

DESENVOLVIMENTO DE KIT DIDÁTICO PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM FOCOS CIRÚRGICOS

DEVELOPMENT OF DIDACTIC KIT FOR ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY IN SURGICAL FOCUSS

Lucas Amador Batista¹
José Rodrigo de Oliveira²

RESUMO

Nos últimos anos as tecnologias eletromédicas tem evoluído continuamente, dentre elas, podemos destacar o foco cirúrgico, equipamento responsável pela iluminação nos procedimentos cirúrgicos. Estes equipamentos atualmente comercializados são dotados de lâmpadas halógenas ou diodos emissores de luz (Light Emitting Diode) LED, como elementos emissores de energia luminosa. As lâmpadas halógenas possuem baixa vida útil, baixa eficiência luminosa e irradiam calor sobre uma superfície, devido a estes fatores, reparos no foco cirúrgico são constantes. Por outro lado, nos sistemas dotados de luminárias à LED possui maior vida útil, maior eficiência luminoso e menor índice de reparos. O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema didático utilizando um sistema de controle para analisar a eficiência luminosa entre uma fonte luz halógena e outra de LED, que são a base dos equipamentos atuais. Foi realizado um estudo de literatura referente aos temas abordados neste trabalho e também o relato da vivencia em estágio com esse problema decorrente aos focos cirúrgicos. Através do kit desenvolvido foi possível comprovar ao se comparar uma fonte de luz a LED em relação a uma fonte de luz com lâmpada halógena, há uma redução de 92% da potência consumida, para uma mesma intensidade luminosa, permitindo tanto a análise da eficiência energética havida, como também é possível verificar a redução da energia térmica emitida pela lâmpada LED frente a lâmpada halógena.

Palavras-Chave: Foco Cirúrgico. Eficiência Energética. Salas Cirúrgicas Eficientes.

¹ Graduando em Tecnologia em Sistemas Biomédicos na FATEC-Bauru

² Mestrando em Engenharia Elétrica – Automação pela FEB Unesp, Especialista em Engenharia Clínica – Unicamp, graduado em Engenharia Elétrica – Unimar e Docente da Fatec Bauru

ABSTRACT

In recent years electromedical technologies have evolved continuously, among them we can highlight the surgical focus, lighting equipment in surgical procedures. These commercially available equipments are equipped with halogen lamps or light emitting diodes (LEDs) as emitters of light energy. Halogen lamps have low useful path, low luminous efficiency and radiate heat on a surface, due to these factors, repairs in the surgical focus are constant. On the other hand, in the system equipped with LED luminaires have longer life, greater luminous efficiency and lower index of repairs. The objective of this work is to develop a didactic system using a control system to analyze the light efficiency between a halogen light source and another one of LED, which are the basis of the current equipment. A literature study was carried out regarding the topics covered in this study and also the report of the experience in this problem due to the surgical foci. Through the kit developed it was possible to prove that when comparing a light source to LED in relation to a light source with halogen lamp, there is a 92% reduction of the power consumed, for a same luminous intensity, allowing both energy efficiency analysis as it is also possible to check the reduction of the thermal energy emitted by the LED lamp in front of the halogen lamp.

Keywords: Cirurgic focus. Energy Efficiency. Efficient Surgical Rooms.

INTRODUÇÃO

A luz artificial é considerado um elemento básico e de vital importância para toda a espécie humana. Seu interesse possivelmente tenha se dado por acaso através da observação do fogo, inicialmente provocado pela queima da madeira e algum tipo de óleo como combustível. Em seguida foi descoberto como utilizar o gás, base dos primeiros lampiões. A chama foi substituída por corpos sólidos incandescentes, somente no final do século XIX, devido a lâmpada elétrica criada por Thomas Edison, onde permitiu produção em larga escala da luz artificial (CATAPAN; KLAESIUS, 2009).

De acordo com Catapan e Klaesius (2009) a evolução não parou por aí, uma vez que devido à escassez de recursos, a eficiência energética tornou-se um fator importante na escolha de uma fonte luminosa. A microeletrônica tem evoluído muito desde a invenção do transistor nos Laboratórios Bell, principalmente em função da inserção de novos materiais nos semicondutores possibilitou a criação dos primeiros

diodos emissores de luz (LED - do inglês Light Emitting Diodes), comerciais em meados de 1960, dispositivos estes baseados em gálio, arsênio e fósforo.

