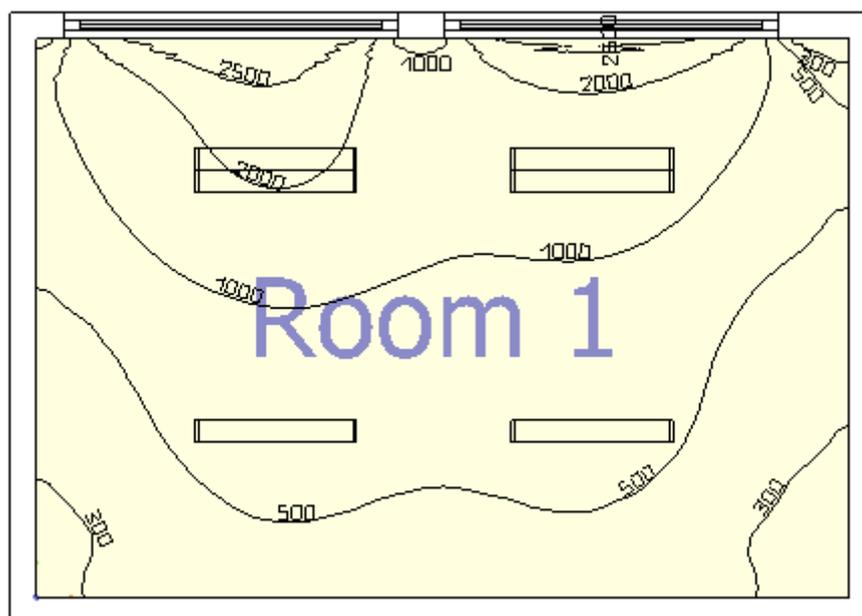
O uso da luz natural vem sendo cada vez mais discutido quando o tema é a redução do consumo energético de instalações de iluminação. Dentre as principais vantagens deste tipo de iluminação, estão: redução dos custos com energia elétrica, redução dos custos das instalações de iluminação, redução do lixo gerado pelo descarte de componentes que apresentam falha e, conseqüentemente, diminuição dos custos com a sua manutenção.

Segundo uma pesquisa feita por Osterhaus (2005) com funcionários de escritórios, 82,9% das pessoas nestes ambientes preferem trabalhar com luz solar em vez de luz artificial. Este número, entretanto, decaiu para 74,4% quando as pessoas trabalham com computadores.

Segundo Aragão Dias (2011), a luz natural ainda gera estímulos psicofisiológicos, como um maior estímulo à criatividade, além de gerar uma maior sensação de bem estar aos usuários e melhorar a sua produtividade.

Quando passamos a considerar a iluminação natural que atinge a sala através das janelas, encontramos o seguinte cenário: às 08:00 horas com o céu aberto, a iluminância média da sala será 642 lux; ao meio dia (Figura 10), sob as mesmas condições, a média será de 919 lux; às 18:00 horas a iluminância será de 803 lux. Com isso, a norma será respeitada em aulas ministradas durante o dia e haverá uma economia de energia durante este período.

Figura 10 - Controle proposto ao meio dia para as salas de 25,62m².



Fonte: autor

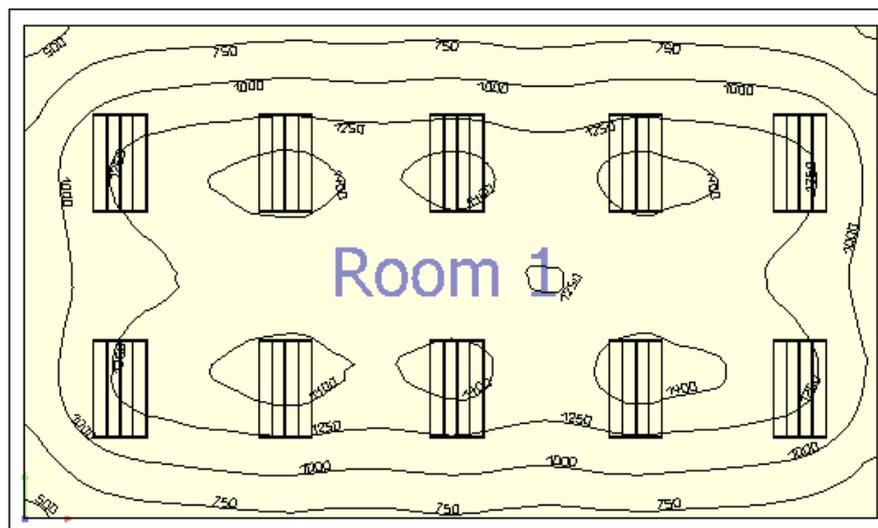
3.2.2 Sala para até 50 alunos

As dimensões desta sala são 6,1x11,5x3,0 m e a sua área é de 70.15m². É uma sala que possuía 40 lâmpadas fluorescentes e hoje conta com 20 lâmpadas LED.

Com uma média de 1091 lux nessa sala, a Figura 11 mostra a disposição das lâmpadas quando a sala era iluminada por lâmpadas fluorescentes. O consumo total deste arranjo é de 1,6

kWh. Assumindo que a sala fique com as lâmpadas acesas, em média, 10 horas por dia e que existam 22 dias úteis em cada mês, temos um consumo mensal de 352 kWh.

Figura 11 - Antiga disposição de lâmpadas Fluorescentes.



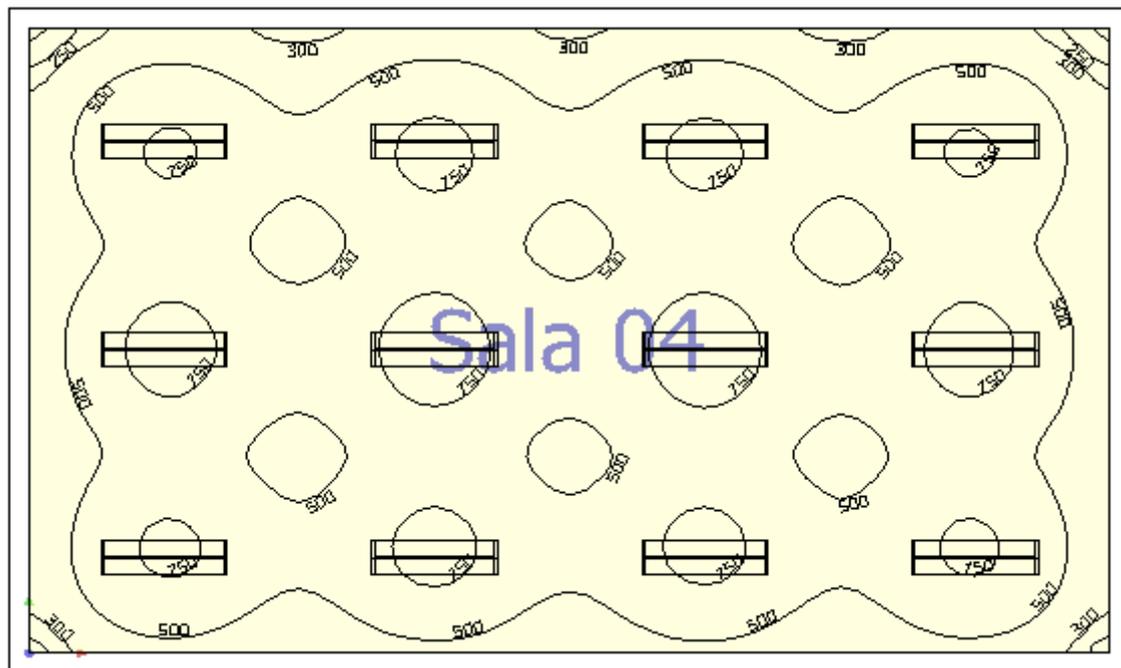
Fonte: autor

Se nos basearmos em valor médio pago no kWh pela UFSM de 90 centavos, teremos, portanto, que o consumo mensal médio desta sala é de R\$ 316,80.

Na disposição atual das lâmpadas LED a iluminância tem média de 456 lux e fator de uniformidade de 0,71. Com essa média, a sala está obviamente fora da NBR 8995, mas isso ocorre porque a simulação foi feita sem considerar a luz do dia. Ao considerarmos a luz do dia teremos que essa média vai para 1038 lux. O consumo total deste arranjo é de 0,36 kWh. Assumindo que cada sala fique com as lâmpadas acesas, em média, 10 horas por dia e que existam 22 dias úteis em cada mês, temos um consumo mensal de 79,2 kWh. Se nos basearmos em valor médio pago no kWh pela UFSM de 90 centavos, teremos, portanto, que o consumo mensal médio desta sala é de R\$ 71,28.

