

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS**

Eugenio Rossetti

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA
AUTOMATIZADO PARA CONTROLE DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL
NA ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL FREDERICO GUILHERME
SCHMIDT – RS**

Novo Hamburgo/RS
2017

Eugenio Rossetti

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA
AUTOMATIZADO PARA CONTROLE DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL
NA ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL FREDERICO GUILHERME
SCHMIDT – RS**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos (EaD), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Cauduro

Novo Hamburgo, RS
2017

Eugenio Rossetti

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA
AUTOMATIZADO PARA CONTROLE DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL
NA ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL FREDERICO GUILHERME
SCHMIDT – RS**

Monografia apresentada ao corpo docente do curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos (EaD), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos.**

Aprovado em, 30 de maio de 2017:

**Carlos Roberto Cauduro, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)**

Cesar Addis Valverde Salvador, Dr. (UFSM)

Isis Portolan dos Santos, Dra. (UFSM)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família. Dedico também ao professor e orientador Carlos Roberto Cauduro, pelo apoio e encorajamento contínuo de superar os desafios do curso, aos demais mestres da universidade, pelos conhecimentos transmitidos, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Universidade Aberta do Brasil, pela gratuidade e pela qualidade de ensino, que proporcionou essa oportunidade de desenvolver e concretizar os estudos, a diretoria do curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada nos Processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria, pelo apoio institucional e pelas facilidades oferecidas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha família pelo incentivo e encorajamento, a minha esposa e minha filha pela compreensão, incentivos e apoio para que se chegasse até esta etapa de minha vida. Ao meu pai agradeço pelo exemplo de ética e profissionalismo, sendo minha inspiração de todos os dias. A minha mãe pelo seu imenso carinho e cuidado com toda a nossa família. Agradeço também aos meus irmãos, por todo o companheirismo ao longo dos anos de nossas vidas. Ao departamento e programa de pós-graduação da universidade, pela oportunidade concedida, pela credibilidade na estrutura física, científica e tecnológica e pela disponibilidade, orientação, carinho e profissionalismo disponibilizado no decorrer do curso.

Ao meu orientador Professor Dr. Carlos Roberto Cauduro, pela paciência, incentivo e disponibilidade incondicional prestada, pelos conselhos profissionais dos quais nunca se esquivou e que sempre me foram encorajadores. Também agradeço ao orientador e professores do curso que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado.

Agradeço a instituição de ensino, por ter proporcionado durante o curso à chance e todas as ferramentas que permitiram a chegar hoje no final desse ciclo de maneira plena.

Aos colegas e amigos, pela disponibilidade, orientação e inspiração para realização desse estudo.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa etapa de formação.

“A única história que vale alguma coisa é a história que fazemos hoje”

Henry Ford

“O maior patrimônio não é o capital, é o conhecimento”

Peter Drucker

RESUMO

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CONTROLE DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NA ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL FREDERICO GUILHERME SCHMIDT – RS

Autor: Eugenio Rossetti

Orientador: Carlos Roberto Cauduro

O foco principal deste trabalho foi verificar e efetuar uma investigação de como os níveis de eficiência energética se comportam no laboratório da Escola Técnica Estadual Frederico Guilherme Schmidt, através da utilização da luminotécnica, para a criação de um sistema automatizado para controle de iluminação. O sistema de iluminação proposto, utilizando lâmpadas LED compactas em função da intensidade luminosa adequada, foi destinado a ambientes internos que possuam a incidência solar. Também foi verificado o sistema de iluminação disponível na sala de aula e essa investigação serviu de parâmetro para verificar as possíveis deficiências para a implantação do projeto, através de um sistema de gestão de energia automatizado, com redução do tempo de manutenção e com ganho de economia de energia elétrica. Para a análise deste trabalho, foram estabelecidos os valores de iluminâncias mínimas recomendados por norma para a iluminação artificial em escola, em interiores, onde foi utilizado como referência um plano horizontal a 0,75m do piso. Para ambientes escolares a norma estabelece 300 lux para a sala de aula e 500 lux para o quadro branco.

Palavras-chave: Eficiência Energética na Iluminação. Sistema Automatizado para Controle da Iluminação. Substituição de Sistema de Iluminação em Sala de Aula e Laboratórios.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE ENERGY EFFICIENCY OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR ARTIFICIAL LIGHTING CONTROL AT THE STATE TECHNICAL SCHOOL FREDERICO GUILHERME SCHMIDT - RS

Author: Eugenio Rossetti

Advisor: Carlos Roberto Cauduro

The main goal of this work is to verify and to conduct an investigation on how the energy efficiency levels behave in the laboratories from the State Technical School Frederico Guilherme Schmidt, through the use of lighting technology to create an automated system for lighting control. The optimized lighting system proposed, using compact LED lamps depending on the appropriate luminous intensity, was designed for indoor environments with solar incidence. It was also verified the lighting system available in the classroom and this research served as a parameter to determine possible weaknesses for the implementation of the project through an automated energy management system, with reduced maintenance time and with saving of electricity. For this work analysis, it was established values of minimum illuminance in service for artificial lighting indoors, where a horizontal plane of 0,75m of the floor was used as reference. For school environments, the standard establishes 300 lux for the classroom and 500 lux for the whiteboard.

Key-words: Energy Efficiency in Lighting. Automated System for Lighting Control. Replacement of Lighting System in Classroom and Laboratories.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Espectro Eletromagnético (OSRAM,2012).....	18
Figura 2 – Ilustração esquematizando o caminho do sol, fonte primária de luz natural.	20
Figura 3 – Imagens de diferentes fontes de luz artificial.	21
Figura 4 – Lâmpada Fluorescente tubular T 8.....	24
Figura 5 – Lâmpada com a exposição da fita de LED.....	25
Figura 6 – Exemplos de lâmpadas LED tipo espiga de milho e bulbo.....	26
Figura 7 – Lâmpada LED.	27
Figura 8 – Benefícios da iluminação com Led (CLARITEK, 2012).	29
Figura 9 – Luminária de aço fosforizado.	29
Figura 10 – Exemplificação de formas de onda PWM.....	31
Figura 11 – Layout laboratório, com as respectivas disposições dos pontos de iluminação. Legenda: A – lâmpada.	35
Figura 12 – Imagem de um circuito de matriz de contato (prontoboard), com os respectivos componentes.....	39
Figura 13 – Imagem do diagrama do circuito eletrônico do projeto.....	39
Figura 14 – Imagem estrutura interna/Sala do Laboratório de Eletrônica.	42
Figura 15 – Planta baixa da sala, com respectivas marcações dos pontos de medições.	43
Figura 16 – Microcontrolador da família AVR utilizado no Arduino UNO (ATmega328P-PU).....	45
Figura 17 – Transistor Mosfet SSS6N660A-K2141.....	46
Figura 18 – Simbologia e tipo de resistores.	47
Figura 19 – Simbologia e Aspectos de um LDR.....	48
Figura 20 – Imagem dos testes com a lâmpada LED acesa.	49
Figura 21 – Relação entre a luz natural e a luz artificial.....	51
Figura 22 – Equação para cálculo da taxa de variação.....	52
Figura 23 – Gráfico com os valores de FLD do laboratório de eletrônica (cortinas fechadas).....	58

Figura 24 – Gráfico com os valores de FDL com o sistema automatizado do laboratório de eletrônica (tempo nublado/chuvoso).....	59
Figura 25 – Topologia proposta inicialmente para o projeto.....	61
Figura 26 – Imagem do diagrama do circuito do sistema automatizado.	63
Figura 27 – Imagem do segmento de captação da luminosidade. Módulo sensor de luz com LDR.....	64
Figura 28 – Imagem dos testes com o circuito (sistema ligado e desligado).	65
Figura 29 – Microcontrolador Atmega 328P.....	75
Figura 30 – Imagem do circuito LDR Led - Arduino Uno.....	76
Figura 31 – Imagem luxímetro ICEL Manaus LD-550 (Lux Mester).	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ambientes e o devido iluminamento.....	19
Tabela 2 – Classificação das luminárias de acordo com a disposição do fluxo luminoso.....	30
Tabela 3 – Iluminância (em lux) para cada grupo de tarefas visuais.....	33
Tabela 4 – Fatores determinantes da iluminância adequada.....	33
Tabela 5 – Índice de local (K).....	36
Tabela 6 – Refletância.....	44
Tabela 7 – Tabela de quantidade de brilho reduzida, economia de energia e aumento da vida útil, devido a regularização do brilho de cada lâmpada.....	53
Tabela 8 – Componentes eletrônicos com respectivos valores.....	54
Tabela 9 – Médias das Medições da iluminância no Laboratório de Eletrônica em (lux).....	55
Tabela 10 – Médias das Medições da iluminância no Laboratório de Eletrônica em (lux).....	55
Tabela 11 – Médias das Medições da iluminância no Laboratório de Eletrônica em (lux).....	55
Tabela 12 – Valores de FLD, Unidade Escolar Frederico Guilherme Schmidt, laboratório de eletrônica.....	56
Tabela 13 – Valores de FLD, do laboratório de eletrônica (cortinas abertas).....	57
Tabela 14 – Valores de FLD, Unidade Escolar Frederico Guilherme Schmidt, laboratório de eletrônica.....	57
Tabela 15 – Médias das Medições da iluminância no Laboratório de Eletrônica em (lux) com o sistema automatizado.....	58
Tabela 16 – Médias das Medições da iluminância no Laboratório de Eletrônica em (lux) com o sistema automatizado.....	59
Tabela 17 – Tabela de viabilidade econômica.....	67
Tabela 18 – Resultados da análise econômica do projeto.....	67
Tabela 19 – Observações técnicas do luxímetro.....	78

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1.	Objetivos	16
1.1.1.	Objetivo geral	16
1.1.2.	Objetivos específicos.....	17
1.2.	Iluminação	17
1.2.1.	Luz	17
1.2.2.	Fluxo Luminoso e Eficácia luminosa	18
1.2.3.	luminância ou iluminamento	19
1.2.4.	Fontes de luz natural e artificial.....	20
1.3.	Definição de conceitos de iluminação	22
1.3.1.	Lâmpadas.....	23
1.3.2.	Luminárias.....	29
1.3.3.	Modulação por largura de pulso	30
1.4.	Justificativa.....	31
2.	METODOLOGIA	38
2.1.	Ferramentas e Métodos utilizados para a Implementação do Projeto.....	38
2.2.	Descrição de funcionamento do circuito.....	40
2.3.	Ciclo de desenvolvimento.....	40
2.4.	Características do laboratório.....	41
2.5.	Medição do fluxo luminoso do laboratório de eletrônica.....	42
2.6.	Ferramentas de Hardware e Software utilizadas na implementação do projeto	44
2.6.1.	Microcontroladores	44
2.6.2.	Transistor Mosfet.....	46
2.6.3.	Resistores	46
2.7.	Componentes Eletrônicos usados no projeto	47
2.7.1.	LDR – Resistor Dependente de Luz.....	47
2.7.2.	Testes para escolha do LDR	48
3.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	54
3.1.	Fator de luz diurna (FLD)	55

3.2.	Configuração final do circuito	62
3.3.	Segmento de captação da luminosidade do projeto.....	63
3.4.	Alteração Final do Circuito Proposto	64
3.5.	Testes com a fonte de 85 V no laboratório da escola	65
4.	CONCLUSÕES.....	69
5.	REFERÊNCIAS.....	70
6.	APÊNDICES.....	75
6.1.	Programação do Microcontrolador	75
7.	ANEXOS	79
7.1.	Datasheet dos Componentes Eletrônicos	79

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, num modo geral, o controle do consumo de energia elétrica é necessário, e pensar em alternativas que visam economia nessa área é muito importante. No que diz respeito ao consumo de energia elétrica em residências, segundo dados da EPE (Empresa de Pesquisa Energética), a iluminação é responsável por cerca de 24% do consumo de energia elétrica nos domicílios brasileiros, ficando apenas atrás de sistemas de refrigeração e aquecimento de água (EPE, 2012).

A iluminação é um dos grandes responsáveis pelo consumo de energia elétrica em edificações. Mas também é, dentre os responsáveis pelo consumo nas residências e edificações em geral, aquele item que permite maior facilidade de redução de consumo frente ao forte desenvolvimento tecnológico dos componentes de sistemas de iluminação verificados nos últimos anos. E permite também, além da redução do consumo, a correção de eventuais falhas no sistema e nos níveis de iluminação no que diz respeito ao atendimento de normativas da ABNT.

No Brasil, há um grande potencial para economia de energia nos sistemas de iluminação e aumento da qualidade dos sistemas em funcionamento, principalmente, pelo uso intensivo de equipamentos de iluminação com tecnologias ultrapassadas, tais como, lâmpadas fluorescentes tubulares comuns de 20 W e 40 W, reatores eletromagnéticos e lâmpadas incandescentes (ARAÚJO, 2009).

Um elevado percentual da energia elétrica produzida é destinado à iluminação artificial (cerca de 24%). Em virtude disso, muitos esforços são concentrados no sentido de melhorar a eficiência energética dos sistemas existentes e para tanto, criar novas formas de iluminação artificial mais eficientes, um melhor controle de luminosidade e o aproveitamento da luz natural.

Ainda não há produção industrial e comercial de larga escala voltada para o emprego do LED na iluminação doméstica. Por isso, a melhor alternativa para quem busca economizar nas contas de energia são as luminárias fluorescentes. “A lâmpada incandescente ainda é a mais utilizada nas residências, porém, é a menos eficiente de todas, gerando pouca luz e produzindo muito calor. Além disso, tem vida útil pequena”. (Braga, 2011).

O projeto parte deste princípio, visando criar um sistema que corrija e respeite os padrões de iluminação de ambientes internos, que proporcione economia na conta de energia elétrica, redução no tempo de manutenção e busca utilizar componentes e materiais de baixo custo e menos agressivos ao meio ambiente. Considerando que a iluminação desse ambiente permanece funcionando durante boa parte do dia letivo, o que significa pelo grau de atividade mais complexo, um controle mais eficaz da luminosidade disponível na sala, uma análise dos parâmetros de conforto no ambiente e o conforto visual deve ser considerado primordialmente.

O projeto propõe fazer a substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares comuns por lâmpadas LED tubulares, as quais proporcionam mais economia, maior vida útil e mais facilidade para manutenção, pois dispensam o uso de reator. A experiência e o protótipo foram realizados junto ao laboratório/sala de eletrônica, da Escola Técnica Estadual Frederico Guilherme Schmidt, de São Leopoldo/RS. Além disso, esse tipo de lâmpada, oferece também mais facilidade para o processo de descarte, o que oferecerá economia, principalmente, na escola, além de serem menos prejudiciais ao meio ambiente.

O projeto está organizado da seguinte maneira: inicialmente, apresenta o tema e sua delimitação, seguido da problematização, justificativa para desenvolvimento do projeto, as hipóteses para solucionar os problemas, e objetivo geral e objetivos específicos. Após, apresenta a fundamentação teórica, onde são apresentadas as pesquisas realizadas até o momento, a metodologia utilizada para desenvolvimento do projeto, seguido do cronograma, recursos materiais e humanos, e, por fim, as referências bibliográficas.

A automação residencial foi uma ramificação dos conceitos utilizados na automação industrial, porém com as grandes diferenças de realidade das duas arquiteturas, verificou-se a necessidade de criar tecnologias dedicadas e direcionada a ambientes residenciais, isso porque estes ambientes não estão preparados para receber centrais controladoras de grandes proporções nem em tamanho, nem em peso e nem possuem espaço físico para desenvolver estruturas de cabeamento. Outro ponto de diferença entre as duas arquiteturas são as lógicas menos complexa utilizada nas residências. O fator negativo, e que também levou a criação de tecnologias voltadas para as residências, são: os tipos de interface, controladores de luminosidade e a variedade de equipamentos e as configurações diferentes que cada usuário deseja. Considera-se um marco importante na história da automação os

chamados X-10, que foram lançados na década de 70 nos EUA e são lembrados como os primeiros módulos inteligentes de automação e utilizados até os dias atuais. O protocolo X-10 é um sistema de fácil implementação, usa uma linguagem que permite que produtos compatíveis se comuniquem entre si através de linha elétrica existente, sem a necessidade de novos e caros cabeamento. Esse sistema é recomendado para aplicações autônomas, não integrado e uma de suas limitações é o de operar apenas funções simples como, por exemplo, liga/desliga. Na década de 80, com a evolução da informática pessoal (PC), surgem no mercado novas possibilidades de automação, interfaces mais amigáveis e operações extremamente fáceis, mas é o final da década de 90 o grande responsável pelo surgimento de várias novidades para o mercado de automação residencial, isto porque algumas conquistas tecnológicas como o telefone celular e a internet despertaram o gosto pelas facilidades que a automação residencial pode trazer para o consumidor. No Brasil, a automação residencial está em seus primeiros passos, porém construtoras, projetistas, arquitetos e empresas ligadas ao ramo de construção cível já oferecem opções de residências com sistemas integrados. Embora o panorama no Brasil seja otimista quanto à utilização desta tecnologia, deve-se destacar dois fatores que podem desacelerar o crescimento esperado para esta tecnologia. O primeiro é a falta de conhecimentos específicos dos projetistas e o outro é a falta de cultura da automação residencial entre os usuários finais, o que prejudica a visualização dos benefícios desta tecnologia.

Como o conceito da automação residencial é recente, portanto há laboratórios que ainda estão em fase de adaptações para que possa, em breve, ser desenvolvido pesquisas e realizados trabalhos voltados para essa área. Desta forma, para o projeto deste trabalho foi feita à automatização do sistema de iluminação existente na escola utilizando o máximo a luz natural em vez da artificial. O sistema de iluminação otimizado, foi destinado a ambientes internos que possuam a incidência solar.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

O objetivo desse estudo é avaliar e manter a iluminação mínima de 300 lux de uma sala de aula, usando dimerização automatizada visando a eficiência energética.

1.1.2. Objetivos específicos

- Criar um sistema de iluminação com baixo custo e facilidade para manutenção;
- Reduzir o valor da conta de energia elétrica;
- Utilizar, juntamente, a iluminação artificial e a iluminação natural; e
- Otimizar a proporção de iluminamento resultante de salas de aula.

1.2. Iluminação

Para o uso da energia elétrica de forma eficiente em um sistema de iluminação é preciso realizar um estudo profundo das condições do ambiente e tarefas que ali serão executadas. A luminotécnica é o estudo da aplicação de iluminação artificial em espaços interiores e exteriores.

