

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
E DE TELECOMUNICAÇÕES

LORENNA BAPTISTA DE OLIVEIRA

FERRAMENTA DE ANÁLISE DE DADOS NA CERTIFICAÇÃO DE PRODUTOS  
LUMINOTÉCNICOS - UM ESTUDO DE CASO PARA LÂMPADAS LED

NITERÓI

2018

LORENNNA BAPTISTA DE OLIVEIRA

MATRÍCULA: M054.216.007

**FERRAMENTA DE ANÁLISE DE DADOS NA CERTIFICAÇÃO DE PRODUTOS  
LUMINOTÉCNICOS - UM ESTUDO DE CASO PARA LÂMPADAS LED**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica e Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações.

Orientador(a):

Prof. Dr. Márcio Zamboti Fortes

Co-orientador(a):

Prof. Dra. Níssia Carvalho Rosa Bergiante

Niterói, RJ

2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES  
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA  
FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA GERADA EM:

<http://www.bibliotecas.uff.br/bee/ficha-catalografica>

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE  
Gerada com informações fornecidas pelo autor

048f Oliveira, Lorena Baptista de  
FERRAMENTA DE ANÁLISE DE DADOS NA CERTIFICAÇÃO DE PRODUTOS  
LUMINOTÉCNICOS : UM ESTUDO DE CASO PARA LÂMPADAS LED / Lorena  
Baptista de Oliveira ; Márcio Zamboti Fortes, orientador ;  
Níssia Carvalho Rosa Bergiante, coorientadora. Niterói, 2018.  
105 p. : il.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,  
Niterói, 2018.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPGEET.2018.m.14323080760>

1. Certificação de Lâmpadas LED. 2. Análise  
Multicritério. 3. TOPSIS. 4. Sistemas de iluminação. 5.  
Produção intelectual. I. Fortes, Márcio Zamboti,  
orientador. II. Bergiante, Níssia Carvalho Rosa,  
coorientadora. III. Universidade Federal Fluminense. Escola  
de Engenharia. IV. Título.

CDD -

LORENNA BAPTISTA DE OLIVEIRA

**FERRAMENTA DE ANÁLISE DE DADOS NA CERTIFICAÇÃO DE  
PRODUTOS LUMINOTÉCNICOS - UM ESTUDO DE CASO PARA  
LÂMPADAS LED**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações.

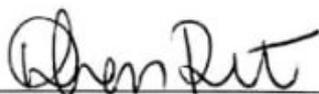
Área de concentração: Sistemas de Energia Elétrica

BANCA EXAMINADORA



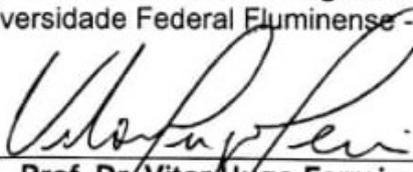
---

**Prof. Dr. Márcio Zamboti Fortes** - Orientador  
Universidade Federal Fluminense - UFF



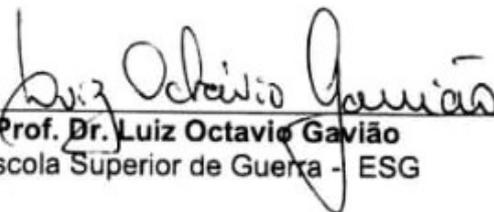
---

**Prof. Dr. Nissia Carvalho Rosa Bergiante** - Coorientadora  
Universidade Federal Fluminense - UFF



---

**Prof. Dr. Vitor Hugo Ferreira**  
Universidade Federal Fluminense - UFF



---

**Prof. Dr. Luiz Octavio Gavião**  
Escola Superior de Guerra - ESG

Niterói  
(DEZ/2018)

*Dedicatória: À minha família e amigos, em especial, aos meus pais Mara Lúcia Baptista de Oliveira e Antônio Carlos de Oliveira.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que sempre está comigo me dando vida, saúde e me guiando em seus caminhos.

Agradeço aos meus pais, Antônio Carlos de Oliveira e Mara Lúcia Baptista de Oliveira que me dão todo suporte que preciso além do amor incondicional.

Ao meu namorado Miguel Santos Silva, que sempre acreditou mais em mim do que eu mesma e por isso me incentiva a superar meus desafios.

A todos os funcionários do LABLUX que me ajudaram durante os últimos anos na realização dos serviços do laboratório e dos trabalhos de pesquisa.

Agradeço em especial ao professor Gilson Brito Alves Lima, à professora Níssia Carvalho Rosa Bergiante e ao Professor Márcio Zamboti Fortes pela disposição em me ajudar, ensinar, emprestar livros, e por me orientar nesse trabalho. Sem vocês esse trabalho não existiria.

Agradeço também aos meus antigos professores e atuais colegas de trabalho pelo incentivo e amizade. Obrigada professores: André Abel Augusto, André Luiz da Rosa Plaisant, André da Costa Pinho, Angelo Cesar Colombini, Artur José Silva Fernandes, Bruno Soares Moreira Cesar Borba, Bruno Wanderley França, Carlos Henriques Ventura do Rosário Oliveira, Daniel Henrique Nogueira Dias, Felipe Sass, Geraldo Martins Tavares, Guilherme Gonçalves Sotelo, José Andrés Santisteban Larrea, Julio César Stacchini de Souza, Márcio André Ribeiro Guimaraens, Márcio Zamboti Fortes, Paulo Roberto Duailibe Monteiro, Rainer Zanghi, Vitor Hugo Ferreira, Derick Furquim Pereira, José Eduardo da Rocha Alves Junior, Thales Terrola e Lopes, Thiago Trezza Borges, Sérgio Gomes Junior e Marcio Antônio Sens.

*“Nada é mais difícil, e, portanto mais precioso, do que poder decidir”*

*Napoleon Maxims*

## RESUMO

Atualmente as lâmpadas LED comercializadas no mercado nacional por fabricantes e importadores devem atender, segundo a Portaria n° 144/ 2015 do Inmetro, aos requisitos mínimos apresentados na Portaria n° 389/2014. Isto porque após a entrada em vigor das Portarias, os fabricantes e importadores de lâmpadas LED tiveram um tempo estabelecido para se adequar as novas regras e oferecer para o mercado nacional produtos certificados de acordo com requisitos de eficiência energética, segurança e compatibilidade eletromagnética. Além da certificação compulsória, há também uma regulamentação específica elaborada pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) que permite que fabricantes e importadores estampem nas embalagens de seus produtos o selo que comprova uma eficiência mais elevada comparada aos valores mínimos estabelecidos na certificação compulsória. Ambos os selos fazem parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Inmetro, e buscam fornecer informações sobre o desempenho dos produtos a fim de auxiliar a escolha dos consumidores e estimular a competitividade da indústria. Tendo em vista a necessidade de melhoria contínua dos processos de certificações de produtos no país, este trabalho busca apresentar por meio do método de análise multicritério TOPSIS um sistema de análise de lâmpadas LED. Para tanto, foi observado não apenas a eficiência energética, mas também outros aspectos de qualidade da luz gerada e de qualidade de energia considerados atualmente como requisitos para a certificação compulsória de lâmpadas. Ao final do trabalho pôde-se perceber a relevância de se utilizar os métodos de análise multicritério como ferramenta de auxílio nos processos de certificação de lâmpadas e que o mesmo pode ser reproduzido para diversos produtos criando uma ferramenta de apoio a tomada de decisão baseada em análise de dados, impactando diversos setores da sociedade. Este trabalho oferece subsídios para a criação de uma nova rotulagem de produtos, auxiliando, em curto prazo, compradores a buscarem dentre os produtos disponíveis no mercado aqueles com melhor desempenho, além de, em longo prazo, impulsionar os fabricantes a melhorarem os produtos oferecidos no comércio brasileiro.

**Palavras-Chave:** Análise Multicritério. TOPSIS. Sistemas de iluminação. Sistema de decisão. Lâmpadas LED.

## ABSTRACT

Currently the LED bulbs sold in the national market by manufacturers and importers must meet, according to Ordinance nr. 144/2015, the minimum requirements presented in Ordinance nr. 389/2014. This is because after the entry into force of the Ordinances, manufacturers and importers of LED lamps have had an established time to adapt to the new rules and offer products certified to the national market according to requirements of energy efficiency, safety and electromagnetic compatibility. In addition to compulsory certification, there is also a specific regulation developed by National Program for the Conservation of Electric Energy (PROCEL) that allows manufacturers and importers to stamp on the packaging of their products the seal that proves a higher efficiency compared to the minimum values established in compulsory certification. Both stamps are part of the Brazilian Labeling Program (PBE), coordinated by Inmetro, and seek to provide information on product performance in order to help consumers choose and stimulate industry competitiveness. Considering the need for continuous improvement of product certification processes in the country, this work seeks to present the multi-criterion analysis method TOPSIS for an LED lamp analysis system. To this end, not only energy efficiency but also other aspects of the quality of generated light and of energy quality considered as requirements for compulsory certification of lamps were taken into account. At the end of the work it was possible to see the relevance of using the multicriteria analysis methods as an aid tool in the processes of certification of lamps and that it can be reproduced for several products creating a tool to support decision-making based on analysis impact on diverse sectors of society. This work offers subsidies for the creation of a new labeling of products, helping, in the short term, buyers to search among the products available in the market those with better performance, and, in the long term, to encourage manufacturers to improve the products offered in the market.

**Keywords:** Multicriteria Analysis, TOPSIS, Lighting systems, Decision system, LED lamps.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição da economia de energia estimada para os anos de 2012 até 2016 (PROCEL, 2018). .....	25
Figura 2 - Junção P-N de um LED (PIMENTA, 2006).....	30
Figura 3 - Liberação de um fóton (PIMENTA, 2006).....	30
Figura 4 - Evolução dos LEDs (SABER ELETRÔNICA, 2007).....	31
Figura 5 – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para lâmpadas LED e LED tubular (INMETRO, 2015). .....	32
Figura 6 - Distribuição de Trabalhos de 1995 a 2015(JAYANT e SHARMA, 2018). .....	48
Figura 7 - Distância euclidiana de dois pontos (A1 e A2) até a solução ideal positiva e solução ideal negativa no espaço bidimensional (HWANG e YOON, 1981). .....	50
Figura 8 – Metodologia do trabalho esquematizada.....	57
Figura 12 - Esfera integradora de Ulbricht.....	59
Figura 13 - Fonte de tensão. ....	59
Figura 14 – Espectroradiômetro. ....	60
Figura 15 – Wattímetro. ....	60
Figura 16 - Computador. ....	60
Figura 9 - Fluxo luminoso de uma lâmpada (OSRAM, 2016). .....	60
Figura 10 - Um lúmen (FONSECA, 1976).....	61
Figura 11 - Objetos iluminados por lâmpadas com Ra 100 e 85 respectivamente (OSRAM, 2016).....	61
Figura 17 - Proposta da nova etiqueta do Procel.....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplos de Programas de Avaliação da Conformidade Compulsórios e Voluntários.....	21
Tabela 2 – Indicação das marcações e locais onde as marcações são necessárias.....	33
Tabela 3 – Critérios de avaliação da conformidade de lâmpadas Tubulares LED – Potência, Fluxo Luminoso e Fator de Potência.....	34
Tabela 4 – Critérios de avaliação da conformidade de lâmpadas Tubulares LED – Ordens Harmônicas.....	34
Tabela 5 – Critérios de avaliação da conformidade de lâmpadas Tubo LED – Índice de Reprodução de Cor e R9.....	35
Tabela 6 – Critérios de avaliação da conformidade de lâmpadas Tubo LED – Fluxo Luminoso para equivalência.....	35
Tabela 7 – Critérios de avaliação da conformidade de lâmpadas Tubulares LED – Relação de eficiência mínima.....	35
Tabela 8 – Critérios avaliados para concessão do Selo Procel de lâmpadas LED.....	36
Tabela 9–Principais regulamentos europeus sobre equipamentos de iluminação.....	37
Tabela 10– Lista de métodos híbridos utilizando o TOPSIS.....	44
Tabela 11 - Distribuição de artigos sobre TOPSIS pelos países.....	46
Tabela 12– Distribuição de artigos sobre TOPSIS ao longo dos anos.....	47
Tabela 13 – Métodos MCDA para os diferentes problemas.....	49
Tabela 14– Tabela do resultado das médias das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo a Portaria 389/2014 em 220V.....	65
Tabela 15-Tabela do resultado das médias das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo a Portaria 389/2014 em 127V.....	65
Tabela 16 - Tabela do resultado das médias das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo a Portaria 389/2014 – Distorções de Corrente em 220V.....	66
Tabela 17 - Tabela do resultado das médias das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo a Portaria 389/2014 – Distorções de Corrente em 127V.....	66
Tabela 18-Tabela do resultado das médias das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo a Portaria 389/2014 – Distorções de Corrente em 220V.....	67
Tabela 19-Tabela do resultado das médias das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo a Portaria 389/2014 – Distorções de Corrente em 127V.....	67

Tabela 20-Tabela do resultado das médias das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo os critérios para concessão do Selo Procel em 127V e 220V. ....	68
Tabela 21 - Tabela do resultado individual das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo os critérios para concessão do Selo Procel em 220V. ....	69
Tabela 22 - Tabela do resultado individual das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo os critérios para concessão do Selo Procel em 127V. ....	69
Tabela 23 – Resultado do Cenário 1 – <i>Ranking</i> das alternativas. ....	70
Tabela 24 – Dados das lâmpadas para comparação do Cenário 2. ....	71
Tabela 25 – Resultado do Cenário 2 – <i>Ranking</i> das alternativas. ....	75
Tabela 26 – Dados das lâmpadas para comparação do Cenário 3. ....	76
Tabela 27 – Resultado do Cenário 3 – <i>Ranking</i> das alternativas. ....	79
Tabela 28 – Dados das lâmpadas para comparação do Cenário 4. ....	80
Tabela 29 – Resultado do Cenário 4 – <i>Ranking</i> das alternativas. ....	83
Tabela 30 - Reprovação de modelos de lâmpadas por critério. ....	86
Tabela 31 - Reprovação de modelos de lâmpadas por critério. ....	87

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ELETRORÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S. A
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISSO	<i>International Organization for Standardization</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MCA	<i>Multicriteria Analysis</i>
MCDA	<i>Multicriteria Decision Analysis</i>
MCDM	<i>Multicriteria Decision Making</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
OLED	<i>Organic Light Emitting Diode</i>
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RELUZ	Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficiente
RTQ	Regulamento Técnico da Qualidade
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E OBJETIVOS .....	15
1.1	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	ETIQUETAGEM.....	19
2.1.1	INMETRO .....	19
2.1.2	PROCEL.....	24
2.1.3	COMISSÃO EUROPEIA.....	27
2.2	CARACTERÍSTICAS DAS LÂMPADAS LED .....	29
2.3	TÉCNICAS DE ANÁLISE MULTI-CRITÉRIO .....	38
2.3.1	MÉTODOS: APLICAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E TEMPORAL 41	
2.4	TOPSIS .....	49
3	METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DO CASO .....	56
4	RESULTADOS .....	64
4.1	AVALIAÇÃO SEGUNDO A PORTARIA 389/2014.....	64
4.2	AVALIAÇÃO SEGUNDO CRITÉRIOS DO SELO PROCEL.....	68
4.3	ESTUDO DE CASO: RANQUEAMENTO UTILIZANDO O TOPSIS .....	70
4.3.1	CENÁRIO 1 – EFICIÊNCIA .....	70
4.3.2	CENÁRIO 2 – QUALIDADE DE ENERGIA .....	71
4.3.3	CENÁRIO 3 – QUALIDADE DE ILUMINAÇÃO.....	75
4.3.4	CENÁRIO 4 – AVALIAÇÃO GERAL .....	79
4.3.5	DISCUSSÕES .....	83
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	89
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	91
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	92
	ANEXO A – Lista de Lâmpadas LED que possuem selo Procel.....	98

## 1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Segundo a Portaria nº 144 de 13 de março de 2015 (INMETRO, 2015), atualmente as lâmpadas LED (*Light Emitting Diode*) comercializadas no mercado nacional por fabricantes e importadores devem possuir a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) como requisito para sua comercialização.

