

Impacto da Dimerização no Fator de Potência e no Fluxo Luminoso em Lâmpadas LED Inteligentes

Eduardo Lourenço de Sousa
Universidade Federal Fluminense
Niterói, Brasil
eduardo_lourenco@id.uff.br

Marcio Zamboti Fortes
Universidade Federal Fluminense
Niterói, Brasil
mzamboti@id.uff.br

Angelo Cesar Colombini
Universidade Federal Fluminense
Niterói, Brasil
accolombini@id.uff.br

Resumo— A Portaria n° 69/2022 regula a certificação de lâmpadas LED, garantindo qualidade e segurança ao consumidor. No entanto, algumas lâmpadas, como as LED RGB e coloridas, estão isentas dessa certificação, permitindo que fabricantes evitem a obrigatoriedade. Diante do crescimento das lâmpadas LED inteligentes, que combinam conectividade e automação, torna-se essencial avaliar sua eficiência e conformidade técnica. Este estudo analisa potência consumida, fator de potência, fluxo luminoso e eficiência luminosa em 127 V e 220 V, nos cenários de máxima e mínima potência. Testes realizados no Laboratório de Luminotécnica da UFF (LABLUX) revelaram que algumas lâmpadas apresentaram potência abaixo da declarada, baixo fator de potência e variações no fluxo luminoso, indicando drivers internos mal dimensionados. Além disso, a dimerização reduziu a eficiência luminosa na maioria das amostras. Os resultados demonstram a necessidade de regulamentação mais rigorosa para lâmpadas LED inteligentes, assegurando eficiência energética, conformidade técnica e menor impacto na qualidade da energia elétrica (QEE).

Keywords—Lâmpadas LED Inteligentes, Eficiência Energética, Certificação de Lâmpadas LED, QEE.)

I. INTRODUÇÃO

Os produtos de iluminação LED, antes da publicação da Portaria obrigando a certificação, não apresentavam um padrão mínimo de qualidade e o consumidor não conseguia ter o conhecimento se as lâmpadas adquiridas seriam seguras para o manuseio ou se elas apresentavam desempenho igual ao informado na embalagem [1].

A Portaria n° 69/2022 abrange as lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado à base [2], sendo elas a maior parcela das lâmpadas convencionais comercializados para o uso doméstico. Contudo, encontram-se excluídos do cumprimento das disposições previstas nesta Portaria: lâmpadas com LED coloridos, com lentes coloridas, que emitem luz colorida; lâmpadas LED RGB (do inglês - *Red, Green e Blue*), que possuem invólucro coloridos e decorativas, e emitem luz colorida; lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado que produzam intencionalmente luz colorida; e lâmpadas OLED (do inglês - *Organic Light Emitting Diode*). Sendo assim, as lâmpadas inteligentes que emitem luzes coloridas estão excluídas do escopo.

As lâmpadas inteligentes são luminárias que possuem a capacidade de emitir luz colorida de forma intencional, muitas vezes destinadas a propósitos decorativos. Isso tem levado vários fabricantes a explorar essa funcionalidade como uma

maneira de evitar a certificação obrigatória e, assim, escapar da exigência de receber o Selo do Inmetro. No entanto, é fundamental lembrar que as lâmpadas inteligentes não se restringem apenas ao aspecto decorativo, mas também desempenham um papel essencial na iluminação convencional, e garantir a qualidade desses produtos é de extrema importância para os consumidores. Portanto, um estudo dedicado à avaliação da qualidade dessas tecnologias no mercado nacional se torna imprescindível.