Na iluminação de ambientes cirúrgicos esta evolução também é evidente e a preocupação com a sustentabilidade se torna importante, frente a escassez de recursos financeiros nas instituições de saúde.

Este trabalho tem como objetivo comparar o desempenho e limitações das duas principais tecnologias, atualmente disponíveis nos focos cirúrgicos comercialmente disponíveis no mercado, através de um kit desenvolvido para análise da eficiência energética em uma lâmpada de LED e uma lâmpada halógena.

REVISÃO DE LITERATURA

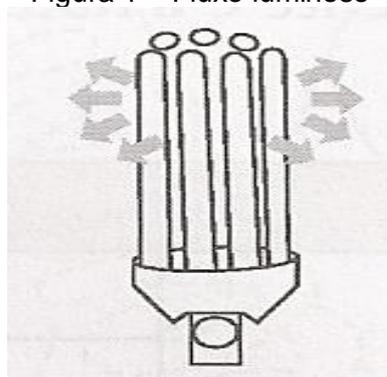
Grandezas luminotécnicas

As grandezas aqui esplanadas são de vital importância para o entendimento dos conceitos luminotécnicos e elétricos aplicados neste trabalho. As unidades e símbolos descritos, de acordo com Catapan e Klaesius (2009), pertencem ao Sistema Internacional (SI).

Fluxo luminoso

O fluxo luminoso (φ) pode ser definido como a radiação total da fonte luminosa, ou seja, a quantidade luz emitida efetivamente, como pode ser visto na figura 1. Sua unidade de medida é o lúmen (lm) (CAPELLI, 2013).

Figura 1 – Fluxo luminoso

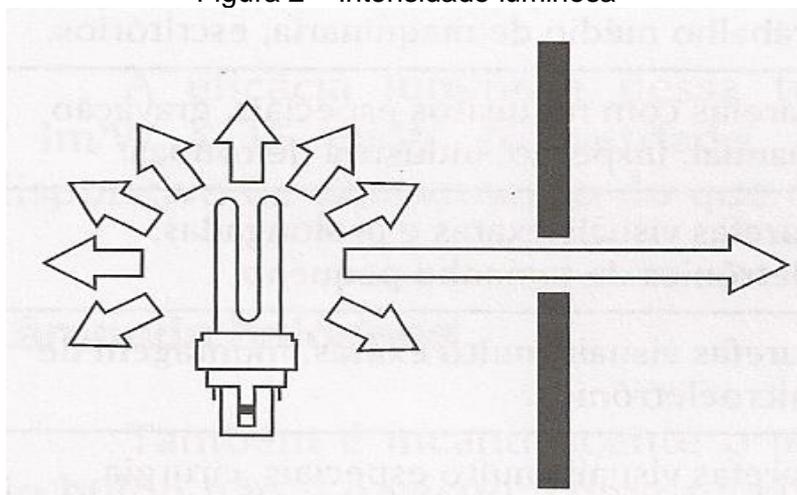


Fonte: Capelli (2013)

Intensidade luminosa e a iluminância

Segundo Capelli (2013) a intensidade luminosa (I) é a concentração de luz em uma direção específica radiada por segundo. Sua unidade de medida é a candela (cd), como pode ser visto na figura 2.