O arranjo proposto (Figura 12) sugere girar todas as lâmpadas em 180 graus e trouxe uma melhora significativa na iluminância média, que agora passa a obedecer a norma quando todas as lâmpadas estão ligadas, pois a média passou a ser de 575 lux e seu fator de uniformidade ficou em 0,82. Além disso, a ideia principal deste arranjo é possibilitar um controle efetivo de quais lâmpadas estarão ligadas, tentando manter uma boa uniformidade na iluminação e aproveitando a luz natural da melhor forma possível durante o dia.

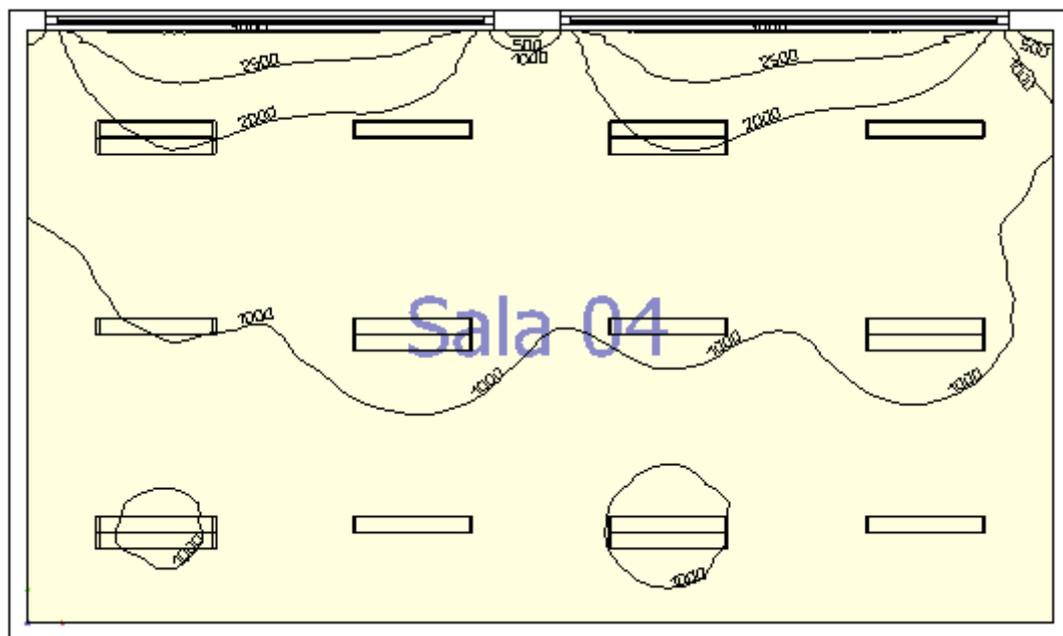
Figura 12 - Novo arranjo com todas as lâmpadas ligadas.



Fonte: autor

O arranjo proposto tem a iluminância média de 431 lux quando nenhuma luz externa é considerada. Este valor sobe para 765 lux quando considerado o sol das 08:00 horas de um dia sem nuvens; 1205 lux ao meio dia nas mesmas condições; e 1023 lux às 18:00 horas sob o mesmo clima (Figura 13).

Figura 13 - Controle proposto para o controle das luminárias com luz do sol às 18 horas.



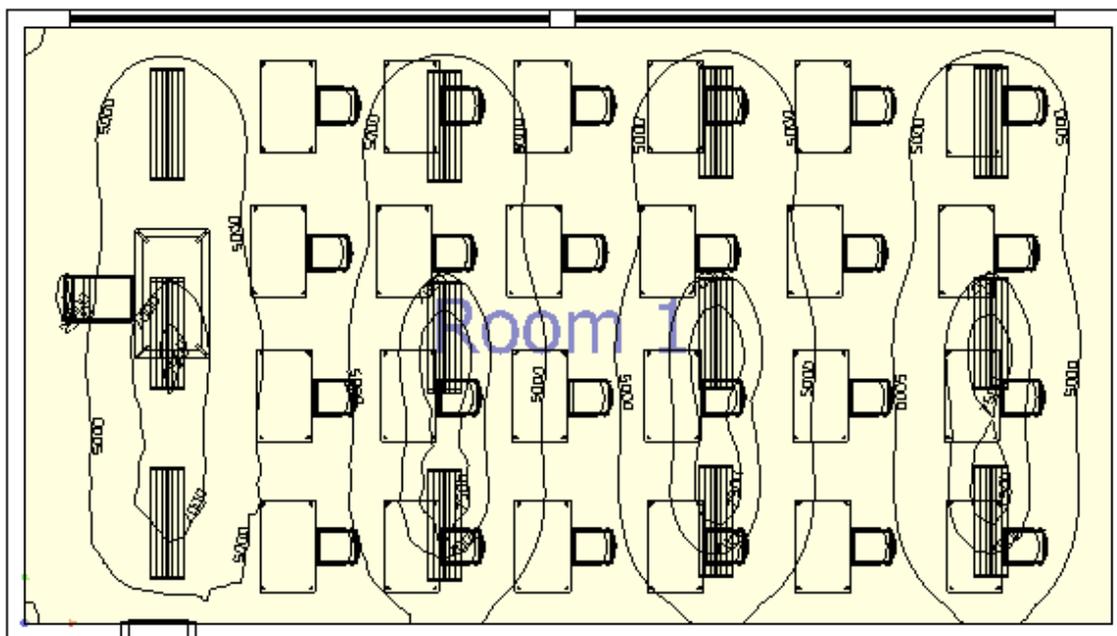
Fonte: autor

Este arranjo possui um potencial de redução de até 25% no consumo de energia elétrica de cada sala de aula, isto é, uma economia de até R\$17,82 mensais por sala deste tamanho.

3.2.3 Sala para até 40 alunos

Esta sala contava com 48 lâmpadas fluorescentes e hoje conta com 24 lâmpadas LED. Com uma média de 5336 lux nessa sala, a disposição das lâmpadas quando a sala era iluminada por lâmpadas fluorescentes, que está representada na Figura 14. O consumo total deste arranjo é de 1,92 kWh. Assumindo que cada sala fique com as lâmpadas acesas, em média, 10 horas por dia e que existam 22 dias úteis em cada mês, temos um consumo mensal de 422,4 kWh.

Figura 14 - Disposição antiga de lâmpadas fluorescentes.



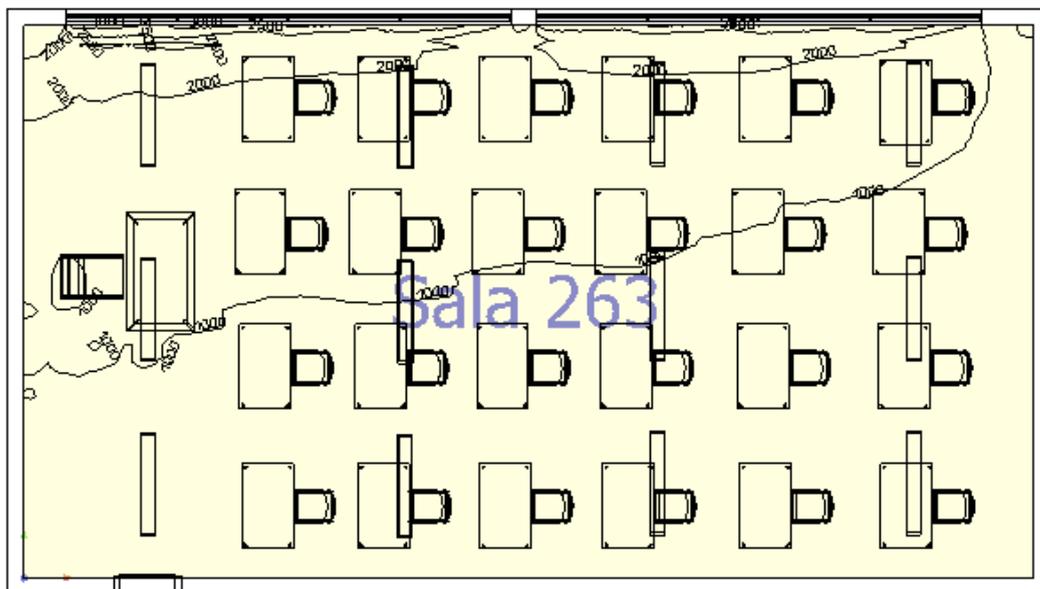
Fonte: autor

Se nos basearmos em valor médio pago no kWh pela UFSM de 90 centavos, teremos, portanto, que o consumo mensal médio desta sala é de R\$ 380,16.