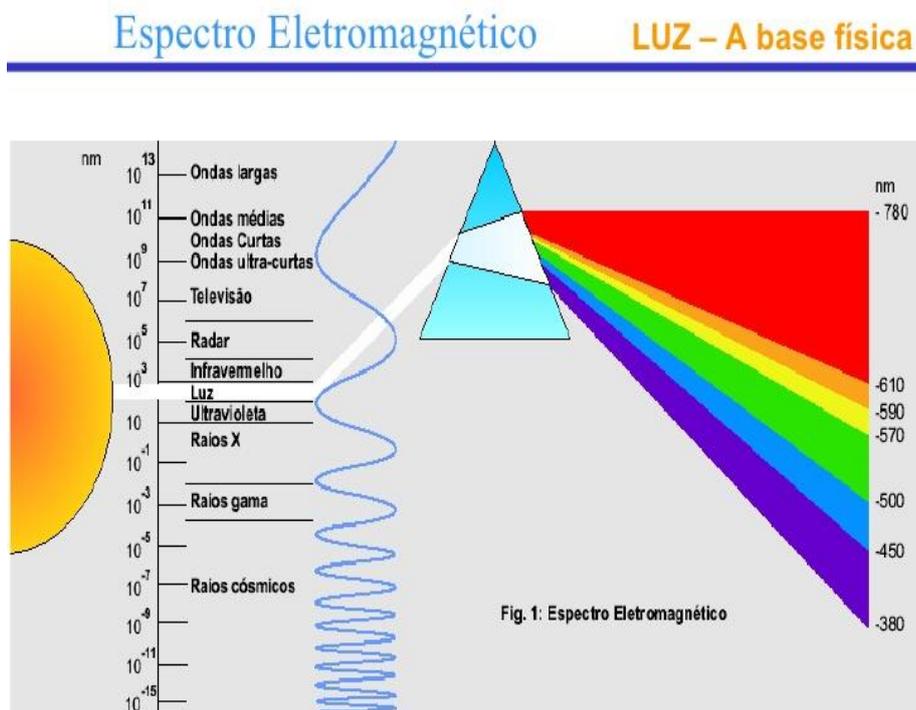
1.2.1. Luz

A luz é a radiação eletromagnética gerada por uma fonte de radiação, capaz de produzir uma sensação visual, possui diferentes comprimentos, sendo apenas alguns sensíveis ao olho humano. O espectro visível pode ser dividido em números de faixas de comprimento de onda, onde cada uma causa uma impressão de cor ao olho humano, conforme mostrado na figura 1. (LUZ, 2012).

As faixas são:

- 380 a 436 nm: violeta;
- 436 a 495 nm: azul;
- 495 a 566 nm: verde;
- 566 a 589 nm: amarelo;
- 589 a 627 nm: laranja;
- 627 a 780 nm: vermelho.

Figura 1. Espectro Eletromagnético (OSRAM,2012).



FONTE: OSRAM, 2012.

1.2.2. Fluxo Luminoso e Eficácia luminosa

O fluxo luminoso é a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz, ou é a potência de energia luminosa de uma fonte percebida pelo olho humano. É definido como a quantidade total de luz emitida por segundo, cuja unidade de medida é em lumens, como exemplos abaixo: (LUZ, 2012).

As lâmpadas conforme seu tipo e potência apresentam fluxos luminosos diversos:

- lâmpada incandescente de 100 W: 1000 lm;
- lâmpada fluorescente de 40 W: 1700 a 3250 lm;
- lâmpada vapor de mercúrio 250W: 12.700 lm;
- lâmpada multi-vapor metálico de 250W: 17.000 lm;
- lâmpada LED de 16W: 1600 lm.

A eficácia luminosa é a razão do fluxo luminoso para o fluxo radiante correspondente. Refere-se à qualidade de uma fonte de radiação ser eficaz quanto à possibilidade de produzir uma sensação luminosa. (LUZ, 2012).

- lâmpada incandescente de 100W: 10 lm/W;
- lâmpada fluorescente de 40 W: 42,5 lm/W a 81,5 lm/W;
- lâmpada vapor de mercúrio de 250W: 50 lm/W Luminotécnica 8;
- lâmpada multi-vapor metálico de 250W: 68 lm/W;
- lâmpada LED de 16W: 60,8 lm/W.

1.2.3. Iluminância ou iluminamento

É o limite da razão entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a superfície sobre a qual este incide; ou seja, é a densidade de fluxo luminoso na superfície sobre a qual este incide. A unidade é o lux, definido como o iluminamento de uma superfície que varia de 0,75 a 1m recebendo de uma fonte puntiforme, na direção normal, um fluxo luminoso de 1 lúmen, uniformemente distribuído. (LUZ, 2012). A tabela 1 apresenta os índices de iluminamento em lux, segundo para diferentes tipos de ambientes e locais.

Tabela 1. Ambientes e o devido iluminamento.

Ambiente	Local	Iluminamento (lux)
Biblioteca	Salas de leituras	500
	Estantes	300
Escolas/Faculdades	Salas de aula	300
	Laboratórios	500
Escritórios	Sala de reunião	300
Hospital	Geral	150
	Mesa de trabalho	500
Restaurantes	Geral	150

FONTE: ABNT, 2012

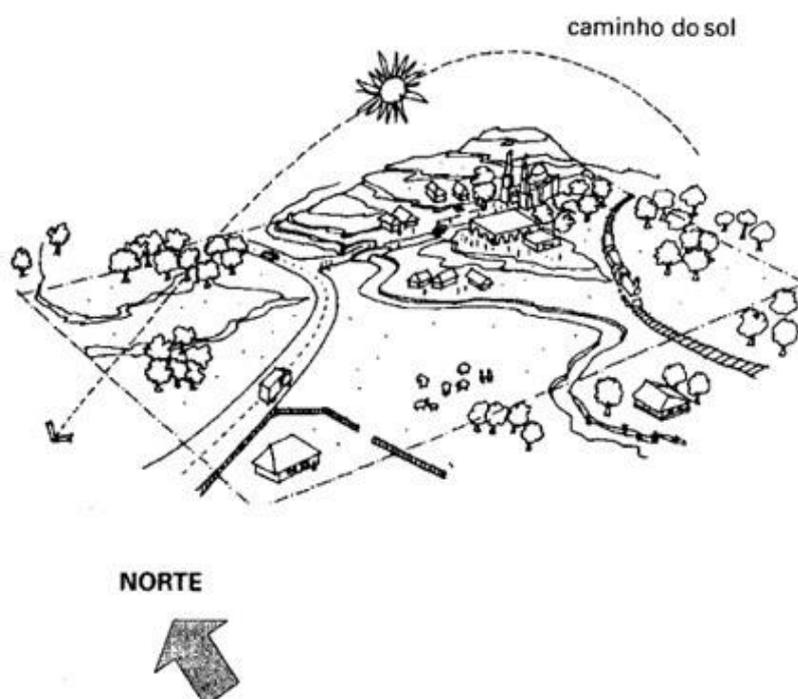
No projeto em estudo é considerado o nível de iluminamento como parâmetro para o controle de luminosidade em sala de aula, seguindo os critérios da

luminotécnica e os valores estabelecidos pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), na NBR 5413. Na tabela 1 podem ser observados alguns valores padronizados pela norma NBR 5413 e os respectivos ambientes. No próximo tópico são abordadas as principais fontes de luz artificial.

1.2.4. Fontes de luz natural e artificial

As fontes de luz podem ser naturais ou artificiais. O sol é uma fonte primária de luz natural (Figura 2), enquanto que as lâmpadas são fontes de luz artificiais. A luz é uma onda eletromagnética que, no caso da luz natural, tem o sol como fonte e, no caso da luz artificial, é uma energia gerada a partir de fontes alternativas. Não importa de onde a luz venha, ela causa um grande impacto na vida na Terra. Além da luz visível, tem-se acima e abaixo da radiação visível os chamados raios Ultravioleta e Infravermelho.

Figura 2. Ilustração esquematizando o caminho do sol, fonte primária de luz natural.



FONTE: O Manual do Arquiteto Descalço, 2014.

A luz artificial é gerada por fontes de energia não naturais. A maioria das atividades humanas seriam praticamente impossíveis se não existissem fontes

alternativas de luz. Ela pode ser controlada de acordo com as vontades e as necessidades do homem. É possível monitorar adequadamente a intensidade, a qualidade e a quantidade de luz para determinadas situações. Essa não tem um espectro de cores ou comprimentos de onda tão variados quanto a luz natural, fazendo com que seja menos benéfica.

Como exemplos, pode-se citar como fontes de luz artificial a vela em chamas, a lâmpada e as lanternas.

“Das fontes de luz artificial, as lâmpadas elétricas são, sem dúvida, as que apresentam maior eficiência e possibilidades ilimitadas de se obter ambientes acolhedores e confortáveis. As lâmpadas elétricas atuais são agrupadas em dois tipos principais” (CAVALIN; CEVELIN, 2005), que são as Incandescentes e as de descarga (figura 3).

A luz artificial é gerada por fontes de energia não naturais. A maioria das atividades humanas seriam praticamente impossíveis se não existissem fontes alternativas de luz. Ela pode ser controlada de acordo com as vontades e as necessidades do homem. É possível monitorar adequadamente a intensidade, a qualidade e a quantidade de luz para determinadas situações. Essa não tem um espectro de cores ou comprimentos de onda tão variados quanto a luz natural, fazendo com que seja menos benéfica.

Figura 3. Imagens de diferentes fontes de luz artificial.



FONTE: Escola Kids.uol.com.br, 2017.

A luz natural consiste em energia eletromagnética gerada por uma fonte natural, e contém um espectro de cores e comprimentos de onda adequados para a vida terrestre. A luz artificial usa fontes de energia criadas pelo homem e gera uma luz menos versátil, e com efeitos mais danosos em plantas e animais se expostos por períodos prolongados. A exposição moderada à luz natural é a ideal para a vida

terrestre, porém o mesmo não se aplica à artificial, que tem o propósito de iluminação em ambientes fechados ou no período noturno.

A luz natural irradia uma combinação perfeita de cores. Plantas e animais desenvolvem-se de forma saudável quando expostos por tempo adequado aos raios invisíveis da luz natural. A intensidade e a variação de radiação emitidas são difíceis de simular em ambientes artificiais. Os períodos diurno e noturno promovem o rejuvenescimento celular em plantas e animais, processo fundamental para o bom funcionamento de um organismo vivo.

1.3. Definição de conceitos de iluminação

Para que se possa compreender este estudo é necessário estabelecer definições claras dos conceitos relativos à iluminação. Este capítulo irá revisar os conceitos de iluminação que serão relevantes à compreensão do mesmo.

Luz - é o termo dado à radiação eletromagnética capaz de sensibilizar os olhos humanos (SCHMID, 2005).

Fluxo luminoso – é a radiação total emitida por uma fonte luminosa, dentro dos limites que produzem estímulos visuais é chamada de fluxo luminoso (GONÇALVES et al., 2011). Este representa uma potência luminosa emitida por uma fonte luminosa, por segundo, em todas as direções, sob a forma de luz (BASTOS,2011). Unidade: lúmen (lm). Iluminância – é a razão entre o fluxo luminoso emitido por uma fonte e a superfície iluminada a certa distância da fonte.

A iluminância é medida com o luxímetro. Unidade: lux.

Temperatura de cor correlata (TCC) – descreve a aparência de cor de uma fonte de luz comparada a cor emitida pelo corpo negro radiador. Um corpo negro muda de cor ao mudar de temperatura, portanto existe uma relação entre temperatura e cor da luz emitida, expressa pela temperatura de cor em graus Kelvin. Pensando em uma escala, o menor TCC seria um vermelho escuro, passando pelo vermelho claro, alaranjado, amarelo, branco e finalmente branco azulado. O branco do corpo metálico em alto grau de aquecimento, semelhante ao branco da luz do meio-dia, possui uma temperatura de 6500K. A luz amarela, quente, como de uma lâmpada incandescente, está em torno de 2700K. As lâmpadas de aparência fria têm temperatura de cor em torno de 5.000K e as de aparência neutra, em torno de 4.000K. É importante

mencionar que a cor da luz nada em remete à potência da lâmpada. Por isso não é válida a impressão de que, quanto mais clara a luz fornecida pela lâmpada, maior é a sua potência. (GONÇALVES et al., 2011). Lâmpada - são fontes de luz primárias artificiais e são classificadas de acordo com o fenômeno que é a causa produtora do fluxo (MOREIRA, 1999). Para iluminação predial, atualmente, algumas lâmpadas de maior uso são:

1.3.1. Lâmpadas

São cinco os principais tipos de lâmpadas para uso doméstico: lâmpadas fluorescentes compactas; lâmpadas fluorescentes tubulares; díodos emissores de luz (LED); lâmpadas de halogéneo; e lâmpadas incandescentes.

- Incandescentes: São as mais antigas e de luz amarelada, todos já tiveram ou ainda tem em suas casas, sem dúvida elas são as mais populares, porém já estão em desuso. Duram até 1000 horas, tem vida útil pequena se comparada a outros tipos de lâmpadas. Elas transformam 95% de da eletricidade em calor e apenas 5% em luz, isso acaba aumentando muito o consumo de energia.
- Fluorescentes: Nos dias de hoje são as mais conhecidas e indicadas para uso residencial ou comercial, pois apresentam uma alta eficiência, baixo consumo de energia vida útil longa. Chegam a ser 80% mais econômica se comparada às lâmpadas incandescentes. São conhecidas como lâmpadas frias ou de luz branca. Dura de 6 a 15 mil horas e existem em três modelos, são elas: tubular, compacta eletrônica e compacta não integrada.
- Halógenas: É uma versão das incandescentes, mas são chamadas assim por possuir halógeno em sua constituição. São ideais para destacar as decorações com fecho de luz direcionado que destaca e valoriza objetos ou pontos da decoração. São indicadas para residências e comércios, podem ser utilizadas embutidas em sancas de gesso. Tem vida útil de 2 a 4 mil horas e economia de 20 a 40% se comparada às incandescentes.
- LED: Última tendência em iluminação, é um produto ecologicamente correto, pois tem baixo consumo de energia e vida útil excepcionalmente longa. Elas convertem energia elétrica diretamente em energia luminosa, através do diodo

(LED = Light Emitting Diode). Ainda não ganharam tanta popularidade devido ao preço, superior aos demais tipos. Contudo, devido a sua alta eficiência e ao baixo consumo, já estão substituindo as lâmpadas fluorescentes no uso residencial. Este tipo de lâmpada pode ser dimerizada, pois consiste no controle da intensidade luminosa de uma fonte. Todos os LEDs são dimerizáveis, porém alguns drivers (equipamentos auxiliares) não são. Com a tecnologia PWM é possível a dimerização entre 0% a 100% de sua intensidade. Portanto, há necessidade em verificar a possibilidade de dimerização do driver na aquisição do equipamento com esta tecnologia. A luz emitida por este tipo de lâmpada é fria devido a não presença de infravermelho no feixe luminoso. Mas a luminária em si pode aquecer, pois os LEDs liberam a potência dissipada em forma de calor, mas nada comparado a uma incandescente.

As lâmpadas tubulares, consideradas de baixa pressão e são revestidas internamente por fósforo. Funcionam com a instalação auxiliar de reatores que servem para limitar a corrente e adequar as tensões ao perfeito acendimento das lâmpadas, vide figura 4. As novas tecnologias de lâmpada deste modelo as deixaram mais finas, mas são pouco usadas em espaços residenciais de estar e quartos, seu uso maior se dá em cozinhas e áreas de escritórios.

Figura 4. Lâmpada Fluorescente tubular T 8.



FONTE: Taschibra, 2017

Os LEDs são semicondutores que convertem corrente elétrica em luz (GONÇALVES, et al., 2011). São fontes de luz de estado sólido baseados em semicondutores inorgânicos que emitem luz por eletroluminescência (OSRAM, 2009).

Eletroluminescência é um processo de emissão gerado através de excitação eletrônica, pela passagem de uma corrente elétrica através do material. A tecnologia LED é utilizada tanto em formato tradicional de lâmpada como em fitas e mangueiras, embutidas em móveis e sancas de gesso. Por ser uma tecnologia nova ainda é pouco utilizada para iluminação residencial.

Diferente das lâmpadas comuns existente atualmente, as lâmpadas do tipo LED não possuem filamento, o que faz com que elas durem mais por não produzirem tanto calor quanto as lâmpadas que usam estes filamentos, como por exemplo, as da família incandescente. Por dentro dessa lâmpada existe uma fita de LED que produz luz quando por ela é percorrido energia elétrica. Existe também um circuito eletrônico que ajusta a tensão para 12 V, que é o necessário para funcionamento da lâmpada. Ver exemplo da figura 5.

Figura 5. Lâmpada com a exposição da fita de LED.



FONTE: Taschibra, 2017.

No caso do projeto foi usada uma lâmpada LED tubular, existem outros modelos como tipo bolinha, bulbo, milho, vela e rosca. Estas variações são para facilitar a troca de lâmpadas mais comuns por estas, que estão tomando espaço no mercado, atendo as necessidades do consumidor. Mas a maior vantagem continua sendo a economia e durabilidade que estas lâmpadas oferecem.

Figura 6. Exemplos de lâmpadas LED tipo espiga de milho e bulbo.



FONTE: CTB, 2017.

As lâmpadas de LED, vide figura 7, proporcionam uma iluminação excelente em qualquer ambiente e funcionam em várias cores. Por exemplo, algumas empresas, como a Philips e Osram, vêm fabricando produtos desse tipo em larga escala para aplicação em diversos ambientes. Um fator que tem feito às fabricantes investirem forte em pesquisas para iluminação com LEDs é a alta qualidade que elas proporcionam e a grande durabilidade. Além da economia que as mesmas oferecem, e de iluminarem com maior eficiência, as lâmpadas de LED tendem a ter uma vida útil muito maior, comparando com o restante das lâmpadas. Comparando esse tipo de lâmpada com uma incandescente, percebe-se uma crescente tendência no uso de LEDs para iluminação em geral. No entanto, confrontando os dois tipos de lâmpadas, no que diz respeito a eficiência energética, nota-se que uma lâmpada incandescente de 40W, que tem uma vida útil em média de até mil horas, equivale a uma de LED de 10W de potência, onde oferece a mesma luminosidade e uma vida útil em média de trinta vezes mais longa, estando cada vez mais versáteis e acessíveis (ATILUX, 2012).

Figura 7. Lâmpada LED.



FONTE: Elgin, 2017.

