

INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina
Câmpus Chapecó



CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

TRABALHO DE ELETRICIDADE

Lâmpadas e suas peculiaridades

Eduardo Paz Putti
Gabriel Kleemann Duarte
Emanuel Amaral da Veiga
Ruan Victor Bonan

Chapecó, SC, Brasil.
1º SEMESTRE – 2023

RESUMO

Este trabalho tem a finalidade de estudar o funcionamento das lâmpadas e sua relação com a elétrica. As lâmpadas são dispositivos elétricos amplamente utilizados para a iluminação em diversos contextos, como residências, escritórios, estabelecimentos comerciais e espaços públicos. A escolha adequada do tipo de lâmpada é essencial para garantir a eficiência energética, qualidade de iluminação e durabilidade. No início, são discutidos os três principais tipos de lâmpadas: incandescentes, fluorescentes e LED. As lâmpadas incandescentes são as mais antigas e utilizam sistema que ao ser aquecido pela passagem da corrente elétrica, emite luz. Todavia, possuem baixa eficiência energética e vida útil curta. Por outro lado, as lâmpadas fluorescentes utilizam a emissão de luz ultravioleta por um gás ionizado para excitar um revestimento fluorescente, produzindo luz visível. São mais eficientes e duráveis que as incandescentes, mas podem conter mercúrio, exigindo descarte especial. Enquanto isso, as lâmpadas de LED são altamente eficientes, possuem longa vida útil, não contêm mercúrio e podem ser encontradas em uma variedade de formatos e cores. Por fim, para a pesquisa foi utilizado conhecimentos adquiridos em sites, encontrados por meios de sistemas de pesquisa acadêmicos e não acadêmicos, junto às noções gerais de eletricidade. Para uma melhor compreensão, foram criadas comparações físicas entre as diversas lâmpadas, explorando suas características de potência, brilho produzido e tempo de acionamento. Além disso, o experimento prático tem o fito de apresentar os resultados da pesquisa, ao trazer a operação física das lâmpadas, compreendendo os conceitos de um *starter* e dos diferentes tipos de reatores.

Palavras-chave: Lâmpadas. Eletricidade. Luz. Iluminação. Eficiência Energética.

Sumário

[Introdução](#)

[1. Lâmpadas incandescentes](#)

[1.1. Lâmpada incandescente convencional](#)

[1.2. Lâmpada incandescente halógena](#)

[2. Lâmpadas fluorescentes](#)

[3. Lâmpadas LED](#)

[4. Experimento prático](#)

[Considerações Finais](#)

[Referências](#)

Introdução

Desde os primórdios da humanidade, há uma busca constante para iluminar a escuridão que se forma durante a noite. Desde a descoberta do fogo ela sempre foi utilizada como fonte de luz, através de velas ou lampiões. No entanto, com as revoluções industriais e a expansão das cidades, a demanda pela iluminação cresceu exponencialmente e desde então as antigas fontes de luz não eram mais suficientes para a população.

Durante essa época, a eletricidade estava começando a ser gerada e transmitida de forma viável, o que viabilizou a criação de lâmpadas alimentadas pela energia elétrica. A lâmpada de arco elétrico foi uma das primeiras alternativas desenvolvidas, utilizando a eletricidade para criar um arco de luz intenso. No entanto, apesar de sua eficiência luminosa, esse tipo de lâmpada apresentava algumas limitações que a tornavam inviável para uso doméstico.

1. Lâmpadas incandescentes

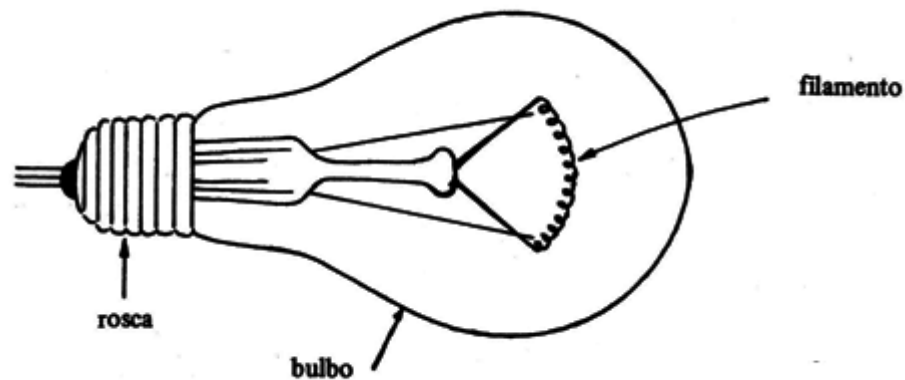
1.1. Lâmpada incandescente convencional

Thomas Edison, empreendedor e inventor norte-americano, se destacou na área, em 1879, com a lâmpada incandescente que se mostrou uma solução viável para iluminação interna.

As lâmpadas incandescentes funcionam com base na aplicação do efeito térmico ou bem conhecido como efeito Joule, que constitui na dissipação de energia elétrica em energia térmica. Isso ocorre por conta do choque dos elétrons livres com os átomos do condutor, ou seja, os átomos do condutor oferecem uma resistência à passagem da corrente elétrica.

A constituição dessas lâmpadas evoluíram ao longo do tempo, para oferecer grande resistência à passagem de corrente, originalmente utilizou-se um fino filamento de bambu carbonizado, que se localizava dentro de uma ampola de vidro a vácuo, motivo pelo qual o oxigênio não podia entrar em contato com o filamento, caso contrário o filamento se romperá, estrutura representada na Figura 01.

Figura 01: Estrutura interna lâmpada incandescente



Fonte: Instituto Newton C Braga(2013)

O filamento carbonizado foi utilizado até que por volta de 1900, William Coolidge desenvolveu um método para tornar o tungstênio mais adequado para utilizá-los como filamento, visto que possui um elevado ponto de fusão que permitiu tornar as lâmpadas mais duráveis e atingir temperaturas entre 2500 e 3000 graus Celsius.

A irradiação de luz emitida pelo filamento é em sua maioria na faixa da radiação infravermelha, ou seja, grande parte da energia despendida é gasta em uma faixa de frequência eletromagnética, a qual não vemos, por isso as lâmpadas incandescentes são de pouca eficiência, sendo o restante majoritariamente irradiado na faixa de luz visível e pequena parte em ultravioleta.

1.2. Lâmpada incandescente halógena

A lâmpada de halogênio é considerada a evolução da lâmpada incandescente, com a diferença que em seu interior ao invés de vácuo, contém uma mistura de um gás inerte, sendo argônio ou criptônio com uma pequena proporção de um elemento halógeno, geralmente iodo ou bromo. Essa mistura permite o filamento de tungstênio resista por mais tempo, atinja maiores temperaturas, além de outras reações com o tungstênio que justificam o uso de um elemento halógeno no seu interior. Apesar de também liberar uma significativa quantidade de energia térmica, possui maior eficiência luminosa com o mesmo fluxo luminoso em relação à

incandescente convencional. Motivo pelo qual, estas lâmpadas utilizam um transformador para transformar a tensão provida pela rede, seja 127v ou 220v, para 12v.

Como observado Bergmann(2012) em comparação entre lâmpadas convencionais e halógenas onde leva em consideração a primeira lei de Ohm, para manter a mesma potência aplicada a um resistor, ao reduzir a tensão, a corrente aumentará na mesma proporção. Ao aumentar a área transversal do filamento, a resistência elétrica do filamento reduz, contribuindo para dois fatores: a superfície incandescente aumenta, aumentando a quantidade de luz emitida e a resistência mecânica aumenta, permitindo que o filamento trabalhe com uma temperatura maior sem diminuir a durabilidade. Este aumento de temperatura faz com que o filamento emita mais luz, com a mesma potência.