As seções deste trabalho estão organizadas de forma a sustentar a análise proposta. A Seção II define os objetivos. A Seção III apresenta a base conceitual sobre lâmpadas LED inteligentes. A Seção IV descreve os parâmetros técnicos analisados com foco na Portaria n° 69/2022 do INMETRO, enquanto a Seção V introduz os critérios regulatórios. A Seção VI detalha a metodologia experimental, que fundamenta a Seção VII, onde os resultados são apresentados e discutidos. A Seção VIII conclui o estudo com as principais implicações técnicas e regulatórias

II. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo abrangente sobre as lâmpadas LED inteligentes disponíveis no mercado nacional, por meio da análise de dados experimentais, comparação com as regulamentações vigentes e análise comportamental desses dispositivos. O estudo investigará o desempenho energético das lâmpadas, considerando parâmetros como potência consumida, fator de potência, fluxo luminoso e eficiência luminosa em diferentes condições de operação. Serão realizadas medições em 127 V e 220 V, nos cenários de máxima e mínima potência, avaliando o impacto da dimerização no rendimento das lâmpadas. De modo adicional, busca-se analisar o comportamento desses dispositivos em relação às especificações declaradas pelos fabricantes, bem como seus possíveis efeitos na qualidade da energia elétrica (QEE) e na eficiência energética

III. LÂMPADAS LED INTELIGENTES

Nos últimos anos, tem-se testemunhado uma crescente onda de digitalização nos sistemas de controle, provocando uma transformação profunda nos sistemas de produção industrial. Agora, esses sistemas são impulsionados por uma abordagem inteligente, colaborativa e descentralizada.

A conectividade, sensores, eletrônica e as ferramentas de tecnologia da informação desempenham um papel essencial

ao integrar sistemas automatizados e sistemas de informação por meio de redes de comunicação. Isso resulta na criação de um mercado com uma ampla oferta de produtos e uma maior comoditização [3].

A redução dos custos de conexão tornou-se uma realidade graças à disseminação da conectividade *Wi-Fi*, à integração de sensores nos dispositivos e ao aumento da capacidade de conectar um número cada vez maior de dispositivos por meio de uma rede comum [4], como é feito atualmente com as lâmpadas inteligentes.

A expressão-chave "Internet das Coisas" (do inglês *Internet of Things* - IoT) foi inicialmente cunhada por Kevin Ashton em 1999, no contexto da Gestão da Cadeia de Suprimentos [5]. A IoT é também descrita, de maneira concisa, como uma estrutura arquitetônica que viabiliza a integração e o intercâmbio de informações entre o mundo físico e sistemas computacionais por meio da infraestrutura de rede preexistente [6]. A IoT representa um impulso significativo para a criação de serviços com diversas aplicações, permitindo que objetos ao nosso redor se comuniquem pela internet [7].

O sistema de iluminação inteligente é aquele que se encontra conectado a uma rede e possibilita o controle e monitoramento, seja a partir de um sistema centralizado ou de maneira remota, utilizando uma plataforma em nuvem [8]. As lâmpadas inteligentes LED ganharam destaque devido ao seu papel fundamental como um exemplo representativo da próxima era da IoT [1]. A função mais fundamental de uma lâmpada inteligente é o escurecimento por meio de comunicação sem fio usando *Bluetooth*, *Wi-Fi*, *ZigBee*, etc.

Na Fig. 1 está apresentada uma de placa de circuito impresso (PCB – do inglês *Print Circuit Board*) mostrando os tipos de LEDs presentes na lâmpada inteligente. Isso difere das lâmpadas LED convencionais, que normalmente contam apenas LEDs de alta potência. Essa característica permite às lâmpadas inteligentes ajustar tanto a intensidade luminosa quanto a temperatura de cor, proporcionando vantagens em relação às lâmpadas convencionais, que apresentam apenas dois estados: ligado e desligado [1].



Fig. 1 - PCB lâmpada LED Inteligente.

Atualmente, existem aplicativos móveis disponíveis para controlar a iluminação de lâmpadas inteligentes. Esses aplicativos permitem a execução de diversas tarefas de forma automática. Por exemplo, é possível ligar ou desligar o dispositivo, configurar o modo de cor, ajustar a intensidade de brilho, selecionar a temperatura de cor e programar o desligamento automático.

IV. PARÂMETROS MEDIDOS

Neste item objetiva-se explicar de forma simples os parâmetros medidos e comentados neste artigo.

A. Potência

A potência de uma lâmpada LED representa a quantidade de energia elétrica consumida para seu funcionamento e é expressa em watts (W). Diferente das lâmpadas incandescentes e fluorescentes, as lâmpadas LED possuem maior eficiência energética, convertendo uma fração significativa da energia consumida em luz, com menores perdas em forma de calor.