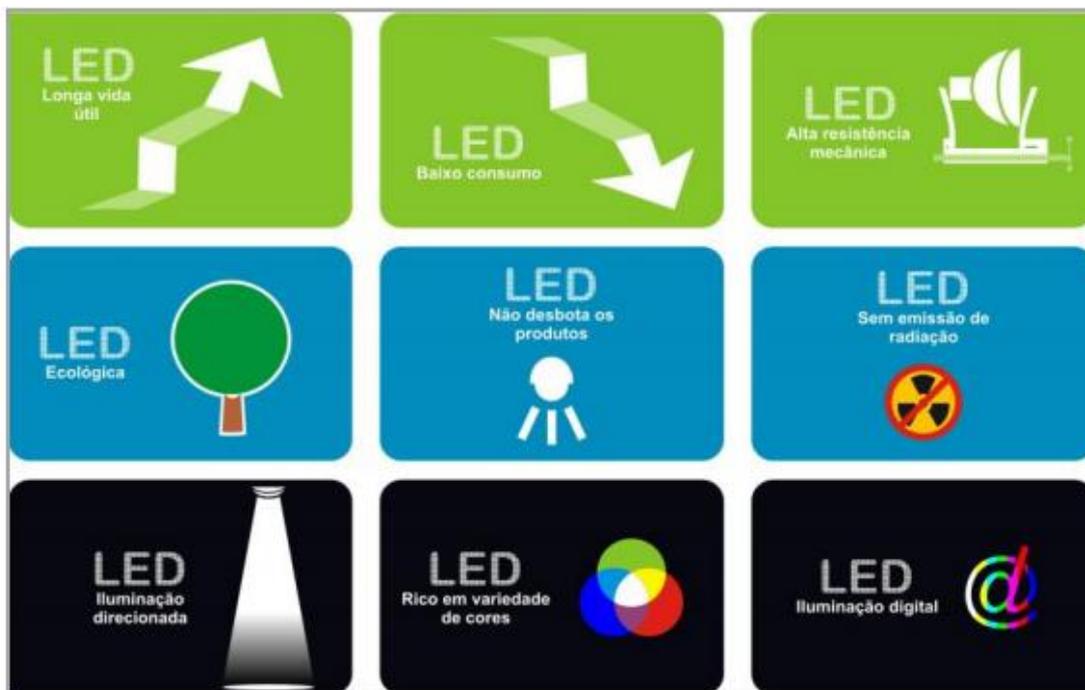
As lâmpadas LED possuem os seguintes benefícios:

- Custos de manutenção reduzidos: Em função de sua longa vida útil, a manutenção é bem menor, representando menores custos.
- Eficiência: Apresentam maior eficiência que as Lâmpadas incandescentes e halógenas e, hoje, muito próximo da eficiência das fluorescentes (em torno de 50 lumens / Watt), mas este número tende a aumentar no futuro.
- Baixa voltagem de operação: Não representa perigo para o instalador.
- Resistência a impactos e vibrações: Utiliza tecnologia de estado sólido, portanto, sem filamentos, vidros, etc., aumentando a sua robustez.
- Controle dinâmico da cor: Com a utilização adequada, pode-se obter um espectro variado de cores, incluindo várias tonalidades de branco, permitindo um ajuste perfeito da temperatura de cor desejada.
- Acionamento instantâneo: Tem acionamento instantâneo, mesmo quando está operando em temperaturas baixas.
- Controle de Intensidade variável: Seu fluxo luminoso é variável em função da variação da corrente elétrica aplicada a ele, possibilitando, com isto, um ajuste preciso da intensidade de luz da luminária.
- Cores vivas e saturadas sem filtros: Emite comprimento de onda monocromático, que significa emissão de luz na cor certa, tornando-a mais viva e saturada. Os LEDs coloridos dispensam a utilização de filtros que causam perda de intensidade e provocam uma alteração na cor, principalmente em luminárias externas, em função da ação da radiação ultravioleta do sol.

- Luz direta, aumento da eficiência do sistema: Apesar de ainda não ser a fonte luminosa mais eficiente, pode-se obter luminárias com alta eficiência, em função da possibilidade de direcionamento da luz emitida pelo LED. Ecologicamente correto: Não utiliza mercúrio ou qualquer outro elemento que cause danos à natureza.
- Ausência de ultravioleta: Não emitem radiação ultravioleta sendo ideais para aplicações onde este tipo de radiação é indesejado. Ex.: Quadros – obras de arte.
- Ausência de infravermelho: Também não emitem radiação infravermelho, fazendo com que o feixe luminoso seja frio.
- Com tecnologia adequada PWM, é possível a dimerização entre 0% e 100% de sua intensidade, e utilizando-se Controladores Colormix Microprocessados, obtém-se novas cores, oriundas das misturas das cores básicas. Que são: branco, azul, verde, azul, amarelo, vermelho.
- Ao contrário das lâmpadas fluorescentes que tem um maior desgaste da sua vida útil no momento em que são ligadas, nos LEDs é possível o acendimento e apagamento rapidamente possibilitando o efeito “flash”, sem detrimento da vida útil. (UTILUX, 2012).

A figura 8 apresenta os benefícios da iluminação do tipo LED. Dentro destas vantagens, a lâmpada de LED foi uma escolha deste projeto, devido ao seu baixo consumo e durabilidade, e por ser uma tendência mundial, tornando o projeto muito mais eficiente e atualizado.

Figura 8. Benefícios da iluminação com Led (CLARITEK, 2012).



FONTE: <http://www.sme.org.br/arquivos/pdf/SMEEFICIENCIAENERGETICA.pdf>

1.3.2. Luminárias

Os sistemas de iluminação classificam-se de acordo com a forma pela qual o fluxo luminoso é irradiado pela luminária de sobrepor (Figura 9), para cima e para baixo do plano horizontal. Muitos autores classificam os sistemas simplesmente por: direto, indireto e direto-indireto (OSRAM, 2012). Este estudo usará esta classificação mais simplificada, pois a avaliação da mesma será feita por análise visual.

Figura 9. Luminária de aço fosforizado.



FONTE: Abalux, 2016.

A classificação das luminárias de acordo com o fluxo luminoso é apresentada na tabela 2 abaixo.

Tabela 2. Classificação das luminárias de acordo com a disposição do fluxo luminoso.

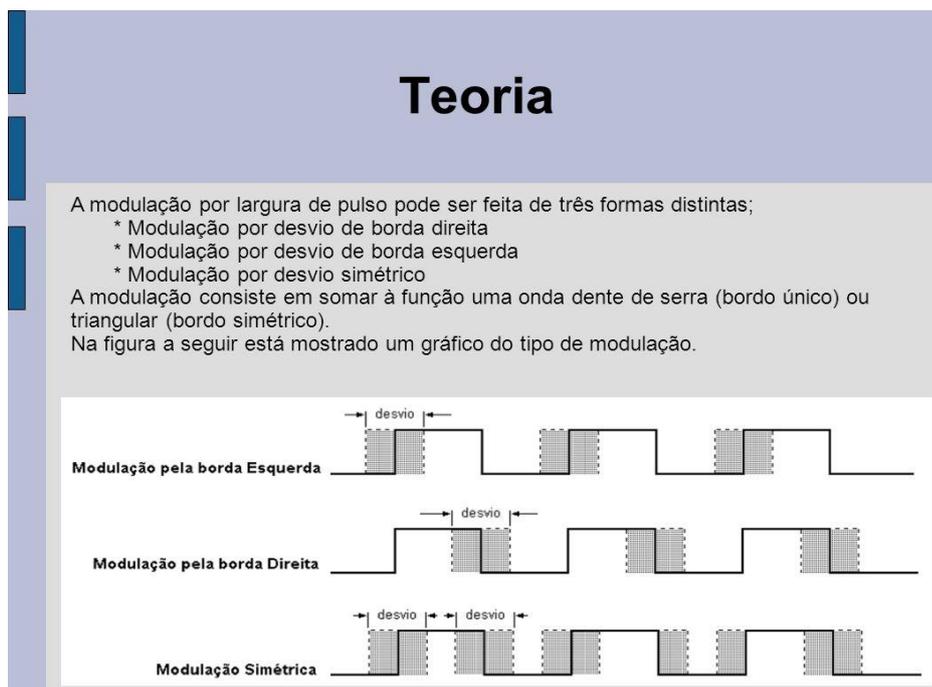
Classe da luminária	Fluxo luminoso em relação ao plano horizontal	
	Para cima (%)	Para baixo (%)
Direita	0 – 10	90 – 100
Semi - direita	10 – 40	60 – 90
Geral - difusa	40 – 60	40 - 60
Direita - indireta	40 – 60	40 - 60
Semi - indireta	60 – 90	10 - 40
Indireta	90 - 100	0 - 10

FONTE: Philips, 1981.

1.3.3. Modulação por largura de pulso

Uma maneira de controle da potência ou velocidade empregada em diversas áreas da eletrônica, talvez a mais comum seja a utilização em fontes chaveadas, mas também pode ser utilizada para controle de velocidade de motores, controle de luminosidade, controle de servo motores e diversas outras aplicações. Através de PWM (*Pulse Width Modulation*), ou Modulação por Largura de Pulso, é uma forma de controle de tensão por recorte onde os tiristores ou transistores de potência são ligados ou bloqueados de modo a obter na saída o valor de tensão desejada. Para exemplificação, na figura 10, é mostrado um gráfico de formas de onda PWM com larguras de pulso diferentes.

Figura 10. Exemplificação de formas de onda PWM.



FONTE: SOUZA & LAVINIA, 2003.

1.4. Justificativa

A iluminação artificial é responsável por 24% do consumo final de energia elétrica no Brasil. Um dos maiores usos finais em uma edificação escolar é a iluminação para edificações não climatizadas (sem ar condicionado). Neste contexto, um maior aproveitamento da iluminação natural, integrando adequadamente a iluminação natural e a artificial, auxiliaria em menor uso de energia com iluminação artificial. Em espaços iluminados de forma adequada através de iluminação natural e sistemas de controle de iluminação artificial, pode-se obter economia de energia em iluminação entre 30% e 70% (ALVAREZ, 1998; BAIRD; DONN; BRANDER; AUN, 1984; BENYA; HESCHONG et al., 2001; GHISI; LAMBERTS, 1997; MEIER; OLOFSSON; LAMBERTS, 2002). Dentro da classificação de consumo de energia, o setor de escolas representa uma parcela importante das edificações. Conclui-se que, entre os setores, é o que mais se utiliza de sistemas de iluminação ineficientes, esse setor é o que tem o maior potencial para se realizar estudos de eficiência energética na área de iluminação com resultados muito promissores.

Considerando-se a variabilidade da iluminação natural no interior da sala, serão estabelecidas diferentes situações de iluminação, segundo a quantidade de lâmpadas

a serem empregadas, para se alcançar o valor mínimo de 300 lux estabelecidos por "Critérios e Normativas Básicas de Arquitetura Escolar, 1998" e NBR 5413/92.

Sabendo que os níveis de iluminação de espaços interiores (vide tabelas 2 e 3), estabelecidos na Norma Brasileira Regulamentadora 5413, não são atingidos em todos os momentos, o que é prejudicial, principalmente, em ambientes de trabalho, e que o valor da conta de energia elétrica e tempo exigido para manutenção de sistemas de iluminação comumente utilizados podem ser reduzidos, pensou-se em desenvolver um sistema de iluminação automatizado, capaz de solucionar estes problemas.

A automação aparece, então, como ferramenta para controlar as ambientações possibilitadas pela iluminação artificial e ainda integrá-la a outros sistemas, como o de iluminação natural. Para este estudo, foi utilizado dois tipos de lâmpadas, sendo a fluorescente e a de LED tubulares.

Para este estudo, o método aplicado para avaliar e comparar a luz natural e artificial realizado no laboratório/sala de eletrônica, foi baseado em medições com a utilização de um luxímetro, através de pontos suficientes que concretizassem a distribuição da iluminância na sala. Para tanto, foi utilizado valores de referência nos procedimentos encontrados na NBR 15215-3 – ABNT – 2005, que serão mostrados nos quadros a seguir.

O sensor LDR (*Light Dependent Resistor*), Resistor Dependente de Luz, é capaz de variar uma resistência de acordo com a intensidade de luz que incide sobre ele, desta maneira é possível ter uma leitura e uma relação da intensidade de lux e a resistência.

Quando o foto-resistor LDR faz a leitura da intensidade de luz do ambiente, no caso a sala de aula e envia para o microprocessador e ele faz a conversão da luz para pulsos (PWM) do Gate do JFET. A fonte em CC de 85V/5A alimenta os barramentos do LED, modulando a intensidade da iluminação artificial de acordo com a incidência da luz natural. As tabelas 3 e 4 apresentam a iluminância (em lux) para cada grupo de tarefas visuais e os fatores determinantes da iluminância adequada, respectivamente.

Tabela 3. Iluminância (em lux) para cada grupo de tarefas visuais.

	Iluminância (Lux)	Tipo de Ambiente/Atividade	
Classe A (áreas de uso contínuo e/ou execução de tarefas simples)	20 – 30 - 50	Ruas públicas e estacionamentos	
	50 – 75 - 100	Ambientes de pouca permanência	
	100 – 150 - 200	Depósitos	
Classe B (áreas de trabalho geral)	200 – 300 - 500	Trabalhos brutos e auditórios	
	500 – 750 – 1.000	Trabalhos especiais: escritórios e fábricas	
	1.000 – 1.500 – 2.000	Trabalhos especiais: gravação, inspeção, indústrias de tecidos	
Classe C (áreas com tarefas visuais minuciosas)	2.000 – 3.000 – 5.000	Trabalho contínuo e exato: eletrônica	
	5.000 – 7.500 – 10.000	Trabalho que exige muita exatidão: placas eletroeletrônicas	
	10.000 – 15.000 – 20.000	Trabalho minucioso especial: cirurgia	

FONTE: ABNT, 2012.

Tabela 4. Fatores determinantes da iluminância adequada.

Características da tarefa e do observador	Peso		
	- 1	0	+ 1
Idade	Inferior a 40 anos	De 40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo e tarefa	Superior a 70%	De 30 a 70%	Inferior a 30%

FONTE: ABNT, 2012.

Atualmente a iluminação é responsável por aproximadamente 24% do consumo de energia elétrica no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial (Santos, 2007). Atualmente vários trabalhos desenvolvidos em pesquisa, mostram que a iluminação ineficiente é comum no Brasil. Portanto, sugere-se que uma combinação com lâmpadas, reatores e refletores eficientes, associados a hábitos saudáveis na sua utilização da energia elétrica, podem ser aplicados para reduzir o consumo. Uma das formas para a redução de custos de energia com eficácia, é a dimerização e a substituição das lâmpadas antigas de alto consumo por lâmpadas mais eficientes e durável.

Num circuito de controle de potência ou de brilho, também conhecidos pelo termo inglês “*dimmer*”, podendo ser usado em iluminação do tipo LED, com a aplicação da tecnologia PWM. O controle do brilho da lâmpada é determinado pela tensão aplicada e conseqüentemente pela intensidade da corrente circulante. A configuração do circuito de dimerização do LED, na grande maioria, se dá por meio da tecnologia PWM.

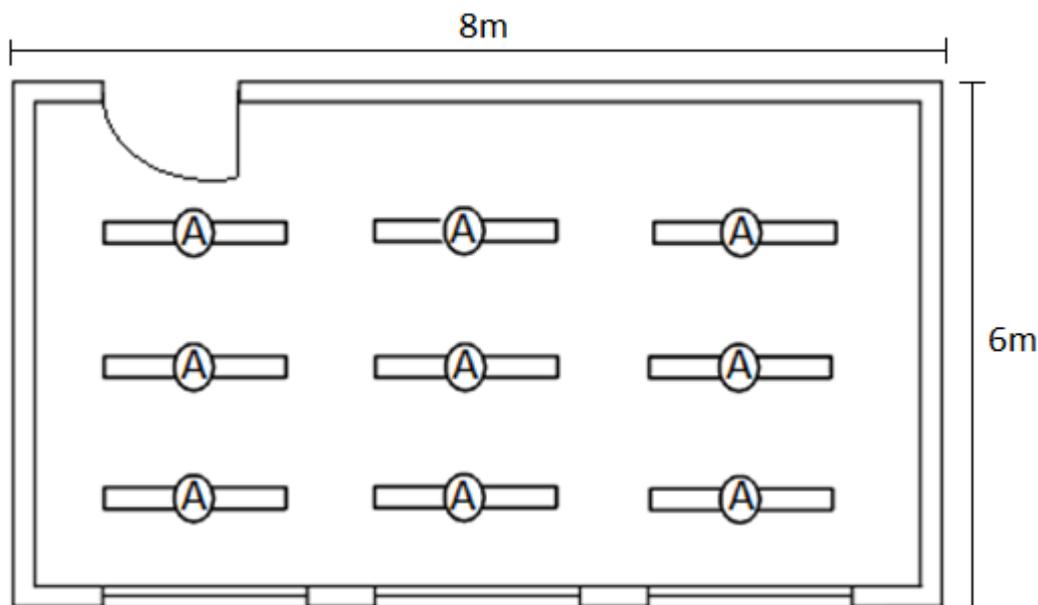
Atualmente o sistema de iluminação da sala em estudo, é composto por luminárias com duas lâmpadas cada do tipo fluorescente tubular T 10 de 40 W, que apesar de possuir uma certa eficiência, apresenta um consumo elevado se considerar que na sala de aula, com um número de oito pontos e que durante uma hora que as mesmas ficam ligadas, o somatório de potência atinge o valor aproximado de 640 watts por hora, como pode ser observado o número de pontos na figura 11.

No entanto, uma alternativa para a redução de consumo é a substituição por lâmpadas LED tubulares de 16 W, que não necessitam de reator, o qual esquenta, produz ruídos, gera perda de energia e diminui o tempo necessário para manutenção. Logo, ao substituir as lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas LED tubulares, além de diminuir o tempo necessário para realizar a manutenção, levando em conta que esta será ligada diretamente à rede elétrica e não necessita de auxílio de reator, pode-se afirmar que também serão reduzidos os custos e frequência de manutenções corretivas, considerando que a vida útil de uma lâmpada LED tubular é de até 50.000 horas, enquanto uma lâmpada fluorescente comum oferece vida útil de até 10.000 horas.