Figura 2 – Intensidade luminosa

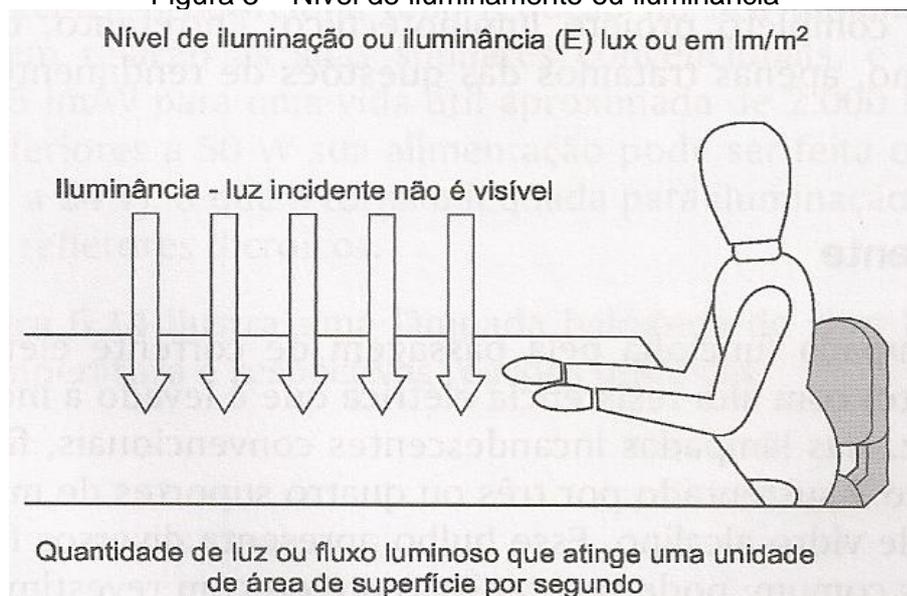


Fonte: Capelli (2013)

A iluminância ou nível de iluminação (E) pode ser definida como a quantidade de luz que atinge uma unidade de área de superfície por segundo, sendo sua unidade de medida é o lux (lx) (CAPELLI, 2013).

A figura 3 apresenta o nível de iluminamento ou iluminância.

Figura 3 – Nível de iluminamento ou iluminância



Fonte: Capelli (2013)

Eficiência luminosa

Segundo Sória e Filipini (2010), pode ser definida como a relação entre o fluxo luminoso produzido por uma fonte de luz, medida em lumens, e a potência elétrica produzida em Watts, assim é dada pela relação lumens por watt (lm/W).

Temperatura de cor correlata

Sória e Filipini (2010) define como temperatura de cor correlata de uma fonte de luz, medida em Kelvin (K). Sua faixa varia entre 1.500 K (laranja/vermelho) até 9.000 K (azul), que também pode ser dividida em frias (maior que 5.000 K), quentes (menores que 3.300 K) e as neutras (3.300 K a 5.000K).

Vida útil de lâmpadas

De acordo com Sória e Filipini (2010), a vida útil de uma lâmpada pode ser definida como o número de vezes que se acende e apaga uma fonte luz em um dia, ou seja, a estimativa da vida útil será relativa.

Índice de reprodução de cor (IRC)

É definido como a correspondência entre a cor real de um objeto e a cor que ele está apresentando diante de uma fonte de luz. Quanto mais alto é este valor, mais próximo está sendo sua indicação da realidade desejada, ou seja, mais fiel é a reprodução da cor realizada pela fonte de luz (SÓRIA; FILIPINI, 2010).

A figura 4 apresenta três níveis de reprodução de cores para o mesmo objeto.