Consumo de potência, medida comumente usada na comparação de lâmpadas, frequentemente interpretada como sinônimo de capacidade de iluminação, o que constitui um equívoco. A relação entre consumo e iluminação é válida apenas para lâmpadas da mesma tecnologia tendo em vista a sua eficiência energética.

B. Fator de Potência

Fator de Potência é uma variável elétrica que mensura a disparidade no comportamento de um componente ou circuito em relação a um resistor. Nesse cenário, o circuito consome potência reativa, uma forma de energia que não se converte em trabalho útil e não se reflete na fatura de energia do usuário, como ilustrado na Fig. 2, onde ϕ representa o ângulo de fase correspondente ao cosseno inverso do fator de potência. Contudo, essa potência reativa sobrecarrega as linhas de distribuição/transmissão e os geradores, restringindo a quantidade de potência ativa que a rede pode transmitir. Quanto menor o fator de potência, maior é a quantidade de potência reativa consumida pelo equipamento. No contexto brasileiro, não há um limite estabelecido para residências, enquanto para empresas, o fator de potência mínimo permitido é 0,92 [9].

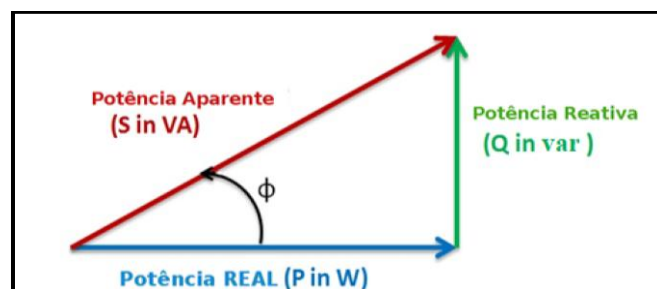


Fig. 2 - Triângulo das Potências

C. Fluxo Luminoso

A unidade de fluxo luminoso é denominada lúmen (lm); a quantidade de fluxo luminoso incidente em uma unidade quadrada da superfície de uma esfera é estabelecida como 1 lm. Vale ressaltar que a própria unidade é arbitrária, visto que a quantidade total de fluxo que incide sobre essa área é independente do tamanho da esfera [10]. A Fig. 3 mostra de forma ilustrada as grandezas descritas.

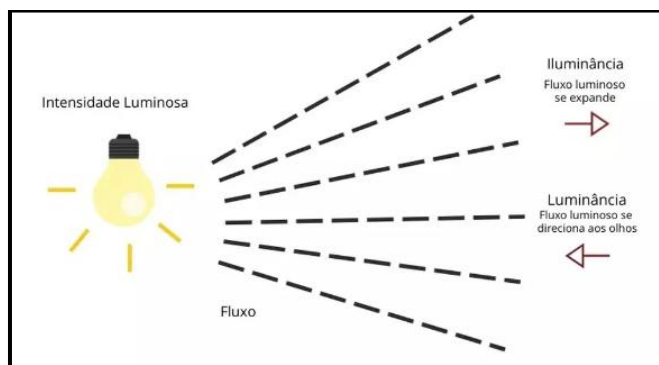


Fig. 3 - Parâmetros Luminotécnicos.

A esfera integradora é empregada para mensurar o fluxo luminoso total proveniente de uma fonte, tal como uma lâmpada ou luminária. O modelo mais comum desse instrumento é a esfera de Ulbricht. A teoria subjacente da esfera integradora parte do pressuposto de uma esfera vazia cuja superfície interna é perfeitamente difusora e de refletância uniforme não seletiva. Em virtude dessa característica, cada ponto na superfície interna reflete para todos os outros pontos, e a iluminância em qualquer ponto é composta por dois elementos distintos: o fluxo luminoso que incide diretamente da fonte e o que é refletido de outras áreas na parede da esfera [11].

D. Eficiência

A totalidade da potência consumida por uma lâmpada derivará de seus diversos elementos constituintes, como circuitos acoplados, geração de calor e a luz emitida. A potência consumida por uma lâmpada não se converterá integralmente em luz devido às inevitáveis perdas. A energia útil de uma tecnologia de iluminação é a capacidade de gerar luz, que pode ser mensurada em lumens.