Comparando uma lâmpada fluorescente tubular comum, de 40W e 4.000K, com uma lâmpada LED Resistor Dependente de Luz (*Lighting Emitting Diodes*) tubular, de 16W e 6.400K, percebe-se uma economia de aproximadamente R\$ 2,90 mensal por lâmpada, considerando que a mesma fica acionada durante 12 horas diária, durante 22 dias por mês, com um custo de R\$ 0,45 kWh/mês, valor cobrado por kWh pela concessionária de energia local. As lâmpadas tubulares de LED do tipo T8 de 16W possuem luminosidade muito semelhantes às fluorescentes tubulares do tipo T10 de 40W, apresentando-se suficientes para a função na superfície de trabalho, ou seja, o fluxo luminoso da tubular fluorescente em questão é semelhante ao da LED que se pretende utilizar. No entanto, as diferenças entre as LEDs e as CFLs (Luzes Florescentes Compactas, do inglês *Compact Fluorescent Lights*), que na prática podem não ser significativas (elas variam bastante com a marca e o fabricante); mas

se considerar que as lâmpadas LEDs são ligeiramente mais eficazes do que as CFLs, então há que considerar lâmpadas LEDs com alguns lumens a menos.

Figura 11. *Layout* laboratório, com as respectivas disposições dos pontos de iluminação. Legenda: A – lâmpada.



FONTE: Autoria própria, 2017.

Os pontos internos foram determinados em um número mínimo para a verificação do nível de iluminância natural, que oferece um erro inferior a 10%. Cada ponto de luz é composto por luminárias com duas lâmpadas fluorescente tubular de 40W unitário. Para isso, foi determinado o Índice de Local (K), para iluminação direta, de acordo com a expressão abaixo:

Levantamento da Iluminação Natural:

Determinação do índice local (K)

É necessário obter o índice local (K), através da equação 1, para a determinação dos números de pontos para medição:

$$K = \frac{C \cdot L}{H \cdot (C + L)} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

H – altura entre o plano de trabalho e a parte inferior da verga da janela

C – comprimento do ambiente em metros

L – largura do ambiente em metros

Este índice determina tem como referência um número mínimo de pontos internos a serem medidos (Tabela 5), podendo ser aumentados caso haja necessidade de uma melhor caracterização da iluminância do ambiente.

Tabela 5. Índice de local (K).

K	Número de Pontos
$K < 1$	9
$1 \leq K < 2$	16
$2 \leq K < 3$	25
$K \geq 3$	36

FONTE: Manual de Iluminação – Ministério de Minas e Energia.

A cada ponto medido internamente, foi realizado a medição simultânea da iluminância. Este foi posicionado a uma altura equivalente a uma mesa de trabalho e permanecendo sempre no mesmo lugar e posição para não haver alteração dos dados, em um espaço externo sem obstrução da luz natural.

Todas os comparativos das medições, foram realizadas em dias de céu nublado e ensolarado, de modo a apresentar um resultado das distorções quanto à orientação das aberturas da sala de aula.

No decorrer das medições, foram verificados valores de iluminação externa bastante variados, isso se deve aos horários e as condições meteorológica do tempo no momento da coleta de dados. Esta variação de iluminação externa está associada a interna. Neste caso, o benefício da adoção FLD se confirma, correspondendo um indicativo constante. O Fator de Luz Diurna (FLD) é a razão entre a iluminação natural num determinado ponto num plano horizontal interno devido à luz recebida direta ou indiretamente da abóbada celeste com uma distribuição de iluminância conhecida, e a iluminação num plano horizontal externo produzida pela abóbada celeste totalmente desobstruída, expressa como uma percentagem (ABNT, 2003).

Criando um sistema automatizado, que controle a iluminação artificial de acordo com a iluminação natural, os níveis de iluminamento determinados na NBR 5413 serão alcançados, pois será feita a soma das duas fontes de iluminação, até que alcance o nível estipulado em norma.

Deve-se ressaltar que, além disso, o projeto pretende oferecer o controle da iluminação artificial de acordo com a iluminação natural, o que proporcionará

economia, visto que as lâmpadas não estarão ligadas em sua potência máxima em todos os momentos.

2. METODOLOGIA

Para desenvolvimento do projeto, agregaram-se os conhecimentos adquiridos no decorrer do curso de Pós-Graduação Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Setores Produtivos e conhecimentos adquiridos através da curiosidade despertada a partir do surgimento da ideia.

Num sistema inteligente de iluminação é necessário que haja controle e que se automatize o controle das lâmpadas; para isso, o sistema só liga as luzes necessárias para uma determinada tarefa, sem necessidade de excesso de luz, conservando assim energia.

No projeto de edifícios escolares, especificamente no que diz respeito ao laboratório de eletrônica, o sistema de iluminação tem fundamental importância, pois devem oferecer níveis adequados no interior do ambiente, de maneira tal em garantir o conforto visual a seus ocupantes, assim como favorecer a economia de energia elétrica usada na iluminação artificial. Na figura 11 está representado o *layout* dos pontos de iluminação atual do laboratório de eletrônica, no qual foram realizados os testes para este projeto.

Com os resultados depois de realizado o desenvolvimento do circuito do módulo através de cálculos do dimensionamento dos componentes e diagrama, iniciou-se a fase de montagem dos circuitos em uma matriz de contato (*proto-board*) e conseqüentemente a distribuição dos componentes conforme imagem abaixo. Após, foi realizado o levantamento de dados da sala de aula.

2.1. Ferramentas e Métodos utilizados para a Implementação do Projeto

Para atingir os objetivos do trabalho, desenvolveu-se um sistema automático de controle de luminosidade que otimiza o uso da energia, minimizando desperdícios, sem prejuízo a iluminação.

Para a implementação desse projeto de dimerização, que é o controle automático de acionamento das lâmpadas, foi utilizado um sistema onde se aplicou um microcontrolador para efetuar e modular o controle de iluminação, bem como a utilização das ferramentas necessárias para a elaboração e a compilação do programa, além de ferramentas para elaboração do circuito em ambiente gráfico.

2.2. Descrição de funcionamento do circuito

O sensor LDR (light dependent resistor ou em português resistor dependente de luz) é capaz de variar sua resistência de acordo com a intensidade de luz que incide sobre ele, desta maneira é possível ter uma leitura e uma relação da intensidade de luz e a resistência.

Quando a foto resistor LDR faz a leitura da intensidade de luz do ambiente, no caso a sala de aula e envia para o microprocessador e ele faz a conversão da luz para pulsos (PWM) do Gate do JFET. A fonte em CC de 85V alimenta os barramentos do LED, modulando a intensidade da iluminação artificial de acordo com a incidência da luz natural.

2.3. Ciclo de desenvolvimento

Considerando-se a variabilidade da iluminação natural no interior da sala, serão estabelecidas diferentes situações de iluminação, segundo a quantidade de lâmpadas a serem empregadas, para se alcançar o valor mínimo de 300 lux estabelecidos por "Critérios e Normativas Básicas de Arquitetura Escolar, 1998" e NBR 5413/92, em sala de aula. Assim, como os valores de iluminância adequados, permite ao aluno desempenhar suas atividades com conforto e segurança durante a jornada de estudos.

Dados coletados de iluminância das leituras dos sensores localizados nos ambientes internos demonstram que as iluminâncias internas do ambiente não se mantiveram semelhantes, pois há uma enorme diferença de luminosidade quando há influência da luz natural com a artificial. Também, conforme o horário de medição, há uma grande diferença nos valores de iluminância. No intervalo compreendido entre 13h:00min e 15h:00min a iluminância no ambiente do laboratório, com a luz natural, se manteve com pouca alteração. No entanto, tal situação inverte-se a partir das 15h:00min quando a iluminância no ambiente é bem inferior, fato que se mantém até as 17h:00min, quando as leituras foram encerradas, ou seja, com a incidência da luz natural o ambiente interno apresentou um nível de luminosidade superior. A partir das 15h:00min o ambiente interno passou a ter níveis de iluminância menores. Já com as

cortinas fechadas, quando foi utilizado a iluminação artificial, não houve uma mudança significativa nos valores coletados, como também nas medições externas.

No projeto de edifícios escolares, especificamente no que diz respeito ao laboratório de eletrônica, o sistema de iluminação tem fundamental importância, pois devem oferecer níveis adequados no interior do ambiente, de maneira tal em garantir o conforto visual a seus ocupantes, assim como favorecer a economia de energia elétrica usada na iluminação artificial.

Considerando-se a variabilidade da iluminação natural no interior da sala, serão estabelecidas diferentes situações de iluminação, segundo a quantidade de lâmpadas a serem empregadas, para se alcançar o valor mínimo de 300 lux estabelecidos por "Critérios e Normativas Básicas de Arquitetura Escolar, 1998" e NBR5413/92.

Neste projeto, apresenta-se a implementação de um sistema de controle de luminosidade de ambientes internos, utilizando foto resistor, conectado a um sistema microcontrolado, que atua diretamente nas lâmpadas, aumentando ou diminuindo sua intensidade, de acordo com as informações obtidas pelo sensor LDR, obtendo assim um sistema mais confiável, flexível e econômico.

As luminárias foram definidas, considerando-se que as mesmas se encontram no teto e que a sala de aula conta com piso escuro, teto e paredes claras. Além disso, considerou-se o uso de lâmpadas tipo LED de 1600 lm.

2.4. Características do laboratório

A sala usada nos testes possui uma área de 48 m², pé direito elevado (4,0 m do piso), piso tipo parquet na cor escura, as paredes são espessas do tipo alvenaria (25 cm) na cor areia (Figura 14). O teto foi construído com laje sendo a pintura na cor branca. As três aberturas envidraçadas laterais estão a 30 cm de altura do chão, possuindo uma altura de 2,70 m, com dois metros de largura. Também possui quadro branco e bancadas para a realização de tarefas e ensaios práticos na área de eletrônica.

Figura 14. Imagem estrutura interna/Sala do Laboratório de Eletrônica.

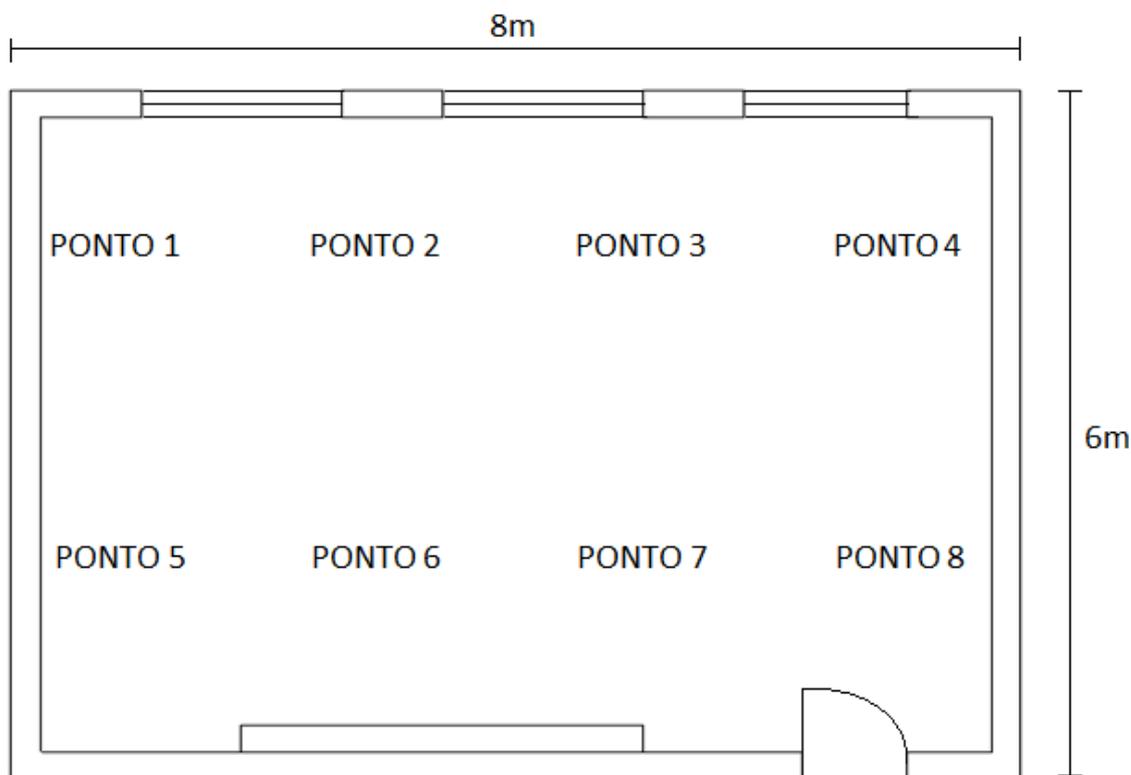


FONTE: Autoria própria, 2017.

2.5. Medição do fluxo luminoso do laboratório de eletrônica

As medições da iluminância foram realizadas em oito pontos do laboratório de eletrônica da escola. Essa quantidade de pontos foi estimada para que as linhas formassem uma área o mais próximo de um retângulo, respeitando as características da sala, sendo que o ponto de medição de cada área deveria ser localizado a uma distância aproximada de dois metros um do outro, como pode ser observado na figura 15.

Figura 15. Planta baixa da sala, com respectivas marcações dos pontos de medições.



FONTE: Autoria própria, 2017.

O laboratório possui uma área de 48 m², teto com uma altura de 4 m, paredes na cor clara e de alvenaria, utilizando a luz artificial, sendo um somatório de 08 luminárias (2x40W) cada. Para cada ponto da sala foram feitas três medições. A coleta de dados foi realizada no período do dia, entre as 08h:00min e 17h:00min, sendo que três medições em cada turno foram realizadas com as cortinas que protegem as janelas fechadas e as outras três coletas com as cortinas das janelas abertas. Também foram feitas três medições na área externa, sendo que alguns momentos com a luz solar e outros com o tempo nublado ou chuvoso. A verificação dos valores da iluminância foi realizada com a utilização de dois aparelhos luxímetros digital da marca ICEL Manaus, modelo LD-550. Durante a coleta dos dados o luxímetro foi posicionado sobre as mesas da sala em cada ponto pré-determinado, de acordo com o plano de trabalho e na parte externa em cima de uma bancada, sendo este o plano de trabalho dos alunos.

Tabela 6. Refletância.

Cor	Grau de Reflexão	Tipo de Material	Grau de Reflexão
Branco	70 até 80%	Madeira	70 até 80%
Preto	3 até 7%	Concreto	3 até 7%
Cinza	20 até 50%	Tijolo	20 até 50%
Amarelo	50 até 70%	Rocha	50 até 70%

FONTE: Tabelas Iluminotécnica. IA/Unicamp.

2.6. Ferramentas de Hardware e Software utilizadas na implementação do projeto

2.6.1. Microcontroladores

O microcontrolador é um dispositivo semicondutor em forma de circuito integrado, que integra as partes básicas de um microcomputador - microprocessador, memórias não-voláteis e voláteis e portas de entrada e saída. Geralmente, é limitado em termos de quantidade de memória, principalmente no que diz respeito à memória de dados, é utilizada em aplicações específicas, ou seja, naquelas que não necessitam armazenar grandes quantidades de dados, como automação residencial, automação predial, automação industrial e automação embarcada. (GIMENEZ, 2005).

Há vários os fornecedores de microcontroladores no mercado, sendo que os principais, em termos de volume de vendas no Brasil, são: (PAIOTTI, 2009).

- Microchip Technology Inc. (<http://www.microchip.com>);
- Intel Corporation (<http://www.intel.com>);
- Atmel Corporation (<http://www.atmel.com>); e
- Texas Instruments (<http://www.ti.com>);

O microcontrolador modelo Atmega 328P faz parte da popular família de microcontroladores de 8 bits CMOS baseado na arquitetura AVR do Arduino, foi utilizado neste projeto, ver figura 16, foi escolhido devido à quantidade de portas de entrada e saída existentes, podendo ser acrescentados dispositivos como displays, botões de configurações, entre outros, também devido à facilidade de implementação e montagem em circuito.

Figura 16. Microcontrolador da família AVR utilizado no Arduino UNO (ATmega328P-PU).



FONTE: ATMEL, 2017.

O microcontrolador ATmega328P faz parte da popular família de microcontroladores de 8 bits CMOS baseado na arquitetura AVR lançada pela ATMEL. Este microcontrolador possui altíssima performance podendo executar instruções com um ciclo de *clock*, fazendo com que o mesmo alcance 1 MIPS/MHz (1 Milhão de Instruções por Segundo por Mega Hertz), possibilitando ao programador otimizar o projeto combinando consumo de potência versus velocidade de processamento.

O ATmega328P é utilizado nas placas ARDUINO UNO e oferece performance que permite executar desde um simples programa que faz piscar um LED até um controle de um robô ou ainda um programa de controle de acesso controlado por rede.

Especificações:

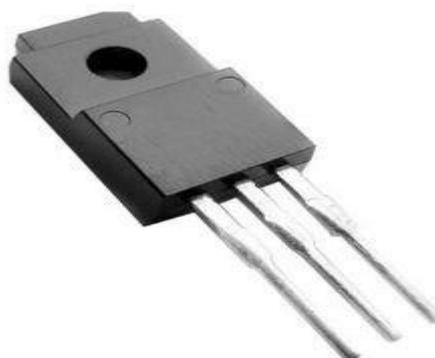
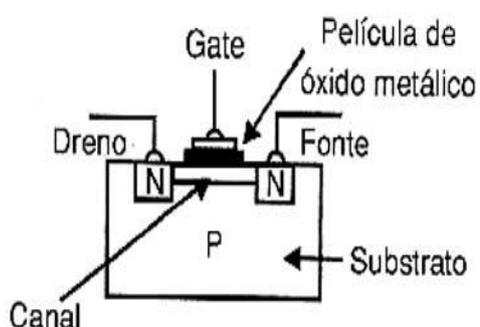
- Microcontrolador: ATmega328P;
- Tensão de operação: 1,8-5,5v;
- Pinos de entrada/saída I/O digitais: 23 (das quais 6 podem ser PWM);
- Pinos de entradas analógicas: 6;
- Frequência de operação: 20MHz máx;
- Memória EEPROM: 1K;
- Memória SRAM: 2K;
- Memória Flash: 32K (dos quais 2K são usados pelo bootloader).

2.6.2. Transistor Mosfet

Transistor MOSFET (acrônimo de Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, ou transistor de efeito de campo metal - óxido - semiconductor - TECMOS), é, de longe, o tipo mais comum de transístores de efeito de campo em circuitos tanto digitais quanto analógicos. Seu princípio básico foi proposto pela primeira vez por Julius Edgar Lilienfeld, em 1925.