A ENCE, que faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), é uma forma visual dos consumidores saberem se o produto está certificado pelo Inmetro e se o mesmo atende os requisitos mínimos estabelecidos nas portarias vigentes.

A Portaria nº 389 de 25 de agosto de 2014 (INMETRO, 2014) é o documento que apresenta os requisitos mínimos que devem ser atendidos pelas lâmpadas LED, visando à eficiência energética, segurança e compatibilidade eletromagnética das mesmas.

Após a entrada em vigor das Portarias, os fabricantes e importadores de lâmpadas LED tiveram um tempo estabelecido para se adequar as novas regras e oferecer para o mercado nacional produtos certificados (INMETRO, 2015). Assim, passados três anos da instauração da Portaria nº 144/2015, reflexos dessa política já podem ser observados.

Pereira, *et al.* (2015) comparou diferentes tecnologias de lâmpadas a fim de verificar as variações das medições de fluxo luminoso, potência consumida e distorções geradas entre as lâmpadas LEDs, fluorescentes e incandescentes. Em seu trabalho, apontou a melhoria ocorrida nas lâmpadas LEDs entre os anos de 2011 e 2015, ressaltando que a fiscalização adequada dos produtos comercializados pode garantir que a tecnologia seja aprimorada e contribua para a redução do consumo em residências e outros edifícios.

Miyashiro (2016) verificou em seu trabalho que as lâmpadas certificadas quando comparadas às não certificadas atingem índices melhores nas medições elétricas e fotométricas. Este autor apontou o mercado consumidor como um dos maiores beneficiários da certificação de produtos uma vez que passa a ter acesso às lâmpadas de melhor qualidade.

Além da certificação compulsória, há também uma regulamentação específica elaborada pelo Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) que permite que fabricantes e importadores estampem nas embalagens de seus produtos o selo que comprova uma eficiência mais elevada comparada aos valores mínimos estabelecidos na certificação compulsória.

Esse selo é importante na medida em que orienta os consumidores e os motiva a adquirir e utilizar produtos mais eficientes, além de configurar-se como um importante instrumento para o combate ao desperdício de energia elétrica (PROCEL, 2013).

Mesmo com a existência da certificação e do selo Procel para lâmpadas LED, ainda sim há a necessidade de criação de modelos de incentivo à melhoria da qualidade de produtos de forma que todos, ou a maioria dos fabricantes possam buscar a evolução contínua do produto ofertado. Tal metodologia já é utilizada no Brasil em outros produtos como, por exemplo, em equipamentos de aquecimento solar de água, fornos e fogões a gás, aquecedores a gás, lâmpadas fluorescentes tubulares, dentre outros.

Nesses casos o selo utilizado possui uma graduação de cores que permite aos usuários identificarem a eficiência do equipamento adquirido quando comparado aos outros com características semelhantes. Essa característica pode também ser identificada nos selos utilizados pelos países europeus, que buscam por meio dele ajudar a população a reduzir os custos energéticos.

Tendo em vista a necessidade de melhoria contínua dos processos de certificações de produtos, faz-se necessário comparar os diversos programas de certificação ao redor do mundo. No caso da União Europeia, seu documento foi alterado em 2017. Nessa nova revisão, está previsto um procedimento de reescalonamento dos rótulos com base na evolução tecnológica das lâmpadas além da substituição das classes até então existentes. A União Europeia busca com isso contribuir para a moderação da procura de energia e para o cumprimento das metas de eficiência energética da União Europeia para 2020 e 2030 (CONSELHO DA UNIÃO EUROPÉIA, 2017).

Considerando-se as modernizações ocorridas no regulamento europeu, além dos resultados obtidos por meio da etiquetagem de diferentes produtos, este trabalho busca apresentar por meio de métodos de análise multicritério um sistema de análise de lâmpadas LED levando em consideração não apenas a eficiência energética, mas também outros aspectos considerados atualmente como requisitos para a certificação compulsória de lâmpadas, tais como medições de qualidade da luz gerada e qualidade de energia.

Espera-se observar, ao final do trabalho, como os diferentes critérios adotados na análise impactam a rotulagem de lâmpadas LED, bem como, realçar a importância de se utilizar os métodos de análise multicritério como ferramenta de auxílio nos processos de certificação de lâmpadas. O método proposto pode também ser reproduzido para diversos produtos criando uma ferramenta de apoio a tomada de decisão baseada em análise de dados, impactando diversos setores da sociedade.

Além disso, acredita-se que a criação de um mecanismo de rotulagem de produtos possa, em curto prazo, auxiliar compradores a buscarem os melhores produtos disponíveis no

mercado, e, em longo prazo, impulsionar os fabricantes a melhorarem os produtos oferecidos no comércio brasileiro.

## 1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para melhor compreensão, o trabalho seguirá a seguinte distribuição:

- Capítulo 2: Referencial teórico

O capítulo busca apresentar o Inmetro, o Procel e a Comissão Europeia como entidades responsáveis pela gestão da avaliação da conformidade e a concessão dos selos por eles elaborados. Além disso, no capítulo é discutido o modo como a avaliação da conformidade é realizada no Brasil e na União Europeia e o impacto dessas ações no sistema de energia elétrica e no mercado consumidor. O capítulo também busca apresentar questões teóricas a respeito das lâmpadas LED e dos métodos de análise multicritério, enfatizando o desenvolvimento das técnicas ao longo dos anos e a distribuição geográfica dos trabalhos pelo mundo, a fim de apontar a atualidade do método escolhido e a relevância do tema proposto.

- Capítulo 3: Metodologia e descrição do caso

Neste capítulo os equipamentos utilizados nas medições de lâmpadas LED são apresentados juntamente com as condições de cada ensaio e a descrição dos testes. Nele também são apresentados os cenários para as simulações, e como será utilizado o método de análise multicritério escolhido.

- Capítulo 4: Resultados

Esse capítulo busca apresentar os resultados das medições nas lâmpadas que foram utilizados como dados de entrada no estudo de caso. Primeiro esses resultados são comparados aos parâmetros mínimos requisitados nas portarias e normas vigentes e num segundo momento, o resultado de cada cenário proposto é estudado. Sugestões de possíveis modificações nas regulamentações vigentes são apresentadas no final do capítulo.

- Capítulo 5: Considerações finais e sugestão de trabalhos futuros

As considerações finais do trabalho são retratadas buscando enfatizar como os métodos de análise multicritério podem auxiliar os consumidores na escolha da lâmpada mais adequada ao projeto. Além disso, é proposta uma melhoria do sistema de etiquetagem do governo brasileiro a fim de dar maior suporte aos consumidores.

- Capítulo 6: Sugestões para trabalhos futuros

Neste capítulo, são propostas recomendações para a continuidade dos trabalhos na área pesquisada, além de serem realizadas algumas sugestões de para desenvolvimento de estudos para comparação dos resultados por meio de outros métodos multicritério.

- Referências Bibliográficas

Exposição das referências utilizadas para a elaboração do trabalho.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

O presente capítulo busca introduzir os conceitos teóricos necessários ao entendimento do trabalho. Na primeira parte são apresentados os órgãos e institutos envolvidos na certificação de lâmpadas no Brasil e na União Europeia, bem como um resumo das diretrizes por eles proposta. Ao longo do texto, também são abordadas as normas, portarias e regulamentos criados a fim de padronizar os equipamentos disponíveis no mercado brasileiro e europeu. As características construtivas das lâmpadas LED são abordadas na segunda parte. Na última parte, são apresentados os métodos de análise multicritério destacando quando cada um deles deve ser utilizado.

### **2.1 ETIQUETAGEM**

#### **2.1.1 INMETRO**

O Inmetro foi criado em 1973 como Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial devido à necessidade de políticas governamentais de apoio ao setor produtivo. Sua criação visava permitir que o Brasil participasse da corrida tecnológica mundial que ocorria na segunda metade do século XX, aperfeiçoando os sistemas de medida, a exatidão e, auxiliando principalmente, no atendimento às exigências do consumidor. Antes dele ainda existiu o Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM, criado em 1961) que centralizou a política metrológica nacional e adotou o Sistema Internacional de Unidades (SI)(INMETRO, 2012).

O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), como é chamado hoje, é a entidade do governo federal responsável pela gestão do Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade (SBAC) e único acreditador oficial do Estado brasileiro. É o órgão nacional que busca por meio de sua política fortalecer as empresas nacionais e promover a melhoria da qualidade de produtos e serviços no país. Tendo em vista sua missão institucional, atua na verificação e fiscalização da observância das normas técnicas e legais no âmbito da metrologia, acreditação de laboratórios de calibração e de ensaios e coordenação da avaliação da conformidade de produtos, serviços, processos e pessoas(INMETRO, 2018), dentre outros.

## **Avaliação da Conformidade**

Segundo o Inmetro, a expressão avaliação da conformidade está definida como o “exame sistemático do grau de atendimento por parte de um produto, processo ou serviço a requisitos especificados”(INMETRO, 2018).

Definida também pela Organização Mundial do Comércio (OMC) como “qualquer atividade com o objetivo de determinar, direta ou indiretamente, o atendimento a requisitos aplicáveis” (INMETRO, 2018). A avaliação da conformidade é utilizada por diversos países como forma de protecionismo ao mercado interno, uma vez que a utilização de barreiras técnicas para entrada de produtos estrangeiros no mercado pode facilitar ou dificultar o comércio entre os países. Assim, tal avaliação atua de maneira estratégica nas relações econômicas internacionais.

É importante destacar a importância da avaliação da conformidade na aceleração do desenvolvimento econômico de um país, mas também como um mecanismo de melhora qualitativa e quantitativa do comércio interno tendo em vista que induz à busca contínua da melhoria da qualidade dos produtos ofertados. Já para o estado, a adoção de tais medidas torna-se necessária uma vez que se transforma num instrumento eficiente de proteção ao meio ambiente e à saúde e a segurança do consumidor.

Outra definição do INMETRO (INMETRO, 2018) diz que “a avaliação da conformidade é um processo sistematizado, com regras pré-estabelecidas, devidamente acompanhado e avaliado, de forma a propiciar adequado grau de confiança de que um produto, processo ou serviço, ou ainda uma pessoa, atende a requisitos pré-estabelecidos em normas ou regulamentos, com o melhor custo benefício possível para a sociedade”.

Esse conceito apresenta dois objetivos principais: atender as preocupações da sociedade, garantindo que o produto, processo ou serviço está em conformidade com os requisitos especificados, e por outro lado assegurar que a menor quantidade possível de recursos para atender as necessidades do consumidor seja utilizada.

A conformidade quando avaliada em um produto significa dizer que ele está conforme a norma ou ao regulamento técnico aplicável ao mesmo. Assim, pode-se afirmar que não é possível comparar produtos com conformidade avaliada com o objetivo de identificar se um é melhor ou pior do que o outro. No que diz respeito à avaliação da conformidade, pode-se assegurar apenas que ambos atenderam a requisitos mínimos de segurança, de proteção à saúde, de proteção do meio ambiente, dentre outros.

Além disso, a atividade de avaliação da conformidade pode-se dar por três partes. A primeira parte é aquela realizada pela pessoa ou organização que fornece o objeto. Por

segunda parte, é realizada por pessoa ou organização que tem interesse de usuário no objeto. E por terceira parte aquela que é realizada independentemente de pessoa ou organização que fornece o objeto e de interesse de usuário nesse objeto.

Qualquer que seja a parte interessada, o processo de avaliação de um objeto deve ser tratado de forma sistemática a fim de propiciar confiança de que o objeto atende requisitos estabelecidos em norma ou regulamento técnico. Esse processo sistematizado, normalmente envolve, entre outras ações, a seleção de normas ou regulamentos, a coleta de amostras, a realização da análise de tipo, seleção do laboratório responsável pelo ensaio, execução dos ensaios e inspeções, interpretação dos resultados, realização de inspeção e auditorias no sistema de gestão da qualidade do fornecedor (tratamento das não conformidades e acompanhamento), avaliação e acompanhamento do produto no mercado.

Assim, um programa de avaliação da conformidade é caracterizado por dois momentos: um momento inicial da avaliação da conformidade, e uma ação continuada de acompanhamento e controle a fim de garantir que o produto que está sendo posto no mercado está em conformidade.

Outro aspecto importante é que a avaliação da conformidade pode ser compulsória ou voluntária. A Tabela 1 possui alguns exemplos de programas de avaliação da conformidade do mercado brasileiro. A avaliação possui caráter compulsório quando o produto, processo ou serviço pode oferecer riscos à segurança do consumidor, ao meio ambiente ou ainda quando o desempenho do produto, quando inadequado, pode trazer prejuízos econômicos à sociedade. Nesse caso, a atividade é exercida por uma autoridade regulamentadora em nome do Estado.

Nos casos em que a avaliação da conformidade é voluntária, parte do fornecedor a iniciativa de avaliação do produto. Essa avaliação é normalmente procurada a fim de agregar valor ao produto aumentando a vantagem competitiva do fornecedor frente ao mercado consumidor.

Tabela 1 – Exemplos de Programas de Avaliação da Conformidade Compulsórios e Voluntários.

<b>Programas Compulsórios no Brasil</b>	<b>Programas Voluntários no Brasil</b>
Botijão de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo)	Cachaça
Extintor de Incêndio	Mesa e cadeira – conjunto aluno de ensino fundamental
Fios e cabos elétricos até 750V	Fibra beneficiada de sisal

Fonte: autor, baseado no documento de Avaliação da Conformidade(INMETRO, 2018).