Por ser uma lâmpada de formato mais compacto e com maior luminosidade, são utilizadas em refletores, faróis automotivos. Dentre seus modelos, os mais populares são em modelo de palito, utilizadas em refletores e iluminação de fachada, as lâmpadas dicróicas que possui um ângulo de abertura mais fechado, sendo utilizada em vitrines de lojas e a própria lâmpada incandescente halógena que se aplica como alternativa às lâmpadas incandescentes tradicionais.

Outras demais características são valorizadas nesse tipo de lâmpada, podendo citar o alto índice de Reprodução de Cores (IRC), brilho intenso, temperatura de cores mais quentes, e a sua grande variedade de formatos.

2. Lâmpadas fluorescentes

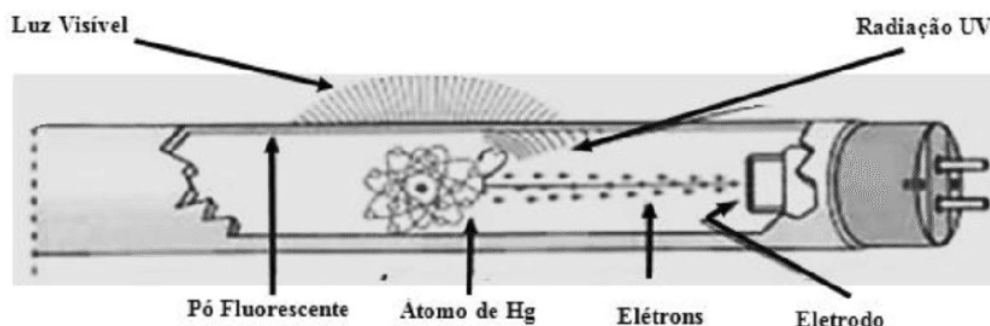
Estas lâmpadas são consideradas mais eficientes comparadas a sua antecessora. Com estudos dos fenômenos da fluorescência e fosforescência, Alexandre Edmond Becquerel teorizou sobre a criação de tubos fluorescentes, até que Peter Cooper Hewitt em 1901 patenteou a primeira lâmpada de vapor de mercúrio. Porém, somente em 1934, o físico Arthur Compton conseguiu prosperar com essa lâmpada, tida como um grande avanço em relação às já existentes lâmpadas de filamento, visto que as mesmas produziam mais energia luminosa e dissipam menos energia térmica.

A lâmpada fluorescente, conhecida comercialmente como lâmpada tubular fluorescente, por conta do seu tubo de descarga revestido internamente por uma camada de pó

fluorescente. Motivo pela presença do pó fluorescente é para que ele atue como um conversor de radiação, absorvendo a luz ultravioleta, emitida pela descarga elétrica e convertendo-a em luz visível. O comprimento de onda gerado é regulado pelo gás inerte presente no tubo, geralmente composto por argônio que ajusta a velocidade dos elétrons para o comprimento de onda ultravioleta, a fim de maximizar a eficiência.

A descarga elétrica responsável pela emissão da luz ultravioleta é gerada entre os eletrodos posicionados nas extremidades do tubo. Os eletrodos são, na verdade, filamentos revestidos com um material com baixa função de trabalho, ou seja, material que emite elétrons através do efeito termoiônico pelo aquecimento do material. Durante a partida, pela circulação da corrente elétrica, os filamentos atingem cerca de 800 °C a 1100 °C, temperatura suficiente para vaporizar o mercúrio líquido presente no tubo e liberar os elétrons do revestimento para que se choquem com os átomos do vapor de mercúrio, como representado na Figura 02.

Figura 02: Lâmpada Fluorescente

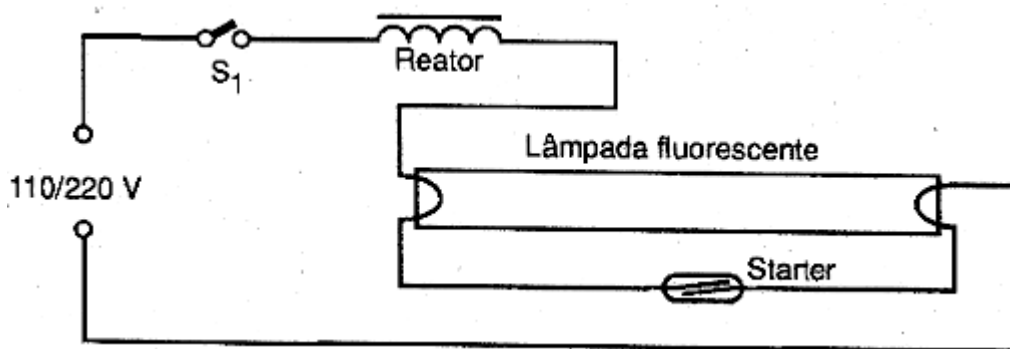


Fonte: Bacila (2012)

Para ocorrer a colisão de elétrons com o vapor de mercúrio é necessário que seja aplicada uma alta tensão entre os eletrodos e assim os elétrons atravessam o tubo de descarga, saindo de um filamento sendo definido como cátodo e sendo atraídos para o outro se definindo como ânodo. No local da instalação, a tensão usual da rede varia entre 127v e 220v tensão insuficiente para o processo de ignição da lâmpada. Por conta disso, antes da ignição é realizado o pré-aquecimento dos filamentos, a fim de reduzir a tensão de ignição, para isso na instalação da lâmpada é instalado em conjunto com um reator e como usado antigamente, junto a um *starter*.

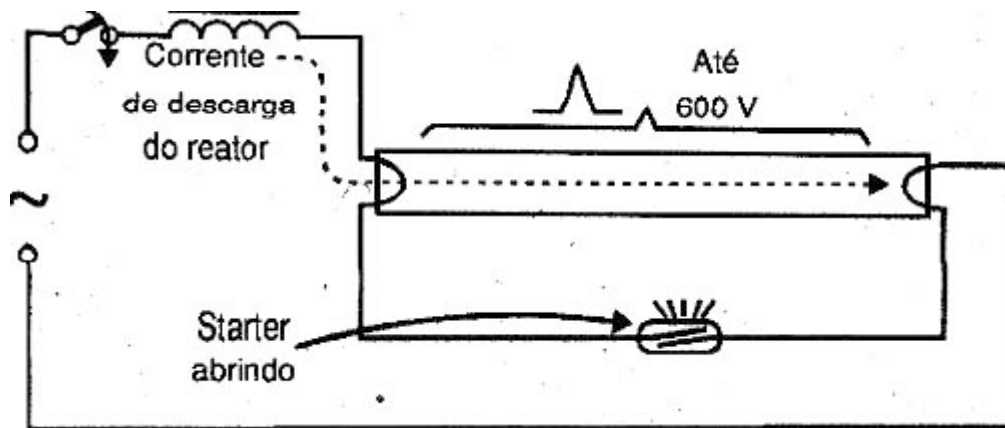
Podemos classificar os reatores em três tipos, o convencional também conhecidos como eletromagnéticos, o reator de partida rápida, e seus sucessores o reator eletrônico. O reator eletromagnético, que realiza o pré-aquecimento dos filamentos, por definição, são indutores. Na instalação conforme a Figura 03, o *starter* é ligado em série entre os filamentos da lâmpada, internamente constituído por chapa bimetálica que quando aquecida é responsável por abrir o contato entre os filamentos interrompendo a corrente elétrica, conforme a Figura 04.