É um dispositivo semiconductor de efeito de campo em circuitos digitais ou analógicos (Figura 17). Eles são usados em vários circuitos para conversão de voltagens. Um MOSFET tem quatro terminais de semicondutores, chamados de fonte (source), comporta (gate), dreno (drain) e corpo. A fonte e dreno estão localizados no corpo do transistor, enquanto o gate está acima desses três terminais, posicionado entre a fonte e o dreno. O gate é separado dos outros terminais por uma fina camada de isolamento.

Figura 17. Transistor Mosfet SSS6N660A-K2141.



FONTE: JC, 2017.

2.6.3. Resistores

Resistores são componentes que têm por finalidade oferecer uma oposição à passagem de corrente elétrica, através de seu material. A essa oposição se dá o nome de resistência elétrica ou impedância, que possui como unidade o ohm. Causam uma queda de tensão em alguma parte de um circuito elétrico, porém jamais causam quedas de corrente elétrica, apesar de limitar a corrente. Isso significa que a corrente elétrica que entra em um terminal do resistor será exatamente a mesma que sai pelo

outro terminal, porém há uma queda de tensão. Utilizando-se disso, é possível usar os resistores para controlar a corrente elétrica sobre os componentes desejados.

Os resistores podem ser fixos ou variáveis. Neste caso são chamados de *potenciômetros* ou *reostatos*. O valor nominal é alterado ao girar um eixo ou deslizar uma alavanca. Um *resistor ideal* é um componente com uma resistência elétrica que permanece constante independentemente da tensão ou corrente elétrica que circula pelo dispositivo. O valor de um resistor de carbono pode ser facilmente identificado de acordo com as cores que apresenta na cápsula que envolve o material resistivo, ou então usando um ohmímetro (Figura 18).

Figura 18. Simbologia e tipo de resistores.



FONTE: www.feiradeciencias.com.br, 2017.

2.7. Componentes Eletrônicos usados no projeto

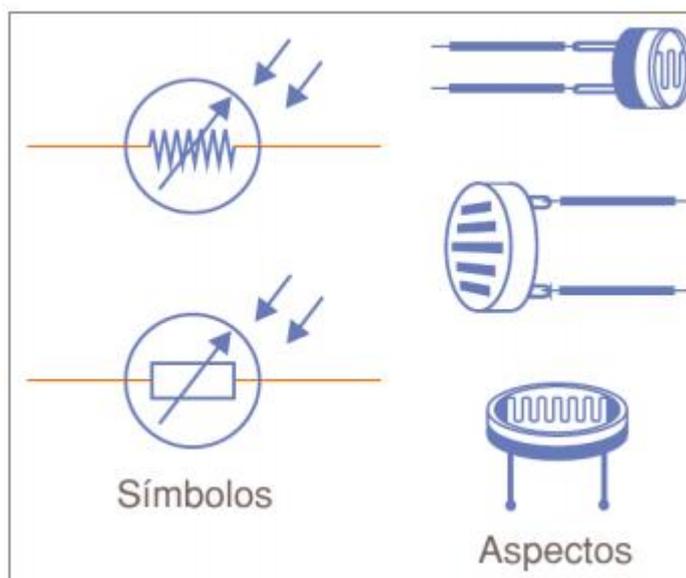
2.7.1. LDR – Resistor Dependente de Luz

O sensor foto resistor LDR 5mm foi o escolhido para o projeto, onde o qual faz a leitura da intensidade de luz do ambiente que incide sobre ele, por ser um micro fotodetector mais simples existente, chamado também de célula ou dispositivo de fotocondução. A fotocondutividade é o fenômeno pelo qual a condutividade de um material varia assim que a intensidade de luz sobre ela é alterada. (REZENDE, 2004). O LDR age em função da quantidade de luz incidente em sua superfície sensível. Como o próprio nome diz é um resistor dependente de Luz. Em muitos casos são confundidos com fotocélulas, porém a diferença entre os dois é enorme, sendo que a

mesma é responsável por captar a energia luminosa e transformar em energia elétrica. (SABER ELETRÔNICA, 2008).

Na figura 19 é mostrada a simbologia usada para representar um LDR e seus variados aspectos encontrada.

Figura 19. Simbologia e Aspectos de um LDR.



FONTE: SABER ELETRÔNICA,2008.

O dispositivo LDR tem a superfície sensível composta por uma substância chamada Arsenieto de Gálio (GaAs), sendo este possui a propriedade de alterar a resistência de acordo com a incidência da luz. A explicação para esse evento deve-se ao fato de que as partículas de luz incidentes no material liberam elétrons do material, alterando assim sua resistividade. Quanto maior for a liberação de elétrons, menor será a resistência. São grandezas inversamente proporcionais.

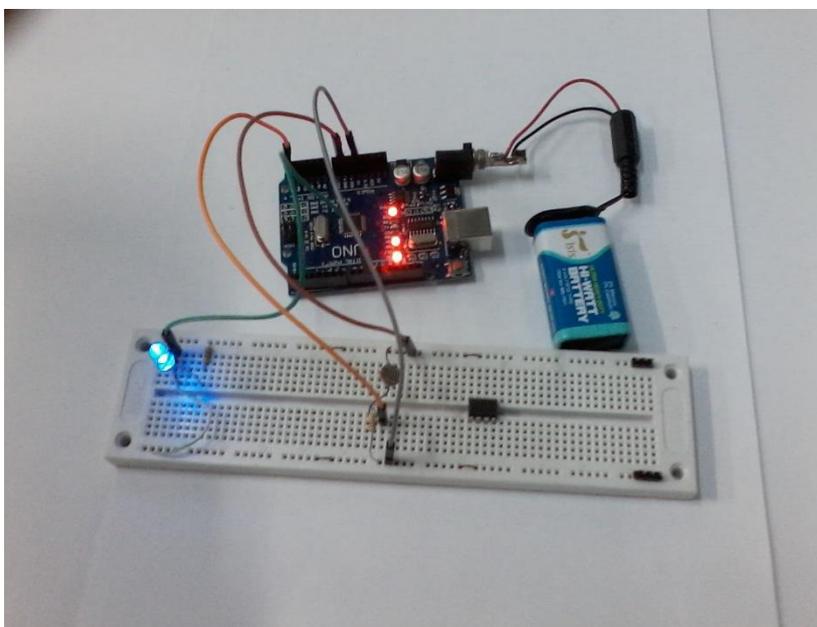
2.7.2. Testes para escolha do LDR

De acordo com o exposto acima, o sensor utilizado neste projeto é o LDR. Por meio da leitura da intensidade de luz é que o microcontrolador Atmega 328P determina os ajustes a serem efetuados na potência aplicada à lâmpada do tipo LED. Na etapa inicial do projeto protótipo, foram realizados vários testes, com a finalidade definir o LDR e os ajustes que seriam mais adequados ao uso neste projeto, visto que no

mercado foram encontrados três tamanhos diferentes de LDR (denominados de LDR pequeno, médio e grande), cuja variação de resistência é diferente para cada tamanho.

No entanto, foi optado por um LDR pequeno, pois é o mais adequado para o sistema em estudo (Figura 20). Após os testes iniciais, houve duas falhas na elaboração do mesmo. Essas falhas na primeira tentativa, foi que o transistor BC 547 não atuou no circuito como o esperado. O mesmo não fez a regulação da potência sobre a carga, neste caso, a lâmpada era do tipo LED tubular.

Figura 20. Imagem dos testes com a lâmpada LED acesa.



FONTE: Autoria própria.

A segunda tentativa, foi com um circuito oscilador, utilizando o CI 555 e foi verificado o uso de microprocessador, para fazer a variação da intensidade luminosa desejada, através do PWM (modulação por largura de pulso). Concluí-se que esse sistema não apresentava um desempenho desejado para a solução do projeto do protótipo.

Após várias tentativas, se chegou aos dispositivos que seriam o ideal para a confecção do circuito, sendo que na sequência, foram feitos os testes finais com a lâmpada do tipo LED, comparando a medição da luminosidade com luz artificial e natural.

Os testes com o sistema foram realizados com interferência de fonte luminosa, como a da luz natural e artificial usando um luxímetro, sendo que as luzes do laboratório foram ligadas para se atingir os objetivos propostos que são o de fazer com que o fluxo luminoso se comporta com relação as variações. Para obtenção dos dados foi iniciado o experimento com as luminárias ligadas, observando o valor da tensão (V) que o sistema operava, do iluminamento (Lux) tanto interno como externo. Os dados obtidos das medições sobre a iluminância da luz artificial são apresentados nas tabelas 8, 9 e 10 e nas tabelas 11, 12, 13 e 14 a comparação do valor de FLD.

Conforme nas figuras 15 e 17 e na tabela foi realizado uma comparação entre a iluminação natural e artificial, com o sistema proposto, sendo que em alguns momentos com tempo nublado/chuvoso e outros ensolarados. Com o levantamento dos valores da medição computado, deu para perceber que quando a iluminação natural aumentava, a artificial diminuía e vice-versa. Conclui-se que quando o sistema atua, conforme a situação climática, há uma redução do fluxo luminoso e por sua vez de consumo, pois havendo a incidência da luz natural na sala com mais intensidade, há uma diminuição da luz artificial, que conforme o momento, se comporta em torno de 50 lux, quase imperceptível. Ocorre que quando houver uma incidência de luz muito alta no sensor, a lâmpada desliga. No entanto, quando a luminosidade natural abaixar ao um valor de aproximadamente 0% de lux de acordo com a situação climática, a iluminação artificial atinge valores de 100% de lux.

Isso ocorre por causa da diminuição da corrente na lâmpada de LED (ID - corrente direta), também ocorre uma diminuição da potência dissipada e a temperatura do mesmo, como resultado aumenta a vida útil da lâmpada.

Pelo levantamento usado com protótipo, percebeu-se que conforme a luz natural aumentava, diminuía a artificial, com isso, deixava de ser utilizado a luz artificial.

Os testes finais foram realizados junto as bancadas do laboratório, com uma lâmpada LED tubular do tipo T8 de 16W. Foi, no entanto, mostrado que o sistema de dimerização automático funcionou de maneira correta, alterando a intensidade luminosa dos LEDs conforme a demanda da intensidade de luz.

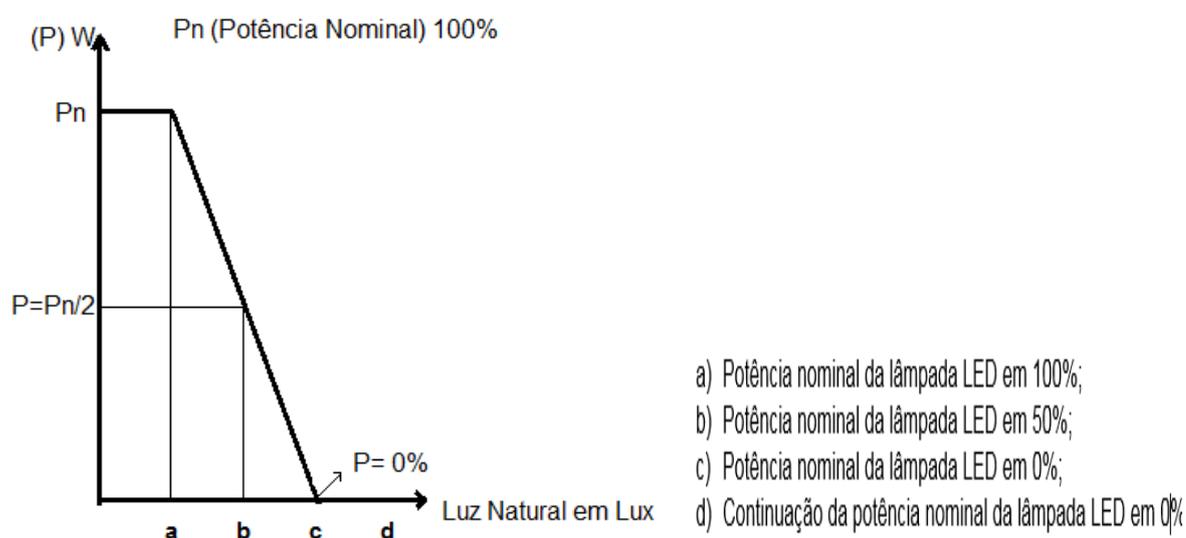
Ao contrário do que por vezes se supõe, os redutores de fluxo luminoso não interferem negativamente com a durabilidade da lâmpada. Pelo contrário: a redução dos níveis de intensidade de iluminação aumenta essa durabilidade, no caso de lâmpada tubular de LED.

Reduzindo o fluxo da lâmpada em 50% é reduzido o consumo elétrico - para além de melhor poder responder às necessidades do cada momento: leitura, sala de aula, etc.

Com a aplicação deste sistema de gestão de energia com luminárias LEDs, alterando os níveis luminosos, é possível efetuar uma redução no consumo. Garante também a adaptação do nível de iluminação adequado para as necessidades do local e dos diferentes períodos dos turnos do dia.

A economia se dará através da potência dissipada na lâmpada, pois sua luminosidade depende da intensidade de luz natural sobre o sensor, conforme gráfico (Figura 21) abaixo:

Figura 21. Relação entre a luz natural e a luz artificial.

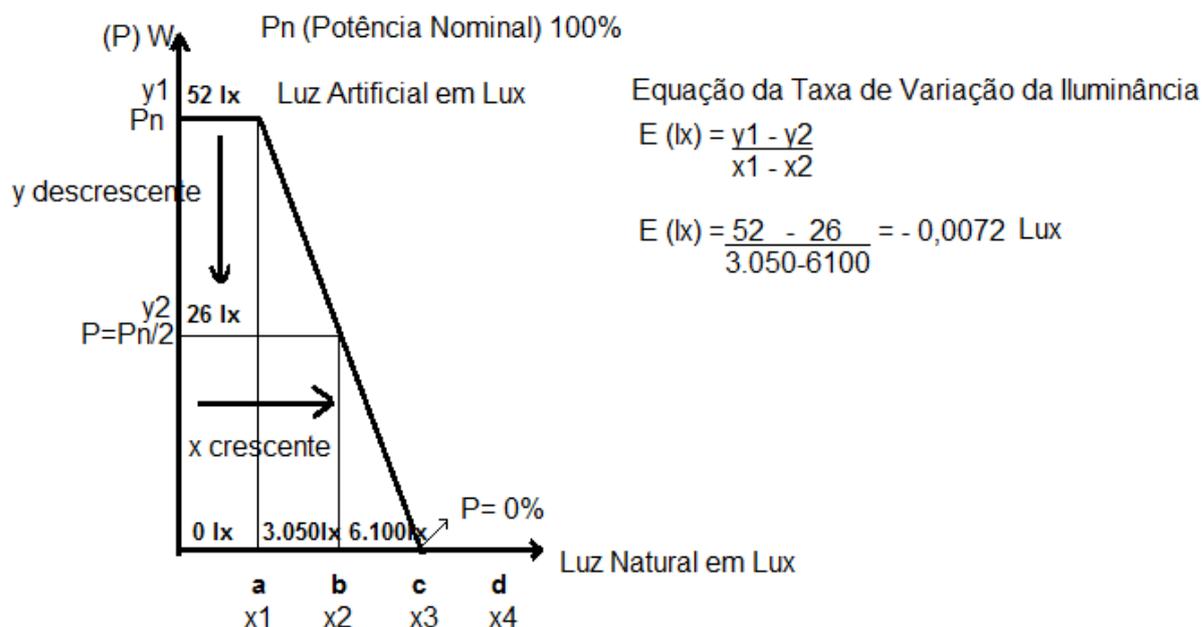


FONTE: Autoria própria, 2017.

Os valores de medições da iluminância usados na equação do gráfico da figura 22, foram extraídas da tabela 16, onde foi utilizado o sistema automatizado, com o tempo ensolarado, no horário das 13 horas.

O gráfico da figura 22 tem uma função decrescente, isto é, tem uma reta que desce da esquerda para a direita, que fornece uma declividade da reta negativa.

Figura 22. Equação para cálculo da taxa de variação.



FONTE: Autoria própria, 2017.

O controle automático de iluminação gerencia o brilho da lâmpada ao longo do dia pode gerar economia de energia. Assim, com o sistema de dimerização onde o ajuste do brilho é suave e preciso, fazendo com que o sistema de iluminação não trabalha sempre com a potência máxima, dependendo da luminosidade natural. Para exemplificar o processo, quando há a incidência menor da luz natural no LDR, aumenta o brilho do LED e se a luz natural que incide no LDR for alta, o brilho da luz é reduzido e vice-versa. Essa modulação do nível de iluminância, se dá gradativamente de acordo com a relação da intensidade de luz natural e artificial. Com isso, além de consumirem menos energia, tem a sua vida útil ampliada.

Para efeito de comparação no resultado da aplicação deste sistema de controle automatizado, ao reduzir o brilho emitido por uma lâmpada em 10%, percebe-se que há uma mudança significativa na iluminação do ambiente. Assim também com irá obter uma economia real de 10%, além de dobrar a vida útil da lâmpada.

A tabela 7 ilustra o quanto pode ser economizado individualmente e o aumento da vida útil ao regular o brilho de cada lâmpada. (Bluelux, 2015).

Tabela 7. Tabela de quantidade de brilho reduzida, economia de energia e aumento da vida útil, devido a regularização do brilho de cada lâmpada.

Quantidade de brilho reduzida	Economia de energia	Aumento da vida útil
10%	10%	2 – 3 vezes
25%	20%	3 – 6 vezes
50%	40%	Mais de 10 vezes

FONTE: Bluelux, 2015.

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com a aplicação da metodologia apresentada anteriormente, foram obtidos os valores da iluminância em cada ponto avaliado com o uso de luxímetros. As tabelas 8, 9 e 10 apresentam, respectivamente, os valores da iluminância obtidos nas medições realizadas no laboratório. Sendo os valores obtidos da primeira tabela com a utilização de oito luminárias, onde as mesmas possuem duas lâmpadas fluorescente tipo tubular de 2x40W e a segunda tabela foi utilizado no projeto.

Os dados foram baseados num total de 12 horas diárias, que é o tempo que as salas de aula são utilizadas com alunos nos turnos do dia, durante 22 dias por mês, num período de 12 meses por ano. Anualmente, tem-se economia de R\$ 29,90. O cálculo realizado levou em conta a substituição de apenas uma lâmpada. Logo, ao substituir todo o sistema de iluminação, será perceptível uma grande economia.