A eficiência luminosa de uma fonte de luz é determinada pela divisão do fluxo luminoso total, medido em lumens, pela potência total de entrada, expressa em watts [10]. Essa métrica é chamada de lumens por watt (lm/W). Quanto maior a eficiência energética, isso indica que é possível obter mais iluminação com um consumo de energia reduzido [12]. Em termos diferentes, uma lâmpada que gera um fluxo luminoso considerável não necessariamente é a mais eficiente, uma vez que pode estar dissipando energia na forma de calor, resultando em desperdícios.

Foi realizada uma pesquisa no site do INMETRO [13], onde estão disponíveis os dados de todas as lâmpadas certificadas no Brasil, tanto nacionais quanto importadas. Esse levantamento revelou que há lâmpadas LED no mercado brasileiro com eficiência luminosa superior a 100 lm/W. As lâmpadas LED tendem a melhorarem suas performances quando as portarias que as regulamentam passam a vigorar [14].

V. PADRÕES REGULATÓRIOS

Nesta seção, será apresentada a regulamentação que abrange a certificação de lâmpadas LEDs, destacando algumas definições presentes nela, juntamente com os limites e critérios de aprovação. As lâmpadas LED melhoram suas performances quando as portarias que as regulamentavam passaram a vigorar [14].

As lâmpadas LED convencionais, equipadas com dispositivo de controle integrado à base ou integrado ao corpo

como uma peça única não removível, são projetadas para operar em redes de corrente alternada, para tensões nominais de até 127 V e/ou 220 V, sendo assim obrigatório o ensaio em ambas tensões [2].

Conforme mencionado na fundamentação deste estudo, as lâmpadas LED inteligentes estão fora do escopo dessa regulamentação, pois se enquadram nos critérios estabelecidos no Art. 4, §2º, que excluem certas tecnologias, sendo eles [2]:

I - lâmpadas com LED coloridos, com lentes coloridas, que emitem luz colorida;

II - lâmpadas LED RGB, que possuem invólucro coloridos e decorativas, e emitem luz colorida;

III - lâmpadas LED com dispositivo de controle incorporado que produzam intencionalmente luz colorida.

Quanto aos requisitos de desempenho, o critério para a potência nominal da lâmpada está delineado no item:

“3.1.1 A potência consumida pela lâmpada LED não pode exceder a potência nominal declarada em mais do que 10%.” [2]

Para a avaliação de conformidade do fator de potência é descrito no item [2]:

3.1.2 O fator de potência das lâmpadas deve atender aos seguintes requisitos:

- a) Para lâmpadas com potência nominal declarada de 5 W a 25 W, o fator de potência deve ser maior ou igual a 0,70.
- b) Não é exigido um fator de potência mínimo para lâmpadas com potência declarada menor que 5 W. [4]

O fluxo luminoso é especificado no item [2]:

“3.1.3 O fluxo luminoso inicial medido de uma lâmpada LED não pode ser inferior a 90% do fluxo luminoso nominal declarado.”

A regulamentação estabelece um limite mínimo de eficiência energética para diferentes tipos de lâmpadas, conforme descrito no item 3.1.6. No caso das lâmpadas não direcionais com potência inferior a 15 W, a exigência é que tenham uma eficiência mínima de 55 lm/W [2].

Ademais, há regras sobre as informações que precisam estar presentes na embalagem, no manual de instruções e até no próprio corpo da lâmpada. Esses detalhes são fundamentais para garantir que o consumidor escolha um produto com as características certas e use-o com segurança.

Entre os principais dados que devem estar visíveis, estão a potência nominal, o fator de potência e o fluxo luminoso [2].

VI. METODOLOGIA

Foram realizadas medições nas lâmpadas inteligentes a fim de obter os dados para análise no Laboratório de Luminotécnica da Universidade Federal Fluminense (LABLUX), que é acreditado junto ao INMETRO e pertence ao Departamento de Engenharia Elétrica da UFF.