Figura 03: Funcionamento com o *Starter* fechado



Fonte: Instituto Newton C Braga(2013)

Figura 04: Funcionamento com o *Starter* aberto

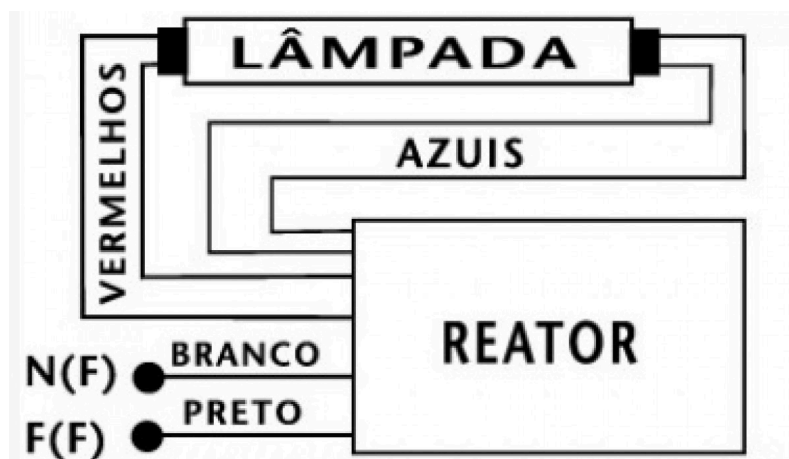


Fonte: Instituto Newton C Braga(2013)

Nesse momento da abertura do circuito, ocorre uma brusca redução da corrente e como consequência, o indutor do reator contrai suas linhas de forças eletromagnéticas, o que gera um pulso de alta tensão nos terminais da lâmpada, que em conjunto com a vaporização do mercúrio permite a passagem de corrente de um eletrodo ao outro.

O reator de partida rápida, que não utiliza o starter em sua ligação como mostra a figura 05, tende a realizar a partida em menos de 1 segundo. Para realizar esse feito, como descrito em Prieto (2002) esse tipo de reator utiliza um transformador cujos enrolamentos se encontram magneticamente acoplados com um indutor, para pré-aquecer os filamentos a fim de reduzir a tensão de ignição para valores próximos à tensão da rede.

Figura 05: Ligação do reator de partida rápida

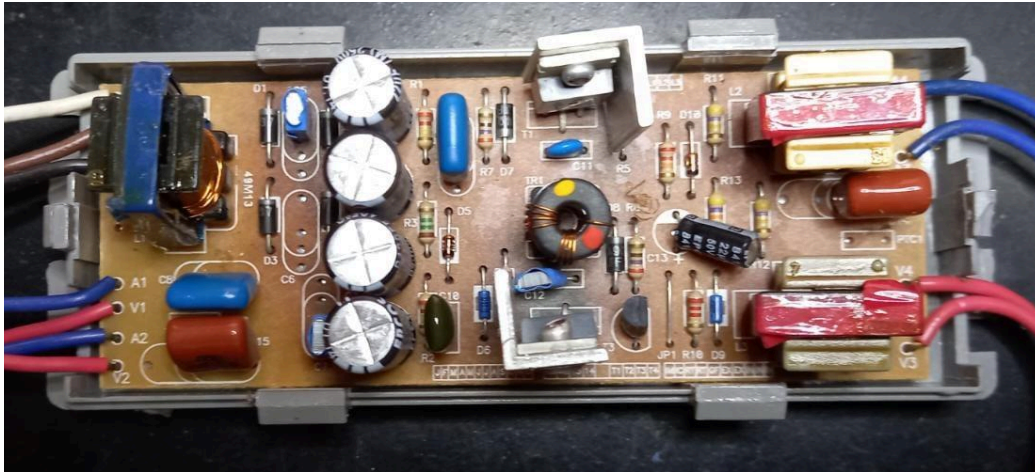


Fonte: Loja LabLuz

Na constituição do transformador, são dispostos enrolamentos com baixa tensão que são ligados em série ao enrolamento secundário, o qual é conectado aos filamentos. Na ignição, estes filamentos ainda possuem circulação de corrente, porém, com valor significativamente reduzido, pelo aumento da resistência dos filamentos.

Por fim, os reatores eletrônicos são mais complexos visto que não possuem conceitos eletromagnéticos em sua construção, como mostra a figura 06. Com a mesma ligação do reator de partida rápida com a lâmpada e seu tamanho reduzido, o reator traz vantagens em relação aos outros, com a ignição praticamente instantânea, graças à conversão da frequência convencional da rede de 50Hz ou 60Hz, para frequências além de 18kHz. Além de ter controle da estabilidade da lâmpada, filtros para evitar a interferência em sistemas de comunicação e ter alta eficiência comparada aos outros.

Figura 06: Ligação do reator de partida rápida



Fonte: Autoria própria (2023)

Com o surgimento do reator eletrônico, foi possível reduzir consideravelmente o tamanho padrão do reator, o que possibilitou o desenvolvimento de lâmpadas fluorescentes compactas, que aproveitam o soquete das suas antecessoras.

3. Lâmpadas LED

A sigla LED, do inglês *Light Emitting Diode* que significa Diodo Emissor de Luz, é um dispositivo semicondutor que surgiu na década de 1960 com seu funcionamento baseado na eletroluminescência, quando um material emite luz em resposta a uma corrente elétrica.

De acordo com a aplicação do LED, eles podem operar desde o infravermelho, até o ultravioleta, sendo possível escolher cores do espectro visível. Inicialmente utilizados apenas para os painéis indicadores, o desenvolvimento do LED de potência se mostrou uma ótima alternativa a outras lâmpadas.

Com a ampla faixa de aplicações, o LED de potência possui diversas vantagens, com alto brilho, altíssima eficiência, tamanho compacto, grande vida útil, ignição instantânea e com baixa tensão, o que possibilita a utilização de lâmpadas LED ligadas a baterias ou pequenos geradores, sem a necessidade de elevar a tensão. Em contrapartida, o seu custo é elevado, mas com tendência para reduzir, além de que dependendo da potência da lâmpada é necessário o controle térmico.

A categoria de potência baixa dos LEDs, é composta pelos indicativos que podem ser colocados em painéis de diferentes equipamentos, composto também pelos de alto brilho, que são os mais potentes dessa categoria sendo utilizados em sistemas de iluminação de emergência e até em semáforos. A potência baixa dos LEDs se define pela potência de operação com 0,05 a 0,2 watt.

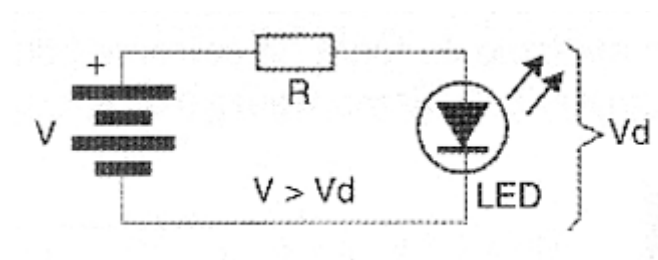
A categoria de alta potência, permite que sejam usados para iluminação como alternativa de outras lâmpadas, como lâmpadas LEDs que aproveitam o soquete de antigas lâmpada incandescente convencional, bem como há lâmpadas tubulares LED que podem ser instaladas no lugar da fluorescente tubular e serem ligadas diretamente à rede elétrica, sem o uso do reator. Sua faixa de potência está disponível no mercado de 1 a 50 watts. Além disso, para controlar toda essa potência, na sua alimentação é instalado um *driver*, geralmente com fonte de corrente constante que além de distribuir corrente constante para os Leds, gerenciam a proteção contra aquecimento.