O custo do investimento para a confecção do circuito, foi relativamente baixo, ficando em torno de R\$ 20,00, proporcionando com isso uma economia e também pelo fato de desativar a lâmpada quando o nível de iluminação é fornecido por via natural. Com o uso deste tipo de lâmpada (que por si só já reduzem consideravelmente o consumo, durabilidade, associadas às técnicas de automação) são uma interessante alternativa para projetos de iluminação, pois podem propiciar uma redução de consumo energia, ainda mais acentuada, conforme tabela 8.

Tabela 8. Componentes eletrônicos com respectivos valores.

Quantidade	Componente	Preço (R\$)
01	Transistor Mosfet K2141	1,00
01	Microprocessador ATmega 328P	12,00
01	Micro sensor LDR	1,00
01	Resistor 10K	0,50
01	Placa de circuito	6,00

FONTE: Autoria Própria, 2017.

Tabela 9. Médias das Medições da iluminância no Laboratório de Eletrônica em (lux).

Com as cortinas fechadas (luz artificial) às 13h				Com as cortinas abertas (luz artificial) às 13 h			
126	180	193	145	480	485	430	490
190	290	210	205	285	380	270	265

Obs. Iluminância com a luz natural (com sol) 580 lux.

Tabela 10. Médias das Medições da iluminância no Laboratório de Eletrônica em (lux).

Com as cortinas fechadas (luz artificial) às 15h				Com as cortinas abertas (luz artificial) às 15 h			
160	227	190	132	285	470	305	406
208	296	245	202	245	332	257	208

Obs. Iluminância com a luz natural (nublado) 512 lux.

Tabela 11. Médias das Medições da iluminância no Laboratório de Eletrônica em (lux).

Com as cortinas fechadas (luz artificial) às 17h				Com as cortinas abertas (luz artificial) às 17 h			
140	232	202	135	172	267	220	186
207	282	235	188	220	305	266	212

Obs. Iluminância com a luz natural (nublado) 415 lux.

Analisando as tabelas 9, 10 e 11, onde apresenta os valores de medição, pode-se observar que os mesmos apresentados com a luz artificial, encontram-se inferiores ao nível mínimo de iluminância estabelecido pela norma e com a incidência da luz natural ficou superior à média do recomendado pela norma.

Como medida de correção, sugere-se a implantação de iluminação suplementar através da colocação de luminárias individuais para cada posto de trabalho e, de acordo com a necessidade de maior ou menor intensidade em cada caso, sendo tomadas as devidas precauções para que o excesso de iluminamento não gere ofuscamentos, reflexos ou sombras no estudante.

3.1. Fator de luz diurna (FLD)

É a razão entre a iluminação natural num determinado ponto num plano horizontal interno devido à luz recebida direta ou indiretamente da abóbada celeste com uma distribuição de iluminância conhecida, e a iluminação num plano horizontal externo produzida pela abóbada celeste totalmente desobstruída, expressa como uma percentagem (ABNT, 2003).

O fator de luz diurna representa a parcela de luz difusa proveniente do exterior que atinge o um ponto posicionado no plano de trabalho. É um número constante e característico de cada ambiente, que caracteriza a eficiência do local quanto à iluminação natural.

$$\text{FLD} = \frac{\text{Iluminação interna}}{\text{Iluminação externa}}$$

$$\text{FLD} = \frac{480}{580} \quad \text{FLD} = 0,82\% \text{ (Exemplo de cálculo da tabela 11)}$$

Para analisar um sistema e sua contribuição da iluminação natural recebida no interior de um ambiente pode-se utilizar o conceito de Fator de Luz Diurna (FLD).

Segundo a Norma Brasileira de Iluminação Natural (NBR 15215-2004), o FLD é expresso pela seguinte fórmula: $\text{FLD} = \text{Ep}/\text{Ee} \times 100$ [Eq. 01] onde Ep é a iluminância num ponto interno e a Ee é a iluminância num ponto externo desobstruído. Neste trabalho o FLD só pode ser computado nos momentos em que a iluminância externa foi inferior a 10.000 lux, por limitação dos equipamentos de medição (os sensores utilizados tinham como limite superior na leitura de iluminância, o valor de 20.000 lux).

Tabela 12. Valores de FLD, Unidade Escolar Frederico Guilherme Schmidt, laboratório de eletrônica.

Ponto (13 h)	Iluminação Artificial (Lux)	Iluminação Natural (Lux)	FLD (%)	Ponto (15 h)	Iluminação Artificial (Lux)	Iluminação Natural (Lux)	FLD (%)
1	480	580	0,82	1	285	512	0,55
2	785	580	1,35	2	470	512	0,91
3	430	580	0,74	3	305	512	0,59
4	690	580	1,18	4	406	512	0,79
5	285	580	0,49	5	245	512	0,47
6	380	580	0,65	6	332	512	0,64
7	270	580	0,46	7	257	512	0,50
8	265	580	0,45	8	218	512	0,42

Tabela 13. Valores de FLD, do laboratório de eletrônica (cortinas abertas).

Ponto (17 h)	Iluminação Artificial (Lux)	Iluminação Natural (Lux)	FLD (%)
1	172	415	0,41
2	267	415	0,64
3	220	415	0,53
4	186	415	0,44
5	220	415	0,53
6	305	415	0,73
7	266	415	0,64
8	212	415	0,51

Obs. Média de iluminância dos pontos internos luz artificial 311,29 (Lux)

Média de iluminância natural 502,33 (Lux)

Fator de luz do dia médio 0,61%

Considerando-se que o FLD adequado para salas de aula maior que 2%.

Portanto, conclui-se que o laboratório possui o FLD inadequado.

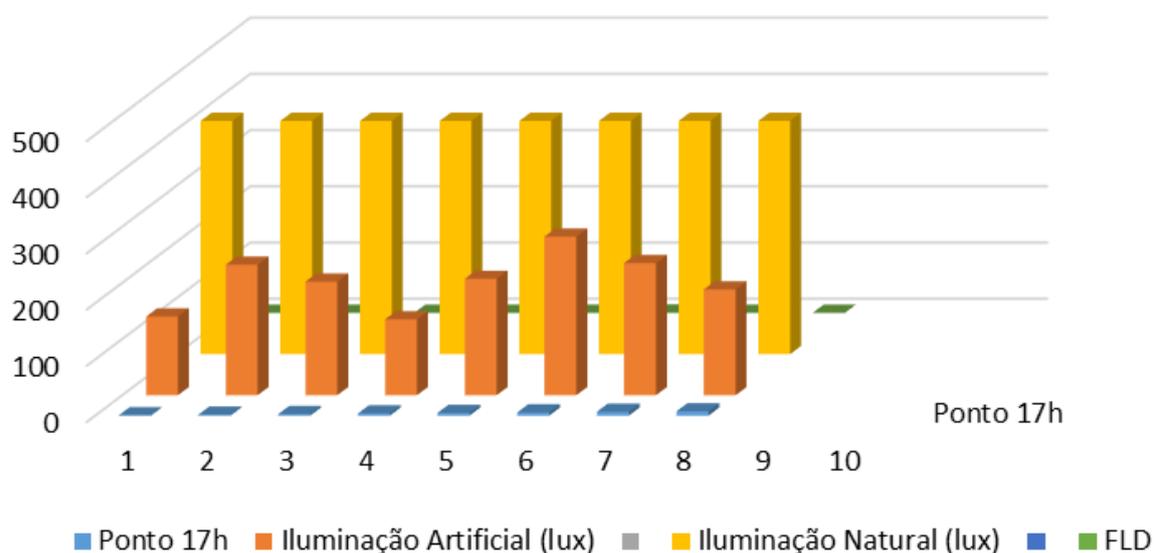
Considerando-se a iluminância da média adequada para salas de aula 300 Lux.

Portanto, conclui-se que o laboratório possui iluminância adequada.

Tabela 14. Valores de FLD, Unidade Escolar Frederico Guilherme Schmidt, laboratório de eletrônica.

Ponto (13 h)	Iluminação Artificial (Lux)	Iluminação Natural (Lux)	FLD (%)	Ponto (15 h)	Iluminação Artificial (Lux)	Iluminação Natural (Lux)	FLD (%)
1	126	580	0,21	1	160	512	0,31
2	180	580	0,31	2	227	512	0,44
3	193	580	0,33	3	190	512	0,37
4	145	580	0,25	4	132	512	0,25
5	190	580	0,32	5	208	512	0,40
6	290	580	0,50	6	296	512	0,57
7	210	580	0,36	7	245	512	0,47
8	205	580	0,35	8	202	512	0,39

Figura 23. Gráfico com os valores de FLD do laboratório de eletrônica (cortinas fechadas).



Fonte: Autoria própria, 2017.

Obs. Média de iluminância dos pontos internos luz artificial 200,83 (Lux)

Média de iluminância natural 502,33 (Lux)

Fator de luz do dia médio 0,39%

Considerando-se que o FLD adequado para salas de aula maior que 2%.

Portanto, conclui-se que o laboratório possui o FLD inadequado.

Considerando-se a iluminância da média adequada para salas de aula 300 Lux.

Portanto, conclui-se que o laboratório possui iluminância inadequada.

Tabela 15. Médias das Medições da iluminância no Laboratório de Eletrônica em (lux) com o sistema automatizado.

Horário	Iluminação Natural (Lux)	Iluminação Artificial (Lux)
08 h	432	256
10 h	510	216
12 h	580	265
13 h	672	274
15 h	480	285
17 h	195	580

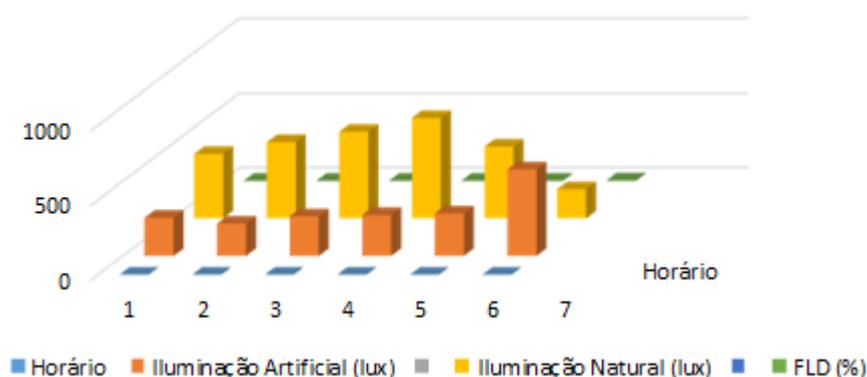
Obs. Iluminância com a luz natural externa (tempo nublado/ chuvoso).

Tabela 16. Médias das Medições da iluminância no Laboratório de Eletrônica em (lux) com o sistema automatizado.

Horário	Iluminação Natural (Lux)	Iluminação Artificial (Lux)
08 h	850	380
10 h	1.750	196
12 h	5.100	89
13 h	6.100	52
15 h	3.720	143
17 h	525	193

Obs. Iluminância com a luz natural externa (tempo ensolarado).

Figura 24. Gráfico com os valores de FDL com o sistema automatizado do laboratório de eletrônica (tempo nublado/chuvoso).



Fonte: Autoria própria, 2017.

Obs.: Média de iluminância da luz artificial da tabela 16 é de 312,66 (Lux)

Média de iluminância da luz natural da tabela 16 é de 478,16 (Lux)

Fator de luz do dia médio 0,90%

Considerando-se que o FLD adequado para salas de aula maior que 2%.

Portanto, conclui-se que o laboratório possui o FLD inadequado.

Considerando-se a iluminância da média adequada para salas de aula 300 Lux.

Portanto, conclui-se que o laboratório possui iluminância adequada.

Como se observa nas tabelas acima dos dados de medição através de luxímetro, nenhum dos pontos alcançou o valor mínimo de 300 lux estabelecidos por "Critérios e Normativas Básicas de Arquitetura Escolar, 1998" e NBR 5413/92. A

porcentagem do FLD que se considera adequado para salas de aula tem que ser maior que 2%, isto significa o resultado da relação entre a iluminação interna e externa. Essa melhoria que se obtém quando se passa da luz natural para a luz composta. Segundo a norma IES – Illuminating Engineering Society (1961), os resultados do FLD são muito semelhantes à norma brasileira, ou seja, a sala do laboratório enquadra-se em “tarefas visuais com alto contraste e pequenas dimensões, ou baixo contraste e grandes dimensões”, aproximadamente 300 lux. Também, observou-se que devido o mobiliário ser composto de bancadas para atividades teóricas e práticas, que tem a altura maior que a altura da janela, isso não influencia na luminosidade, porém percebeu-se que na região próxima das janelas, a iluminância atinge valores maiores em lux e que na região oposta as aberturas, onde está localizado o quadro branco, detectou-se valores de menores de iluminância em lux.

A luz natural fica mais bem distribuída e evidente no mobiliário que se encontra próximo da janela, onde é uma área com valor maior. Porém, como na sala de aula não é possível alterar o *layout* existente para que considerado o ideal e nem a posição das janelas, e também não tem como toda atividade visual esteja disposta próxima as aberturas, o mais adequado é que faça uso da iluminação artificial e natural, com o aumento do número de pontos aonde a luminosidade apresentou valores de iluminância abaixo do determinado pela norma.

Após o levantamento dos dados, pode se observar que a iluminância do laboratório em estudo, é insuficiente para a finalidade da proposta, pois a distribuição das janelas na lateral da sala, que é o inverso do quadro branco, não proporciona uma iluminação natural uniforme e ideal, pois concentrando-se no lado oposto. Para solucionar a falta de luminosidade e colocar dentro do ideal para as atividades realizada na sala, sugere-se a correção da mesma, visto que não possui a iluminância recomendada pela norma NBR 5413/92 e pela IES – *Illuminating Engineering Society* (1961). A iluminação natural além de reduzir o consumo de energia elétrica, também favorece o desempenho dos estudantes e a sua saúde, proporcionando aos mesmo um melhor conforto e bem-estar. Na figura 29 observa-se o modelo de luxímetro usado na captação dos dados em estudo.

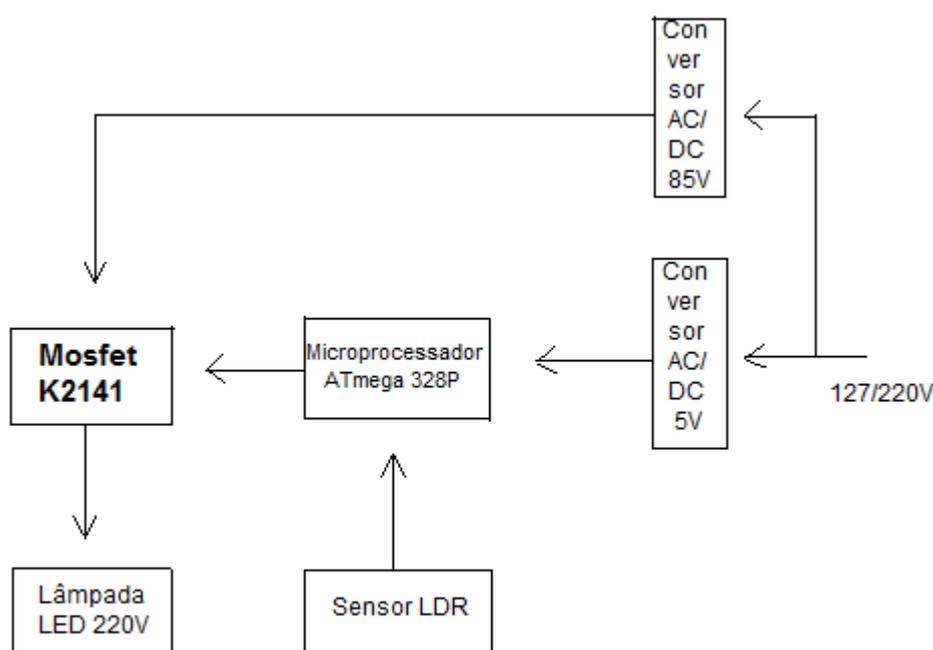
A forma de realização do acionamento da lâmpada, o controle da potência da mesma, o microcontrolador utilizado e o tipo de lâmpada LED, sofreram algumas alterações ao longo do projeto. Inicialmente, foram realizados vários testes. No

entanto, houve alguns percalços e falhas na elaboração do circuito, pois nas primeiras tentativas foi usado um transistor BC 547, mas não atuou no circuito como o esperado, sendo que o mesmo não fez a regulação da potência sobre a carga.

Para a segunda tentativa de testes, foi empregado um circuito oscilador CI 555 e foi verificado também o uso de microprocessador, para fazer a variação da intensidade luminosa desejada, através do PWM (modulação por largura de pulso). Concluí-se que esse sistema não era o ideal para a solução do projeto do protótipo. Após diversas tentativas e a solução dos problemas, se chegou aos dispositivos que seriam o ideal para a confecção do circuito, com o acréscimo do microprocessador Atmega 328P, sendo que na sequência, foram feitos os testes finais com a luminária, comparando a medição da luminosidade com luz artificial e natural.

Na figura 23 é demonstrada a topologia do circuito proposta para a implantação do projeto previsto no início.

Figura 25. Topologia proposta inicialmente para o projeto.

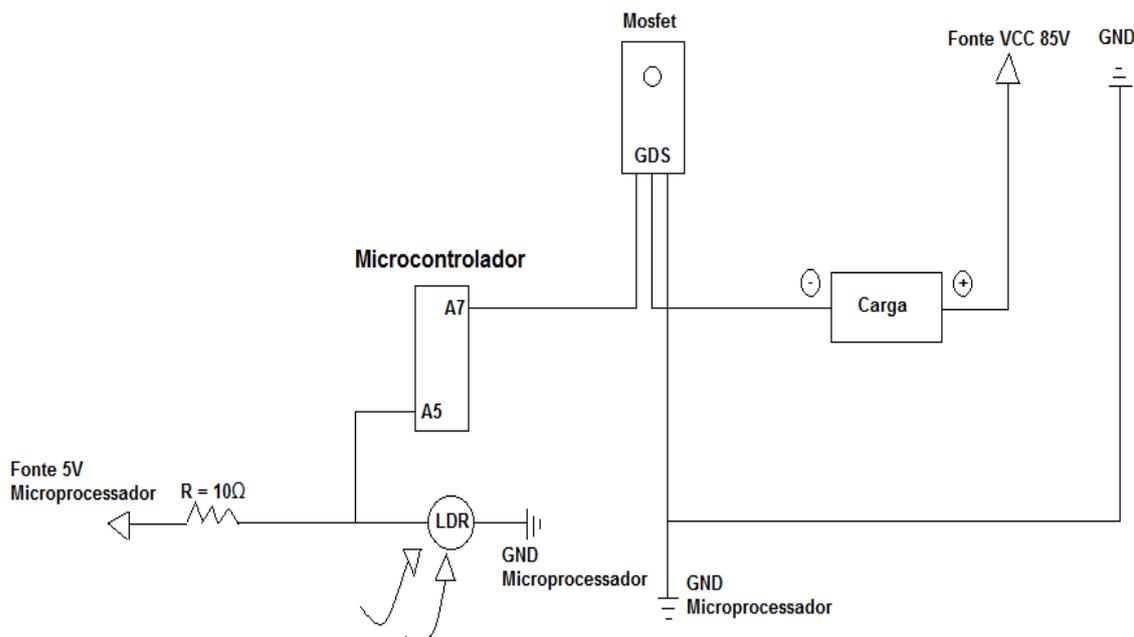


FONTE: Autoria própria, 2017.