As dimensões deste padrão de sala são 6,4 x 11,8 x 3,0 m com uma área de 75,52m². No arranjo atual de lâmpadas LED a iluminância média para esta sala foi de 496 lux, menos de 1% abaixo da norma, enquanto que o seu fator de uniformidade ficou em 0,73. Esta é uma sala típica do Centro de Tecnologia, onde são ministradas apenas aulas diurnas. Dessa maneira, pode-se estipular maneiras de aproveitar a luz natural que incide nas salas de aula.

As aulas no Centro de tecnologia são ministradas entre 08:30 da manhã às 17:30 da tarde. Assim, foram feitas simulações considerando-se os horários das 8 horas da manhã, 17 horas da tarde e meio dia. Ao ligar apenas metade das lâmpadas presentes no arranjo e aproveitando a luz natural das 08 horas da manhã (Figura 15), a iluminância média é de 1116 lux. Com a luz natural do meio dia a iluminância média é de 1312 lux. Por fim, às 17 horas a iluminância é de 1335 lux.

Figura 15 - Simulação com 12 lâmpadas às 8 horas da manhã.



Fonte: autor

Se nos basearmos em valor médio pago no kWh pela UFSM de 90 centavos, teremos que o consumo mensal médio desta sala é de R\$ 85,54. Ela ainda apresenta um potencial de economia de 50% na energia consumida, podendo chegar a uma economia de R\$ 42,77 mensais.

3.2.4 Tabelas com resumo dos principais resultados

Tabela 2 - Resultados energéticos para salas para até 10 alunos.

	Consumo (kWh)	Potencial de economia (kWh)	Potencial de economia (%)	Iluminância (lux)
Fluorescente	0,64	-	-	1064
LED (atual)	0,144	0,496	77,5	561
LED (proposto)	0,108	0,532	83,12	642

Fonte: autor.

Tabela 3 - Resultados energéticos para salas para até 40 alunos.

	Consumo (kWh)	Potencial de economia (kWh)	Potencial de economia (%)	Iluminância (lux)
Fluorescente	1,92	-	-	5336
LED (atual)	0,432	1,488	77,5	496
LED (proposto)	0,216	1,704	88,75	1116

Fonte: autor.

Tabela 4 - Resultados energéticos para salas para até 40 alunos.

	Consumo (kWh)	Potencial de economia (kWh)	Potencial de economia (%)	Iluminância (lux)
Fluorescente	1,6	-	-	1091
LED (atual)	0,36	1,24	77,5	456
LED (proposto)	0,216	1,704	88,75	756

Fonte: autor.

3.3 MODELAGEM FINANCEIRA

Os resultados do projeto foram mensurados em duas frentes: eficiência das soluções propostas, isto é, se a solução proposta consegue desempenhar o mesmo papel que o cenário atual e gastando menos, e viabilidade econômica das soluções.

É importante ressaltar que no início do projeto as lâmpadas utilizadas eram lâmpadas fluorescentes e, no decorrer do projeto, elas foram trocadas por lâmpadas LED. Do ponto de vista luminotécnico, as comparações apresentadas neste documento foram apenas entre os arranjos de LED pois esta é a nova realidade da instituição, não fazendo sentido expor aqui a comparação com os arranjos com lâmpadas fluorescentes.

No ponto de vista econômico, aqui serão apresentados os indicadores tendo como base a economia com relação à situação atual da UFSM (lâmpadas LED) e a situação anterior ao projeto (lâmpadas fluorescentes) e também a situação atual e as soluções propostas.

3.3.1 Sala para até 10 alunos – Comparação entre arranjos de lâmpadas LED

Como foi exposto neste documento, esta sala pode ter uma redução no consumo em até 25%. Isto é, o potencial de economia no consumo mensal é de R\$ 7,13. Considerando-se um custo de R\$ 100,00 para implementar a solução proposta, teremos os indicadores da Tabela 5.

Tabela 5 - Indicadores econômicos para as salas que suportam até 10 alunos, somente LED.

INVESTIMENTO INICIAL	
Lâmpadas	R\$0,00
Calhas	R\$0,00
Mão de obra	R\$100,00
Total	R\$100,00

RECEITA	
Economia mensal estimada	R\$7,13

VALOR PRESENTE	
VP	R\$118,83

VALOR PRESENTE LÍQUIDO	
VPL	R\$18,83

PAYBACK	
Tempo de Payback	15 Meses

TAXA INTERNA DE RETORNO	
TIR	7%

TAXA DE ATRATIVIDADE	
	6%

PERÍODOS ANALISADOS	
	180

Fonte: autor

Assim, dentro de 15 meses o investimento já terá sido recuperado. Ainda podemos calcular o ROI, que será dado pela equação (8).

$$ROI = \frac{[Dif_{Consumo} \times 12 \times 15] - Investimento}{Investimento} = 11,83$$

Onde:

$Dif_{Consumo}$ é a diferença mensal nos custos com energia em cada caso.

Investimento é o custo de implementação da ideia.

Além dos ganhos financeiros, ao utilizar a luz natural haverá um natural aumento na produtividade dos alunos, além de gerar uma melhora significativa no contraste das cores, melhorando a visão dos usuários da sala. Futuramente, novos investimentos podem ser feitos para se obter mesas antirreflexo.

3.3.2 Sala para até 10 alunos – Comparação entre arranjos de lâmpadas LED e fluorescente

Antes dos projetos, as salas utilizavam o mesmo número de suportes (ou calhas) para as lâmpadas, mas com 4 lâmpadas fluorescentes ao invés de 2 lâmpadas LED. Assim, na sala em questão, onde atualmente estão instaladas 8 lâmpadas LED, antes existiam 16 lâmpadas fluorescentes.

Assim, considerando-se que as salas funcionem por 10h com as lâmpadas ligadas em 22 dias no mês, o consumo mensal para o arranjo com lâmpadas fluorescentes será de 140,8 kWh. Trazendo esse valor para um valor monetário, teremos que o consumo mensal gerará um custo mensal de R\$ 126,72 para um preço de R\$ 0,90 pelo kWh.

Por outro lado, o arranjo de lâmpadas LED atualmente consome 31,68 kWh mensais. Considerando-se o preço de R\$ 0,90 pelo kWh, o consumo mensal de cada sala deste tipo será R\$ 28,51.

A vida útil de uma lâmpada LED é, em média, 40 mil horas para uma lâmpada de boa qualidade. A vida útil de uma lâmpada fluorescente, por sua vez, é, em média, 8 mil horas. Isso significa que uma lâmpada LED precisará ser trocada uma vez a cada 15 anos (que é o horizonte de eventos utilizado nos cálculos dos indicadores financeiros), caso o padrão de uso admitido seja respeitado. A lâmpada fluorescente, por sua vez, precisará ser trocada a cada 3 anos.

O menor preço encontrado para uma lâmpada LED de 18 W de 1,2 m de comprimento foi de R\$ 14,60. Uma calha para duas lâmpadas LED, por sua vez, custa, em média, R\$ 50,40. Assim, o preço de implementação da troca das lâmpadas fluorescentes pelas LED será de R\$ 116,80 com lâmpadas, R\$ 201,60 com suportes e R\$ 140,00 com mão de obra. A economia mensal da solução será de R\$ 98,21. Assim, os indicadores financeiros serão os que estão mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Indicadores econômicos para as salas que suportam até 10 alunos, LED e fluorescente.