Apesar de ser citado apenas na categoria de alta potência, as fontes de corrente constante são fundamentais para a ligação dos LEDs, independente da sua categoria. A fonte de corrente constante tem o objetivo de manter a corrente, que percorre o circuito, constante e independente da tensão de entrada, a fim de manter o nível de brilho do LED constante, uma vez que, como descrito por Arantes (2014), o nível de brilho da luz emitida pelo LED é proporcional à corrente que circula entre seus terminais. Além de que se a corrente estiver acima dos limites especificados, reduzem a vida útil do LED.

Em qualquer circuito, quer quão simples seja, deve-se haver o controle da corrente sob o LED, por conta do comportamento da corrente elétrica em função da tensão, onde quando o LED recebe a sua tensão mínima de operação, sua resistência reduz de tal forma que, se não houver um resistor para limitar a corrente ela aumenta a ponto de causar sua queima.

O circuito deve limitar a corrente fornecida pela tensão fixa da fonte, a forma mais simples de fazer isso é ligar um resistor em série com o LED, conforme o circuito da Figura 07.

Figura 07: Resistor em série com o LED



Fonte: Instituto Newton C Braga(2013)

O valor ôhmico do resistor deve ser calculado de acordo com a tensão da fonte e qual intensidade da corrente que se deseja para o LED, com base na primeira Lei de Ohm, em que a resistência é igual à razão da tensão pela corrente.

Neste caso, para calcular a resistência do resistor limitador, deve-se ter a corrente máxima do LED, que varia de acordo com sua aplicação, seu valor é determinado pela razão entre a subtração da tensão da fonte e a queda do resistor, pela corrente máxima do LED. Tensão a qual varia pela cor emitida pelo LED, conforme a Figura 08.

Figura 08: Relação da cor emitida e a tensão de queda

Cor do led	Faixa de tensão	Corrente máxima
Vermelho	1,8 V - 2,0 V	20 mA
Amarelo	1,8 V - 2,0 V	20 mA
Laranja	1,8 V - 2,0 V	20 mA
Verde	2,0 V - 2,5 V	20 mA
Azul	2,5 V - 3,0 V	20 mA
Branco	2,5 V - 3,0 V	20 mA

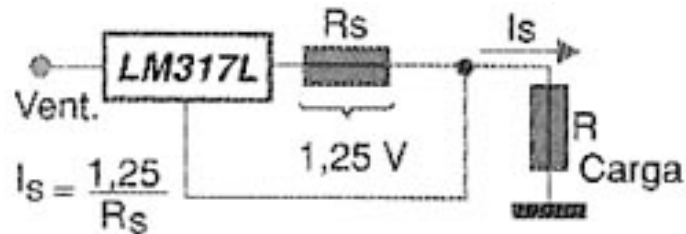
Fonte: Site - Sua Maquete (2023)

Respeitando a corrente máxima do LED, a ligação do resistor em série apenas limitará a corrente prevista se a tensão for fixa.

Em outros casos, onde a tensão é variável, para evitar a variação do brilho, utiliza-se uma fonte de corrente constante, que através de um circuito integrado (CI), nesse caso o

LM317, sendo capaz de regular a corrente através de uma queda fixa de 1,25v em seu pino de ajuste, queda de tensão resultante de uma resistência sensora (R_s), conforme a Figura 09.

Figura 09: Circuito com Tensão Variável

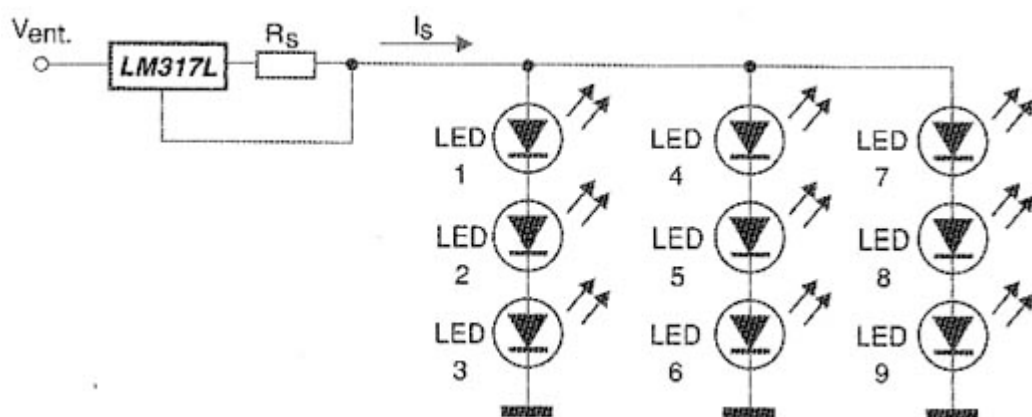


Fonte: Instituto Newton C Braga(2013)

A resistência sensora deve ser calculada em função da corrente (I_s) desejada, dada pela equação que iguala a resistência sensora a razão entre 1,25 pela corrente.

Dessa forma, o CI permite a ligação de um conjunto de LEDs em paralelo, eliminando a necessidade de um resistor limitador individual para cada LED. Com a fonte de corrente constante, a ligação em paralelo dos LEDs garante uma corrente constante para cada LED, resultando em um brilho mais uniforme e estável, conforme a Figura 10.

Figura 10: Circuito com Tensão Variável Estendido



Fonte: Instituto Newton C Braga(2013)

Por outro lado, com o circuito anterior com fonte de tensão constante e com resistores limitadores, a ligação em série dos LEDs distribui a tensão total igualmente entre eles, mas variações na corrente podem levar a diferenças de brilho.

A configuração da fonte de corrente constante é frequentemente incluída aos *drivers* em lâmpadas de alta potência, proporcionando um desempenho consistente e evitando problemas de variação de brilho, com o benefício do *driver* proteger contra curto-circuito, evitando danos. O *driver* pode ser considerado um reator eletrônico, nesse caso para a lâmpada LED, mas com os mesmos objetivos de oferecer um melhor desempenho da iluminação.

4. Experimento prático

É evidente que durante as evoluções das lâmpadas houveram tanto melhorias luminosas, quanto melhorias energéticas. Para fins didáticos, desenvolvemos algumas demonstrações para visualizar na prática a diferença entre as lâmpadas.

Com o objetivo de mostrar a melhoria energética da lâmpada incandescente através da ligação em série da lâmpada incandescente convencional de 100 W, com as lâmpadas fluorescentes e seus diferentes reatores, a lâmpada fluorescente compacta e a lâmpada LED, será possível notar quanta luz a lâmpada incandescente é necessária para acender diferentes lâmpadas.

A ligação em série com uma lâmpada incandescente é comumente utilizada para testar equipamentos com potência menor que estão com suspeita de curto-circuito. A ligação será realizada conforme a Figura 07, montada com em uma placa de madeira como na Figura 08.