Figura 4 – Exemplo de IRC/Representação de Cor



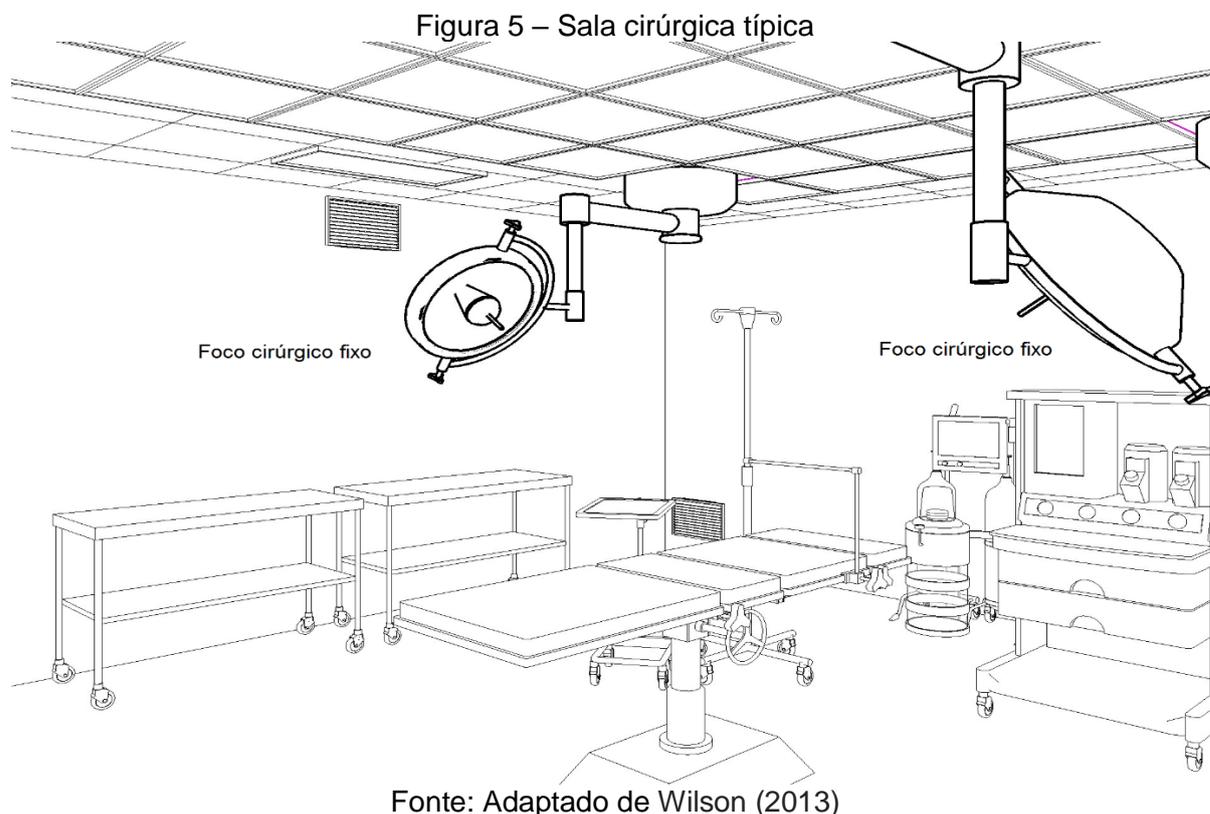
Fonte: E... (2014)

A iluminação em uma sala cirúrgica

Nos ambientes cirúrgicos, segundo Catapan e Klaesius (2009), para a iluminação nos procedimentos cirúrgicos é utilizado um foco cirúrgico central fixo ao

teto, e caso seja necessária maior intensidade luminosa são utilizados focos auxiliares.

A figura 5 apresenta uma sala cirúrgica típica, com 2 (dois) focos cirúrgicos fixos.



Segundo European... (2009), os focos cirúrgicos à LED representaram 60% das vendas europeias em 2009, e havia perspectiva de que até em meados de 2014 as vendas dominariam completamente o mercado até 2014. As luzes LED são mais eficientes em termos de energia e duráveis em comparação com as luzes halógenas. Eles emitem menos calor, tornando-o mais confortável para cirurgiões que operam em pacientes. Os cirurgiões também podem ajustar a cor das luzes LED de acordo com suas preferências.

Segundo Rosa (2015) com relação ao foco cirúrgico, três questões devem ser levadas em consideração, sendo elas: O sistema de emergência, a intensidade da iluminação e o Índice de Reprodução de Cores (IRC). As quais devem ser consideradas quanto da aquisição do equipamento.

A norma NBR 5413:1992 recomenda a iluminância necessária segundo o tipo de ambiente e a natureza da atividade. Em um ambiente cirúrgico, a variação do nível de iluminância previsto está entre 10.000 e 20.000 lux.

De acordo com Fiorini (2006), em relação ao (Índice de Reprodução de Cores) IRC, em ambientes como salas de exames e análise de pacientes, as quais necessitam de uma reprodução de cores muito próxima do real, como na figura 4, tornando o Índice de Reprodução de Cores um fator de grande relevância na escolha das lâmpadas.