INVESTIMENTO INICIAL	
Lâmpadas	R\$106,80
Calhas	R\$251,60
Mão de obra	R\$100,00
Total	R\$458,40

RECEITA	
Economia mensal estimada	R\$98,21

VALOR PRESENTE	
VP	R\$1.636,79

VALOR PRESENTE LÍQUIDO	
VPL	R\$1.178,39

PAYBACK	
Tempo de Payback	5 Meses

TAXA INTERNA DE RETORNO	
TIR	21%

TAXA DE ATRATIVIDADE	6%
-----------------------------	----

PERÍODOS ANALISADOS	180
----------------------------	-----

Fonte: autor

Trazendo os dados da vida útil das lâmpadas em valores monetários atuais, isso significa que para o arranjo de lâmpadas LED serão gastos R\$ 116,80 em manutenção a cada 15 anos, enquanto que para o arranjo de lâmpadas fluorescentes serão gastos aproximadamente R\$ 600,00 no mesmo período, assumindo-se o preço de 7,50 para uma lâmpada (menor preço encontrado nas Lojas Americanas).

$$ROI = \frac{[(M_{fluorescente} - M_{LED}) + Dif_{Consumo} \times 12 \times 15] - Investimento}{Investimento} = 38,62$$

3.3.3 Sala para até 50 alunos – Comparação entre arranjos de lâmpadas LED

Para este caso, o potencial ganho financeiro mensal da sala é de R\$ 21,38. Considerando-se que, para que a implementação ocorra, seja necessária a aquisição de duas novas calhas e quatro novas lâmpadas, teremos um custo com material de R\$ 159,20. Ainda teremos o gasto com a mão de obra, estimada em R\$ 100,00 por sala. Assim, são obtidos os indicadores financeiros da Tabela 7.

Tabela 7 - Indicadores econômicos para as salas que suportam até 50 alunos, somente LED.

INVESTIMENTO INICIAL	
Lâmpadas	R\$62,00
Calhas	R\$96,20
Mão de obra	R\$100,00
Total	R\$258,20

RECEITA	
Economia mensal estimada	R\$21,18

VALOR PRESENTE	
VP	R\$356,32

VALOR PRESENTE LÍQUIDO	
VPL	R\$98,12

PAYBACK	
Tempo de Payback	13 Meses
TAXA INTERNA DE RETORNO	
TIR	8%
TAXA DE ATRATIVIDADE	
	6%

Fonte: autor

Assim, o investimento será recuperado em aproximadamente 13 meses. Diante destes dados, podemos estimar que o retorno sobre este investimento será de:

$$ROI = \frac{[Dif_{Consumo} \times 12 \times 15] - Investimento}{Investimento} = 13,90$$

3.3.4 Sala para até 50 alunos – Comparação entre arranjos de lâmpadas LED e fluorescente

Esta sala antes possuía 40 lâmpadas fluorescentes. Considerando-se que as salas fiquem com as lâmpadas ligadas 10 horas por dia em 22 dias do mês, o consumo mensal desta sala era de 352 kWh. Para um preço de R\$ 0,90 pelo kWh, o gasto mensal com a iluminação desta sala era de R\$ 316,80.

O consumo com o arranjo atual de lâmpadas LED, por sua vez, consome 79,2 kWh mensais, o que corresponde em um gasto mensal de R\$ 71,28 com a iluminação desta sala. Assim, a economia mensal é de R\$ 245,52.

O custo da implementação da troca das lâmpadas fluorescentes por LED é de, aproximadamente, R\$ 292,00 com lâmpadas, R\$ 554,00 com calhas e R\$ 150,00 com mão de obra por sala. Desta maneira, os indicadores financeiros serão os mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Indicadores econômicos para as salas que suportam até 50 alunos, LED e fluorescente.

INVESTIMENTO INICIAL	
Lâmpadas	R\$292,00
Calhas	R\$554,00
Mão de obra	R\$100,00
Total	R\$946,00

RECEITA	
Economia mensal estimada	R\$245,52

VALOR PRESENTE	
VP	R\$4.091,89

VALOR PRESENTE LÍQUIDO	
VPL	R\$3.145,89

PAYBACK	
Tempo de Payback	4 Meses

TAXA INTERNA DE RETORNO	
TIR	26%

TAXA DE ATRATIVIDADE	6%
----------------------	----

PERÍODOS ANALISADOS	180
---------------------	-----

Fonte: autor

O custo de manutenção com as lâmpadas fluorescentes em um horizonte de eventos de 15 anos será de R\$ 1500,00. O custo de manutenção das lâmpadas LED no mesmo período será de R\$ 292,00. Assim, o retorno sobre o investimento será:

$$ROI = \frac{[(M_{fluorescente} - M_{LED}) + Dif_{Consumo} \times 12 \times 15] - Investimento}{Investimento} = 27,96$$

3.3.5 Sala para até 40 alunos – Comparação entre arranjos de lâmpadas LED

Para as salas de 75,52 m², o potencial de economia mensal é de R\$ 42,77. Para que esta implementação possa ocorrer, será necessário que os interruptores das lâmpadas sejam reinstalados. Considerando que seja necessário um gasto com mão de obra de, em média, R\$ 150,00 para cada sala, teremos os indicadores da Tabela 6.

Tabela 9 - Indicadores econômicos para as salas que suportam até 40 alunos, somente LED.

INVESTIMENTO INICIAL	
Lâmpadas	R\$0,00
Calhas	R\$0,00
Mão de obra	R\$150,00
Total	R\$150,00

RECEITA	
Economia mensal estimada	R\$42,77

VALOR PRESENTE	
VP	R\$712,81

VALOR PRESENTE LÍQUIDO	
VPL	R\$562,81

PAYBACK	
Tempo de Payback	4 Meses

TAXA INTERNA DE RETORNO	
TIR	29%

TAXA DE ATRATIVIDADE	
	6%

PERÍODOS ANALISADOS	
	180

Fonte: autor

O retorno sobre o investimento desta solução será:

$$ROI = \frac{[Dif_{Consumo} \times 12 \times 15] - Investimento}{Investimento} = 13,90$$

3.3.6 Sala para até 40 alunos – Comparação entre arranjos de lâmpadas LED e fluorescente

O antigo arranjo de lâmpadas fluorescentes desta sala tinha 48 lâmpadas, o que gerava um consumo mensal de 422,4 kWh mensal, o que corresponde a uma fatura mensal de R\$ 380,16.

O arranjo atual de lâmpadas LED, com 24 lâmpadas em 12 calhas, consome 95,03 kWh mensalmente, o que corresponde a uma fatura mensal de R\$ 85,53. Assim, a economia mensal deste arranjo é de R\$ 294,62. Os custos de implementação foram estimados em R\$ 350,40 com lâmpadas, R\$ 604,80 com suportes e R\$ 150,00 com mão de obra. Assim, os indicadores financeiros foram:

Tabela 10 - Indicadores econômicos para as salas que suportam até 40 alunos, LED e fluorescente.

INVESTIMENTO INICIAL	
Lâmpadas	R\$244,62
Calhas	R\$704,80
Mão de obra	R\$100,00
Total	R\$1.049,42

RECEITA	
Economia mensal estimada	R\$294,62

VALOR PRESENTE	
VP	R\$4.910,20

VALOR PRESENTE LÍQUIDO	
VPL	R\$3.860,78

PAYBACK	
Tempo de Payback	4 Meses

TAXA INTERNA DE RETORNO	
TIR	28%

TAXA DE ATRATIVIDADE	
	6%

PERÍODOS ANALISADOS	
	180

Fonte: autor

Os custos com manutenção para o arranjo de lâmpadas fluorescentes para um horizonte de eventos de 15 anos são de R\$ 1800,00. Os custos de manutenção com lâmpadas LED no mesmo período são de R\$ 350,40. Assim, o retorno sobre o investimento será de:

$$ROI = \frac{[(M_{fluorescente} - M_{LED}) + Dif_{Consumo} \times 12 \times 15] - Investimento}{Investimento} = 50,91$$

3.3.7 Conclusões da modelagem financeira

Conforme foi possível perceber, há uma grande diminuição no consumo quando são trocadas as lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED. Com base nos cálculos obtidos, essa economia pode chegar em até R\$ 294,62 em algumas salas. Fazendo uma projeção para as salas de todos os prédios analisados em sua totalidade, chega-se em um ganho mensal aproximado de R\$ 12.800,00.

Ao serem consideradas as soluções de eficientização nas salas onde já existe a iluminação a partir da tecnologia de LED, é obtido um ganho mensal aproximado que pode chegar em até R\$ 1.397,00. Se esse resultado for expandido para todos os 37 prédios onde são lecionadas aulas na UFSM (mapa do campus sede da UFSM, 2019), teremos uma economia anual de até R\$ 155.000,00.