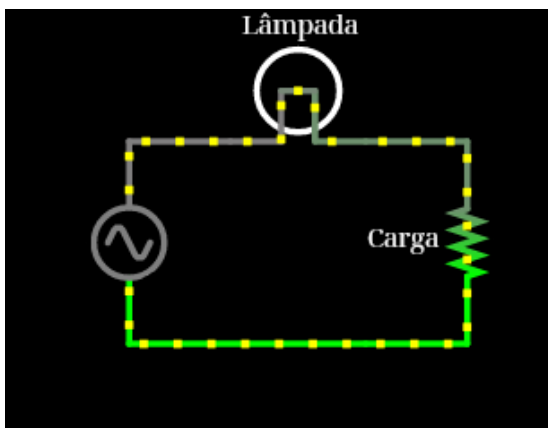


Figura 07: Esquema lâmpada em série

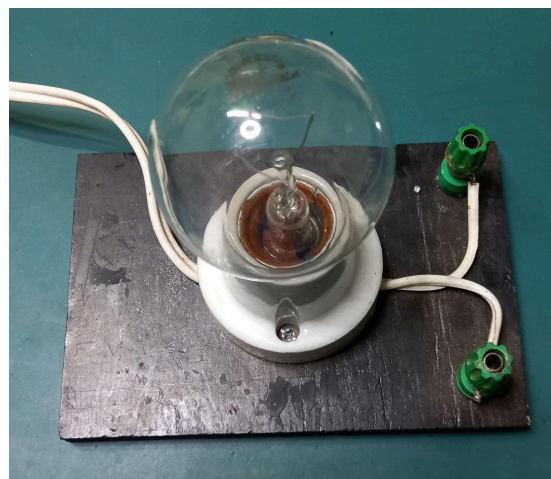
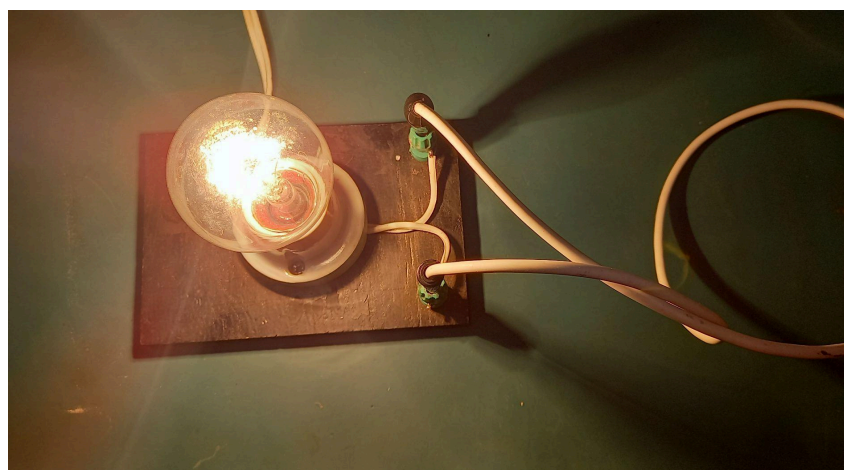


Figura 08: Montagem da lâmpada em série

Fonte: Autoria Própria(2023)

Como a base de comparação, a Figura 09 mostra como é a iluminação da lâmpada quando o circuito está fechado, sem carga.

Figura 09: Lâmpada incandescente em um circuito fechado

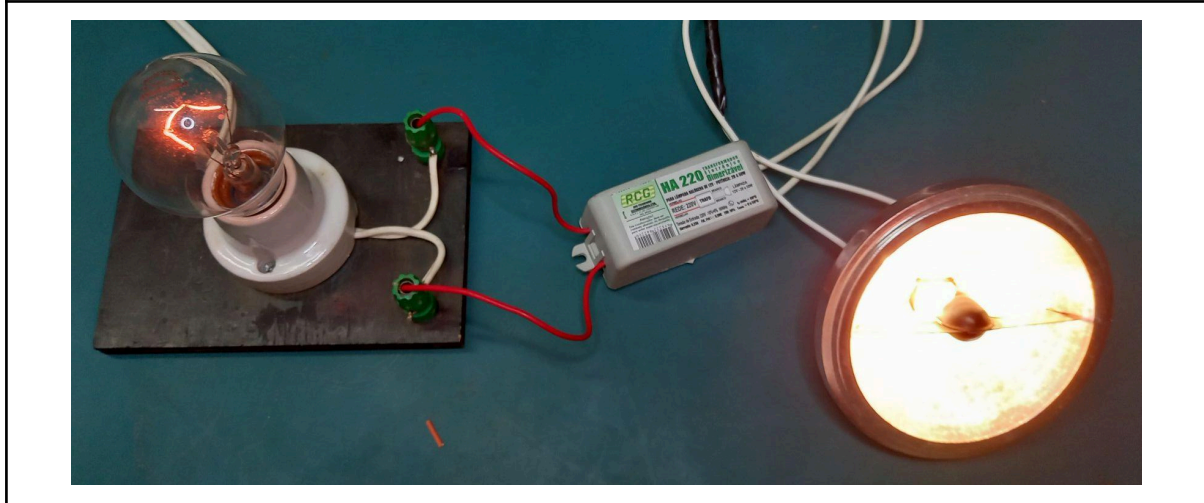


Fonte: Autoria Própria(2023)

Para iniciar a comparação, será comparado a lâmpada incandescente convencional com a sua sucessora, a lâmpada incandescente halógena, na Figura 10 observa-se que com a

lâmpada halógena completamente iluminada, a lâmpada convencional chega a estar meramente incandescente, comprovando sua eficiência energética.

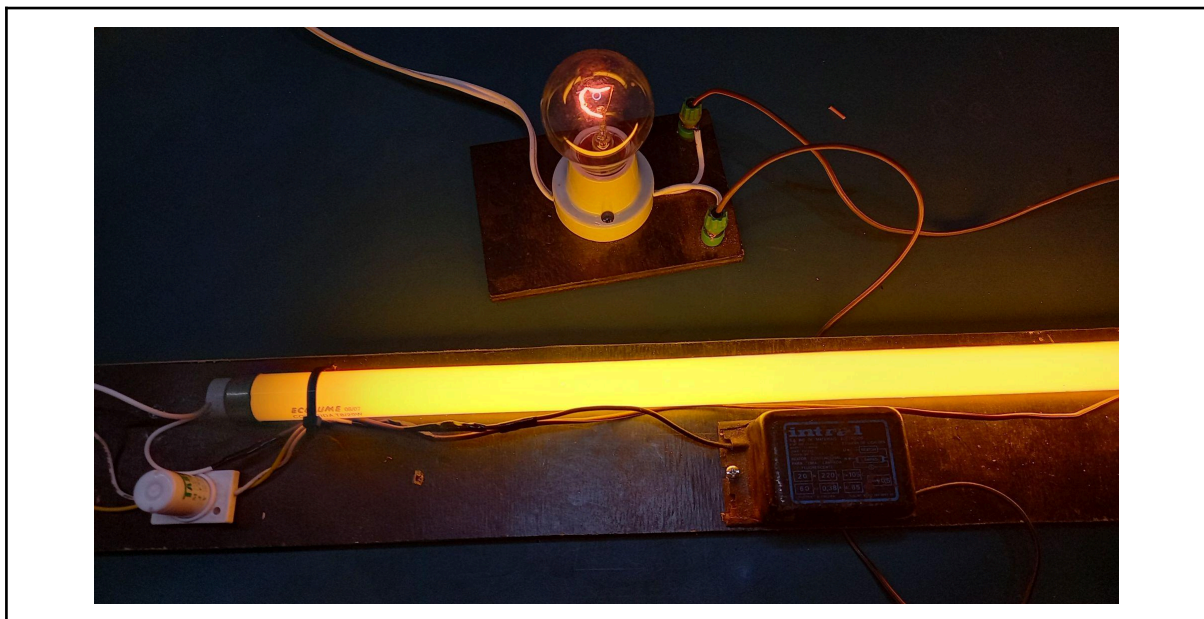
Figura 10: Lâmpada halógena



Fonte: Autoria Própria(2023)

Partindo para comparação entre categorias, vamos comparar a lâmpada incandescente com a lâmpada fluorescente com o reator convencional, com partida por *starter*. Observa-se na Figura 11, que o reator convencional consome uma potência menor do que a lâmpada incandescente, fazendo com que ela fique em meia luz.