Vale ressaltar que para cada caso, utiliza-se um documento como referência. No primeiro caso, quando a avaliação da conformidade é compulsória, os documentos utilizados são os regulamentos técnicos, já no segundo caso, quando ela é voluntária, as normas técnicas. A maioria dos regulamentos técnicos se baseia em normas e por isso tornam os critérios, que antes eram de caráter voluntário, obrigatórios. No Brasil, no entanto, quando há a ausência de regulamentos técnicos, segundo a Lei nº 8.078, de setembro de 1990, os produtos devem ser disponibilizados no mercado em conformidade com as normas técnicas.

### **Mecanismos de avaliação da conformidade**

No Brasil, a atividade de avaliação da conformidade possui diferentes mecanismos para verificar a adequação de um produto, processo ou serviço em relação aos critérios estabelecidos por normas e regulamentos técnicos. Os principais mecanismos de avaliação da conformidade praticados no Brasil são: a certificação, a declaração da conformidade do fornecedor, a inspeção e o ensaio.

Para a seleção do mecanismo de Avaliação da Conformidade é necessário levar em consideração diversos aspectos de forma a determinar o agente econômico que a realizará (1ª parte ou 3ª parte), o mecanismo, a compulsoriedade ou não da avaliação e as ferramentas de que serão utilizadas.

### **Certificação**

A certificação de produtos, processos, serviços, sistemas de gestão e pessoal é, por definição, realizada por uma organização independente acreditada pelo Inmetro para executar a avaliação da conformidade destes objetos. Assim, pode-se afirmar que a certificação é por definição efetuada por terceira parte.

A acreditação de um organismo de certificação ocorre com o reconhecimento por parte do Inmetro de sua competência para avaliar um objeto, com base em regras preestabelecidas, na maior parte das vezes, pelo próprio Inmetro.

Os modelos de certificação se dividem em três: certificação de sistemas de gestão, certificação de pessoal e certificação de produtos, processos e serviços.

No caso da certificação de sistemas de gestão, busca-se por meio das normas induzir a organização por processos, enfatizando as ações de prevenção de defeitos. Apesar das normas não apontarem os produtos a serem produzidos, elas permitem a estruturação dos sistemas de

gestão da organização, de forma que a repetibilidade dos resultados sejam asseguradas, garantindo a qualidade.

A certificação de sistemas de gestão propicia que a organização não somente funcione de maneira consistente e preocupada com a qualidade e com o meio ambiente, mas também que seus empregados tenham noção clara de como obter a qualidade, ou como preservar o meio ambiente.

A certificação de pessoal avalia as habilidades, os conhecimentos e as competências de algumas ocupações profissionais e pode incluir, dentre outras, exigências a formação/grau de escolaridade, treinamentos, experiência profissional, habilidades e conhecimentos teóricos e práticos.

Os programas de certificação de pessoal normalmente estabelecem pré-requisitos aos profissionais candidatos a certificação, em termos de exigência de formação e experiência profissional mínimas, podendo ser complementadas por exames teóricos ou práticos. Sua implementação deve ser precedida de análise de impactos, principalmente sociais de forma a induzir os candidatos ao aperfeiçoamento profissional.

No caso das certificações de produtos, processos ou serviços, existem também diversos tipos de certificações que variam de acordo com suas características. Segundo o Inmetro (INMETRO, 2018), os principais modelos de certificação são o 1a, 1b, 2, 3, 4, 5 e 6.

O modelo de Certificação 1a é composto por uma avaliação única. Nesse modelo, uma ou mais amostras do produto são submetidas a atividades de avaliação da conformidade, que podem consistir em ensaio, inspeção, avaliação de projeto, avaliação de serviços ou processos, dentre outros. Esse modelo não contempla a etapa de manutenção. A avaliação da conformidade do objeto é efetuada uma única vez e os itens subsequentes de produção não são cobertos pelo Certificado de Conformidade emitido.

No modelo de Certificação 1b é realizado o ensaio de lote. Nesse caso, o número de unidades a serem ensaiadas pode ser uma parcela do lote, coletada de forma aleatória, ou até mesmo, o número total de unidades do lote (ensaio 100%). O Certificado de Conformidade é restrito ao lote certificado.

O modelo de Certificação 2 é composto pela avaliação inicial consistindo de ensaios em amostras retiradas no fabricante, seguida de avaliação de manutenção periódica através de coleta de amostra do produto no mercado. As Avaliações de Manutenção têm por objetivo verificar se os itens produzidos após a atestação da conformidade inicial (emissão do Certificado de Conformidade) permanecem conformes.

O modelo de Certificação 3 possui mesma metodologia de ensaios do modelo de certificação dois. Sua diferença, no entanto, ocorre na avaliação de manutenção periódica onde a coleta de amostra do produto é realizada na fábrica. Além disso, a manutenção pode incluir a avaliação periódica do processo produtivo.

No modelo de Certificação 4 é realizada uma avaliação inicial consistindo de ensaios em amostras retiradas no fabricante, seguido de avaliação de manutenção periódica através de coleta de amostras do produto na fábrica e no comércio, combinados ou alternadamente, para realização das atividades de avaliação da conformidade. Nesse modelo, também pode haver a avaliação periódica do processo produtivo.

O modelo de Certificação 5 possui uma avaliação inicial consistindo de ensaios em amostras retiradas no fabricante, incluindo auditoria do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), seguida de avaliação de manutenção periódica através de coleta de amostra do produto na fábrica e/ou no comércio, para realização das atividades de avaliação da conformidade. Bem como nos outros casos, as Avaliações de Manutenção buscam verificar se os itens produzidos após a atestação da conformidade inicial (emissão do Certificado da Conformidade) permanecem conformes. A manutenção inclui a avaliação periódica do processo produtivo, ou a auditoria do SGQ, ou ambos.

O último modelo, modelo de Certificação 6 possui também uma avaliação inicial consistindo de auditoria do SGQ ou inspeções, seguida de manutenção periódica. Esse modelo é aplicável, principalmente, para a certificação de serviços e processos. As Avaliações de Manutenção incluem a auditoria periódica do SGQ e avaliação periódica do serviço ou processo.

### **2.1.2 PROCEL**

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) instituído em 30 de dezembro de 1985 é um programa de governo, coordenado pelo MME (Ministério de Minas e Energia) e executado pela Eletrobrás com o objetivo de promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício(PROCEL, 2018).

As ações do Procel buscam contribuir para o aumento da eficiência dos bens e serviços e para o desenvolvimento de hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente da energia. Além disso, busca postergar os investimentos no setor elétrico, mitigando os impactos ambientais e promovendo a sustentabilidade no país.

Pode-se afirmar que atuação do Procel se dá em três esferas: consumidor/sociedade, indústria/comércio e poder público. Essas ações são promovidas simultaneamente em diversos

segmentos da economia e ajudam o país a economizar energia, gerando benefícios para toda a sociedade.

No primeiro segmento suas ações estão focadas na identificação dos equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes por meio do Selo Procel, e também na elaboração e disseminação de informação qualificada em eficiência energética. As informações são divulgadas por meio de ações educacionais no ensino formal ou da disseminação de boas práticas, livros, *softwares* e manuais técnicos.

As ações voltadas para o poder público se dão a partir do apoio às prefeituras no planejamento e implantação de projetos de substituição de equipamentos, melhorias na iluminação pública e sinalização semafórica através do Programa Reluz (PROCEL, 2018). Além disso, há também a disponibilização de ferramentas, treinamento e auxílio no planejamento e implantação de projetos que visem o menor consumo de energia em municípios e o uso eficiente de eletricidade e água na área de saneamento.

Para a indústria/comércio, o Procel disponibiliza treinamentos, manuais e ferramentas computacionais voltados para a redução do desperdício de energia nos segmentos industrial e comercial, com a otimização dos sistemas produtivos.

Além dessas ações, o programa promove o uso eficiente de energia no setor de construção civil, em edificações residenciais, comerciais e públicas, por meio da disponibilização de recomendações especializadas e simuladores.

Em cada esfera há a atuação de diversos subprogramas que buscando otimizar o uso da energia elétrica no país gerou uma economia total de aproximadamente 107 bilhões de kWh, desde a sua criação em 1986 até 2016. A Figura 1 apresenta a economia de energia divulgada para os anos de 2012 a 2016 em bilhões de kWh no site do Procel(PROCEL, 2018).

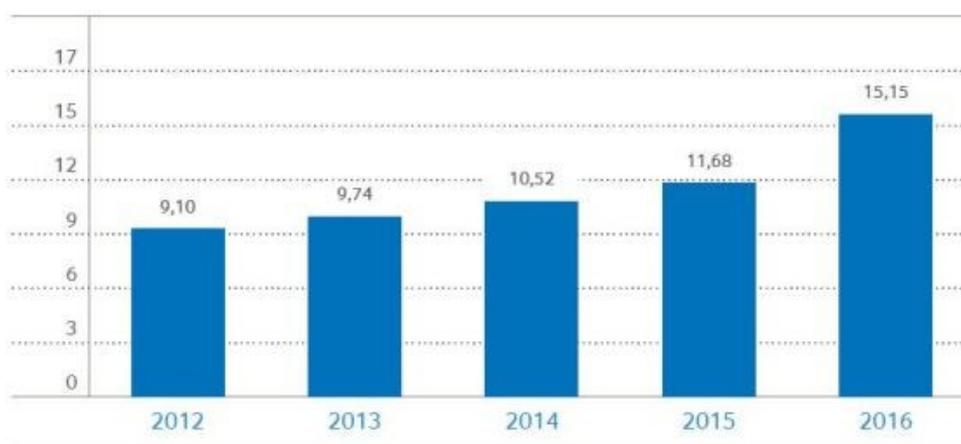


Figura 1 - Distribuição da economia de energia estimada para os anos de 2012 até 2016 (PROCEL, 2018).

## **Procel Selo**

Um dos subprogramas do Procel é o Procel Selo instituído em 1993. Esse selo é concedido aos equipamentos comercializados no mercado brasileiro mais eficientes no consumo de energia elétrica e amigáveis ao meio ambiente, dada a categoria na qual ele se insere. Assim, a partir da adesão da sociedade em dar preferência à compra dos equipamentos indicados pelo Selo, o programa busca colaborar com o desenvolvimento da eficiência energética no Brasil, trazendo benefícios tanto sociais quanto ambientais ao país (PROCEL, 2017).

Esse subprograma da Eletrobrás conta com a atuação conjunta de fabricantes e suas associações, laboratórios de ensaios, universidades, centros de pesquisa e agentes do setor, incluindo, entre eles, o Inmetro. Através da discussão entre esses entes, podem-se estabelecer critérios específicos para inclusão de equipamentos no programa do Selo Procel. Além disso, o Procel pode também auxiliar o Inmetro na condução do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE).

Em 2016, o Selo Procel foi concedido a um total de 3.722 modelos de equipamentos de 194 fornecedores, distribuídos em 39 categorias, ultrapassando 42 milhões de equipamentos vendidos no Brasil. O uso de equipamentos com o selo, associado à política de banimento das lâmpadas incandescentes do mercado nacional, ajudou o país a economizar 15 bilhões de kWh no ano de 2016, evitando ainda que 1,232 milhão tCO<sub>2</sub> equivalentes fossem emitidos na atmosfera (PROCEL, 2017).

O Selo Procel tem sua concessão direcionada a equipamentos que apresentem os melhores índices de eficiência energética e que atendam a requisitos ambientais, preferencialmente integrantes do PBE, coordenado pelo Inmetro. A adesão ao programa de concessão do Selo Procel é voluntária, no entanto, o fabricante ou importador se compromete a usar o Selo Procel em todas as unidades de todos os modelos para os quais foi dada a autorização do uso do selo (PROCEL, 2013).

Segundo o Regulamento para concessão do selo Procel de economia de Energia (PROCEL, 2013), os critérios estabelecidos para a concessão do selo devem ser tais que apenas a quarta parte dos produtos de cada categoria seja contemplada com o selo. E, preferencialmente, a cada quatro anos, busca promover a revisão dos critérios técnicos exigidos para a concessão do selo.

Além disso, cada equipamento possui critérios específicos determinados pelo Procel para receber autorização para uso do Selo. Assim, cada equipamento possui documentos

complementares onde são descritos os critérios para receberem a autorização do uso do Selo Procel conforme a sua categoria.

### **2.1.3 COMISSÃO EUROPEIA**

A Comissão Europeia é o órgão executivo da UE que toma as decisões sobre o rumo político e estratégico da União Europeia. Esse órgão busca promover o interesse geral da União por meio de iniciativas adequadas. Além disso, assegura a aplicação dos Tratados e supervisiona a aplicação do direito da União sob o controle do Tribunal de Justiça da União Europeia. Além disso, exerce funções de coordenação, executivas e gerenciais, executa o orçamento e gerencia os programas (EUROPEAN COMMISSION, 2017).

Segundo a Comissão (EUROPEAN COMMISSION, 2017), seu funcionamento interno baseia-se em vários princípios fundamentais apoiados na boa governança, são elas: funções e responsabilidades claras, forte dedicação na gestão do desempenho e no cumprimento do quadro jurídico, mecanismos claros de prestação de contas, quadro regulamentar de alta qualidade e inclusivo, abertura e transparência, e altos padrões de comportamento ético.

Dentre as prioridades da EU, está a União da Energia e Clima que busca tornar a energia mais segura, sustentável e acessível do ponto de vista dos preços. Sua estratégia é composta por cinco vertentes estreitamente relacionadas e que se reforçam mutuamente. São elas: diversificação das fontes de energia da Europa, livre circulação da energia através de toda UE por meio de infraestrutura adequada, sem obstáculos técnicos ou regulamentares, aumento da eficiência energética diminuindo a dependência das importações de energia, política climática com redução da emissão de carbono e apoio ao desenvolvimento de tecnologias energéticas limpas e hipocarbonicas (UNIÃO EUROPEIA, 2018).

Através da implementação de diversas medidas, a União Europeia diminuiu o consumo de energia nos últimos anos e visa garantir que a meta de redução de 20% no consumo de energia até 2020 seja atingida. Para tanto, dentre suas ações está a criação de normas mínimas de eficiência energética e rotulagem para uma variedade de produtos, tais como caldeiras, eletrodomésticos, iluminação e televisões.

#### **Rotulagem Energética**

Na União Europeia, muitos produtos, como máquinas de lavar roupa, refrigeradores e aparelhos de cozinha, possuem etiquetas de energia e são projetados para atender a padrões mínimos de eficiência energética. Essas etiquetas são chamadas de rótulos energéticos. O uso

do rótulo energético é obrigatório em todos os aparelhos vendidos na União Europeia para os quais exista esse requisito. Eles devem ser colocados de forma visível em cada aparelho exposto no ponto de venda (UNIÃO EUROPEIA, 2018).

Segundo a EU (Rótulos energéticos, 2018), os aparelhos que possuem obrigatoriedade no uso da rotulagem são: Aparelhos de ar condicionado; Aparelhos para cozinhar (para uso doméstico); Máquinas de lavar louça (para uso doméstico); Aquecedores (de ar e de água); Lâmpadas (direccionais e LED); Lâmpadas (para uso doméstico); Lâmpadas (fluorescentes); Aquecedores de ambiente local; Aparelhos de refrigeração (para uso doméstico); Refrigeração (para uso profissional); Caldeiras a combustível sólido; Televisores; Secadores de roupa; Aspiradores; Unidades de ventilação (para uso doméstico); e Máquinas de lavar roupa (para uso doméstico). Assim, caso algum desses produtos seja fabricado ou importado, deve-se verificar a conformidade dos mesmos com as disposições da diretiva aplicável e da legislação vigente.