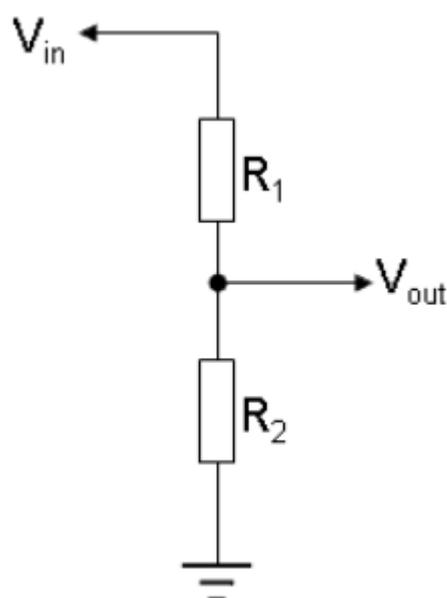
Além disso, existem todos os indicadores financeiros discutidos nos itens anteriores e que corroboram que o investimento é justificado matematicamente. Exemplo disso é o valor presente líquido das soluções, que mostrou um valor interessante.

4 PROTÓTIPO DE SISTEMA DE CONTROLE LUMINOTÉCNICO

As soluções propostas neste trabalho dependem da ação humana para funcionar em sua plenitude. Sabendo que durante uma aula as pessoas provavelmente não irão dedicar atenção à iluminação da sala de aula, se faz necessário um sistema que automatize as lâmpadas de modo a se obter a máxima eficiência energética possível.

O protótipo aqui desenvolvido é baseado em um divisor de tensão, conforme a Figura 16. Esse divisor de tensão é aplicado a um Arduino Uno, onde o sinal analógico é processado e convertido em sinal digital que, então, é aplicado a CI's que farão o disparo das saídas. Por conta da pandemia, o controle se limitou apenas à sua simulação.

Figura 16 - Modelo de divisor de tensão.



Fonte: EMBARCADOS.

Uma das resistências do divisor será o próprio LDR e a outra é arbitrária, mas ainda assim conhecida, para sabermos os valores de tensão correspondente para cada caso.

No presente projeto, V_{in} já é uma tensão conhecida, que é a tensão da placa do Arduino, de 5V. R_1 é o resistor arbitrário e R_2 é o fotorresistor. Assim, V_{out} está em função apenas de R_2 .

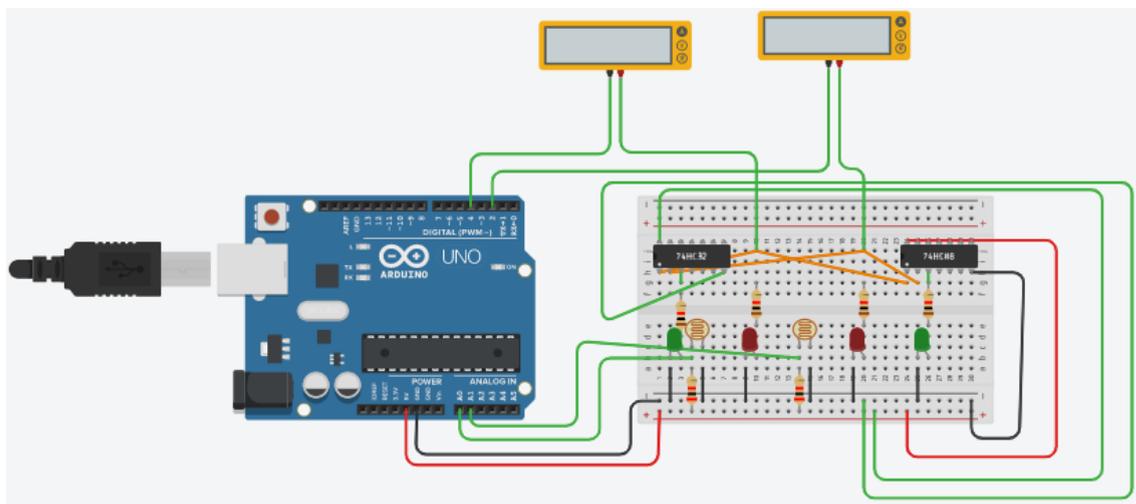
A ideia do projeto é fazer dois sistemas gêmeos que irão retornar um valor de tensão. Essa tensão será aplicada aos terminais de uma porta “AND” que irá informar ao sistema global se devem ou não serem ligadas mais lâmpadas.

Opcionalmente pode ser adicionada uma porta OR que ligará uma parte das lâmpadas se um dos pontos estiver com luminosidade abaixo da norma, independentemente da medida do outro circuito. Isso pode ser muito útil para ligar lâmpadas no lado oposto às janelas, pois é onde

a luz do sol tem maior dificuldade em entrar e, portanto, é onde há uma maior necessidade de iluminação artificial.

Na prática, teremos dois sistemas operando em dois pontos diferentes da sala de aula. Quando a iluminação em um ponto for menor que a estipulada no script gravado no Arduino, um sinal será gerado e irá para uma porta “AND” e para uma porta “OR” do sistema global. Quando ambos os pontos da sala de aula estiverem com a iluminação abaixo do especificado, as duas entradas da porta digital estarão recebendo corrente e, portanto, o sinal começará a passar pela porta “AND” e irá acionar o sistema para ligar todas as lâmpadas. Quando um dos pontos estiver com iluminação abaixo da norma, a porta “OR” irá ligar e as lâmpadas mais afastadas das janelas serão ligadas. O circuito em questão está representado na Figura 15.

Figura 17 - Circuito de controle projetado.



Fonte: autor

4.1 EXPLICAÇÃO DO CÓDIGO

Código escrito no Arduino

```
#define Entrada1 4
#define Entrada2 2
#define LDR0 A0
#define LDR1 A1

#define ESCURO 670
#define CLARO 250

void setup()
{
  pinMode(Entrada1, OUTPUT);
  pinMode(Entrada2, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}
void loop()
{

  int valor2 = analogRead(LDR1);
  Serial.println(valor1);
  delay(200);
```

Os pinos são definidos com o comando `#define`. Nos pinos A0 e A1 temos as entradas analógicas provenientes do divisor de tensão utilizando o resistor padrão e o LDR. Nos pinos 4 e 2 estão as entradas digitais que são controladas pelo decorrer do código. Essas entradas digitais são resultado da variação da tensão causada pelo LDR e funcionam como entrada para as portas AND e OR. Também são definidos como fixos os valores digitais de tensão para a variação de tensão com relação à variação de LDR. Quando a resposta for maior que 670, o sistema irá considerar que o ambiente está abaixo da norma e irá permitir a energização de mais lâmpadas. Quando a resposta for menor que 250, o ambiente irá considerar que o ambiente está obedecendo a norma e, portanto, irá desligar lâmpadas desnecessárias. O intervalo entre 250 e 670 é uma margem de segurança, onde o estado atual do circuito irá prevalecer. É importante salientar que os valores aqui estabelecidos para saídas digitais consideradas como claro ou escuro são para fins experimentais.

Continuação do código

```

void loop()
{
  int valor1 = analogRead(LDR0);
                                int valor2 =
analogRead(LDR1);
    Serial.println(valor1);
    delay(200);
    Serial.println(valor2);
    delay(200);
    if(valor1 > ESCURO){
      digitalWrite(Entrada1,HIGH);
    }
    if(valor1 < CLARO){
      digitalWrite(Entrada1,LOW);
    }
    if(valor2 > ESCURO){
      digitalWrite(Entrada2,HIGH);
    }
    else if(valor2 < CLARO){
      digitalWrite(Entrada2,LOW);
    }
}