3.2. Configuração final do circuito

Conforme os assuntos descritos nos tópicos anteriores, o uso transistor BC 547, foi descartado pois não apresentou os resultados esperados no circuito, sendo que o mesmo não fez a regulamentação da potência sobre a carga. Para tanto, iniciou-se uma nova etapa de testes, com a implementação do CI 555 e o uso de um microcontrolador, utilizando o controle de potência por PWM. Inicialmente, foram realizados apenas testes de software utilizando LED, com o objetivo de verificar a efetividade do controle de potência por PWM, por meio da variação da luminosidade do LED. Sendo que, os testes realizados foram bem-sucedidos, comprovando a efetividade do controle por PWM, desta forma iniciou-se os testes com lâmpadas DC de 12 V. Para tanto, foi adquirido no comércio local uma lâmpada tipo LED de 16 W. No laboratório da escola foram realizados vários testes utilizando esta lâmpada e o luxímetro, para verificar a variação de iluminamento. Nos testes realizados com a lâmpada escolhida houve uma oscilação de 52 a 380 lux, conforme tabela 16. Sendo assim optou-se por este tipo de lâmpada para todos os testes, por esta atingir um nível de iluminância adequado para a proposta do projeto. Na figura 24 mostra o diagrama de blocos do circuito utilizado para estes testes.

Figura 26. Imagem do diagrama do circuito do sistema automatizado.

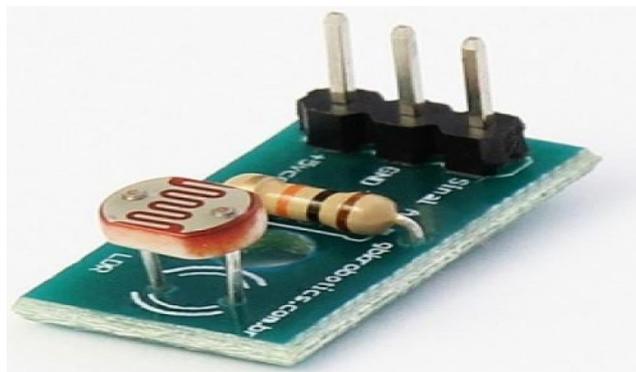


Fonte: Autoria própria, 2017.

3.3. Segmento de captação da luminosidade do projeto

Para captação da luminosidade do ambiente foi utilizado o LDR pequeno (Figura 25), escolhido na fase inicial dos testes, conforme mencionado acima na escolha do mesmo. O sensor LDR foi ligado a um resistor 10 kΩ (2,3MB) formando um circuito divisor de tensão. De forma que a luminosidade é captada pela porta analógica A0, por meio da tensão sobre o sensor LDR.

Figura 27. Imagem do segmento de captação da luminosidade. Módulo sensor de luz com LDR.



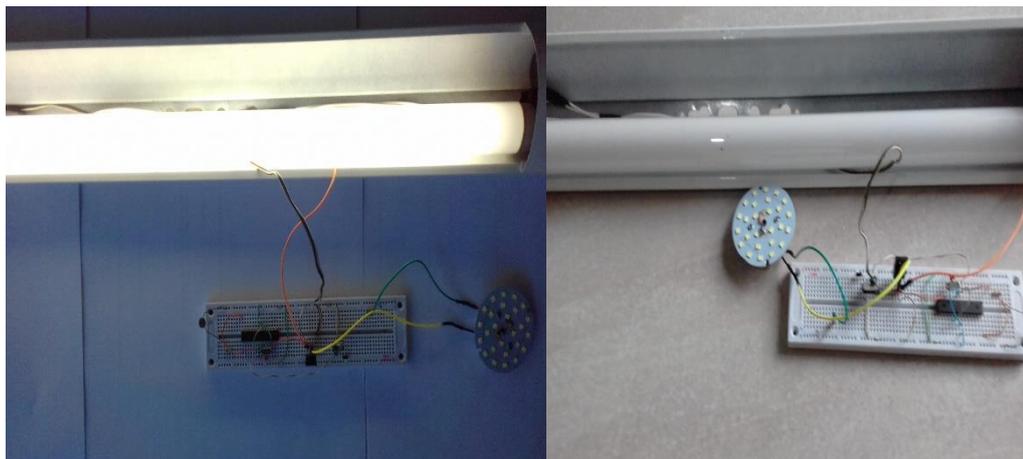
FONTE: GBK Robotics, 2013-2014.

Devido à lâmpada ser acionada em 12 V, foi utilizado o acoplador ótico 4N25, para o isolamento do circuito de 12 V. O acionamento da lâmpada é realizado pelo transistor Mosfet SSS6N60A-K2141, utilizado como chave eletrônica. O controle de potência da lâmpada e conseqüente variação de sua luminosidade são feitos pela porta PWM do microcontrolador ATmega 328P, ligado ao resistor R10 K Ω .

3.4. Alteração Final do Circuito Proposto

De acordo com relatos acima, após a opção de utilização de controle PWM e lâmpada DC, foram realizados testes utilizando lâmpada LED. No entanto a lâmpada utilizada de 16 W necessitava de uma corrente relativamente baixa, para o seu funcionamento, na ordem de 1 ampère. No teste foi necessário a utilização da fonte de tensão do laboratório de eletrônica da escola, além do transistor de potência Mosfet com dissipador, conforme ilustrado na figura 26.

Figura 28. Imagem dos testes com o circuito (sistema ligado e desligado).



FONTE: Autoria própria, 2017.

Como medida de correção, sugere-se a implantação de iluminação suplementar através da colocação de luminárias individuais para cada posto de trabalho e, de acordo com a necessidade de maior ou menor intensidade em cada caso, sendo tomadas as devidas precauções para que o excesso de iluminamento não gere ofuscamentos, reflexos ou sombras nos estudantes.

3.5. Testes com a fonte de 85 V no laboratório da escola

Como o objetivo deste projeto tem como proposta inicial, pretendia-se inserir no contexto da eficiência energética, optou-se pela utilização de uma lâmpada de LED tubular de 16 W, reduzindo assim em 2,5 vezes o consumo de energia em comparação a lâmpada utilizada atualmente. Devido ao baixo consumo da lâmpada de LED, a alimentação do circuito passou ser realizada por uma fonte de tensão comum de 85 V/ 5 A (conversor AC/DC) e o acionamento passou a ser feito por um microcontrolador Atmega 328P, para fazer a variação da intensidade luminosa desejada através do PWM.

O teste feito como o protótipo do projeto, apresentou uma resposta adequada no que tange a dimerização da intensidade de luz, pois houve uma modulação proporcional em todas as lâmpadas, quando se alterava a iluminância natural em relação a artificial e vice-versa.

Essa variação era gradual, para mais e para menos, de acordo com o horário e a incidência de luz natural na sala. A dimerização do fluxo luminoso se comportava

de 0 a 100%, ou seja, a luz artificial atingia valores mínimos e máximos da iluminância comandada pelo sistema automatizado através do sensor LDR.

Com o aproveitamento da luz natural, o sistema apresentou um eficiente desempenho com relação ao controle da luminosidade, fazendo com que, dependendo da inserção da luz natural, a lâmpada do tipo LED alterava-se na mesma intensidade de luz, gerando com isso economia.

Como a lâmpada LED não apresenta um consumo no pico de partida e aceita a variação da iluminância sem prejuízo na vida útil da mesma, foi a que apresentou o melhor desempenho e dimerização, adequado ao projeto.

Foi constatado, no entanto, que quando havia pouca luz natural por causa das mudanças climáticas, onde o tempo estava nublado ou com pouca incidência da luz solar, as mudanças apresentadas pelo sistema eram significativas, pois a luz natural que atingia o sensor LDR era suficiente para que houvesse uma mudança na luz artificial. Também, foi observado que para que haja um bom aproveitamento no desempenho do sistema, não pode haver a interferência de sombreamento nas janelas da sala, pois, estes obstáculos atrapalham a boa atuação do sensor.

Como na sala possui as aberturas grandes somente em uma lateral, a luz natural que atinge os vidros, não apresenta uma distribuição uniforme, gerando com isso, um maior nível de iluminância em relação as outras laterais.

3.6 Viabilidade Econômica

Para analisar os custos entre cada uma das tecnologias utilizadas no projeto, foi montada uma tabela (Tabela 17) comparando as duas tecnologias: potência de cada lâmpada, quantidade necessária, custo individual do produto, vida média, consumo mensal referente a 22 dias trabalhados no mês, custo inicial do sistema, consumo de energia por hora, custo de energia por hora, consumo de energia mensal, custo de energia mensal, custo de energia final. Consumo mensal baseado no uso de 12 horas/dia, 22 dias/mês durante 12 meses ao custo de R\$ 0,45kWh (valores cobrados pela concessionária de energia local).

Tabela 17. Tabela de viabilidade econômica.

Recursos envolvidos	Unidades	Lâmpada Fluorescente Tubular	<i>Lâmpada LED Tubular</i>
Potência	Watts	40	16
Quantidade	Unidades	16	16
Custo produto unidade	Real (R\$)	10,00	25,00
Vida média	Horas	6.000	50.000
Vida média	Anos	2	15
Consumo mensal (h/dia)	Hora x Dia	264	264
Custo	R\$/(KW/h)	0,45	0,45
Custo inicial do sistema	Real (R\$)	160	400
Consumo energia hora	KW/h	0,04	0,016
Custo energia por hora	Real (R\$)	0,288	0,1152
Consumo energia mensal	KW/h	10,56	3,96
Custo energia mensal	Real (R\$)	76,032	30,412
Custo energia final ano	Real (R\$)	912,384	364,953

Fonte: Autoria própria, 2017.

Tabela 18. Resultados da análise econômica do projeto

Tempo máximo tolerado: 15 anos	PSB (Payback Simples): 6,21 meses
VLP (Valor Presente Líquido): R\$ 17.901,74	VAL (Valor Anual Líquido): 2.475,81
TIR (Taxa Interna de Retorno): 36%	

Fonte: Autoria própria, 2017.

No levantamento de custos da proposta de investimento, identificou-se o custo de energia final e o custo de energia final são semelhantes. Em toda análise financeira os custos fixos e variáveis assumem elevada importância para se efetivar o estudo. Nos custos fixos, a mão-de-obra e depreciação das lâmpadas não está sendo considerados nos cálculos, pois a mão-de-obra será executada por alunos da própria escola e a lâmpada não será vendida após completar sua vida útil de 50.000h e será

trocada por uma nova de igual potência. Enquanto para custos variáveis, tem-se a matéria-prima, ou seja, o custo inicial da implantação do sistema, e o insumo com energia elétrica até o final da vida útil da lâmpada LED.

Analisando os indicadores econômicos, percebe-se que existe a viabilidade econômica na proposta de investimento, pois os resultados demonstram que o valor da TIR é maior que a TMA adotada (12%), o valor de VPL é maior que zero.

4. CONCLUSÕES

Tendo em vista que atualmente o consumo de energia elétrica no mundo, especialmente nos países mais desenvolvidos, entre eles o Brasil, tem crescido com o passar dos anos e que a iluminação artificial em média é responsável por cerca de 24% do consumo final de energia elétrica, segundo a EPE; para tanto, são necessárias medidas que tornem os sistemas de iluminação mais eficientes e com o foco no meio ambiente. Neste contexto, este trabalho apresenta uma proposta efetiva, com baixo custo na confecção do circuito eletrônico que girou em torno de R\$ 20,00 e de fácil aplicação, para elaboração de um protótipo de iluminação artificial automatizado, mais eficiente, agregando a um controle inteligente na variação da luminosidade com uso de sensor para obter a luz, microcontrolador e controle de potência por PWM. Para isto, foi utilizado um sensor LDR para a captação da luminosidade natural e um microcontrolador para leitura destes dados obtidos pelo sensor e o ajuste da potência aplicada à lâmpada. A lâmpada utilizada no estudo foi do tipo LED tubular de 16 W/12 V, e o controle de sua potência foi realizado por meio de PWM.

O protótipo foi capaz de ajustar a iluminação artificial de acordo com a luminosidade natural incidente. Os resultados obtidos sugerem que o uso de lâmpadas LED reduz o consumo mantendo a iluminação recomendada. Assim há redução no consumo de energia elétrica devido a atuação do sistema automatizado.

O custo do investimento para a confecção do circuito, foi relativamente baixo, ficando em torno de R\$ 20,00, proporcionando com isso uma economia e também pelo fato de desativar a lâmpada quando o nível de iluminação é fornecido por via natural. Com o uso deste tipo de lâmpada (que por si só já reduzem consideravelmente o consumo, durabilidade, associadas às técnicas de automação) são uma interessante alternativa para projetos de iluminação, pois podem propiciar uma redução de consumo energia, ainda mais acentuada.

5. REFERÊNCIAS

ALVAREZ, André Luiz Montero. Uso Racional e Eficiente de Energia Elétrica: Metodologia para a Determinação dos Potenciais de Conservação dos Usos Finais em Instalações de Ensino e Similares. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ARAÚJO, Guilherme A.M. Avaliação dos ganhos em eficiência energética em iluminação adotando a regulamentação de etiquetagem em edificações. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 2009.

As vantagens da substituição de lâmpadas tradicionais por LED ...

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 5461:Iluminação: Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.215-4: Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5413 – Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

BAIRD, George; DONN, Michael R.; BRANDER, William D. S.; AUN, Chan Seong. Energy Performance of Buildings. Energy Research Group – School of Architecture – Victoria University. Wellington, New Zealand: CRC Press, Inc – Boca Raton Florida, 1984, printed in the United States. 202p.

BASTOS, F. C. Análise da política de banimento de lâmpadas incandescentes do mercado brasileiro, dissertação de mestrado, UFRJ/COPPE, 2011.

BENYA, James; HESCHONG, Lisa et al. Advanced Lighting Guidelines: 2001 Edition. NBI - New Buildings Institute, Inc. para a California Energy Commission. Califórnia, 20 de julho de 2001, 394p.

BRAGA, Henrique. Sustentabilidade: projeto gera economia de até 50% de energia elétrica. UFJF, 2011. Fonte: www.ufjf.br/.../sustentabilidade-projeto-da-engenharia-gera-economia-de-ate-50-de-energia.

BRANDASSI, Ademir Eder. Eletrônica digital I. Série Brasileira de Tecnologia. São Paulo. E.P.U. Editora Pedagógica e Universitária LDTA, 1982.

CAVALIN, C. e CERVELIN, S. Instalações Elétricas Prediais, 12ª Edição, São Paulo: Editora Érica Ltda, 2005.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Eficiência energética na indústria e nas residências. Rio de Janeiro, RJ: EPE, 2010. (Estudos da Demanda). Disponível <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20100809_4.pdf >. Acessado em 25/05/2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Fonte: <http://economia.ig.com.br/empresas/infraestrutura/epe+consumo+de+energia+eletrica+cresce+78+em+2010/n1237967013134.html> (Acessado em 08/09/2011).

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Fonte: <http://economia.ig.com.br/empresas/infraestrutura/epe+consumo+de+energia+eletrica+cresce+78+em+2010/n1237967013134.html> (Acessado em 08/09/2011).

Fonte: INBEP <http://blog.inbep.com.br/luminosidade-no-ambiente-de-trabalho-nr17/>.

GIMENEZ, S. P. Microcontroladores 8051. 1ª ed. São Paulo: Pearson, 2005.

GONÇALVES, J.C.S., VIANNA, N.S., MOURA, N.C. da S. Iluminação Natural e Artificial. Procel: Rio de Janeiro, 2011.

GOULART, S. Sustentabilidade nas Edificações e no Espaço Urbano. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2012.

hardplus.com.br/blog/o-que-e-um-mosfet-como-ele-e-e-como-funciona/
<https://pt.wikipedia.org/wiki/MOSFET>

[https://www.google.com.br/search?q=Espectro+Eletromagn%C3%A9tico+\(OSRAM,2012&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjx-fG36L3UAhUGLSYKHZfGDIMQ7AkIMw](https://www.google.com.br/search?q=Espectro+Eletromagn%C3%A9tico+(OSRAM,2012&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjx-fG36L3UAhUGLSYKHZfGDIMQ7AkIMw)

IA/UNICAMP. Tabela luminotécnica. Disponível em:
www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/tabelas/luminotecnica.pdf

LEGEND, Johan Van. Manual do Arquiteto Descalço. Fonte:
www.martinsfontespaulista.com.br/manual-do-arquiteto-descalco-461791.aspx/p

LUZ, Jeanine Marchiori da. Luminotécnica. Unicamp. Fonte:
<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf> (Acessado em 22/05/2012).

MALVINO, Albert Paul. Eletrônica: Volume I – 4ª edição. São Paulo. Makron Books, 1995.

Manual de Iluminação - Ministério de Minas e Energia
www.mme.gov.br/.../MANUAL%20DE%20ILUMINACAO%20-%20PROCEL_EPP%...

MARQUES, Angelo Eduardo Battistini. Dispositivos semicondutores: diodos e transistores – 4ª edição. São Paulo. Érica, 1998.

MOREIRA, Vinícius de Araújo. Iluminação elétrica. São Paulo: Ed. Edgar Blucher Ltda, 1999;

MOSFET – Wikipédia, a enciclopédia livre. Disponível em:

Mundo da Elétrica – Como funcionam as lâmpadas LED. Fonte:

<https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funcionam-as-lampadas-led/>

O que é MOSFET - Blogplus – Hardplus. Disponível em.

OSRAM, Life Cycle Assessment of Illuminants A Comparison of Light Bulbs, Compact Fluorescent Lamps and LED Lamps, 2009.

OSRAM. Iluminação: Conceitos e Projeto. Disponível em: www.osram.com.br. Acesso em março 2012.