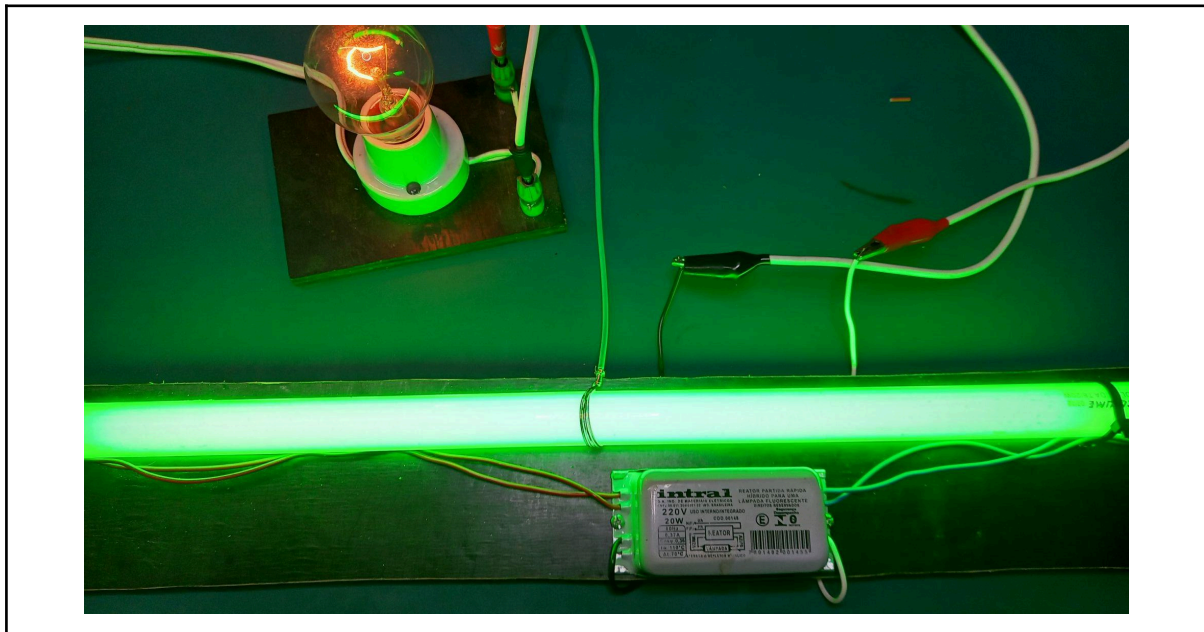
Figura 11: Lâmpada fluorescente com reator



Fonte: Autoria Própria(2023)

O mesmo ocorre com a lâmpada fluorescente com o reator de partida rápida, conforme na Figura 12, não é possível determinar apenas observando a diferença de luminosidade qual dos dois reatores consomem mais energia. Porém, pela especificação dos reatores, sabemos que o reator convencional consome 83,6W, enquanto o reator de partida rápida consome 81,4W.

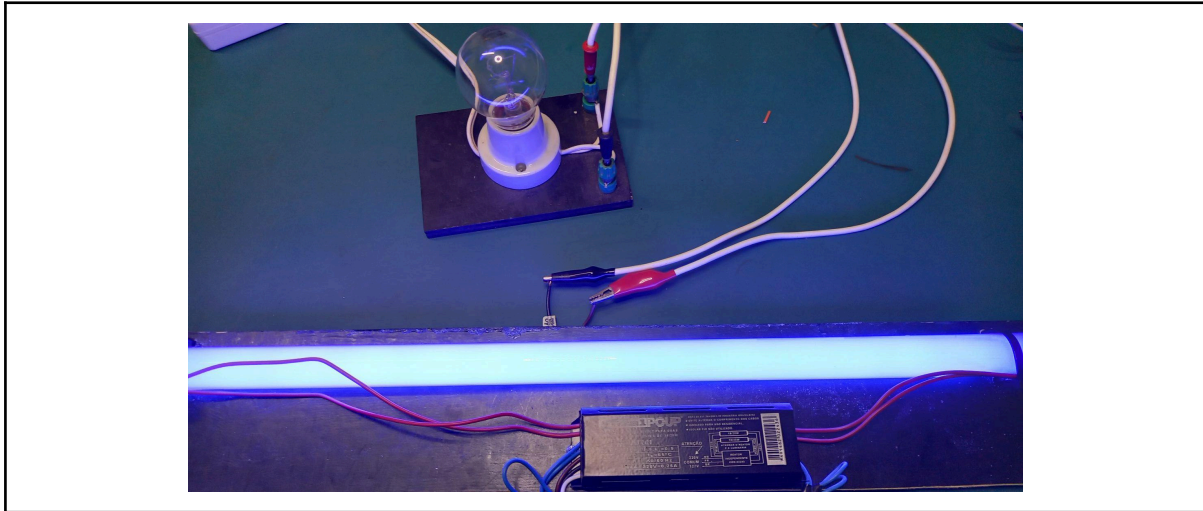
Figura 12: Reator de partida rápida



Fonte: Autoria Própria(2023)

Com o reator eletrônico na Figura 13, a lâmpada incandescente não chega a iluminar, uma vez que o reator eletrônico não envolve indutores, nem transformadores, e sim com um chaveamento em alta frequência, permitindo maior eficiência.