```

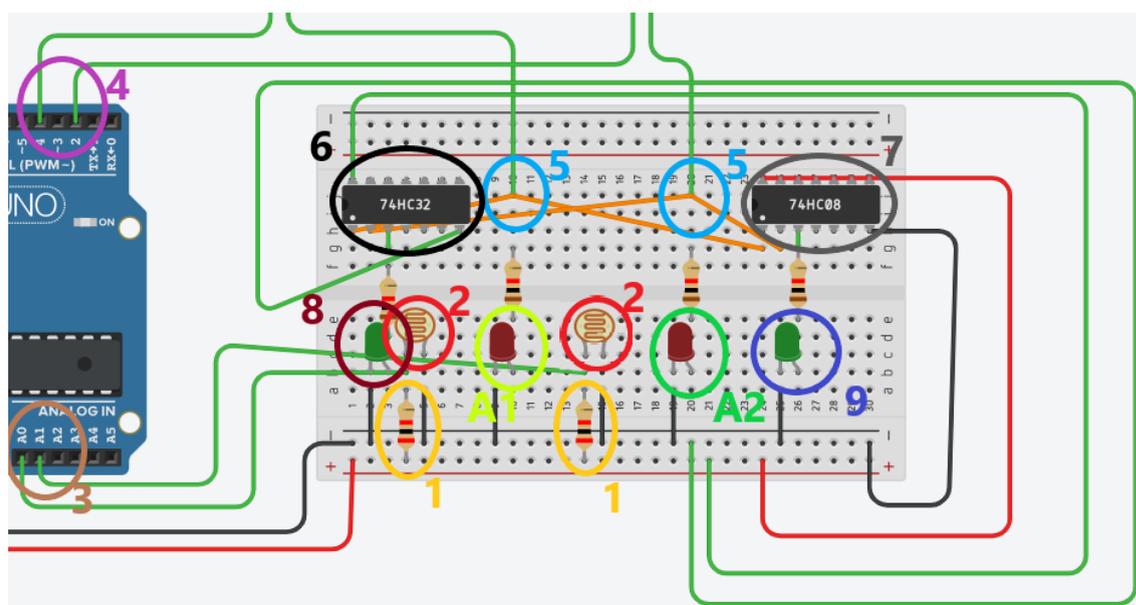
Na prática devem ser feitos testes com o circuito físico, um sistema de iluminação de testes e um luxímetro para saber exatamente como calibrar o código.

No loop principal do circuito temos as variáveis valor 1 e valor2 recebendo a leitura analógica dos valores de tensão que variam junto com os LDRs e também temos essas mesmas variáveis sendo exibidas em tempo real com delay de 200 ms, possibilitando que o resultado possa ser acompanhado numericamente.

Por fim, temos os laços condicionais, que basicamente pegam cada uma dessas variáveis criadas no loop principal e a comparam com os valores definidos no início do código para o que deve ser considerado como claro e o que deve ser considerado como escuro. Se o valor lido for maior que o valor fixado para um ambiente escuro, a entrada digital assumirá o valor 1. Caso esse valor seja menor que o estabelecido para um ambiente claro, a entrada digital assumirá o valor 0. Esses valores 1 e 0 são valores booleanos de entradas digitais. Na prática, quando ela estiver com o valor de 1 ela conduzirá uma corrente que chegará nas entradas das portas lógicas adotadas no projeto.

Na Figura 19, os resistores indicados com “1” são responsáveis por fazer o divisor de tensão com os LDR, representados por “2”. O resultado desse divisor de tensão é então enviado para as portas analógicas A0 e A1, representadas por “3” e ali são processadas pelo código já explicado. Após essas entradas analógicas serem processadas, elas saem pelas portas digitais 2 e 4, representadas por “4”. Essas entradas digitais voltam para a protoboard nos pontos indicados por “5” e, então, são enviadas para as portas OR e AND, representadas por “6” e “7”, respectivamente. Adicionalmente, o mesmo sinal que é enviado para “6” e “7” também é enviado para “A1” e “A2”, que são LEDs que funcionam como saídas auxiliares para sabermos o estado de cada ponto de iluminação. Por fim, as entradas das portas lógicas são processadas e o resultado da porta OR está representado em “8” e o resultado a porta AND está representado em “9”. Chamaremos “8” e “9” de saídas globais do sistema de controle.

Figura 19 - Apoio para a explicação da função de cada elemento.

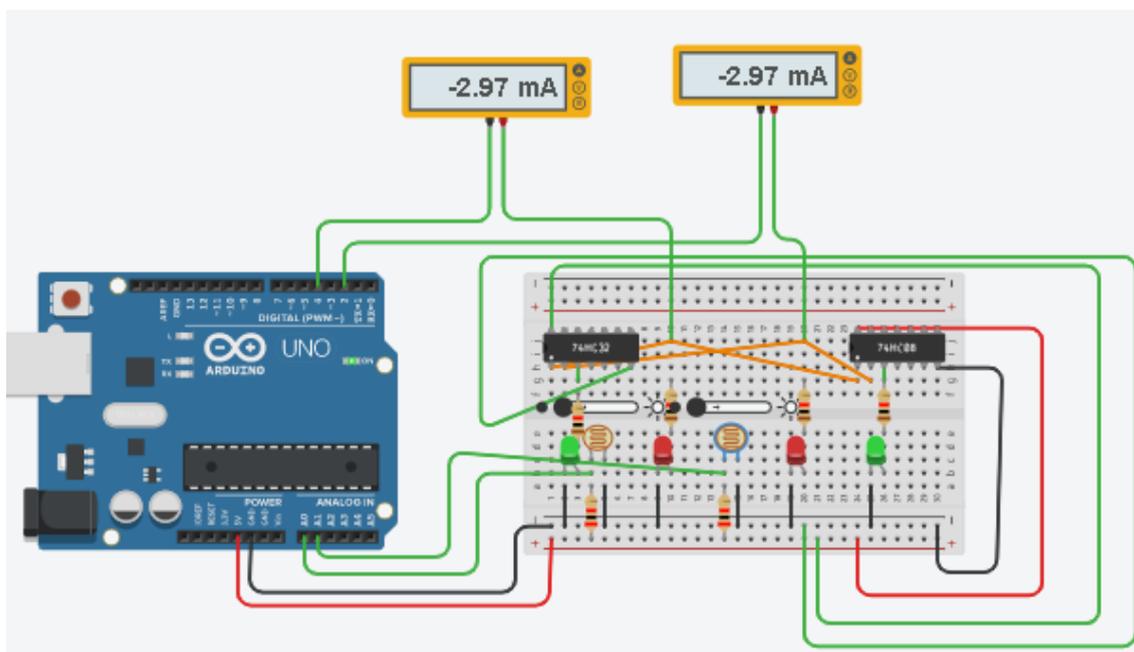


Fonte: autor

4.3 EXPLICAÇÃO DO SISTEMA

Com auxílio do simulador TinkerCad, pode-se ver o funcionamento do sistema em tempo real. Ao iniciarmos a simulação, poderemos mudar a iluminação incidente em cada LDR a partir de uma barra, conforme é possível ver na Figura 20:

Figura 20 - Circuito de controle funcionando.



Fonte: autor

Nessa barra, quando mais para esquerda, mais escuro o ambiente em que o LDR está. Quanto mais para a esquerda, mais claro o ambiente. Na Figura 20, os resistores estão no ambiente mais escuro possível, que será o ponto de partida para a nossa análise. Sob esta circunstância, temos os valores da Figura 21 para as saídas lidas nas portas A0 e A1.

Figura 21 - Saídas para o ambiente mais escuro possível.

```

Monitor serial
1012
1012
1012
1012
1012
1012
1012
1012
1012
1012

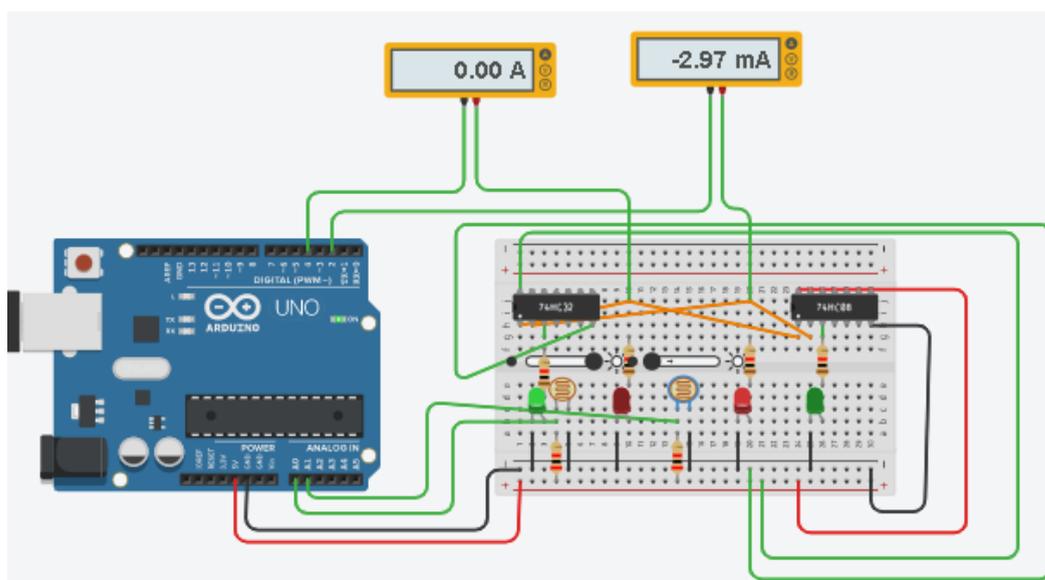
```

Fonte: autor

Estes são os maiores valores possíveis para estas saídas (e, portanto, maiores que o valor estabelecido para um ambiente escuro no script). Como consequência, as duas saídas digitais estão com valor booleano 1 e, portanto, as saídas das duas portas lógicas estão ativas.