PAIOTTI, R. As dificuldades de trabalhar com Microcontroladores no Brasil. Publicado em: 30 mar. 2009. Disponível para assinantes em: (Acessado em 29/05/2011)

portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/infra.pdf

Resistor. Fonte: fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Resistor>

REZENDE, Sérgio M. Materiais e Dispositivos Eletrônicos. 2ª. Ed. São Paulo, Livraria da Física, 2004.

Santos, A. H. M., et. alli. Eficiência Energética Teoria & Prática, 1ª. Edição, Eletrobras / PROCEL Educação, Universidade Federal de Itajubá, Fupai, Itajubá, 2007.

SCHMIDT, A. L. A ideia de conforto. Reflexões sobre o ambiente construído. Curitiba. Pacto Ambiental, 2005.

SOARES, Márcio J. Microcontroladores PIC – Controle PWM com PIC- Prática- Fonte: http://www.arnerobotics.com.br/eletronica/Microcontrolador_PIC_pratica_1.htm. Acessado em 10/05/2012.

SOUSA, Rui M. A. de. Estudo da eficiência energética e gestão de energia em edifícios escolares. 2011. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

UTILUX. Funcionamento do Led. 2012. Fonte: <http://www.akarilampadas.com.br/aplicacoes/led-como-funciona.php>. Acessado em 02/06/2012.

www.infohab.org.br/entac2014/2012/docs/1049.pdf

www.santarita.com.br/as-vantagens-da-substituicao-de-lampadas-tradicionais-por-led/

www.bluelux.com.br/economia-de-energia-por-meio-de-controle-de-brilho/

6. APÊNDICES

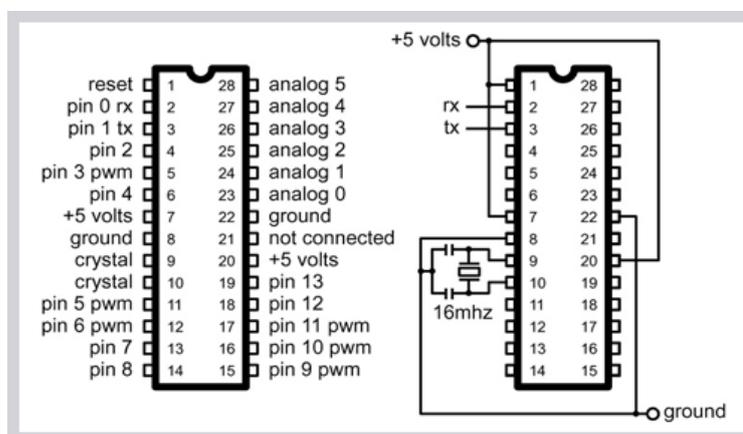
6.1. Programação do Microcontrolador

Para gravar o programa no microcontrolador Atmega 328P, foi usado o *Bootloader* do Arduino UNO com o *AVR Programmer Shield*. Sendo que este programa é o que faz aceitar outros programas no microcontrolador.

O *Bootloader* é um programa especial que roda imediatamente após cada reset e facilita transferir para um microcontrolador os demais programas que o usuário deseja rodar nele.

O *Bootloader* do Arduino é o *optiboot*, ao menos nas configurações default dos modelos mais comuns. Ele apresenta uma série de vantagens sobre o ATmegaBOOT, o antigo *Bootloader default*: ocupa meros 512 bytes da memória (o antigo ocupava 2K), transfere os programas mais rapidamente, e evita problemas com o *watchdog timer*.

Figura 29. Microcontrolador Atmega 328P.

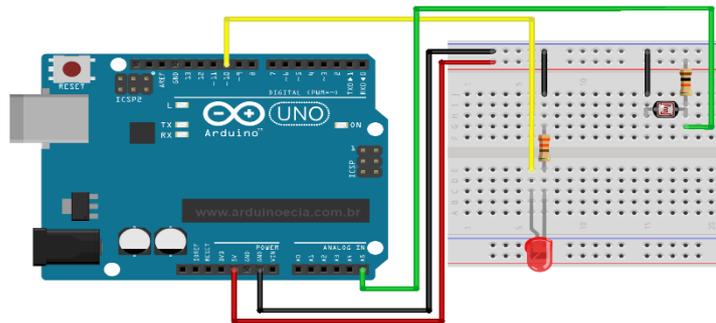


FONTE: ATEMEL, 2017.

DADOS TÉCNICOS DO MICROCONTROLADO Atmega 328P

Microcontrolador	ATmega328P
Tensão de operação	5V TTL
Tensão de alimentação máxima	5.5V
Entradas e saídas digitais	23
Corrente de saída	
Memória Flash	32 KB
Memória SRAM	2KB
Memória EEPROM	1 KB
Velocidade do Clock	0 - 20 MHz
Datasheet	<u>ATmega328P.pdf</u>

Figura 30. Imagem do circuito LDR Led - Arduino Uno.



FONTE: Circuito LDR Led – Arduino Uno, 2013.

O programa para este circuito lê o valor da porta analógica (que deve estar na faixa de 0 a 1024), verificando se o valor é maior do que 800 (LDR encoberto) e consequentemente acendendo o led. Para o teste, foi usado no meu circuito um resistor de 330 ohms para o led e de 10K para o LDR.

```

1 // Projeto: Controle de luminosidade de led com LDR
2 // Autor: Arduino e Cia
3
4 int pinoled = 10; //Pino ligado ao anodo do led
5 int pinopot = 5; //Pino ligado ao LDR
6 int valorpot = 0; //Armazena valor lido do LDR, entre 0 e 1023
7 float luminosidade = 0; //Valor de luminosidade do led
8
9 void setup()
10 {
11   Serial.begin(9600); //Inicializa a serial
12   pinMode(pinoled, OUTPUT); //Define o pino do led como saída

```

```

12   pinMode(pinopot, INPUT); //Define o pino do LDR como entrada
13 }
14
15 void loop()
16 {
17   // Le o valor - analogico - do LDR
18   valorpot = analogRead(pinopot);
19
20   // Converte o valor lido do LDR
21   luminosidade = map(valorpot, 0, 1023, 0, 255);
22   Serial.print("Valor lido do LDR: ");
23
24   // Mostra o valor lido do LDR no monitor serial
25   Serial.print(valorpot);
26   Serial.print(" = Luminosidade : ");
27
28   // Mostra o valor da luminosidade no monitor serial
29   Serial.println(luminosidade);
30
31   // Acende o led com luminosidade variável
32   analogWrite(pinoled, luminosidade);
33
34

```

Figura 31. Imagem luxímetro ICEL Manaus LD-550 (Lux Mester).



FONTE: Autoria própria, 2017.

ESPECIFICAÇÕES

- a. Display: Cristal líquido (LCD), 3 ½ dígitos (1999).
- b. Funções: Intensidade luminosa em Lux e Footcandles (Fc), memória e valor máximo.
- c. Seleção de escala: Manual. d. Memória (“Data Hold”).
- e. Indicação de sobrecarga: O símbolo “OL” será exibido no display.
- f. Indicação de bateria descarregada: O display exibe o desenho de uma bateria.
- g. Taxa de amostragem: 2,5 vezes por segundo.

- h. Correção do co-seno.
- l. Temperatura de operação: de -10°C a +40°C.
- j. Umidade de operação: Menor que 80% sem condensação.
- k. Altitude de operação: Até 2.000 metros.
- l. Ambiente de operação: Interno, com grau 2 de poluição.
- m. Alimentação: Uma bateria de 9V.
- n. Fotocélula separada do corpo do aparelho.
- o. Comprimento do fio da fotocélula: aproximadamente 1,5 metros.
- p. Fotocélula: fotodiodo de silício e filtro.
- q. Dimensões e peso: 130x60x40mm, 300g (incluindo a bateria).
- r. O LD-550 vem acompanhado de um manual de instruções, um estojo para transporte e uma caixa de embalagem.
- s. Duração útil da bateria: Aproximadamente 200h de uso contínuo com bateria alcalina.

Observações técnicas: A exatidão está especificada por um período de um ano após a calibração, em porcentagem da leitura mais número de dígitos menos significativos. Sendo válida na faixa de temperatura compreendida entre 18°C à 28°C e umidade relativa inferior a 80% sem condensação.

Tabela 19. Observações técnicas do luxímetro.

Função	Escala	Resolução	Exatidão
	200 lux	0,1 lux	± 3% (calibrado
Lux	2.000 lux	1 lux	para uma lâmpada
	20.000 lux	10 lux	incandescente
	200.000 lux	100 lux	de 2.856°K)
	20 FC	0,01 FC	
Foot-candle	200 FC	0,1 FC	± 5% para outras
	2.000 FC	1 FC	Fontes de luz
	20.000 FC	10 FC	

FONTE: Autoria própria, 2017.

7. ANEXOS

7.1. Datasheet dos Componentes Eletrônicos



TO: _____

DATE: _____

LDR Cds PHOTO CELL

SPECIFICATION

MODEL NO. N5AC-501085

Absolute Maximum Ratings

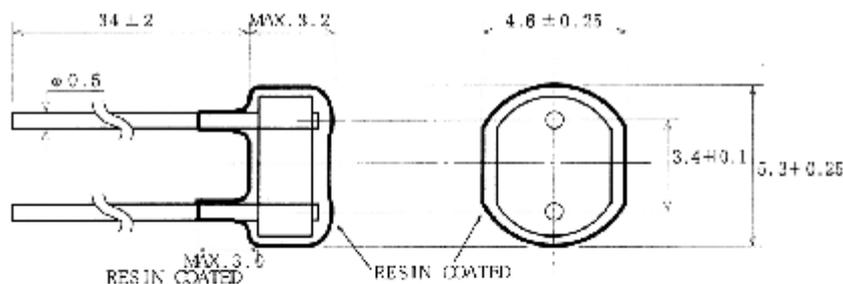
Allowable Power Dissipation (P_a) 50 mW (Derate above 25°C : 1.0 mW/°C)
 Maximum Applied Voltage (V_{max}) 100 V_{ac}
 Ambient Temperature Range (T_a) -30 ~ +60 °C

Photo-electric Characteristics (at 25°C)

PARAMETER	SYMBOL	M.N.	MAX.	UNITS
Light Resistance at 10 Lux	R _L	50	100	kΩ
Gamma Value at 10~100 Lux	γ	0.85(Typ.)		
Dark Resistance (10 sec. after shut off 10 Lux)	R _D	5	—	MΩ
Peak Spectral Response	λ _p	550	650	nm

※ Pre-measurement condition : Exposed in 500 lux for more than 3 hours.

Dimensions (unit : mm)

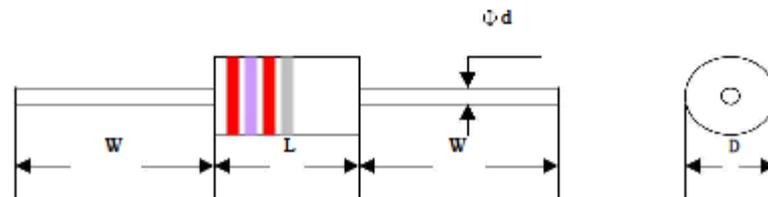


LDR Cds PHOTO CELL	PAGE 1/1	SPEC. NO. NCS-950203-01	REV. A
	• NIPPON CERAMIC CO., LTD.		
MODEL NO. N5AC-501085	APPROVED BY	CHECKED BY	

Sharma Resistors

THE FIXED CARBON COMPOSITION RESISTORS

1. Dimensions:



2. Rating and Dimensions:

Type	Rated Power (W)	Dimensions in mm				Max Rated Voltage (V)	Max Overload Voltage (V)	Resistance range (Ω)
		L	D	W	d			
RS11-1/2	0.5	9.5 \pm 0.8	3.5 \pm 0.2	2 \pm 0.2	0.69 \pm 0.01	350	500	4.7 to 22M

3. Sold Resistance in Packs

1/2WATT

SHARMA Type #	Ω	SHARMA Type #	Ω	SHARMA Type #	Ω	SHARMA Type #	Ω
RS11-1/2W-4R7	4.7	RS11-1/2W-18	18	RS11-1/2W-75	75	RS11-1/2W-300	300
RS11-1/2W-5R1	5.1	RS11-1/2W-20	20	RS11-1/2W-82	82	RS11-1/2W-330	330
RS11-1/2W-5R6	5.6	RS11-1/2W-22	22	RS11-1/2W-91	91	RS11-1/2W-360	360
RS11-1/2W-6R2	6.2	RS11-1/2W-24	24	RS11-1/2W-100	100	RS11-1/2W-390	390
RS11-1/2W-6R8	6.8	RS11-1/2W-27	27	RS11-1/2W-110	110	RS11-1/2W-430	430
RS11-1/2W-7R5	7.5	RS11-1/2W-30	30	RS11-1/2W-120	120	RS11-1/2W-470	470
RS11-1/2W-8R2	8.2	RS11-1/2W-33	33	RS11-1/2W-130	130	RS11-1/2W-510	510
RS11-1/2W-9R1	9.1	RS11-1/2W-36	36	RS11-1/2W-150	150	RS11-1/2W-560	560
RS11-1/2W-10	10	RS11-1/2W-39	39	RS11-1/2W-160	160	RS11-1/2W-620	620
RS11-1/2W-11	11	RS11-1/2W-43	43	RS11-1/2W-180	180	RS11-1/2W-680	680
RS11-1/2W-12	12	RS11-1/2W-47	47	RS11-1/2W-200	200	RS11-1/2W-750	750
RS11-1/2W-13	13	RS11-1/2W-51	51	RS11-1/2W-220	220	RS11-1/2W-820	820
RS11-1/2W-15	15	RS11-1/2W-62	62	RS11-1/2W-240	240	RS11-1/2W-910	910
RS11-1/2W-16	16	RS11-1/2W-68	68	RS11-1/2W-270	270	RS11-1/2W-1K	1.0K

Tel: (949)642-7324

SECI Engineers & Buyers' Guide

Fax: (949)642-7327



5mm Ultra White LED

OSWT5111A

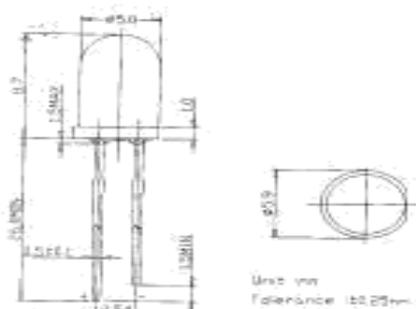
■ Features

- High Power LEDs
- 5mm Standard Directivity
- Superior Weather-resistance
- UV Resistant Epoxy
- Water Clear Type

■ Applications

- Electronic Signs and Signals
- Illuminations
- Back Lighting

■ Outline Dimension



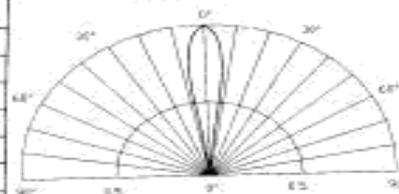
■ Absolute Maximum Rating

(Ta=25°C)

Item	Sym	bol	Value	Unit
DC Forward Current	I_F		25	mA
Pulse Forward Current*	I_{FM}		100	mA
Reverse Voltage	V_R		5	V
Power Dissipation	P_D		120	mW
Operating Temperature	T_{opr}		-20 ~ +75	°C
Storage Temperature	T_{stg}		-30 ~ +80	°C
Lead Soldering Temperature	T_{sol}		260°C/3sec	-

*Pulse width Max.10ms Duty ratio max 1/10

■ Directivity



■ Electrical -Optical Characteristics

(Ta=25°C)

Item	Sy	mbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
DC Forward Voltage	V_F		$I_F=20mA$	-	3.6	4.2	V
DC Reverse Current	I_R		$V_R=5V$	-	-	100	μA
Luminous Intensity	I_v		$I_F=20mA$	14800	15000	-	md
Chromaticity Coordinate*	x		$I_F=20mA$	-	0.31	-	
	y		$I_F=20mA$	-	0.32	-	
50% Power Angle	$2\theta_{1/2}$		$I_F=20mA$	-	15°	-	deg

*Please refer to CIE 1931 chromaticity diagram.

LED & Application Technologies

NEC

DATA SHEET

MOS FIELD EFFECT TRANSISTOR

2SK2141

SWITCHING

N-CHANNEL POWER MOS FET

INDUSTRIAL USE

DESCRIPTION

The 2SK2141 is N-channel Power MOS Field Effect Transistor designed for high voltage switching applications.

FEATURES

- Low On-state Resistance
 $R_{DS(on)} = 1.1 \Omega \text{ MAX. (} V_{GS} = 10 \text{ V, } I_D = 3.0 \text{ A)}$
- Low C_{iss} $C_{iss} = 1150 \text{ pF TYP.}$
- High Avalanche Capability Ratings
- Isolated TO-220 (MP-45F) Package

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Drain to Source Voltage	V_{DS}	600	V
Gate to Source Voltage	V_{GS}	± 30	V
Drain Current (DC)	I_D (DC)	± 8.0	A
Drain Current (pulse)	I_D (pulse)*	± 24	A
Total Power Dissipation ($T_C = 25^\circ\text{C}$)	P_{T1}	35	W
Total Power Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	P_{T2}	2.0	W
Storage Temperature	T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Channel Temperature	T_{ch}	150	$^\circ\text{C}$
Single Avalanche Current	I_{AS}^{**}	6.0	A
Single Avalanche Energy	E_{AS}^{**}	12	mJ

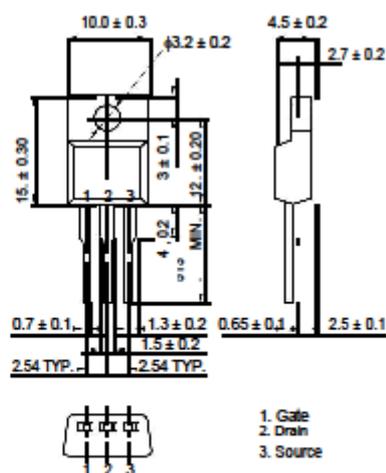
* $PW \leq 10 \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 1\%$

**Starting $T_{ch} = 25^\circ\text{C}$, $R_{\theta} = 25 \Omega$, $V_{GS} = 20 \text{ V} \rightarrow 0$

The diode connected between the gate and source of the transistor serves as a protector against ESD. When this device is actually used, an additional protection circuit is externally required if a voltage exceeding the rated voltage may be applied to this device.

PACKAGE DIMENSIONS

(In millimeters)



ISOLATED TO-220 (MP-45F)