Por último, é de vital importância a existência de um sistema de emergência. Devido ao fato de que o fornecimento de energia elétrica está cada vez mais instável em todos os estados brasileiros, os equipamentos de iluminação precisam conter um sistema que o mantenha em funcionamento, mesmo em casos de interrupção do fornecimento de energia elétrica (ROSA, 2015).

Lâmpada halógena

As lâmpadas halógenas são classificadas como lâmpadas incandescentes, porém internamente o bulbo possui elementos como iodo ou bromo, considerados elementos halógenos, sua eficiência luminosa fica entre 15 lm/W a 25 lm/W, para uma vida útil aproximada de 2.000 horas (CAPELLI, 2013).

A figura 6 apresenta uma lâmpada halógena aplicada a foco cirúrgico.

Figura 6 – Lâmpada halógena bipino para foco cirúrgico



Fonte: Lâmpada... (2013)

Benefícios Tecnológicos da Adoção dos LEDs

O potencial de maior eficiência energética com fontes de LED é uma consideração importante, juntamente com outros atributos que podem induzir os usuários de iluminação a adotar essa tecnologia ao invés de fontes de luz convencionais. Em várias aplicações, produtos à LED bem projetados e luminárias

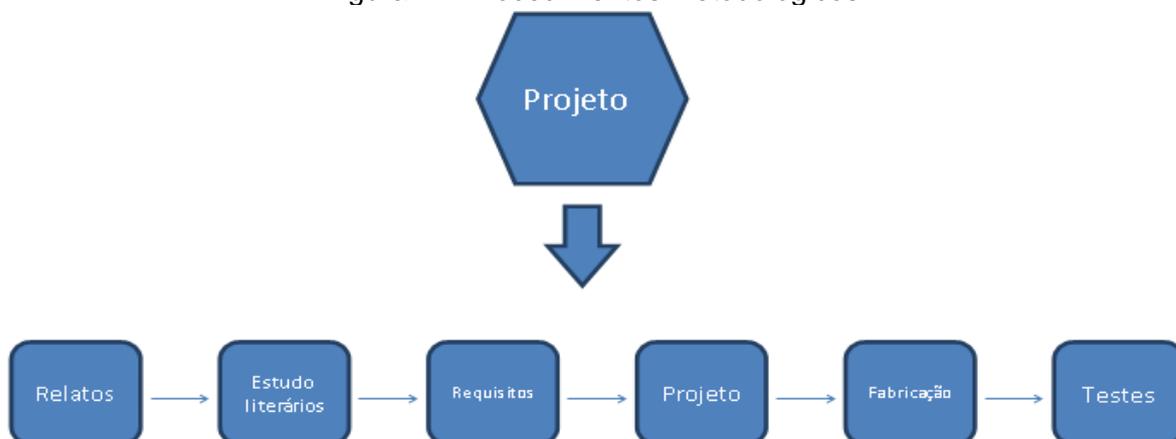
pode oferecer os seguintes benefícios em relação aos produtos de iluminação convencionais (BRODRICK et al., 2008):

- **Maior vida útil:** pode variar de 30.000 a 50.000 horas, sendo até 25 vezes maior que em lâmpadas halógenas;
- **Redução da Energia Consumida:** os módulos a LED possuem maior eficiência, entre outras palavras, baixa relação lúmen por watt. A tecnologia de iluminação por semicondutores está em pleno desenvolvimento, habilitando cada vez maiores economias;
- **Redução do Calor Irrradiado:** os LEDs convertem uma grande parte da eletricidade em luz visível comparado às outras fontes de luz;
- **Ajuste da Temperatura de Cor:** muitos focos cirúrgicos com LEDs possuem controle da temperatura de cor. Esta variação de cor depende da aplicação, e geralmente está entre 3500K e 5500K;
- **Ajuste da iluminância:** este ajuste, que é necessário em muitos casos, é conhecido como dimerização, é utilizado para ajustar o nível de iluminância;
- **Aumento na Qualidade da Luz:** a luz emitida por um LED pode ser direcionada para a área desejável com uma grande uniformidade, não ofuscando a visão das pessoas próxima e criando um campo bem definido.

MATERIAL E METODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizado o procedimento metodológico, conforme o diagrama da figura 7.