Os rótulos energéticos são utilizados para indicar a classificação de um aparelho em função do seu consumo energético numa escala de A a G, em que a classe A, cor verde, corresponde aos aparelhos mais eficientes e a classe G, cor vermelha, aos menos eficientes. Assim, quando a maioria dos aparelhos de um dado tipo atinge a classe A, podem ser acrescentadas à escala um máximo de três outras classes: A+, A++ e A+++.

Devido a um aumento da eficiência energética de muitos produtos, há cada vez mais aparelhos classificados A+, A++ e A+++. Isto criou alguma confusão junto dos consumidores e, por isso, foi tomada a decisão de eliminar gradualmente estas classes ao longo dos anos. O novo sistema criado voltará à classificação de A a G (sem as classes A+, A++ e A+++), com um período de transição em que os dois sistemas funcionarão em paralelo.

A diretiva antiga, Diretiva 2010/30 / UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa à indicação, através da rotulagem e das informações normalizadas sobre produtos, do consumo de energia e outros recursos por produtos relacionados com a energia não está em vigor, pois possuiu data de validade em 31/07/2017 (COMISSÃO EUROPEIA, 2010). Ela foi revogada pelo Regulamento (UE) 2017/1369 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de julho de 2017 (COMISSÃO EUROPEIA, 2017), que estabeleceu um quadro para a rotulagem energética.

O novo regulamento relativo à rotulagem energética que substitui a rotulagem antiga foi publicado pela Comissão Europeia em julho de 2017, o Regulamento (UE) 2017/1369. Ele estabelece um regime aplicável aos produtos relacionados com a energia colocados no mercado ou colocados em serviço, prevê a etiquetagem desses produtos e a prestação de

informações uniformes sobre o produto relativamente à eficiência energética, ao consumo de energia e de outros recursos que os produtos consomem durante a sua utilização.

Além disso, a rotulagem incorpora informações suplementares sobre os produtos, permitindo que os clientes escolham produtos mais eficientes e possam reduzir o seu consumo de energia. A nova rotulagem possui uma escala A a G mais simples, retirando as categorias de escala mais baixas do mercado e garantindo que o consumidor possa escolher produtos tecnologicamente mais desenvolvidos e eficientes.

## **2.2 CARACTERÍSTICAS DAS LÂMPADAS LED**

Devido ao incentivo governamental o Brasil tem experimentado nos últimos anos diversas mudanças no padrão de consumo da população. Isso se deve ao fato do país estar cada vez mais investindo na eficiência energética de equipamentos, veículos e edificações através do Programa Brasileiro de Etiquetagem (INMETRO, 2012).

Dentre os produtos abrangidos no programa, estão as lâmpadas LED que diferentemente da tecnologia anterior (fluorescente) não possui impacto tão grande ao meio ambiente. Além de reunir características de baixo consumo energético e vida útil mais longa quando comparada às lâmpadas fluorescentes ou incandescentes.

Apesar de reconhecido destaque, as lâmpadas LED precisam estar certificadas para que possuam garantia de bom funcionamento. Para tanto, o Inmetro possuiu regulamentação específica de forma a garantir que requisitos mínimos de desempenho energético, segurança elétrica e compatibilidade eletromagnética sejam atingidos. E é através da certificação que os consumidores têm acesso a informações úteis e confiáveis para tomarem as melhores decisões para compra.

Diferentemente de outras fontes de luz artificiais, as lâmpadas de estado sólido não necessitam de filamentos, eletrodos ou tubos de descarga e são caracterizadas pelo LED e mais recentemente OLED (*Organic Light Emitting Diode*) com o uso de materiais semicondutores orgânicos, à base de carbono (FERREIRA, 2014).

As lâmpadas LEDs são compostas por diodos semicondutores que convertem eletricidade em luz visível, por isso sua sigla LED tem como significado Diodo Emissor de Luz (GOEKING, 2009). Seu princípio de funcionamento se dá a partir da inserção de uma fonte de tensão nos terminais de uma junção p-n o que faz com que a banda proibida seja desfeita e os elétrons circulem. Sabe-se que os elétrons possuem maior energia do que as lacunas, assim, quando há a união elétron-lacuna há a liberação de energia na forma de radiação luminosa denominada fóton (PIMENTA, 2006).

A radiação liberada quando ocorre o estímulo da junção p-n possui frequência bem definida e depende do nível de energia dos materiais utilizados, ou seja, da dopagem e do tipo de material. Na história de evolução dos LEDs diversos materiais foram estudados de forma que emissões com comprimentos de ondas cada vez menores fossem alcançadas, até que se atingissem o espectro de luz visível. Atualmente já existem diferentes cores de LEDs no mercado(BRAGA, 2016).

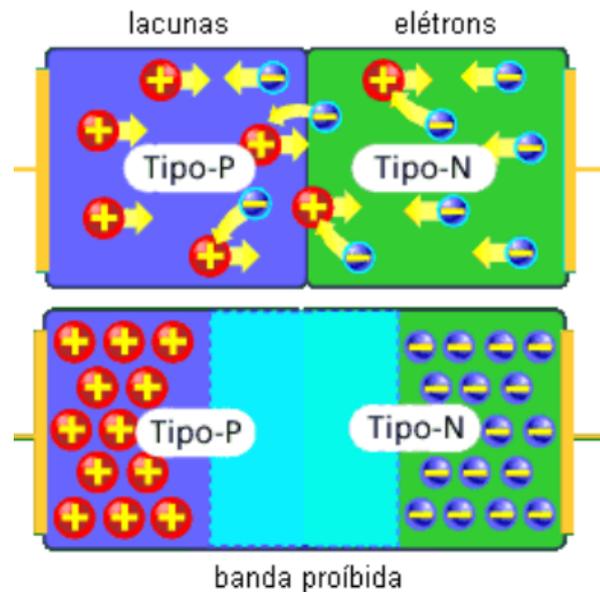


Figura 2 - Junção P-N de um LED (PIMENTA, 2006).



Figura 3 - Liberação de um fóton (PIMENTA, 2006).

As lâmpadas LED possuem eficiência luminosa maior do que a eficiência das outras tecnologias de lâmpadas, e por isso são mais econômicas. Como podem durar até 25 vezes

mais do que as lâmpadas incandescentes e quatro vezes mais do que as fluorescentes compactas, seu uso tem se tornando cada vez mais atrativo (INMETRO, 2012).

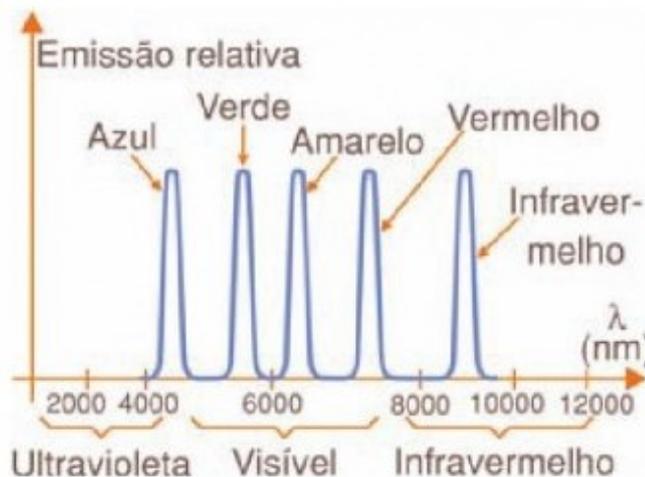


Figura 4 - Evolução dos LEDs (SABER ELETRÔNICA, 2007).

### Certificação de lâmpadas LED

Tendo em vista a missão institucional do Inmetro, o órgão possui diversas portarias que regulamentam e atestam a qualidade de produtos e serviços do mercado brasileiro. Dentre elas, estão as portarias de lâmpadas LEDs números 389/2014 (INMETRO, 2014), 143/2015 (INMETRO, 2015) e 144/2015 (INMETRO, 2015).

A Portaria do Inmetro nº 389 de 25 de agosto de 2014 estabelece os requisitos que devem ser atendidos pelas lâmpadas LED, visando à eficiência energética, segurança e compatibilidade eletromagnética das mesmas. Para tanto, apresenta na sua redação as medições que devem ser realizadas nas lâmpadas, as características do meio onde ocorrerão as medições (tais como temperatura, umidade, tensão de alimentação, por exemplo) e os valores mínimos e máximos a serem alcançados nos ensaios (INMETRO, 2014).

Além da Portaria 389, o Inmetro em 13 de março de 2015 publicou a Portaria nº 143 que apresentou em seu texto alterações a serem realizadas no Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ) para Lâmpadas LED com Dispositivo Integrado à Base - Portaria nº 389/2014 (INMETRO, 2015).

A Portaria do Inmetro nº 144 de 2015 tem como objetivo estabelecer os critérios para o Programa de Avaliação da Conformidade para Lâmpadas LED com Dispositivo Integrado à Base, através da certificação. Esta portaria possui foco no desempenho, segurança elétrica e compatibilidade eletromagnética das lâmpadas que são evidenciados por meio da Etiqueta

Nacional de Conservação de Energia (ENCE)(INMETRO, 2015). Assim, para que determinado produto circule no mercado brasileiro, faz-se necessária a utilização dos Selos/ENCE.

A autorização para uso dos selos é realizada somente quando o objeto está em conformidade com os critérios definidos nas portarias e possui como informações de destaque os valores de Potência (W), Fluxo Luminoso (lm) e Eficiência Luminosa (lm/W), como podem ser observados na Figura 5 extraída da portaria nº 143/2015 do Inmetro(INMETRO, 2015).

Além da etiqueta nacional de conservação de energia, as lâmpadas certificadas devem possuir informações mínimas descritas na embalagem e no próprio corpo da lâmpada. A Portaria nº 389/2014 do Inmetro apresenta as informações e locais de marcação, conforme Tabela 2.



Figura 5 – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para lâmpadas LED e LED tubular (INMETRO, 2015).

A Portaria 389/2014 estabelece alguns requisitos referentes a qualidade de energia e qualidade da luz gerada pelas lâmpadas que serão tratados neste trabalho. Na Tabela 3, estão apresentados os valores de potência, fluxo luminoso e fator de potência mínimos requeridos pela portaria para lâmpadas LED tubulares em termos dos valores nominais declarados pelo fabricante.

Na Tabela 4, estão expostos os valores máximos para as ordens harmônicas em percentual da corrente fundamental e na Tabela 5 os valores requeridos a fins de garantir uma qualidade de luz mínima em termos de reprodução de cores dos objetos iluminados, Ra e R9.

Tabela 2 – Indicação das marcações e locais onde as marcações são necessárias.

<b>Identificação Visual</b>	<b>Produto</b>	<b>Embalagem</b>
Marca de origem;	X	X
Tensão nominal ou faixa de tensão nominal ("V" ou "volts");	X	X
Potência nominal ("W" ou "watts");	X	X
Frequência nominal ("Hz— ou —hertz");	X	X
Corrente nominal (—A ou —ampère);	-	X
Fator de Potência (FP ou $\cos \phi$ );	X	X
Peso da lâmpada na embalagem;	-	X
Fluxo luminoso nominal expresso em lumens (lm);	-	X
Vida útil nominal e o fator de manutenção do fluxo luminoso relacionado (L70);	-	X
Selo de Identificação da Conformidade Inmetro;	-	X
Índice de reprodução de cor nominal;	-	X
Símbolo de compatibilidade de dimerização;	-	X
Indicação —EBTS (SELV);	-	X
Esquema de ligação para lâmpadas tubulares;	X	X
Equivalência em potência (W) e lumens (lm) com lâmpadas incandescentes de uso geral e lâmpadas fluorescentes compactas com reator integrado à base;	-	X

Fonte: autor, baseado na Portaria 389 (INMETRO, 2014).

Tabela 3 – Critérios de avaliação da conformidade de lâmpadas Tubulares LED – Potência, Fluxo Luminoso e Fator de Potência.

<b>Critérios avaliados</b>	<b>Valores min./max</b>
Potência	$P_{medida} \leq 1,1 \cdot P_{declarado}$
Fluxo Luminoso	$F_{medido} \geq 0,9 \cdot F_{declarado}$
Fator de Potência	$FP > 0,92$

Fonte: autor, baseado em(INMETRO, 2014).

Tabela 4 – Critérios de avaliação da conformidade de lâmpadas Tubulares LED – Ordens Harmônicas.

<b>Ordem Harmônica (n)</b>	<b>Correntes Harmônicas máximas permitidas, expressas como porcentagem da corrente de entrada na frequência fundamental (%)</b>
2	2
3	$30 \lambda$
5	10
7	7
9	5
$11 < n < 39$ (somente harmônicas ímpares)	3
Onde: $\lambda$ é o fator de potência do circuito	

Fonte: autor, baseado em(INMETRO, 2014).

Além disso, na portaria ainda são avaliados os valores de eficiência e fluxo luminoso para equivalência das lâmpadas LED tubulares com as lâmpadas fluorescentes. A Tabela 6 e a Tabela 7 apresentam os valores mínimos requisitados.

Vale ressaltar que além dos requisitos abordados nesse trabalho, a Portaria 389/2014 ainda estipula ensaios para averiguação de compatibilidade eletromagnética, segurança elétrica e vida para as lâmpadas LED.

Tabela 5 – Critérios de avaliação da conformidade de lâmpadas Tubo LED – Índice de Reprodução de Cor e R9.

<b>Critérios avaliados</b>	<b>Valores min/max</b>
Ra	$Ra \geq 80$
R9	$R9 > 0$

Fonte: autor, baseado em(INMETRO, 2014).

Tabela 6 – Critérios de avaliação da conformidade de lâmpadas Tubo LED – Fluxo Luminoso para equivalência.

<b>Comprimento nominal da lâmpada (mm)</b>	<b>Tipo de Base</b>	<b>Faixa de fluxo luminoso a ser atingida com a lâmpada de LED (lm)</b>
550	G5	900
1150	G5	18500
600	G13	900
1200	G13	1850
2400	G13	3800

Fonte: autor, baseado em(INMETRO, 2014).

Tabela 7 – Critérios de avaliação da conformidade de lâmpadas Tubulares LED – Relação de eficiência mínima.

<b>Comprimento nominal da lâmpada (mm)</b>	<b>Tipo de Base</b>	<b>Eficiência mínima inicial (lm/W)</b>
550-1150	G5	100
600-2400	G13	85

Fonte: autor, baseado em(INMETRO, 2014).