As amostras selecionadas para os ensaios seguiram os seguintes critérios:

- Lâmpadas LED inteligentes com ajuste de parâmetros elétricos e fotométricos;
- Compatíveis com aplicativos ;
- Com variação mínima de preço e potência máxima;
- Todas do mesmo formato de bulbo;
- Disponíveis no mercado nacional

Com essas premissas foram adquiridas onze lâmpadas de fabricantes diferentes, as quais são mostradas na Fig. 4



Fig. 4 - Amostras Seleccionadas.

As amostras foram designadas de F1 a F11 para representar diferentes fabricantes. A potência elétrica nominal está distribuída da seguinte forma: quatro amostras com 9 W, cinco com 10 W, uma com 11 W e outra com 12 W. A maior dimerização de potência de cada é a declarada na embalagem.

Para as análises, foram definidos dois cenários, nos quais o TCC ajustável será configurado em seu valor máximo:

- C1: Máxima potência ajustável
- C2: Mínima potência ajustável

A escolha desses cenários permite avaliar o comportamento das lâmpadas em limites operacionais distintos, assegurando que os parâmetros elétricos e fotométricos sejam analisados de forma precisa. Manter o TCC no valor máximo possibilita a padronização das condições de teste, reduzindo variáveis externas e facilitando a comparação dos resultados obtidos

Antes das medições, as amostras foram estabilizadas conforme [15], garantindo precisão nos resultados. O processo ocorreu em temperatura ambiente e posição especificada, sendo considerado concluído quando a variação na saída de luz e na potência elétrica permaneceu abaixo de 0,5% por 30 minutos.

Para a realização dos ensaios, foi empregada uma fonte de potência linear e programável, a Pacific 110-ADX, conforme ilustrado na Fig. 5



Fig. 5 - Fonte de Potência Programável Usada nos Ensaios.

As características elétricas foram capturadas utilizando o wattímetro digital Yokogawa WT-210 (Fig. 6), em conjunto com seu software dedicado, o WT-Viewer, por meio da interface de comunicação GPIB (*General Purpose Interface*

Bus). O wattímetro digital esteve operacional durante todo o processo de medição fotoelétrica.



Fig. 6 - Wattímetro Usado nos Ensaios.

As medições fotométricas foram realizadas com a Esfera Integradora de Ulbricht (Fig. 7) e o Espectro-radiômetro *Everfine HAAS-2000* (Fig. 8), utilizando o software *Everfine HAAS Suite*.



Fig. 7 - Esfera Integradora Usada nos Ensaios



Fig. 8 - Espectro-radiômetro Usado nos Ensaios

As medições foram realizadas nas tensões de 127 V e 220 V, devido a obrigatoriedade exigida na Portaria nº 69/2022 [2].

VII. RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta seção, serão apresentados os valores medidos dos parâmetros propostos, assim como as análises. Na Tabela 1, estão apresentados os valores de potência medida e declarada de cada amostra. Os valores medidos foram obtidos em ambos os cenários e tensões.

TABELA 1 - VALORES MEDIDOS DE POTÊNCIA

Amostra	Potência Declarada (W)	Cenário 1		Cenário 2	
		Potência Máxima (W)		Potência Mínima	
		127 V	220 V	127 V	220 V
F1	11	10,93	11,09	2,38	2,30
F2	10	9,25	9,17	2,08	2,14
F3	9	8,27	8,41	1,98	2,21
F4	10	9,27	8,90	2,33	2,11
F5	9	8,67	8,66	2,52	2,64
F6	10	9,04	8,98	2,21	2,21
F7	9	9,20	9,24	2,04	2,10
F8	10	9,58	9,53	1,82	1,95
F9	12	10,76	10,97	1,90	2,12
F10	9	9,40	9,38	1,92	1,87
F11	10	9,56	9,41	1,97	2,11

Ao comparar os valores medidos na condição de máxima potência com aqueles declarados pelos fabricantes, observa-se que a maioria das amostras apresentou potência inferior à informada na embalagem. As exceções foram as amostras F7 e F10, que em ambas as tensões apresentaram potência superior à declarada, assim como a amostra F1 em 220 V. No entanto, conforme estabelecido pela Portaria n° 69/2022 [2], a exigência regulamentar aplica-se apenas ao limite superior, determinando que a potência medida não pode ultrapassar em mais de 10% o valor declarado pelo fabricante.