Figura 7 – Procedimentos metodológicos



Fonte: Elaborado pelos autores

Projeto

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um kit didático para a partir de um nível de iluminância estipulado, seja possível medir o nível de tensão e corrente elétricas aplicadas e calcular a potência dissipada de uma lâmpada de LED e lâmpada halógena, comparando e analisando a eficiência energética de cada uma.

Relatos

Atuação em nível de estágio curricular obrigatório, na área de manutenção de equipamentos médico-hospitalares, ao qual foi vivenciada as interferências causadas pelo aquecimento das lâmpadas halógenas encontradas nos focos cirúrgicos, o que causa diminuição da isolamento térmica dos cabos elétricos, possibilitando interrupções no decorrer de um procedimento cirúrgico.

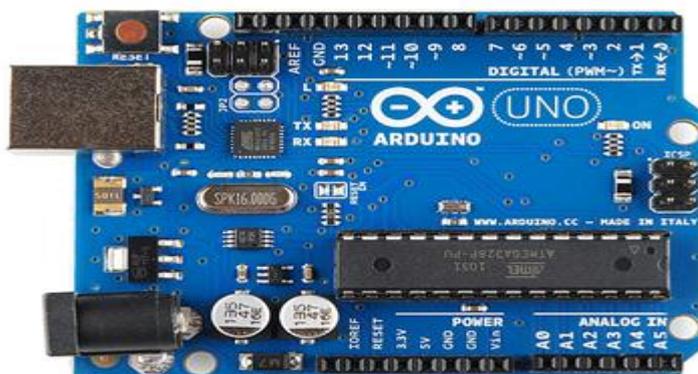
Requisitos para o desenvolvimento do kit didático

O principal requisito para o desenvolvimento deste projeto foi a análise da eficiência energética em focos cirúrgicos, os quais em nosso país, são dotadas de lâmpadas halógenas. Além do fato de que o kit didático deve possuir um sensor de leitura de luminosidade (lux) que comporte as leituras.

Componentes do projeto

O kit didático é composto de uma plataforma de prototipagem eletrônica do tipo Arduino Uno, conforme figura 8, ao qual foi escolhido como dispositivo sensor de luminosidade, cito o Sensor de luz GY-30 (figura 9) e para indicação visual, foi escolhido um display de 16 x 2 (16 caracteres por 2 linhas), visualizado na figura 10.

Figura 8 – Plataforma de prototipagem eletrônica



Fonte: Arduino... (2017)

Figura 09 - Sensor GY-30



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 10 - Display 16x2



Fonte: Elaborado pelos autores

Para possibilitar a comunicação entre o sensor, display e a plataforma de prototipagem eletrônica foi desenvolvido um programa em plataforma compatível ao Arduino IDE (Ambiente Integral de Desenvolvimento) mostrado na figura 11.

Figura 11 – IDE Arduino (Ambiente Integral de Desenvolvimento)

```
lux | Arduino 1.8.4
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
lux
//Programa : Sensor de luz BH1750 e LCD 16x2 I2C
//Autor : Lucas Amador

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <BH1750.h>

//Define o display I2C no endereço 0x3F
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);

//Define o sensor BH1750
BH1750 lightMeter;

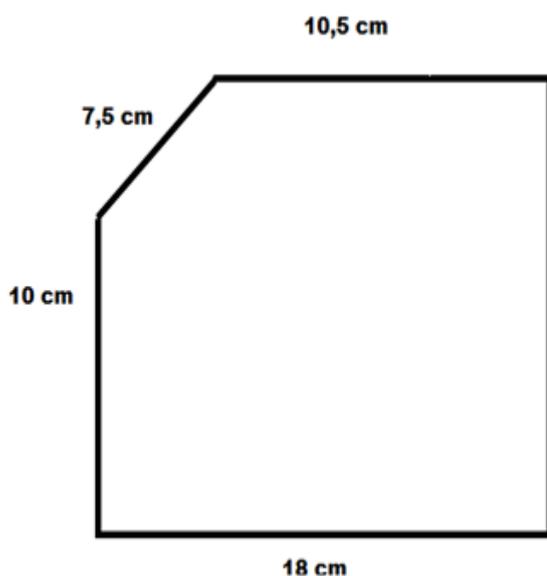
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  //Inicializa o LCD
  lcd.begin(16, 2);
}
```

Arduino/Genuino Uno em COM3

Fonte: Elaborado pelos autores

Para alocação dos componentes do sistema, foi desenvolvido uma caixa em chapa de fibra de madeira de média densidade (MDF), conforme pode ser visto pelas figuras 12 e 13.