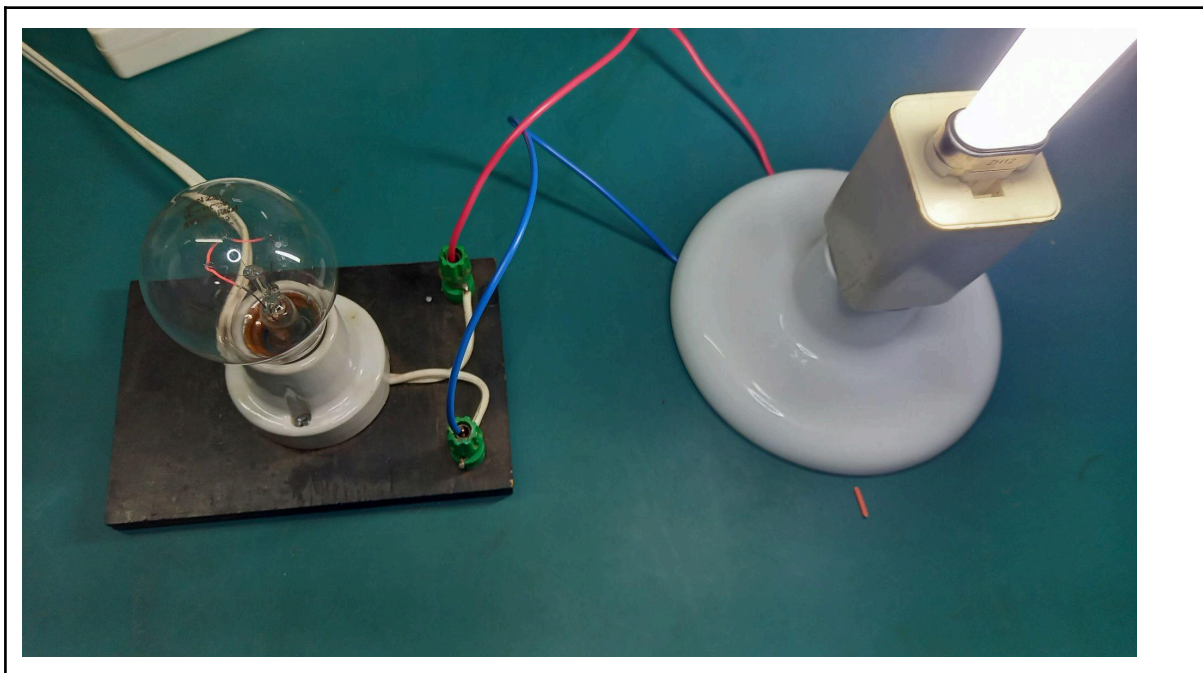
Figura 13: Reator eletrônico



Fonte: Autoria Própria(2023)

Conforme a Figura 14, onde temos a lâmpada fluorescente compacta com reator convencional, por conta do seu tamanho compacto, o filamento da lâmpada incandescente começou a ficar incandescente.

Figura 14: Lâmpada fluorescente com reator convencional

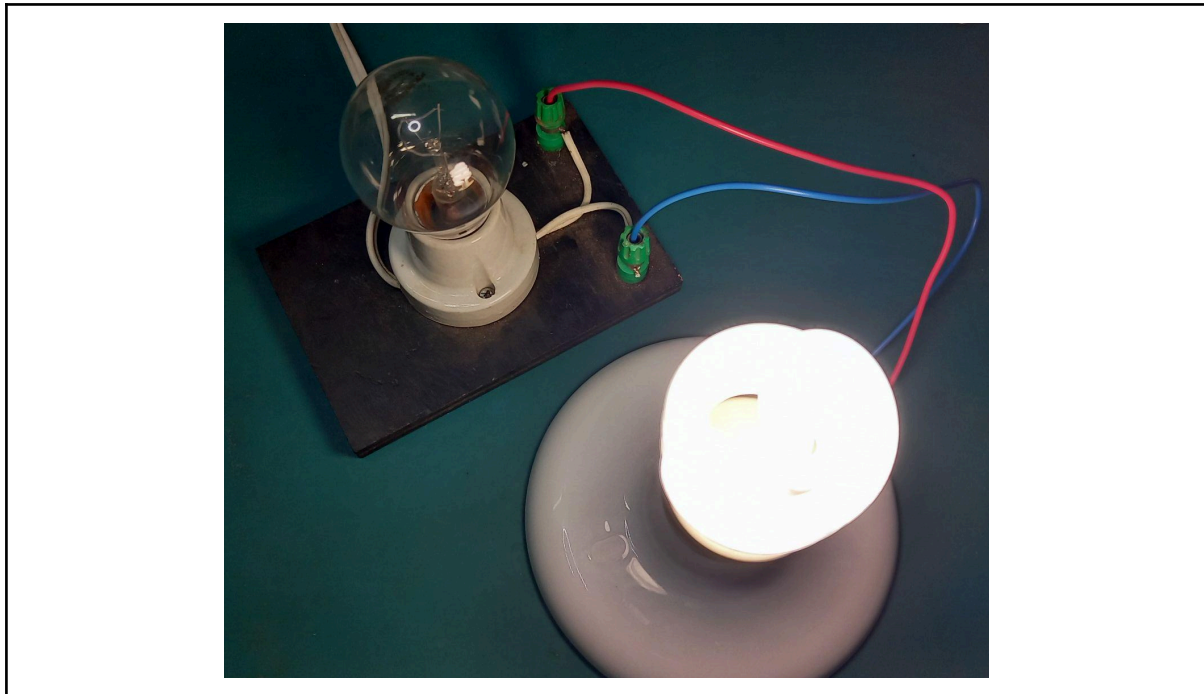


Fonte: Autoria Própria(2023)

Comparando com a sucessora da lâmpada compacta com o reator convencional, a lâmpada fluorescente compacta com o reator eletrônico obteve o mesmo resultado que a

lâmpada fluorescente não compacta, conforme a Figura 15, não consumindo potência suficiente para que a lâmpada incandescente comece a incandescer.

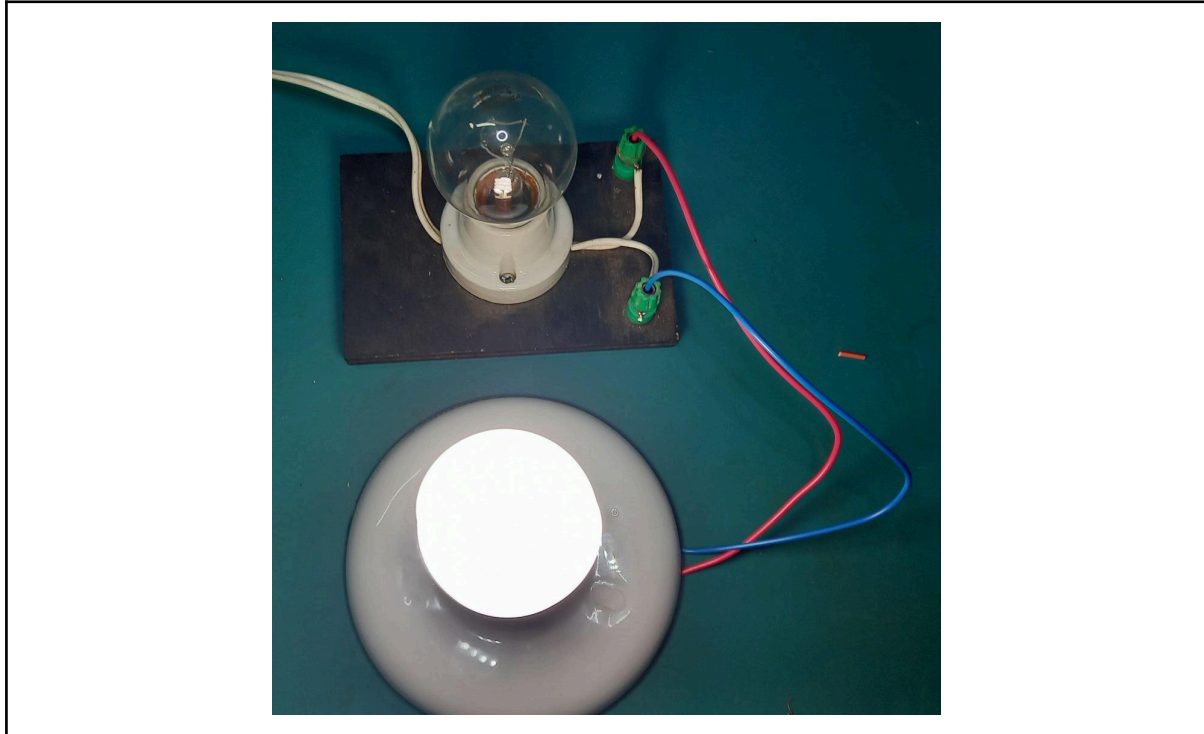
Figura 15: Compacta fluorescente eletrônica



Fonte: Autoria Própria(2023)

Por fim, a última comparação com base na lâmpada incandescente será a lâmpada de LED, que é a evolução da lâmpada fluorescente compacta eletrônica. O que se confirma na figura 16, onde ocorre o mesmo comportamento do que sua antecessora.