Assim, tanto os LEDs auxiliares quanto os LEDs de saídas globais do sistema estão acesos, o que na prática indica que a sala necessita de toda a iluminação artificial disponível. Se colocarmos a iluminação ambiente máxima em um dos casos, o resultado obtido será o da Figura 22.

Figura 22 - Circuito com um ponto claro e outro escuro.



Fonte: autor

As saídas lidas nas portas A0 e A1 agora são mostradas na Figura 23.

Figura 23 - Saídas para o circuito com um ponto claro e outro escuro.

```

Monitor serial
207
1012
207
1012
207
1012
207
1012
207
1012

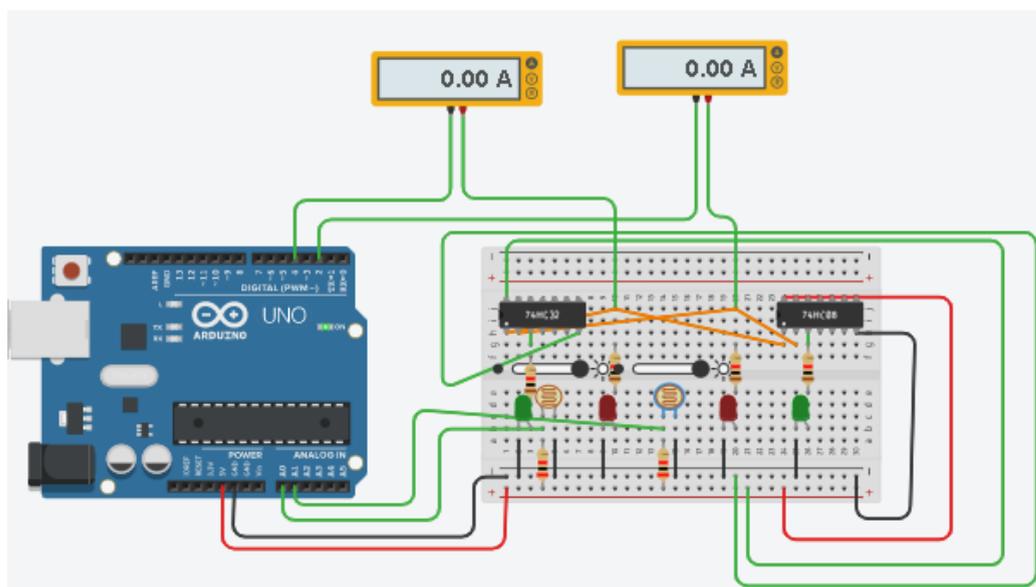
```

Fonte: autor

Como é possível perceber, agora um dos valores está abaixo daquele estabelecido para um ambiente claro. Como consequência, uma das saídas digitais será 0, o que fará a sua saída auxiliar ser desligada e a saída da porta AND também será desligada. A porta OR, por outro lado, continua ligada, bem como a saída auxiliar do resistor que continua em um ambiente

escuro. Se colocarmos ambos os resistores em um ambiente com o máximo de luminosidade, conforme a Figura 24, teremos os resultados da Figura 25.

Figura 24 - Circuito com os dois pontos claros.



Fonte: autor

Figura 25 - Saídas para o circuito com os dois pontos claros.

```

Monitor serial
207
207
207
207
207
207
207
207
207

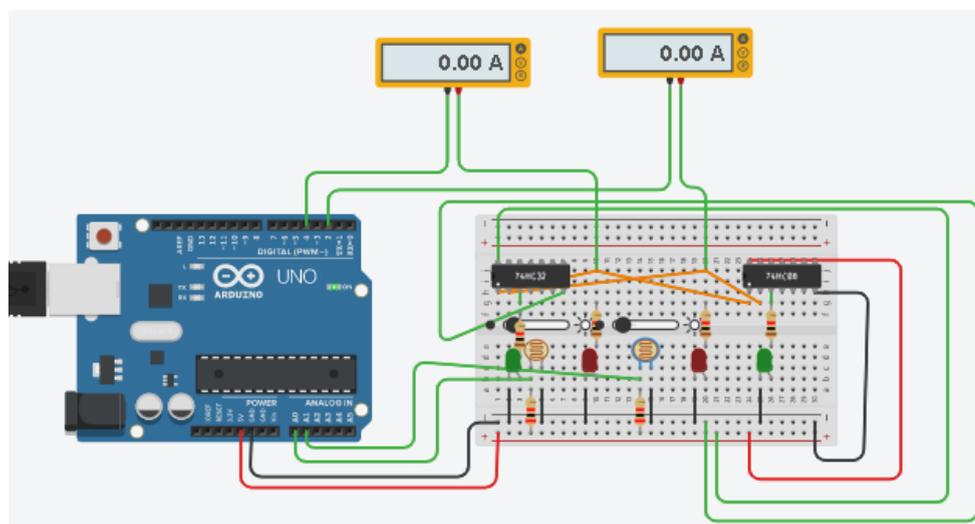
```

Fonte: autor

Como é possível perceber, ambas estão abaixo do valor definido como um local claro. Assim, todas as LEDs são desligadas, pois não há necessidade de utilizar mais iluminação artificial no ambiente.

Podemos agora testar a margem de segurança do sistema, isto é, se ele não irá ficar ligando e desligando lâmpadas a todo momento. Vamos continuar com o sistema com todos os LEDs desligados, mas desta vez com uma iluminação muito próxima daquela estipulada como escuro no código gravado no Arduino:

Figura 26 - Circuito operando no seu limiar inferior.



Fonte: autor

Para este caso, o valor lido para as duas portas analógicas é de 655, que está abaixo de 670, conforme é possível perceber na imagem abaixo:

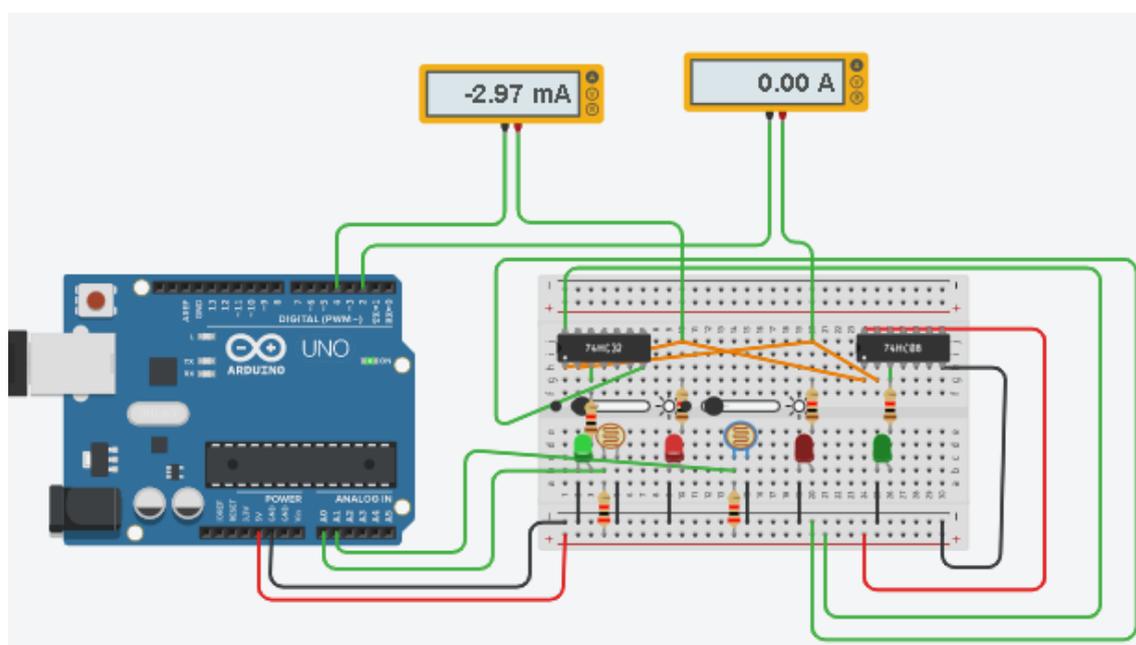
Figura 27 - Saídas para o circuito operando no seu limiar inferior.

```
Monitor serial
655
655
655
655
655
655
655
655
```

Fonte: autor

Como esperado, todos os LEDs continuam apagados. Vamos agora diminuir a iluminação em um dos resistores, colocando-o em uma situação ligeiramente abaixo do limiar:

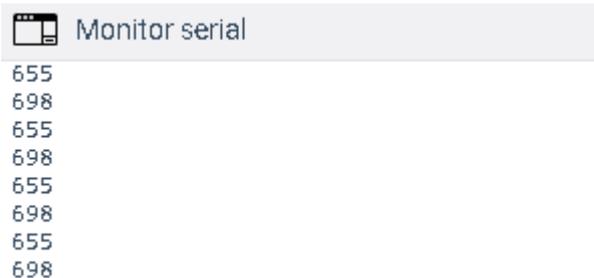
Figura 28 - Circuito ligeiramente abaixo do seu limiar inferior.