### **Selo PROCEL para lâmpadas LED**

Os critérios para a concessão do Selo Procel de economia de energia às lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado à base (PROCEL, 2016) teve sua última revisão ajustada em fevereiro de 2016. É um documento complementar ao regulamento para concessão do Selo Procel de economia de energia (PROCEL, 2013) que busca definir os critérios que devem ser atendidos pelas lâmpadas LED, para receberem o selo.

Para que determinada lâmpada receba o Selo Procel, ela deve atender aos requisitos do RTQ para Lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado à base, instituído pela Portaria Inmetro nº389, de 25 de agosto de 2014 (INMETRO, 2014), além dos requisitos de potência elétrica, fluxo luminoso, eficiência energética, fator de potência, e vida nominal conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Critérios avaliados para concessão do Selo Procel de lâmpadas LED.

<b>Critérios avaliados</b>	<b>Valores min/max</b>
Potência <sup>1</sup>	$P_{medida} \leq 1,1 \cdot P_{declarado}$
Fluxo Luminoso <sup>1</sup>	$F_{medido} \geq 0,9 \cdot F_{declarado}$
Eficiência Energética <sup>2</sup>	$EE \geq 105lm/W^3$
	$EE \geq 90lm/W^4$
Fator de Potência <sup>2</sup>	$FP \geq 0,92$ e Não deve diferir em -0,05 do valor declarado

Fonte: autor, baseado em (PROCEL, 2016). <sup>1</sup> Valores das medições realizadas em cada amostra; <sup>2</sup> Média dos valores medidos em 10 amostras do mesmo modelo; <sup>3</sup> Lâmpadas tubulares com base G5 e comprimento 550-1150; <sup>4</sup> Lâmpadas tubulares com base G13 e comprimento 600-1200.

Além dos requisitos da Tabela 8 e do RTQ (INMETRO, 2014), a empresa fornecedora deve garantir seu produto contra defeitos de fabricação mediante a troca do produto defeituoso com a apresentação da nota fiscal por parte do consumidor, num prazo não inferior a 3 (três) anos após a emissão da nota.

### **Rotulagem Europeia para lâmpadas LED**

Tendo em vista o impacto causado pela iluminação no sistema elétrico, 19% do consumo mundial de eletricidade e 14% de todo o consumo de eletricidade na União Europeia (EU) e os objetivos traçados pela UE até 2020, uma nova legislação para a iluminação doméstica foi estabelecida. Nela a eficiência energética e o ambiente são dois grandes objetivos. Assim, desde 2009 ela tem influenciado o desenvolvimento do mercado de iluminação europeu (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

A Tabela 9 apresenta as principais regulamentações europeias que os fabricantes e fornecedores devem conhecer ao produzir e vender componentes de iluminação.

Tabela 9–Principais regulamentos europeus sobre equipamentos de iluminação.

<b>Regulamentos</b>	<b>Nome</b>	<b>Descrição</b>
Diretiva2004/10 8/EC	EMC ( <i>Electromagnetic Compatibility</i> ) - Compatibilidade Eletromagnética	Trata sobre as emissões eletromagnéticas do produto e a imunidade à interferência eletromagnética
Diretiva2006/95 / EC	Baixa tensão	Para garantir a segurança no uso de equipamentos elétricos usados dentro de 50-1000 V (AC) e 75-1500 V (DC)
Regulamento 1907/2006	REACH ( <i>Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals</i> ) - Registro, Avaliação, Autorização e Restrição de Produtos Químicos	Garante que os fornecedores e fabricantes não coloquem no mercado ou produzam produtos com substâncias nocivas à saúde humana e ao meio ambiente
Diretiva2009/12 5/EC	Eco design	Define os requisitos de ecológicos dos produtos relacionados com a energia elétrica disponíveis no mercado europeu
Diretiva 2010/30/EC	Rotulagem	Estabelece uma estrutura para rotulagem e informações padrão do produto
Diretiva2011/65 /EC	RoHS ( <i>Restriction of Hazardous Substances</i> ) - Restrição de Substâncias Perigosas	Restringe o uso de certas substâncias
Diretiva2012/19 /EC	WEEE ( <i>Waste Electrical and Electronic Equipment</i> ) - Descarte de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos	Trata sobre o descarte e a reciclagem de resíduos

Fonte: Guia de Implementação Técnica da União Europeia(EUROPEAN COMMISSION, 2015).

Estes regulamentos estabelecem requisitos mínimos e um sistema de rotulagem energética para os produtos no seu âmbito. Além desses regulamentos, existem também alguns acordos voluntários (europeus e internacionais) que, embora não sejam obrigatórios nem tenham qualquer vinculação legal, elevam o mercado para níveis mais altos de qualidade e eficiência. São exemplos, Carta de Qualidade LED da UE, SSL da IEA, TopTen, Eco Lighting e Premium Light (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

### 2.3 TÉCNICAS DE ANÁLISE MULTI-CRITÉRIO

Segundo (DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT OF LONDON, 2009) o método de análise multicritério, do inglês *Multicriteria Analysis* (MCA) ou *Multicriteria Decision Analysis* (MCDA) possui diversas técnicas, que são utilizadas quando a quantidade de dados torna a tomada de decisão complexa. Estas técnicas surgiram devido à necessidade dos tomadores de decisão de alcançarem objetivos múltiplos e geralmente conflitantes.

Este campo de pesquisa é vasto, uma vez que possui periódicos especializados e ampla comunidade científica. Além disso, as aplicações do MCDA são crescentes, pois os métodos apoiam a formulação de políticas públicas, as decisões de empresas privadas e até mesmo simples decisões do dia a dia da sociedade. Eles não são métodos automatizáveis que levam à mesma solução para cada tomador de decisão, mas incorporam informações subjetivas e apoiam o tomador de decisão em seu processo de decisão pessoal e exclusivo a fim de encontrar uma solução de compromisso (ISHIZAKA e NEMERY, 2013).

As técnicas podem ser utilizadas para identificar a alternativa preferida, para classificar as alternativas, listar um número limitado de opções para uma avaliação subsequente, ou simplesmente distinguir as alternativas aceitáveis das inaceitáveis. Apesar do uso das técnicas para ajudar na tomada de decisão, ainda sim se faz necessário julgar seus resultados (DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT OF LONDON, 2009).

A análise multicritério estabelece preferências entre opções tendo em vista o conjunto explícito de objetivos identificados. Para tanto, é necessário estabelecer critérios mensuráveis para avaliar até que ponto foi atingido cada objetivo. A subjetividade que permeia os métodos pode ser um motivo de preocupação, uma vez que sua fundação, em princípio, é formada pelas próprias escolhas de objetivos, critérios, pesos e avaliação do cumprimento dos objetivos, embora os decisores, tais como preços observados, também podem ser incluídos.

A grande vantagem desse método, no entanto, é que o mesmo pode trazer um grau de estrutura, análise e abertura para classes de decisão que estão além do alcance prático de análises mais simples.

Uma característica padrão da análise multicritério é uma matriz de desempenho, ou tabela consequência, em que cada linha descreve uma alternativa e cada coluna descreve o desempenho das alternativas contra cada critério. As avaliações de desempenho individuais são muitas vezes numéricas, mas também podem ser expressas com a codificação de cores, por exemplo. Em técnicas MCA mais sofisticadas as informações na matriz de base são geralmente convertidas em valores numéricos consistentes. Além de poderem ser ponderação por meio de pesos.

O número de técnicas MCA tem aumentado ao longo do tempo, por isso apenas algumas técnicas serão apresentadas nesse trabalho.

### **Análise direta da matriz de desempenho**

A escolha da melhor alternativa se dá apenas pela análise da matriz de desempenho. O primeiro passo é verificar se há alguma das opções que domina, ou seja, se destaca quando comparados os seus critérios com os das alternativas. Em princípio uma alternativa pode dominar todas as outras, mas na prática, isso é improvável. Uma vez que a análise de dominância foi concluída, a próxima etapa se dá determinando se *trade-offs* entre diferentes critérios são aceitáveis. A maioria dos métodos MCA envolve implícita ou explicitamente a agregação das performances de cada alternativa de forma a obter uma avaliação global. A principal diferença entre os métodos é a forma como isso é realizado (DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT OF LONDON, 2009).

### **Teoria da utilidade multi-atributo**

O trabalho realizado por Keeney e Raiffa em 1976 (KEENEY e RAIFFA, 1976) apresenta um conjunto de procedimentos que permite a avaliação das alternativas na prática. Seu procedimento se divide em três blocos. O primeiro é a montagem da matriz de desempenho, o segundo é a determinação das interdependências entre os critérios e o terceiro consiste em criar uma função matemática que permite calcular um índice numérico único para expressar a avaliação do tomador de decisão. Vale ressaltar que nesse método não é assumida independência mútua entre os critérios, além de ser assumida uma incerteza nos cálculos (DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT OF LONDON, 2009).

### **Modelos lineares de adição**

Os critérios são assumidos como independentes entre si e as incertezas não são formalmente calculadas nesse método, tornando-se simples de ser aplicado. O modelo linear mostra como valores dos critérios de uma alternativa podem ser combinados em um valor global. Isso é feito multiplicando a pontuação de cada critério pelo peso desse critério e, em seguida, adicionando todas essas pontuações ponderadas. No entanto, essa aritmética simples é apropriada apenas se os critérios são mutuamente independentes. Segundo (DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT OF LONDON, 2009), a maioria das abordagens MCA utiliza esse modelo aditivo.

### **Processo de Análise Hierárquica**

O processo analítico de hierarquia, do inglês Analytical Hierarchy Process (AHP), também desenvolve um modelo aditivo linear, mas, em seu formato padrão, utiliza procedimentos para derivar os pesos e as pontuações alcançadas pelas alternativas, respectivamente, em comparações de pares entre os critérios e entre alternativas. Assim, por exemplo, na avaliação de pesos, é realizada uma série de perguntas, cada uma das quais pede o quão importante um critério particular é em relação a outro para a decisão abordada.

Os pontos fortes e fracos da AHP têm sido abordados entre especialistas de MCA, tal como a simplicidade do método. No entanto, vale ressaltar que alguns problemas de reversão de ranking têm sido relatados, como por exemplo, ao inserir uma nova alternativa, a posição de outras alternativas não relacionadas é revertida (DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT OF LONDON, 2009).

### **Métodos *Outranking***

Essa abordagem é dependente do conceito de sobreclassificação, do inglês *outranking*. Os métodos que utilizam o *outranking* buscam eliminar alternativas que são dominadas utilizando pesos para dar maior influência em um critério ao invés do outro. Uma alternativa é dita *outranking* se ela tem um desempenho maior em um critério suficientemente importante e ao mesmo tempo não é superada por outra alternativa com desempenho significativamente inferior em qualquer um dos critérios. Todas as alternativas são, em seguida, avaliadas em termos da extensão em que eles exibem (DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT OF LONDON, 2009). Uma preocupação a respeito da abordagem *outranking* é que ela depende de definições arbitrárias que constituem um *outranking*.

Segundo (ALMEIDA, 2013), as famílias mais comuns de métodos *outranking* são ELECTRE e PROMETHEE.

### **Procedimentos que utilizam entrada de dados qualitativa**

Há métodos que utilizam a entrada de dados qualitativa, mas esses, normalmente, possuem menor precisão na saída. No entanto há exceções que utilizam modelos que se aproximam do modelo aditivo linear e modelos em que há aplicação de *outrankings*.

### **Métodos MCA com base em conjuntos *Fuzzy***

Os conjuntos *fuzzy* tentam capturar a ideia de que a linguagem natural em discussões não é precisa. As alternativas são 'bastante atraente' de um ponto de vista particular ou 'bastante caro', e não simplesmente 'atraente' ou 'caro'. A aritmética difusa, em seguida, tenta capturar essas avaliações, usando a ideia de uma função de membro, através da qual a alternativa passa a pertencer ao conjunto de alternativas 'atraentes' com um determinado grau de pertinência, recebendo valores entre 0 e 1. Com base em avaliações assim expressas, os modelos MCA difusos desenvolvem procedimentos para agregar os níveis de desempenhos difusos utilizando pesos que às vezes também são representados como quantidades *fuzzy*. Diversos métodos são utilizados com os conjuntos *fuzzy*, Jayant e Sharma (2018) apresentaram em seu trabalho dois exemplos deles, o *fuzzy* AHP e *fuzzy* TOPSIS.

### **Outros métodos MCA**

Existem outros métodos MCA que tem se desenvolvido, no entanto, não serão abordados no trabalho, para mais informações verificar em (ISHIZAKA e NEMERY, 2013) e (ALMEIDA, 2013).

## **2.3.1 MÉTODOS: APLICAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E TEMPORAL**

Ao longo dos anos, diversos problemas relacionados à tomada de decisão têm sido abordados na literatura. Segundo Jayant *et al.* (2018) a tomada de decisão multicritério é uma das metodologias de decisão mais utilizadas nos âmbitos das ciências, negócios, governo e engenharia. Isso porque tais métodos podem ajudar a melhorar a qualidade das decisões, tornando o processo de tomada de decisão mais explícito, racional e eficiente. A tomada de decisão por múltiplos critérios é considerada, então, como parte principal da moderna ciência de decisão e pesquisa operacional, que contém múltiplos critérios e múltiplas alternativas.

Os métodos MCDA têm sido utilizados em diversas áreas. Existem estudos onde são utilizados na escolha da localização territorial de fábricas (MARTINS e GOMES, 2013), gerenciamento de negócios (PENG, WANG, *et al.*, 2011) e (RODRIGUES JR., KREUZBERG, *et al.*, 2016), seleção de fornecedores (LIMA JUNIOR, OSIRO e CARPINETTI, 2013), (ROSELLI e ALMEIDA, 2015) e (LIMA JUNIOR e CARPINETTI, 2015), contratação de funcionários (ARESE, RANGEL, *et al.*, 2017), gestão de energia (KAYA e KAHRAMAN, 2011) e mais atualmente apresenta-se também no contexto de internet das coisas (FERREIRA, NUNES e ESTRELLA, 2018). Essas análises são realizadas de modo a observar o máximo de aspectos relevantes de forma que na tomada de decisão sejam maximizados os benefícios e minimizados os custos/ônus da escolha.

Martins *et al.* (2013) apresenta em seu trabalho um estudo de caso “*ex-post*” onde verificou que o uso dos métodos MCDA poderia evitar uma escolha errada de deslocamento de uma fábrica. Ele percebeu em seu trabalho que a inclusão de critérios qualitativos na análise de dados permitiu introduzir uma abordagem crítica das chamadas “incertezas externas” relativas a condições e elementos presentes nos cenários da época. Tais inserções alteraram o resultado final provando que a escolha dos gestores quanto à localização da fábrica poderia ter sido eficaz, evitando custos excessivos caso um estudo como esse tivesse sido realizado antes da tomada de decisão.