Figura 12 - Medidas da caixa



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 13 - Caixa finalizada



Fonte: Elaborado pelos autores

Para a fixação do suporte da lâmpada, foi desenvolvido um suporte em chapa de fibra de madeira de média densidade (MDF), conforme pode ser visto pela figuras 14.

Figura 14 - Suporte para o kit



Fonte: Elaborado pelos autores

Na figura 15 é apresentado o kit didático completo e montado na caixa apresentada na figura 13.

Figura 15 – Kit didático finalizado pré-teste



Fonte: Elaborado pelos autores

RESULTADO E DISCUSSÃO

Os testes para verificar o perfeito funcionamento do kit, foi realizado com o auxílio de duas lâmpadas dicróicas, sendo uma de LED e outra halógena, disponíveis no Laboratório de Eficiência Energética da Fatec Bauru, ao qual foram instaladas com o auxílio de um suporte, na mesma altura e ambas ajustadas com níveis de iluminâncias com valores próximos. O ajuste foi realizado através de um dimmer, disponível na bancada de Instalações Elétricas Residenciais e Prediais do Laboratório de Eficiência Energética, como pode ser visto pela figura 16.

Quanto as lâmpadas utilizadas no teste, a lâmpada dicróica halógena, possui característica de tensão de 220 V e potência de 50 W, já a lâmpada dicróica de LED, possui tensão de alimentação de 110 à 240 V e potência de 3 W.

Para a realização das medidas de grandezas elétricas, utilizamos dois multímetros da mesma marca, sendo um deles ajustado para medição de tensão elétrica e outro ajustado para leituras de correntes na faixa de miliampères (mA), como visto na figura 15.

Figura 16: Bancada didática IERP



Fonte: Elaborado pelos autores

Os dados obtidos foram agrupados no quadro 1, ao qual destacamos as leituras da luminância obtida através do sensor GY-30, tensão elétrica e corrente elétrica foram obtidos através dos multímetros digitais pertencentes ao Laboratório de Eficiência Energética.

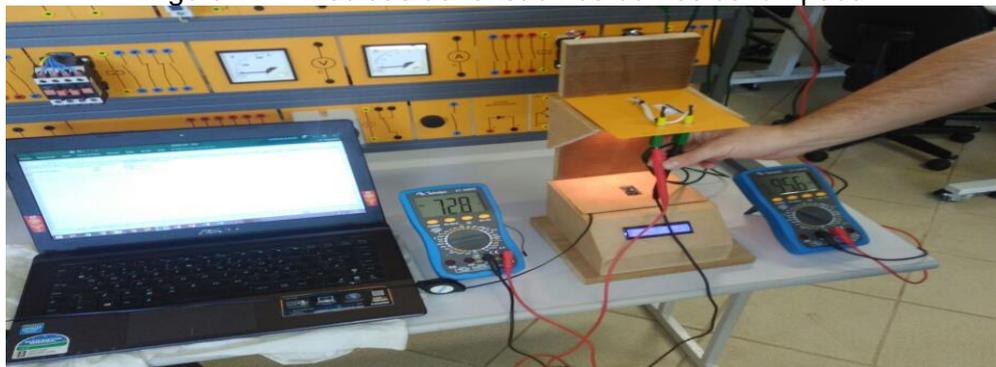
Quadro 1 – Medidas tensão, corrente e iluminância entre as fontes luminosas

Lâmpada	Iluminância (lux)	Tensão (V)	Corrente (mA)	Potência (W)
Halógena	4956	156,5	158,7	24,84
LED	5029	179,1	10,6	1,90

Fonte: Elaborado pelos autores

A figura 17 apresenta o procedimento de leitura das medidas elétricas, através dos multímetros, onde a leitura de tensão foi obtida através dos bornes de contato da lâmpada posicionada no suporte do kit. A leitura de corrente elétrica foi obtida através dos bornes de uma chave normalmente aberta da bancada IERP, figura 15.