As variações entre as medições realizadas em 127 V e 220 V foram relativamente pequenas quando analisadas na condição de potência máxima. A maior diferença observada ocorreu na amostra F4, com um desvio de 0,37 W, representando uma variação percentual de aproximadamente 4,0%.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores de FP medido de cada amostra. As medições foram realizadas em ambos cenários e tensões.

TABELA 2 - VALORES MEDIDOS DE FATOR DE POTÊNCIA

Amostra	Fator de Potência			
	Cenário 1		Cenário 2	
	127 V	220 V	127 V	220 V
F1	0,95	0,88	0,73	0,60
F2	0,93	0,88	0,73	0,58
F3	0,54	0,42	0,42	0,32
F4	0,91	0,87	0,75	0,61
F5	0,97	0,91	0,82	0,69
F6	0,91	0,88	0,75	0,64
F7	0,56	0,45	0,42	0,34
F8	0,61	0,51	0,46	0,38
F9	0,56	0,45	0,41	0,34
F10	0,98	0,92	0,77	0,60
F11	0,57	0,47	0,44	0,36

De acordo com a Portaria n° 69/2022 [2], o fator de potência para lâmpadas com potência entre 5 W e 25 W deve ser superior a 0,7. Com base nesse critério, a avaliação da conformidade foi realizada apenas na condição de máxima dimerização. Os dados obtidos indicam que as amostras F3, F7, F8, F9 e F11 apresentaram FP inferior ao limite estabelecido, não atendendo ao requisito normativo.

Na condição de mínima potência, essas mesmas cinco amostras também registraram FP abaixo de 0,7 em 127 V. Em 220 V, todas as amostras apresentaram FP inferior a 0,7. No

entanto, como a exigência normativa considera apenas a potência máxima, todas estariam dentro dos padrões aceitáveis.

Também é importante destacar que os valores de FP medidos em 220 V foram inferiores aos registrados em 127 V para todas as amostras. Esse comportamento pode indicar um possível subdimensionamento do driver interno, comprometendo a estabilidade da lâmpada em redes de maior tensão.

Na Tabela 3 estão apresentados os valores de fluxo luminoso, medido em lúmens (lm). As medições foram realizadas em ambos cenários e tensões.

TABELA 3 - VALORES MEDIDOS DE FLUXO LUMINOSO

Amostra	Fluxo Luminoso (lm)			
	Cenário 1		Cenário 2	
	127 V	220 V	127 V	220 V
F1	1044,5	1061,9	156,0	153,7
F2	899,6	918,3	149,9	167,4
F3	661,3	674,8	146,0	150,4
F4	868,6	881,2	178,1	149,4
F5	683,9	698,0	171,9	178,4
F6	917,2	927,8	183,5	171,9
F7	822,4	830,6	173,3	162,9
F8	874,1	885,4	173,4	172,7
F9	1056,4	1067,6	191,0	176,1
F10	808,1	822,0	150,9	155,3
F11	860,4	829,2	164,5	159,3

A análise dos dados em máxima potência indica uma tendência de aumento no fluxo luminoso quando medido em 220 V, com exceção da amostra F11, que apresentou uma redução de aproximadamente 31 lúmens nessa condição.

Além disso, foi realizada a avaliação da eficiência luminosa para cada amostra, cenário e tensão. O cálculo foi feito dividindo o fluxo luminoso (lm) pela potência consumida (W), resultando na unidade de medida lúmens por watt (lm/W), que representa a relação entre a energia elétrica consumida e a quantidade de luz emitida pela lâmpada. Os cálculos estão apresentados na Tabela 4.

TABELA 4 - VALORES CALCULADOS DE EFICIÊNCIA LUMINOSA.