O trabalho de Martins *et al.* (2013) mostrou também que a escolha correta do método MCDA é fundamental para auxiliar os tomadores de decisão na melhor escolha a ser feita. Tal percepção é reiterada por Lima Jr. e Carpinetti (2015). A partir do seu estudo de comparação entre os métodos TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) e *Fuzzy-TOPSIS* mostrou que o *Fuzzy-TOPSIS* auxilia a tomada de decisão em cenários onde há incerteza, sendo esse mais adequado que o TOPSIS nesses casos. Apesar disso, afirma que situações em que os fornecedores são conhecidos e os critérios usados costumam se referir a preço, prazo de entrega, entre outros fatores quantitativos, o TOPSIS se mostra mais adequado por modelar valores precisos requerendo menor interação com o usuário e menor esforço computacional.

Rodrigues Jr. (2016) em seu trabalho também apresenta uma comparação de dois métodos MCDA, o TOPSIS e o VIKOR. Seu objetivo foi analisar o desempenho em recursos, mercado e financeiro que explicam a vantagem competitiva empresarial de acordo com a *Resource Advantage Theory* de empresas do setor têxtil listadas na BM&FBovespa. Os resultados apresentados pelos métodos mostram a semelhança em muitos casos das posições nos *rankings* para os dois métodos. Apesar disso, verifica que a natureza da comparação final dos

rankings torna o método VIKOR mais parecido com outros métodos do que o TOPSIS. Tal semelhança se dá principalmente com os modelos de *outrankings* PROMETEE e ELECTRE II.

No *review* realizado por Jayant *et al.* (2018), que examinou diversos estudos envolvendo as técnicas PROMETHEE, ELECTRE, VIKOR e TOPSIS, os autores observaram que os métodos foram se desenvolvendo ao longo dos anos a partir da criação adicional de outros métodos a fim de melhorar a qualidade dos resultados obtidos por eles ou torná-los mais eficientes. Assim, os métodos ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE V e o ELECTRE TRI, foram desenvolvidos a partir do ELECTRE, e o PROMETHEE I e PROMETHEE II a partir do PROMETHEE. Já os métodos VIKOR e TOPSIS foram modificados assumindo as formas de *Fuzzy VIKOR* e *Fuzzy TOPSIS*.

Além dos trabalhos realizados a fim de comparar os métodos existentes, há também pesquisadores interessados em combinar mais de um método em sua análise. Este é o caso de (ROSELLI e ALMEIDA, 2015) onde o método TOPSIS é associado aos números *Grey* para permitir que dados imprecisos possam ser analisados e considerados na ordenação de alternativas. Os testes realizados mostraram que a ordenação foi obtida com nível de confiança alto, não apresentando grandes variações em relação à original.

Jayant e Sharma (2018) apresentaram um levantamento realizado de 1995 a 2015 mostrando que os métodos híbridos reportados na literatura são geralmente uma combinação com os métodos AHP ou ANP (*Analytic Network Process*). Além disso, o autor mostrou que maioria das aplicações desses métodos é encontrada na seleção de fornecedores, seleção de locais, energia e seleção de materiais. A Tabela 10, apresenta os trabalhos onde o TOPSIS foi utilizado com outros métodos.

Outro aspecto importante a ser avaliado é a localização geográfica de onde se originam os estudos. Lima *et al.* (2013) investigou 120 artigos em bases nacionais e internacionais a fim de identificar o estado da arte do uso dos métodos de decisão multicritérios para seleção de fornecedores. Os autores identificaram que no Brasil ainda existem poucos estudos e estes pouco exploram a diversidade de métodos existentes. Assim, apesar de existirem trabalhos brasileiros, a maioria dos artigos sobre o tema de pesquisa analisado não é de origem brasileira, mas originários do Taiwan, da Turquia, do Irã e da China. Tal fato é importante de ser observado uma vez que o trabalho que se segue torna-se ainda mais relevante na medida em que ao mesmo tempo em que possui vertente pouco explorada questionando políticas e normativas brasileiras, também incentiva o estudo e a aplicação de métodos MDCA no Brasil.

Tabela 10– Lista de métodos híbridos utilizando o TOPSIS.

Nº	Pesquisa realizada no artigo	Métodos Híbridos	Pesquisadores
1	Seleção de armas usando os métodos AHP e TOPSIS sob ambiente difuso	AHP e TOPSIS	(DAGDEVIREN, YAVUZ e KILINC, 2009)
2	Seleção de projetos para desenvolvimento de campos de petróleo usando os métodos AHP e <i>fuzzy</i> TOPSIS	AHP e <i>fuzzy</i> TOPSIS	(AMIRI, 2010)
3	Um modelo de avaliação de desempenho, integrando os métodos <i>fuzzy</i> AHP e <i>fuzzy</i> TOPSIS	<i>Fuzzy</i> AHP e <i>fuzzy</i> TOPSIS	(SUN, 2010)
4	Uso AHP-TOPSIS para o planejamento de missões espaciais tripuladas na NASA	AHP e TOPSIS	(TAVANA e HATAMI-MARBINI, 2011)
5	Uso do STEEP- <i>fuzzy</i> AHP-TOPSIS para avaliação e seleção de localização de usinas térmicas: um estudo de caso na Índia	STEEP- <i>fuzzy</i> AHP e TOPSIS	(CHOUDHARY e SHANKAR, 2012)
6	Avaliação alternativa de emergência: Um método de incorporar o DS / AHP com o TOPSIS estendido	DS/AHP e TOPSIS	(WANG e AIHUA, 2012)
7	Integração <i>Fuzzy</i> AHP–TOPSIS para selecionar o melhor método de reciclagem de plástico: um estudo de caso	<i>Fuzzy</i> AHP–TOPSIS	(VINODH, PRASANNA e PRAKASH, 2014)
8	Seleção de projetos de construção e avaliação de risco por metodologias <i>fuzzy</i> AHP e <i>fuzzy</i> TOPSIS	<i>Fuzzy</i> AHP e <i>fuzzy</i> TOPSIS	(TAYLANA, BAFIL, <i>et al.</i> , 2014)
9	Uma estrutura baseada em Delphi-AHP-TOPSIS para a priorização de indicadores de capital intelectual: uma perspectiva das PMEs	Delphi-AHP-TOPSIS	(SEKHARA, PATWARDHAN e VYAS, 2015)
10	Uma nova extensão do método TOPSIS para tomada de decisão de múltiplos critérios com conjuntos difusos pitagóricos hesitantes	TOPSIS e Pythagorean <i>Fuzzy</i> Sets	(DECUILIANGA e XU, 2017)
11	Uma metodologia <i>fuzzy</i> QFD e TOPSIS integrada para escolher o combustível de gás ideal nas WWTPs	TOPSIS e <i>Fuzzy</i> QFD	(AKBAŞA e BILGEN, 2017)
12	Uma aplicação do AHP-TOPSIS para avaliar sistemas de tratamento de água de lastro por operadores de navios	AHP e TOPSIS	(KARAHALIOS, 2017)
13	Um esquema inteligente de agendamento para gerenciamento de tráfego em tempo real usando a Teoria Cooperativa de Jogos e métodos AHP-TOPSIS para a próxima geração de rede de telecomunicações	<i>Game Theory</i> , AHP e TOPSIS	(GOYAL e KAUSHAL, 2017)
14	Um método TOPSIS difuso estendido baseado em uma nova medida de distância com uma aplicação para avaliação de risco de crédito	<i>Fuzzy</i> Topsis	(SHEN, MA e LI, 2018)

Fonte: autor, baseado em (JAYANT e SHARMA, 2018).

Tal como identificado por Lima Júnior *et al.* (2013), os países que mais contribuíram com publicações utilizando o método TOPSIS foram Taiwan, China, Irã e Turquia, respectivamente. Behzadian O, *et al.* (2012), em seu trabalho investigou 266 artigos acadêmicos de 103 periódicos desde o ano 2000 até 2010. A Tabela 11 demonstra que as publicações advindas de autores brasileiros representaram apenas 0,66% do total de publicações (BEHZADIAN, OTAGHSARA, *et al.*, 2012).

O estudo de Mardani *et al.* (2015) revisou um total de 393 artigos publicados durante 15 anos (2000 a 2014), sendo agrupados em 15 campos. Os resultados da pesquisa revelaram que a técnica AHP foi classificada como a técnica mais utilizada dentre as demais, sendo as abordagens híbridas do MCDM (*Multi Criteria Decision Making*) a segunda maior utilizada, com 58 artigos. O método TOPSIS e os métodos de agregação DM obtiveram a terceira e quarta classificação com 46 e 45 artigos respectivamente. Além disso, o *European Journal of Operational Research* foi classificado como o periódico com maior número de publicações (70 publicações), sendo energia, meio ambiente e sustentabilidade classificadas como as áreas que mais aplicaram tais técnicas.

Entre os numerosos métodos MCDA / MCDM desenvolvidos para resolver problemas de decisão do mundo real, o TOPSIS funciona satisfatoriamente em diferentes áreas de aplicação. Behzadian *et al.* (2012) apresenta em seu *review* diversas aplicações existentes do TOPSIS, tais como gerenciamento da cadeia de suprimentos e logística, sistemas de projeto, engenharia e manufatura, gerenciamento de negócios e marketing, gestão de saúde, segurança e meio ambiente, gestão de recursos humanos, gestão de energia, engenharia química, gestão de recursos hídricos, dentre outros.

O método TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) foi proposto por Hwang e Yoon (1981) a fim de ajudar a selecionar a melhor alternativa a partir de um número finito de critérios. Desde então, o TOPSIS tem recebido muito interesse de pesquisadores e profissionais. Conforme mostrado na Tabela 12, Behzadian *et al.* (2012) apresenta em seu estudo a quantidade de trabalhos publicados utilizando o TOPSIS de 2000 até 2010, ressaltando que o interesse global no método TOPSIS cresceu exponencialmente nesses anos.

Tabela 11 - Distribuição de artigos sobre TOPSIS pelos países.

<b>País</b>	<b>Número de publicações</b>	<b>Porcentagem do total</b>
Taiwan	63	20,7%
China	44	14,4%
Irã	40	13,1%
Turquia	38	12,5%
Índia	24	7,9%
EUA	14	4,6%
Canadá	13	4,3%
Grécia	10	3,3%
Reino Unido	7	2,3%
Itália	7	2,3%
Austrália	6	2,0%
Espanha	5	1,6%
Coréia	4	1,3%
Malásia	4	1,3%
Hong Kong	3	0,98%
Bélgica	3	0,98%
Servia & Montenegro	3	0,98%
Brasil	2	0,66%
França	2	0,66%
Lituânia	2	0,66%
Egito	1	0,33%
Dinamarca	1	0,33%
Cingapura	1	0,33%
Suécia	1	0,33%
Irlanda	1	0,33%
Jordânia	1	0,33%
Polônia	1	0,33%
Portugal	1	0,33%
Japão	1	0,33%
Áustria	1	0,33%
Luxemburgo	1	0,33%
Total	305	100,0%

Fonte: autor, baseado em (BEHZADIAN, OTAGHSARA, *et al.*, 2012).

Tabela 12– Distribuição de artigos sobre TOPSIS ao longo dos anos.

Ano	Número de publicações	Porcentagem do total
2000-2001	5	1,9%
2002-2003	12	4,5%
2004-2005	13	4,9%
2006-2007	41	15,4%
2008-2009	65	24,4%
2010	130	48,9%
Total	266	100,0%

Fonte: autor, baseado em (BEHZADIAN, OTAGHSARA, *et al.*, 2012).

Jayant e Sharma (2018) em seu trabalho examinaram diversos estudos desde 1995 até 2015 observando, dentre outros aspectos, a metodologia e desenvolvimento das técnicas PROMETHEE, ELECTRE, VIKOR e TOPSIS, o uso destes métodos na literatura, estudos de caso, e o desenvolvimento de métodos híbridos. Os resultados do trabalho mostraram que aproximadamente 80% dos trabalhos envolvendo as técnicas PROMETHEE, ELECTRE, VIKOR e TOPSIS foram desenvolvidas nos últimos sete anos (2009-2015) o que indica a necessidade de pesquisa continuada no assunto com grande escopo para futuros estudos, conforme apresentado na Figura 6.

Tal verificação já havia sido relatada por Mardani *et al.* (2015), que apresentaram em seu trabalho as variações da quantidade de publicações ao longo do período de 2000 a 2014 mostrando que 2013 foi o ano que os acadêmicos publicaram mais artigos, e prevendo que nos anos subsequentes esses números aumentariam. Além disso, em seu trabalho, o autor também mostrou que pesquisadores em diferentes campos e categorias utilizam as técnicas e abordagens do MCDM.

Em Mardani *et al.* (2015), os autores afirmam que a escolha de uma abordagem de solução de problemas e um modelo depende, dentre outras condições, das metas desejadas, informações disponíveis e tempo. E independente do método, a maior vantagem em utilizar os métodos de análise multicritério é a capacidade de abordar os problemas marcados por interesses conflitantes.

Outro aspecto relevante para a escolha do método é análise que se deseja realizar. Segundo Ishizaka e Nemery (2013), a maioria dos métodos MDCA pode ser dividida como problemas de escolha, de classificação e ranqueamento. Assim, de acordo com o problema

escolhe-se um método em detrimento de outro. A Tabela 13 apresenta alguns exemplos de métodos utilizados em cada tipo de problema MDCA.

O problema de escolha possui como objetivo selecionar a melhor opção no grupo de opções. Desse modo, quando se busca escolher um funcionário para ocupar uma vaga, tem-se um problema de escolha.

O problema de classificação se dá quando, por exemplo, uma empresa busca classificar o desempenho dos funcionários, classificando-os nos subgrupos “desempenho superior”, “desempenho médio” e “desempenho forte”. De maneira geral, esse problema tem por objetivo reagrupar as opções disponíveis de acordo com comportamentos ou características similares entre os produtos ou pessoas analisadas.

Os problemas onde as opções são ordenadas do melhor para o pior por meio de pontuações ou comparações entre pares são chamados de problemas de ranqueamento. Um exemplo disso são os *rankings* onde as universidades são comparadas levando em consideração critérios como qualidade do ensino e pesquisa, por exemplo.

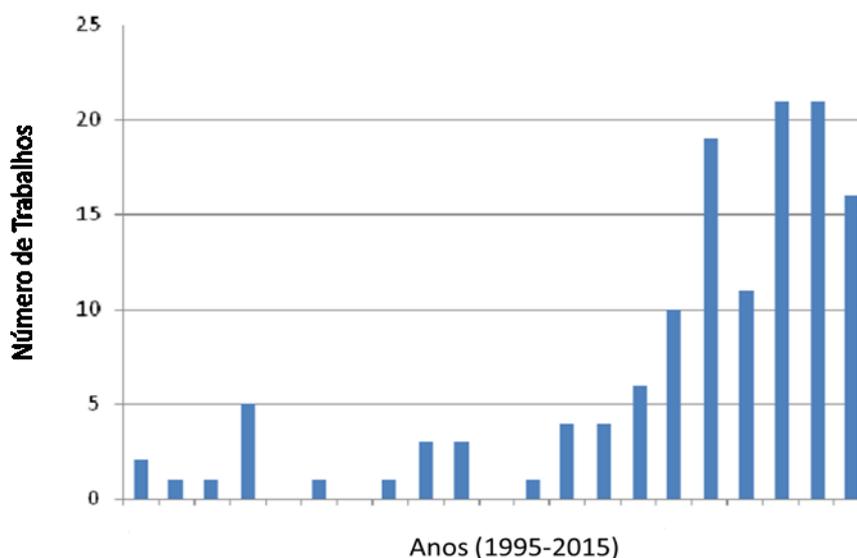


Figura 6 - Distribuição de Trabalhos de 1995 a 2015(JAYANT e SHARMA, 2018).