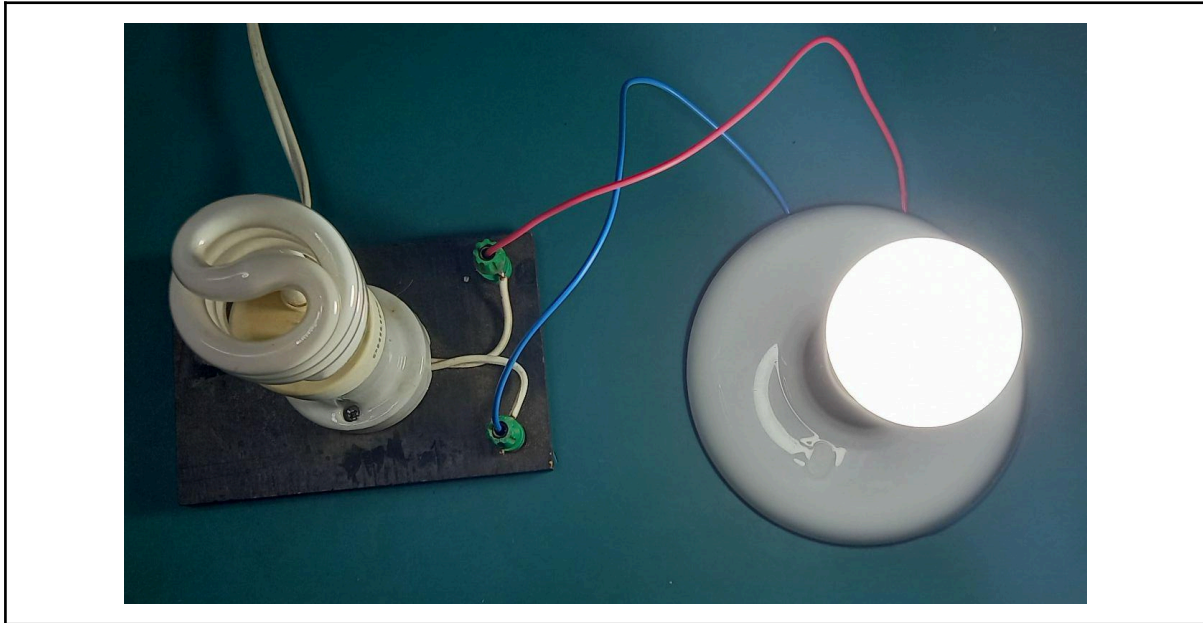
Figura 16: Lâmpada LED



Fonte: Autoria Própria(2023)

Para desmistificar a diferença de potência entre a lâmpada LED e a fluorescente compacta, evidenciamos que a lâmpada LED é suficientemente mais eficiente que a fluorescente compacta, ao ponto de iluminar o ambiente, enquanto a fluorescente não começa sua ignição, conforme a Figura 17.

Figura 17: Comparação entre lâmpada fluorescente e LED



Fonte: Autoria Própria(2023)

Considerações Finais

Como demonstrado na pesquisa bibliográfica e por fim no experimento prático, as lâmpadas sofreram uma grande evolução, ao ponto de ser possível ligar várias lâmpadas LEDs juntas para suprir a potência elétrica de uma única lâmpada incandescente.

Não obstante a isso, sua confiabilidade junto a sua vida útil aumentaram, enquanto as outras lâmpadas têm um filamento que pode queimar ou se romper, ou gases que podem se desgastar além de serem prejudiciais para o meio ambiente.

As lâmpadas LEDs possuem maior capacidade de operar em flutuações de tensão, variações de temperatura, uma das causas da lentidão da ignição da fluorescente.

Por fim, conclui-se que as lâmpadas LEDs são uma solução inovadora e eficiente, mudando a forma como ilumina-se os ambientes, sem candidatos para substituição, a tecnologia do diodo emissor de luz deve ser alvo de melhorias de eficiência energética nos próximos anos.

Referências

The Thomas Edison House Museum. **Thomas Edison House**. Disponível em: <<https://www.edisonhouse.org/>>. Acesso em: 21 abr. 2023.

Mattede, Henrique. **Lâmpada de halogênio: Vantagens e desvantagens.** Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/lampada-de-halogenio-vantagens-e-desvantagens/>>. Acesso em: 12 abr. 2023.

O que são lâmpadas halógenas? Disponível em: <<http://www.g20brasil.com.br/o-que-sao-lampadas-halogenas/>>. Acesso em: 12 abr. 2023.

ABILUX, Associação Brasileira da Indústria da Iluminação. Disponível em: <<http://www.abilux.com.br>>. Acesso em: 09 de mai. 2023.

WINDMÖLLER, C.C. **Especiação de mercúrio em solos contaminados por termodessorção-absorção atômica.** 1996. Tese (Doutorado em Química)- Instituto de Química, Universidade de Campinas, Campinas, 1996. Acesso em: 09 de mai. 2023.

Lâmpada de filamento de carbono: modelos e características. Disponível em: <<https://www.weg.net/tomadas/blog/decoracao/lampada-de-filamento-de-carbono-modelo-s-e-caracteristicas/>>. Acesso em: 12 abr. 2023.

RAM, Gilbert Scott. **The Incandescent Lamp and Its Manufacture.** Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=hYBBAAAAIAAJ&printsec=frontcover&source=gb_s_atb&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 16 abr. 2023

SANTOS, Talia S. et al. **Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais.** Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/gZgg9y4kV5RrgK8Mv6J9YNh/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

BACILA, D. M. **Uso da logística reversa para apoiar a reciclagem de lâmpadas fluorescentes usadas: estudo comparativo entre Brasil e Alemanha.** Curitiba, p. 152, 2012

ALBUQUERQUE, Dominic. **Quem inventou a lâmpada?** Disponível em: <<https://societifica.com.br/quem-inventou-a-lampada/>>. Acesso em: 14 abr. 2023.

Efeito térmico ou Efeito Joule. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/fabiofranco/disciplinas/fisica-ii/2a-unidade/resumo-de-resistencia-eletrica>>. Acesso em: 18 jun. 2023.

Lâmpadas Elétricas e Luminotécnica. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7498243/mod_resource/content/2/teo_luminotecnica.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2023.

LEDs versus lâmpadas convencionais. Disponível em: <https://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed57/ed_57%20At%20-%20LEDs%20versus%20L%C3%A2mpadas.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2023.

Drivers de Lâmpadas de LED: Topologias, Aplicações e Desempenho. Disponível em: <<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/1916/1507>>. Acesso em 18 jun. 2023.

Alimentando corretamente seus LEDs. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/projetos/8162-alimentando-corretamente-seus-leds-art1437.html?highlight=WyJsZWRzIl0=>>>. Acesso em: 18 jun. 2023.

Fonte de corrente constante para LEDs. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/artigos/54-dicas/5574-art714.html>> Acesso em: 18 jun. 2023.

Uso de diodos emissores de luz (LED) de potência em laboratório de Óptica. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5165602.pdf>>. Acesso: 18 jun. 2023.