Amostra	Eficiência Luminosa (lm/W)			
	Cenário 1		Cenário 2	
	127 V	220 V	127 V	220 V
F1	95,56	95,76	65,55	66,82
F2	97,26	100,14	72,04	78,23
F3	79,97	80,24	73,75	68,04
F4	93,70	99,01	76,45	70,80
F5	78,88	80,60	68,19	67,59
F6	101,46	103,32	83,05	77,79
F7	89,39	89,89	84,93	77,58
F8	91,24	92,90	95,30	88,54
F9	98,18	97,32	100,54	83,05
F10	85,97	87,63	78,59	83,06
F11	90,00	88,12	83,50	75,48

A eficiência luminosa tende a seguir a variação do fluxo luminoso, porém essa correlação não se verifica em todas as amostras. A Fig. 9 é um gráfico de barra que permite uma análise visual dos dados.

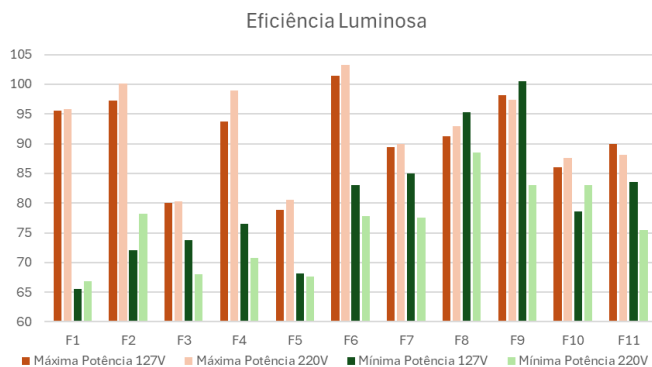


Fig. 9 - Gráfico de Comparação de Eficiência.

O gráfico evidencia que a dimerização impacta significativamente na eficiência luminosa das lâmpadas LED inteligentes, reduzindo o aproveitamento energético. A eficiência luminosa cai significativamente na mínima potência na maioria das amostras, evidenciando que a dimerização reduz o desempenho em relação ao consumo de energia.

Algumas lâmpadas demonstram maior estabilidade nesse aspecto, como F9 e F8, enquanto outras, como F1, F2 e F6, apresentam forte queda de eficiência, o que pode levar a um consumo energético desnecessário. Esses resultados indicam a necessidade de um projeto otimizado dos drivers internos para garantir que a dimerização não comprometa excessivamente o desempenho das lâmpadas.

VIII. CONCLUSÃO

Os testes revelaram que algumas lâmpadas LED inteligentes apresentaram potência inferior à declarada, baixo fator de potência em cenários de mínima potência, e variações no fluxo luminoso conforme a tensão de alimentação. Especificamente, as amostras F3, F7, F8, F9 e F11 não atenderam ao fator de potência mínimo exigido (0,7) na condição de máxima potência, e todas as amostras tiveram FP abaixo de 0,7 em 220 V na mínima potência. Além disso, a eficiência luminosa seguiu, em geral, a tendência do fluxo luminoso, mas com algumas discrepâncias.

O desempenho inferior pode estar relacionado ao subdimensionamento dos drivers internos das lâmpadas, que podem não estar otimizados para operar com a mesma eficiência em diferentes tensões. Esse fator pode explicar a queda do fator de potência, especialmente em 220 V e em condições de baixa potência, além das variações no fluxo luminoso.

O baixo fator de potência aumenta a circulação de correntes reativas na rede elétrica, sobrecarregando transformadores e linhas de transmissão. Isso pode levar a perdas de energia, queda na eficiência da rede e necessidade de infraestrutura elétrica mais robusta para compensação.

A menor eficiência luminosa em algumas amostras significa maior consumo de energia para a mesma quantidade de luz emitida. Esse consumo adicional impacta diretamente a demanda energética, levando ao aumento da geração de eletricidade e, consequentemente, a maiores emissões de gases do efeito estufa, especialmente em sistemas elétricos baseados em combustíveis fósseis.