Tendo em vista o problema proposto nesse trabalho e os métodos de ranqueamento disponíveis e a revisão bibliográfica analisada, o método de análise escolhido neste trabalho foi a técnica de ordenamento preferencial pela similaridade com a solução ideal (TOPSIS). Nesse caso decisório destaca-se a necessidade de estabelecimento de uma ordenação das alternativas de modo a ajudar o tomador de decisão com relação a sua escolha.

A escolha quanto à técnica utilizada neste trabalho levou em consideração também outros aspectos como: atualidade do método, facilidade de uso, transparência, disponibilidade de software, possibilidade de conferência dos resultados. Além da pesquisa bibliográfica realizada que apontou o TOPSIS como método adequado para avaliação.

Tabela 13 – Métodos MCDA para os diferentes problemas.

<b>Escolha</b>	<b><i>Ranking</i></b>	<b>Classificação</b>
AHP	AHP	AHP Sort
ANP	ANP	
MAUT/UTA	MAUT/UTA	UTADIS
MACBETH	MACBETH	
PROMETHEE	PROMETHEE	FlowSort
ELECTRE I	ELECTRE III	ELECTRE-Tri
TOPSIS	TOPSIS	
DEA	DEA	

Fonte: autor, adaptado de (ISHIZAKA e NEMERY, 2013).

## 2.4 TOPSIS

TOPSIS é uma técnica de apoio que busca avaliar o desempenho de alternativas através de similaridade com a solução ideal (KROHLING e SOUZA, 2011). Este método foi proposto por Hwang e Yoon em 1981 e teve como ideia principal a escolha da solução ideal a partir de dois aspectos: menor distância da solução ideal positiva e maior distância da solução ideal negativa (HWANG e YOON, 1981).

O compromisso de escolha da melhor solução, nesse método, é obtido pelo cálculo da distância Euclidiana. Assim, quanto à menor distância Euclidiana de uma determinada alternativa da solução ideal positiva e maior a distância Euclidiana da solução ideal negativa melhor posicionada estará essa alternativa comparada às demais. Na Figura 7 tem-se um exemplo onde A1 apresenta melhor desempenho quando comparado a alternativa A2.

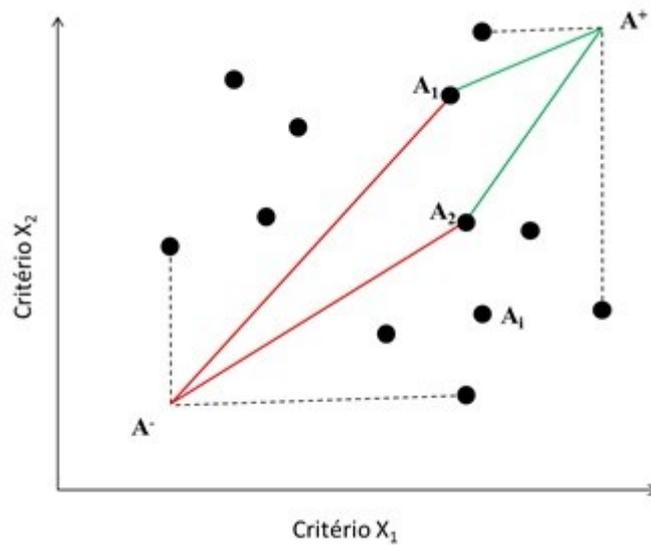


Figura 7 - Distância euclidiana de dois pontos (A1 e A2) até a solução ideal positiva e solução ideal negativa no espaço bidimensional (HWANG e YOON, 1981).

O método TOPSIS pode ser representado por meio de oito passos.

1. Definição das alternativas ( $A$ ) e critérios ( $X$ ) a serem avaliados;

O primeiro passo a ser tomado no método é estabelecer de maneira objetiva e quantitativa os critérios e alternativas do problema. Faz-se necessário estabelecer para cada alternativa valores numéricos que representem o desempenho dessa alternativa frente a cada critério.

Segundo Almeida (2013), um critério é visto de maneira geral como uma representação de um objetivo que pode ser definido como uma função que mede o desempenho obtido no objetivo representado. Quando se consideram problemas multicritério, tem-se então uma família de critérios e elas devem atender a algumas propriedades, tais como ser capaz de representar todos os aspectos (objetivos) do problema (exaustividade) sem que haja redundâncias.

Outro aspecto importante a ser analisado é a relação de dominância que pode ocorrer entre as alternativas. Almeida (2013) estabelece a função de dominância através da equação (1). A dominância ocorre quando para  $n$  critérios, considerando  $g_j$  a função valor para o critério  $j$ ,  $g_j(a)$  é maior do que  $g_j(b)$  pelo menos para um dos critérios analisados.

$$g_j(a) \geq g_j(b), \quad j = 1, 2, 3, n \quad (1)$$

Embora seja incomum encontrar em problemas multicritérios a relação de dominância, a primeira tarefa a ser desenvolvida é a eliminação de todos os elementos dominados (ALMEIDA, 2013).

## 2. Montagem da matriz de decisão;

De posse dos valores estabelecidos para cada alternativa em relação aos critérios monta-se a matriz de decisão ' $D$ ', onde as linhas representam as alternativas ' $A$ ' e as colunas os critérios ' $X$ '.

$$\mathbf{D} = \begin{array}{c|cccccc} & \mathbf{X1} & \mathbf{X2} & \dots & \mathbf{Xj} & \dots & \mathbf{Xn} \\ \mathbf{A1} & x11 & x12 & \dots & x1j & \dots & x1n \\ \mathbf{A2} & x21 & x22 & \dots & x2j & \dots & x2n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{Ai} & xi1 & xi2 & \dots & xij & \dots & xin \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{Am} & xm1 & xm2 & \dots & xmj & \dots & xmn \end{array}$$

Onde,

$A_i$  =  $i$ -ésima alternativa considerada;

$x_{ij}$  = valores numérico da  $i$ -ésima alternativa com relação ao  $j$ -ésimo critério.

Segundo Hwang *et al.* (1981), o valor de cada critério atribuído à determinada alternativa pode aproximar a alternativa da solução ideal, distanciando-a da ideal negativa, ou o inverso. Tal fato dependerá da classificação do critério como “benefício”, ou “custo”. Assim, se o critério é considerado como um custo, quanto maior o valor atribuído a determinada alternativa pior será seu posicionamento comparado às demais. Da mesma forma, se o critério for classificado como benefício, então quanto maior o valor numérico dado a uma alternativa, melhor será seu posicionamento.

## 3. Normalização da matriz de decisão;

Esse processo busca transformar a matriz de decisão em uma matriz com atributos não dimensionais, permitindo assim que eles possam ser comparados. Almeida (2013) apresenta três procedimentos para realização da normalização. O primeiro procedimento os valores normalizados são dados pela equação (2).

$$r_{ij} = [x_{ij} - \text{Min } x_{ij}] / [\text{Max } x_{ij} - \text{Min } x_{ij}] \quad (2)$$

- Os valores de  $r_{ij}$  são obtidos no intervalo  $0 \leq r_{ij} \leq 1$ ;
- Pode ser interpretado como sendo um percentual da faixa de variação  $\text{Max } x_{ij} - \text{Min } x_{ij}$ ;
- Observa-se que o zero significa apenas o valor mínimo.

O segundo procedimento está apresentado na equação (3).

$$r_{ij} = x_{ij} / [\text{Max } x_{ij}] \quad (3)$$

Suas principais características são:

- Divisão pelo valor máximo;
- Os valores de  $r_{ij}$  são obtidos no intervalo  $0 < r_{ij} \leq 1$ ;
- Pode ser interpretado como sendo um percentual do valor máximo de  $x_{ij}$ ;
- Indica a distância para alternativa líder.

O terceiro procedimento está apresentado na equação (4).

$$r_{ij} = x_{ij} / \left[ \sum_{i=1}^m x_{ij} \right] \quad (4)$$

Suas principais características são:

- Divisão pela soma;
- Os valores de  $r_{ij}$  são obtidos no intervalo  $0 < r_{ij} \leq 1$ ;
- Pode ser interpretado como sendo um percentual do total  $\sum_{i=1}^m x_{ij}$ .

Apesar da existência de alguns métodos de normalização, nesse trabalho optou-se por utilizar o procedimento da normalização apresentado por Hwang *et al.* (1981). Nesse procedimento cada elemento da matriz é dividido pelo vetor "critério" normalizado e  $r_{ij}$  pode ser interpretado como sendo um percentual de  $\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}$ . A equação (5) apresenta o cálculo utilizado na normalização.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (5)$$

Onde,

$x_{ij}$  = valor numérico da  $i$ -ésima alternativa com relação ao  $j$ -ésimo critério;

$r_{ij}$  = valor numérico normalizado da  $i$ -ésima alternativa com relação ao  $j$ -ésimo critério;

#### 4. Atribuição de pesos à matriz de decisão normalizada;

Nesse passo é possível atribuir pesos aos critérios estipulados no "Passo 1", dando assim maior relevância a um critério em detrimento de outro.

Para isso define-se um vetor  $W = (w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_n)$  tal que  $\sum_{i=1}^n w = 1$ . " $W$ " é então multiplicado pela matriz " $D$ " atribuindo os pesos aos valores normalizados.

$$V' = \begin{pmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1j} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2j} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{i1} & v_{i2} & \dots & v_{ij} & \dots & v_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mj} & \dots & v_{mn} \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$V = \begin{pmatrix} w_1.r_{11} & w_2.r_{12} & \dots & w_j.r_{1j} & \dots & w_n.r_{1n} \\ w_1.r_{21} & w_2.r_{22} & \dots & w_j.r_{2j} & \dots & w_n.r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1.r_{i1} & w_2.r_{i2} & \dots & w_j.r_{ij} & \dots & w_n.r_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1.r_{m1} & w_2.r_{m2} & \dots & w_j.r_{mj} & \dots & w_n.r_{mn} \end{pmatrix} \quad (7)$$

#### 5. Determinação da solução ideal e ideal-negativa;

A solução ideal positiva ( $A^+$ ) e a solução ideal negativa ( $A^-$ ), também chamadas de PIS e NIS, respectivamente, são obtidas a partir da determinação dos maiores e menores

valores de cada coluna da matriz. As equações (8) e (9) apresentam a varredura realizada para encontrar os vetores  $A^+$  e  $A^-$ .

$$\begin{aligned} A^+ &= \{(max_i v_{ij} | j \in J), (min_i v_{ij} | j \in J') \mid i = 1, 2, \dots, m\} \\ &= \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+\} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} A^- &= \{(min_i v_{ij} | j \in J), (max_i v_{ij} | j \in J') \mid i = 1, 2, \dots, m\} \\ &= \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\} \end{aligned} \quad (9)$$

Onde,

$$J = \{j = 1, 2, \dots, n \mid j \text{ associado ao critério de benefício}\}$$

$$J' = \{j = 1, 2, \dots, n \mid j \text{ associado ao critério de custo}\}$$

Uma vez determinado  $A^+$  e  $A^-$ , é possível afirmar que  $A^+$  será a alternativa preferida (solução ideal positiva) e  $A^-$  a alternativa preterida (solução ideal negativa).

#### 6. Cálculo das distâncias Euclidianas;

A distância entre cada alternativa com  $n$  dimensões até a solução ideal pode ser dada através do cálculo da distância Euclidiana, equação (10). Da mesma forma, a distância de tal alternativa à solução ideal-negativa está apresentada na equação(11).

$$S_{i^+} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

$$S_{i^-} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

#### 7. Cálculo da proximidade relativa entre as alternativas e a solução ideal positiva;

A proximidade relativa entre  $A_i$  e  $A^+$  está definida na equação(12).

$$C_{i^+} = \frac{S_{i^-}}{(S_{i^+} + S_{i^-})}, \quad 0 < C_{i^+} < 1, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

É possível observar que  $C_{i^+} = 1$  quando  $A_i = A^+$  e  $C_{i^+} = 0$  quando  $A_i = A^-$ . Logo quanto mais  $C_{i^+}$  se aproxima do valor 1 mais próxima estará a alternativa  $A_i$  de  $A^+$ .

8. Ordenamento por ordem de preferência;

A partir do cálculo de  $C_{i^+}$  (proximidade relativa entre as alternativas e a solução ideal) é possível ordenar os valores de  $C_{i^+}$  e obter em ordem decrescente o ordenamento das alternativas.

### 3 METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DO CASO

Tendo em vista a grande variedade de modelos e fabricantes de lâmpadas LED e conseqüentemente a dificuldade de escolha de lâmpadas por parte do consumidor, o estudo proposto visa apresentar um recurso auxiliar à tomada de decisão na compra de lâmpadas LED tendo em vista a atualização da rotulagem para as lâmpadas LEDs proposta.

Tal estudo se justifica uma vez que as embalagens possuem grandes quantidades de dados e por isso se torna, muitas vezes, inviável ao comprador realizar uma comparação levando em consideração todos os dados apresentados na embalagem.

Assim, a fim de estudar o impacto da inserção de dados elétricos e fotométricos para a rotulagem proposta para lâmpadas LED, foi realizado um estudo de caso utilizando lâmpadas tubulares LED.

Tendo em vista que as amostras e os dados utilizados foram provenientes do LABLUX, laboratório de luminotécnica da UFF, que realiza o trabalho de certificação de lâmpadas, reatores e luminárias, houve a necessidade de adequação do trabalho segundo as restrições quanto ao número de amostras e modelos disponíveis no laboratório. Além disso, os nomes dos fabricantes das lâmpadas não foram divulgados por questões de sigilo do laboratório.

As lâmpadas escolhidas para a realização do trabalho foram as lâmpadas tubulares LED de 18W. No estudo foram utilizadas 100 amostras de lâmpadas tubulares LED de 10 modelos diferentes. Todos os dados foram coletados em ensaios no laboratório e comparados aos valores mínimos e máximos estipulados pelas normas, regulamentos e portarias vigentes.

A fim de possibilitar o entendimento dos dados utilizados no trabalho, bem como a comparação deles, são apresentados nesse capítulo os conceitos básicos a respeito das medições realizadas em lâmpadas LED que são requisitados para certificação e, conseqüentemente, a circulação desses produtos em mercado nacional. Além disso, são abordados os ensaios realizados, equipamentos utilizados e a metodologia do estudo de caso proposto.