Figura 17 – Medidas de tensão nos bornes da lâmpada



Fonte: Elaborado pelos autores

A potência elétrica foi calculada multiplicando a tensão pela corrente elétrica medida para cada lâmpada.

Podemos observar que com o mesmo nível de iluminância, a lâmpada de LED possui menor consumo de potência frente a lâmpada halógena. Notadamente verificamos que a lâmpada halógena esquentou bastante durante o período de teste, diferente da lâmpada de LED que não foi perceptível o aumento de temperatura após exposição.

CONCLUSÃO

O equipamento foco cirúrgico tem uma grande importância dentro de uma sala cirúrgica, devido ao fato de garantir a iluminação adequada ao campo cirúrgico. Em virtude da importância deste equipamento neste ambiente, se faz necessária a escolha adequada do tipo de iluminação que traga maiores benefícios aos usuários e ao paciente.

A importância desse projeto é demonstrar o potencial de conservação de energia elétrica em um foco cirúrgico a LED, mediante ao foco cirúrgico halógeno, tal qual haverá uma redução sob aspecto de manutenção, pois a lâmpada halógena atinge uma temperatura muito superior que a de LED, sua vida útil é menor, podendo favorecer o superaquecimento dos condutores elétricos levando a falha no circuito elétrico da lâmpada.

Verificamos experimentalmente que o consumo de uma lâmpada halógena é bem superior em comparação a lâmpada de LED, a redução de consumo pode atingir a 92%, com base nos dados obtidos no quadro 1.

As sugestões de melhorias para o sistema desenvolvido, visa a instalação de um sensor de temperatura para aferição e comparação das lâmpadas a serem analisadas, para medir a influência térmica no campo cirúrgico, como também a instalação de sensores para medição direta da tensão e corrente, dispensando o uso de multímetros.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

ARDUINO Uno R3. 2017. **Elektor**. Disponível em: <<https://www.elektor.com/arduino-uno-r3>>. Acesso em: 05 dez. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**: Iluminância de interiores. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

BRODRICK, James R. et al. **Energy savings estimates of light emitting diodes in niche lighting applications**. Washington: Navigant Consulting Inc., 2008. 104 p. Prepared for: U.S. Department of Energy. Disponível em: <https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/nichefinalreport_october2008.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2017.

CATAPAN, A.; KLAESIUS, T. G. **Projeto e construção de um foco cirúrgico auxiliar utilizando a tecnologia de diodos emissores de luz**. 2009. 98 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

E você sabe o que é IRC? Fique por dentro! 2014. Hunter Trade Iluminação. Disponível em: <<https://huntertradeiluminacao.wordpress.com/2014/10/15/e-voce-sabe-o-que-e-irc-fique-por-dentro/>>. Acesso em: 04 dez. 2017.

EUROPEAN surgical market: LEDs to completely replace halogen lights by 2014. 2009. LEDs Magazine. Disponível em: <<http://www.ledsmagazine.com/ugc/2009/10/european-surgical-market-leds-to-completely-replace-halogen-lights-by-2014.html>>. Acesso em: 04 dez. 2017.

FIORINI, Thiago Morais Sório. **Projeto de iluminação de ambientes internos especiais**. 2006. 128 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006. Disponível em: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/interiores/projeto_de_iluminacao_d_e_ambientes_internos_especiais.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2017.

ROSA, Lilian. **A importância dos focos cirúrgicos**: Iluminação para tarefas específicas. Martec Med, Ribeirão Preto, 2015. Disponível em: <<http://martecmed.blogspot.com.br/2015/03/a-importancia-dos-focos-cirurgicos.html>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

WILSON, T. **Operating Room Simulation**. 2013. Disponível em:
<<http://simhub.autodesk.com/projects/operating-room-simulation>>. Acesso em: 04
dez. 2017.