Essas variações evidenciam a necessidade de um projeto otimizado para garantir que a redução de potência não comprometa excessivamente o rendimento energético e o

fluxo luminoso, impactando a experiência do usuário e a eficiência global do sistema. Esse cenário reforça a importância de um controle mais rígido sobre a certificação desses produtos, garantindo que as lâmpadas inteligentes operem com eficiência elétrica e energética, minimizando impactos negativos na rede elétrica e no meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi apoiada em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) através da bolsa 001, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através da bolsa 404068/2020-0, e pelo Instituto Nacional de Energia Elétrica (INERGE). Agradecemos também ao Laboratório de Luminotécnica da UFF (LABLUX) pelo suporte técnico e infraestrutura disponibilizados, que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] G. B. Takahashi e F. Q. Rossi, "Uso consciente da dimerização e da temperatura de cor na automação de lâmpadas inteligentes," in Congresso Brasileiro de Automação (CBA), 2022.
- [2] INMETRO, Portaria nº 69 de 22 de fevereiro de 2022: Regulamento Técnico da Qualidade e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Lâmpadas LED com Dispositivo de Controle Integrado à Base - Consolidado, 2022.
- [3] F. P. Pereira, O. L. Asato, P. J. I. Kaneshiro e F. Y. Nakamoto, "Proposta de sistema de produção de fraldas infantis: Recurso inteligente com ênfase na Indústria 4.0 sustentável," in Anais do 14º Congresso Internacional IEEE de Aplicações Industriais (INDUSCON), 2021, pp. 316–323, doi: 10.1109/INDUSCON51756.2021.9529873.
- [4] J. C. Talwana e H. J. Hua, "Smart world of Internet of Things (IoT) and its security concerns," in Anais da IEEE Int. Conf. Internet of Things e conferências associadas, 2017, pp. 240–245, doi: 10.1109/Things-GreenCom-CPSCoM-SmartData.2016.64.
- [5] A. Kevin, "That 'Internet of Things' thing," RFID Journal, p. 4986, 2010. [Online]. Disponível em: <http://www.itrc.jp/libraries/RFIDjournal-That%20Internet%20of%20Things%20Thing.pdf>
- [6] T. Mladenova e V. Cankov, "Smart home based on IoT – architecture and practices," in Anais do HORA 2023 – 5º Congresso Internacional de Interação Humano-Computador, Otimização, Robótica e Aplicações, 2023, pp. 1–5, doi: 10.1109/HORA58378.2023.10156739.
- [7] S. Wang, Y. Hou, F. Gao e X. Ji, "A novel IoT access architecture for vehicle monitoring system," in Anais do 3º Fórum Mundial da Internet das Coisas (WF-IoT), 2016, pp. 639–642, doi: 10.1109/WF-IoT.2016.7845396.
- [8] O. Ayan e B. Turkay, "Eficiência energética baseada em IoT em residências inteligentes por meio de soluções de iluminação," in Anais do 21º Simpósio Internacional de Tecnologias de Equipamentos Elétricos (SIELA), 2020, doi: 10.1109/SIELA49118.2020.9167065.
- [9] A. A. Valentim, "Lâmpadas LED: Impacto no consumo e no fator de potência," Revista de Engenharia Elétrica, vol. 6, pp. 29–33, 2010.
- [10] Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), The IESNA Lighting Handbook, 2000.
- [11] Luziluminação, "Tudo sobre temperatura de cor e IRC," 2022. [Online]. Disponível em: <https://luziluminacao.com.br/tudo-sobre-temperatura-de-cor-e-irc/>. Acesso em: 20 dez. 2023.
- [12] M. M. Miyashiro, "Avaliação da eficiência energética de lâmpadas LED," PUC-Campinas, 2016.
- [13] INMETRO, "Produtos e serviços com conformidade avaliada." [Online]. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/prodcert/produtos/lista.asp>. Acesso em: 16 fev. 2025.
- [14] A. R. M. E. S. Becker, M. Z. Fortes, A. P. Fragoso, B. G. Serdeira e L. M. da Silva, "Análise comparativa de lâmpadas LED decorativas – Aspectos regulatórios," in Anais da 15ª Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica (CBQEE), 2023, doi: 10.1109/CBQEE59548.2023.10504068.
- [15] Illuminating Engineering Society, ANSI/IES LM-79-19: Método aprovado para medições ópticas e elétricas de produtos de iluminação de estado sólido, 2019.