Fonte: autor

As leituras das portas A0 e A1 são:

Figura 29 - Saídas para o circuito ligeiramente abaixo do seu limiar inferior.



```
Monitor serial
655
698
655
698
655
698
655
698
```

Fonte: autor

Como o valor de uma das variáveis é ligeiramente acima do valor estabelecido para um ambiente escuro, o sistema ligou o LED da saída auxiliar do LRD que está no ambiente escuro e também ligou a saída da porta OR.

Ou seja, mesmo sob condições de iluminação abaixo daquela estabelecida no script, o sistema manteve o estado anterior, mudando de estado apenas quando a condição de troca de estado foi atendida. Assim, concluímos que o sistema é confiável para aplicações em salas de aula, uma vez que a sua resposta não muda com pequenas oscilações em torno dos limiares de troca de estado.

5 CONCLUSÃO

Com base no estudo elaborado, fica claro que o uso de lâmpadas LED se faz muito mais eficiente quando em comparação com lâmpadas fluorescentes. Isso fica claro principalmente quando os indicadores financeiros são avaliados e mostram excelente performance, principalmente no retorno sobre o investimento e no valor presente líquido.

Conforme analisado no decorrer do trabalho, há uma grande diminuição no consumo quando são trocadas as lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED. Essa economia pode ser de até R\$ 294,62 em algumas salas. Fazendo uma projeção para as salas de todos os prédios analisados em sua totalidade, teremos um ganho mensal aproximado de R\$ 12.800,00.

Ainda, o uso de luz natural na iluminação das salas de aula se mostra uma medida promissora não apenas para as salas da universidade, mas é algo que vem se destacando em todo o mundo. Devido ao fato de o ser humano ter se adaptado ao longo de toda a sua existência à luz natural, o nosso organismo consegue tirar grande proveito desta fonte luminosa, como, por exemplo, o aumento da produtividade.

Além destes benefícios qualitativos do uso da luz natural, temos também benefícios quantitativos. Ao serem consideradas as soluções de efficientização onde a abordagem da luz natural é feita, é obtido um ganho mensal aproximado que pode chegar em até R\$ 1.397,00. Se o estudo for expandido de maneira simples para todos os 37 prédios onde são lecionadas aulas na UFSM (mapa do campus sede da UFSM, 2019), é obtida uma economia anual de até R\$ 155.000,00.

Existem alguns pontos que não puderam ser analisados neste estudo, como as questões do reflexo da luz solar nos ambientes. Por este se tratar de um tema com muito viés arquitetônico, seria interessante um estudo futuro unindo a área de engenharia elétrica e a área da arquitetura com foco no projeto de interiores. Desta forma, soluções extremamente interessantes podem surgir para implementações futuras.

O sistema de automatização da iluminação também se mostra bastante promissor. Se bem executado, pode auxiliar as salas a obter o máximo benefício da luz natural e diminuir ao máximo o consumo, podendo chegar em casos de redução de até 50% no consumo em alguns momentos do dia, como mostrado na sala de 75,52m². Infelizmente, devido à pandemia, o controle não pôde ser implementado na prática, ficando apenas o projeto neste trabalho.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8995: Iluminação em ambientes de trabalho.**

BARROS, Benjamin Ferreira; BORELLI, Reinaldo; GEDRA, Ricardo Luis. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: Técnicas de Aproveitamento, Gestão de Recursos e Fundamentos.** 1. ed. São Paulo: Érica, 2015.

BRUNSTEIN, I. **Economia de Empresas.** Editora Atlas, 2008.

CASTRO, Degmar Felgueiras. **Eficiência energética aplicada a instalações elétricas residenciais.** Projeto de graduação. Rio de Janeiro, 2015.

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

COTRIM, A.A.M.B. **Instalações Elétricas.** Makron Books, 3ª. Edição, 1993.

CREDER, Helio. **Instalações Elétricas.** Editora LTC, 16ª. Edição, 2016.

DIAS, Amanda Fontes Aragão. **Análise do Uso da Luz Natural em Salas de Aula: Estudo de Caso em Aracaju-SE.** Dissertação de mestrado. Maceió, 2011.

EMBARCADOS. **Domine o divisor de tensão.** Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/domine-o-divisor-de-tensao/>>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2021.

EPE, **Balanco Energético Nacional 2020,** disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2021.

GITMAN, L. **Princípios de Administração Financeira.** Editora Pearson, 2000.

GONÇALVES, Wendell S. L. **Modelagem Financeira para Cálculo do Valor Econômico de uma Empresa de Serviços Logísticos.** Trabalho de formatura. São paulo, 2010.

HELERBROCK, Rafael. **"Luz"; Brasil Escola.** Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/luz.htm>>. Acesso em 18 de fevereiro de 2021.

LAPO, Guilherme. **Conceitos Básicos de Finanças para Análise de Investimentos Imobiliários.** RExperts. Disponível em: <<https://rexperts.com.br/conceitos-basicos-de-financas/#:~:text=Conceitos%20Básicos%20de%20Finanças%20para%20Análise%20de%20Investimentos%20Imobiliários&text=Neste%20artigo%20iremos%20explicar%20o,%2C%20MOI%2C%20VPL%20e%20TIR.>> Acesso em: 17 de nov. de 2020.

Lojas americanas. Disponível em: <<https://www.americanas.com.br/>>

Macêdo, Josué & Pedroso, Luciano & Costa, Giovanni. (2018). **Aprimorando e validando um fotogate de baixo custo.** Revista Brasileira de Ensino de Física.

MAGALHÃES, Luiz Carlos. **Orientações Gerais Para Conservação de Energia Elétrica em Prédios Públicos.** PROCEL, 1ª. Edição, 2001.

NASCIMENTO, Fernanda de Vargas. **Gestão da Eficiência da Iluminação Artificial Integrada à Iluminação Natural em Ambientes Internos: Estudo do Retrofit Luminotécnico.** Monografia. São Paulo, 2019.

OSTERHAUS, Werner K. E. **Discomfort Glare Assessment and Prevention for Daylight Applications in Office Environments,** 2005.

OTO, Roberto Bormann. **Iluminação Natural em Salas de Aula e Escritórios com Uso de Prateleiras de Luz. Dissertação de mestrado.** Curitiba, 2003.

PROCEL, Eletrobras - **Relatório de Resultados de 2012**– Disponível em <<http://www.eletrobras.com.br>>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2021.

SANTOS, Talía Simões dos, BATISTA, Marília Carone, POZZA, Simone Andréa, ROSSI, Luciana Savoi. **Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais.** Eng. Sanit. Ambient. Journal, 2015

SILVA, J. P. **Análise Financeira de Empresas.** Editora Atlas, 2007.

UFSM. **Mapa do Campus Sede**. 2019.

VIANA, Dandara. **Entenda o que é luminotécnica; Guia da Engenharia**. Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/luminotecnica/>>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2021.

WIDMER, Neil S., MOSS, Gregory L., TOCCI, Ronald J. **Digital Systems: principles and applications**. Editora Pearson, 12th edition.

WIKIPEDIA. **Fluxo luminoso**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Fluxo_luminoso>. Acesso em 18 de fevereiro de 2021.

WIKIPEDIA. **Iluminamento**. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Iluminamento>>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2021.