O estudo se desenvolveu em três fases, conforme apresentado na Figura 8. Na primeira fase, os 10 modelos de lâmpadas tubulares LED de 18W foram avaliados segundo os critérios da Portaria 389/2014 do Inmetro (INMETRO, 2014). Assim, os parâmetros de potência medida, fator de potência, fluxo luminoso, eficiência, índice de reprodução de cor e índice R9 foram medidos e comparados aos requisitos da portaria.

Na segunda fase, essas mesmas lâmpadas passaram por uma avaliação tendo em vista os critérios de concessão do Selo Procel. Os valores medidos e comparados foram: potência, fluxo luminoso, eficiência e fator de potência.

Na terceira fase foram propostas metodologias de ranqueamento de lâmpadas utilizando três cenários diferentes de análise. Assim, as medições foram agrupadas em três famílias de critérios: eficiência, qualidade de energia e qualidade de luz gerada.

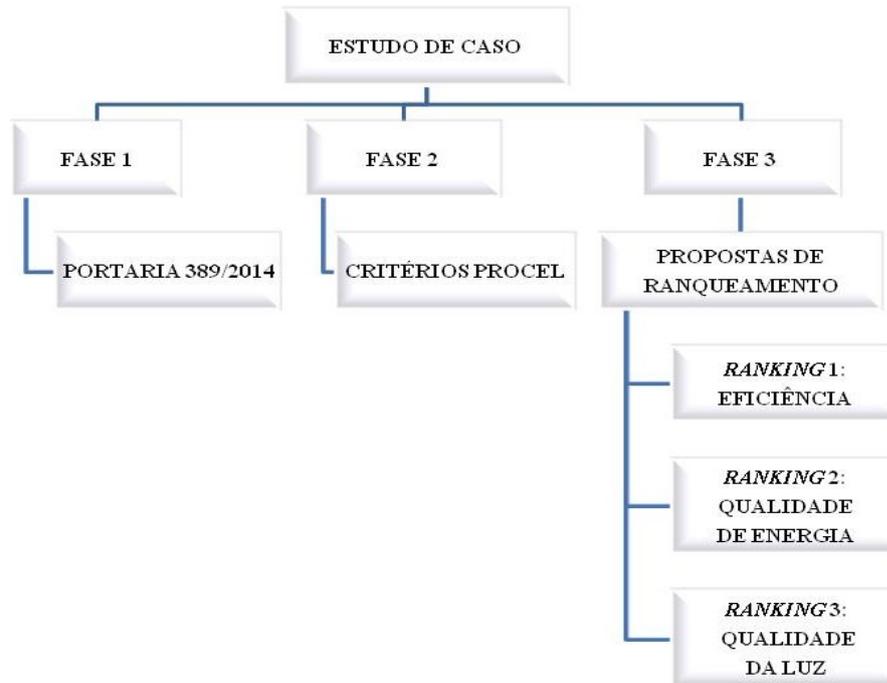


Figura 8 – Metodologia do trabalho esquematizada.

Vale ressaltar que os critérios escolhidos para simulação dos cenários levou em consideração as medições requeridas pelas portarias e normas vigentes. Deste modo, bem como apresentado por Onder e Dag (2013), onde a experiência e o histórico dos especialistas foram utilizados na determinação dos critérios, neste trabalho, as portarias e normas foram suficientes para escolha dos critérios analisados. As medições agrupadas levaram em consideração a exaustividade e objetividade dos critérios avaliados de modo a não haver redundâncias. Além disso, não foram verificadas relações de dominância entre as alternativas.

No primeiro cenário, o ranqueamento foi realizado utilizando-se apenas a eficiência das lâmpadas. No segundo cenário, foi realizada uma comparação entre as lâmpadas tendo em vista os dados de qualidade de energia, assim, as medições utilizadas foram: fator de potência, distorção harmônica total, potência, corrente e eficiência das lâmpadas. No terceiro e último cenário, as lâmpadas foram ranqueadas a partir da qualidade da luz por elas emitida, assim os índices avaliados foram: fluxo luminoso, Ra e R9.

Esse estudo buscou analisar as variações ocorridas quanto à escolha de lâmpadas quando diferentes objetivos são traçados. Assim, dependendo do objetivo, uma lâmpada pode ser considerada melhor do que outra tendo em vista sua aplicação.

Para todas as comparações, o método de análise multicritério TOPSIS foi utilizado. O método TOPSIS foi dividido em oito passos nesse trabalho, conforme descrito no item 2.4, a saber:

1. Definição das alternativas (A) e critérios (X) a serem avaliados;
2. Montagem da matriz de decisão;
3. Normalização da matriz de decisão;
4. Atribuição de pesos à matriz de decisão normalizada;
5. Determinação da solução ideal e ideal-negativa;
6. Cálculo das distâncias Euclidianas;
7. Cálculo da proximidade relativa entre as alternativas e a solução ideal positiva;
8. Ordenamento por ordem de preferência;

Para a realização das medições das características das lâmpadas selecionadas, utilizou-se a Portaria 389/2014 (INMETRO, 2014) como modelo de ensaio, cujo objetivo é estabelecer os requisitos que devem ser atendidos pelas lâmpadas LED, visando à eficiência energética, segurança e compatibilidade eletromagnética das mesmas. Tendo em vista o propósito do estudo em retratar o impacto das medições de qualidade da lâmpada a fim de melhorar o desempenho energético e fotométrico, apenas alguns dos ensaios da portaria serão retratados nesse capítulo.

Para que o ensaio das lâmpadas fosse realizado, fez-se necessário uma estabilização prévia das mesmas. O tempo requerido para estabilização de uma lâmpada LED, que deve ser no máximo de 2 h, é obtido quando a variação de pelo menos três medições sucessivas de emissão de luz e potência elétrica em um intervalo de 15 min varia menos que 0,5 %. Para tanto, a estabilidade da lâmpada deve ser acompanhada pela variação na emissão de luz (fluxo luminoso) e da potência elétrica ao longo do tempo.

Para as medições utilizaram-se os seguintes equipamentos: uma esfera integradora de Ulbricht (Figura 9), uma fonte de tensão modelo DPS da Everfine (Figura 10), onde foi garantida a frequência igual a 60Hz e tensão de ensaio nominal da rede elétrica, 127 VCA ou 220 VCA, estável dentro de 0,2 % no momento da medição, além de possuir conteúdo harmônico total da tensão de alimentação menor do que 3 %<sup>1</sup>. Foi utilizado também um

<sup>1</sup> O conteúdo harmônico é definido como o somatório eficaz dos componentes individuais harmônicos, considerando a fundamental como 100 % (INMETRO, 2014).

espectroradiometro modelo HAAS 2000 da Everfine (Figura 11) e um Wattímetro modelo WT 210 da Yokogawa (Figura 12), além do computador para aquisição e tratamento dos dados por meio dos softwares dos fabricantes (Figura 13).

Todas as medições foram realizadas dentro dos requisitos ambientais de ensaio da portaria 389/2014 (INMETRO, 2014), a saber, temperatura ambiente de  $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$ , umidade relativa de 65 % no máximo, e fluxo de ar limitado àquele gerado pela própria lâmpada, ou com velocidade relativa limitada a 0,2 m/s. Os testes foram feitos no Laboratório de Luminotécnica da UFF, LABLUX, acreditado pelo Inmetro para realizar medições em lâmpadas LED para certificação.

Cada modelo de lâmpada estudada no trabalho possuiu dez amostras que foram ensaiadas e após a medição das dez amostras, foi realizado o cálculo da média dos valores dos parâmetros elétricos e fotométricos medidos.



Figura 9 - Esfera integradora de Ulbricht.

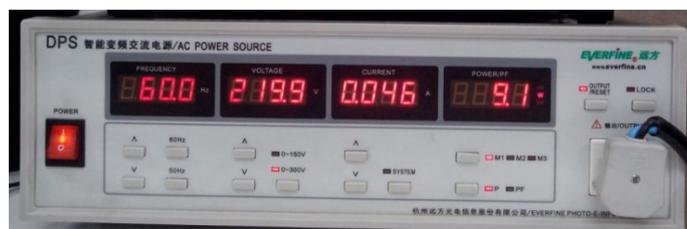


Figura 10 - Fonte de tensão.



Figura 11 – Espectrorradiômetro.



Figura 12 – Wattímetro.

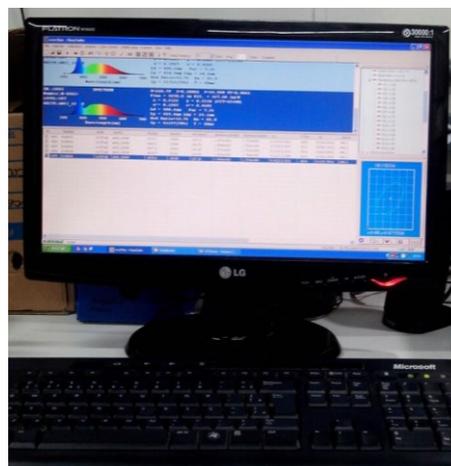


Figura 13 - Computador.

## Fluxo Luminoso

Fluxo luminoso é a medida da potência de luz visível emitida por uma fonte, em sua tensão nominal de funcionamento (RYER, 1998). Em outras palavras, um lúmen é o fluxo luminoso emitido por uma fonte puntiforme com intensidade de uma candela em um ângulo sólido de um estéreo-radiano (FONSECA, 1976).



Figura 14 - Fluxo luminoso de uma lâmpada (OSRAM, 2016).

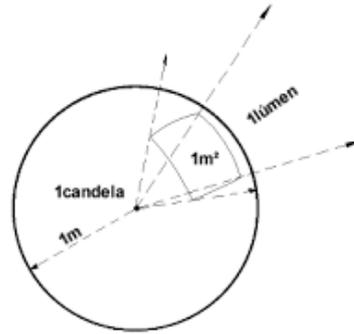


Figura 15 - Um lúmen (FONSECA, 1976).

### Índice de Reprodução de Cor

O Índice de Reprodução de Cor (IRC) é o valor que representa a capacidade que as lâmpadas têm de apresentarem um espectro de luz que melhor determine a cor de certo corpo, ou seja, um espectro que melhor se aproxime do espectro da luz solar. Ele é composto por 15 amostras de cores, as oito primeiras amostras são cores com saturação média e as seis últimas são cores altamente saturadas. O índice geral de reprodução de cores  $R_a$  é dado como a média das oito primeiras amostras de cores (equação (9)), no entanto o IRC é frequentemente usado para se referir a  $R_a$  (OHNO, 2015).

$$R_a = \sum_{h=1}^8 \frac{R_i}{8} \quad (13)$$

Assim, uma fonte de luz com  $R_a$  de 100 faz com que todas as cores sejam apresentadas perfeitamente, como se estivessem sob a fonte de luz de referência. Quanto menor for o valor do  $R_a$  pior será o rendimento de cores da superfície iluminada (OSRAM, 2016).



Figura 16 - Objetos iluminados por lâmpadas com  $R_a$  100 e 85 respectivamente (OSRAM, 2016).

### Potência

A potência ativa ( $P$ ) de um sinal comportando harmônicas é a soma das potências ativas causadas por tensões e correntes de mesma ordem. Através da decomposição da tensão e da

corrente em suas componentes harmônicas é possível chegar à equação (14) (SCHNEIDER, 2018).

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} U_h \cdot I_h \cdot \cos \phi_h \quad (14)$$

Onde:

$P$  = Potência ativa;

$U_h$  = Tensão de ordem  $h$ ;

$I_h$  = Corrente de ordem  $h$ ;

$\phi_h$  = Defasagem entre a tensão e a corrente harmônica de ordem  $h$ .

### Fator de Potência

O fator de potência (FP) é a relação entre a potência ativa  $P$  e a potência aparente  $S$  - equação (15). Mas também pode ser expresso pela equação (16) onde fica explícita a dependência do fator de potência, não somente com o ângulo de defasagem entre a corrente e tensão, expresso em (17), mas também a distorção na forma de onda da corrente de alimentação (SCHNEIDER, 2018).

$$FP = \frac{P}{S} \quad (15)$$

$$FP = \frac{\cos \phi}{\sqrt{1 + THD^2}} \quad (16)$$

$$\cos \phi = \frac{P1}{S1} \quad (17)$$

Onde:

$P$  =Potência ativa;

$S$  =Potência reativa;

$\cos \phi$  = Ângulo entre a forma de onda de corrente e tensão;

$P1$  =Potência ativa da fundamental;

$S1$  =Potência reativa da fundamental.

Vale ressaltar que o  $\cos \phi$  se relaciona unicamente a frequência fundamental, e, na presença de harmônicas, é diferente do fator de potência FP (SCHNEIDER, 2018).

### **Eficiência Energética**

Na física, eficiência é uma grandeza adimensional, pois é uma relação entre energias. No entanto, frequentemente é substituída pela relação entre um produto desejado e a energia útil gasta para obtê-lo, tal como a distância percorrida por um automóvel por unidade de combustível consumido. A eficiência energética, então, corresponde à relação entre energia aproveitada por aparelhos, equipamentos e instalações e a energia a eles suprida (LEITE, 2012).

Para análise da eficiência energética em lâmpadas ou rendimento luminoso essa grandeza mede a quantidade de lumens gerados por watt consumido (OSRAM, 2016).

### **Taxa de Harmônica Individual**

Taxa individual de harmônica (ou taxa de harmônica da ordem h) é a porcentagem de harmônica de ordem h dividida pela fundamental, dado pela equação (18) (SCHNEIDER, 2018).

$$i_h(\%) = 100 \cdot \frac{I_h}{I_1} \quad (18)$$

### **Taxa de Distorção Harmônica**

THD do inglês Total Harmonic Distortion é a taxa de distorção harmônica global normalmente utilizada para definir a importância do conteúdo harmônico de um sinal alternado. Esta grandeza permite avaliar a deformação de uma tensão ou de uma corrente circulando em um ponto da rede a partir dos valores informados.

A taxa de distorção harmônica é geralmente expressa em porcentagem. É definida pela a relação entre o valor RMS das componentes harmônicas da corrente e a fundamental segundo a equação (19), e pode atingir valores maiores do que 1 (SCHNEIDER, 2018).

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (19)$$

## 4 RESULTADOS

Esse capítulo busca apresentar os dados medidos e os resultados encontrados quando as lâmpadas sob teste são comparadas aos parâmetros mínimos requisitados nas portarias e normas vigentes. Além disso, o capítulo também discute as diferenças encontradas nos resultados de cada cenário proposto, sugerindo possíveis modificações nas regulamentações vigentes e não descartando as metodologias já utilizadas em outros países.

### 4.1 AVALIAÇÃO SEGUNDO A PORTARIA 389/2014

A primeira fase de avaliação foi resultante de uma comparação entre os dados obtidos em ensaio e os valores requisitados pela portaria 389/2014 do Inmetro (INMETRO, 2014). Essa avaliação levou em conta os seguintes requisitos:

- Potência;
- Fator de Potência;
- Fluxo Luminoso;
- Eficiência;
- Ra (Índice de Reprodução de Cor);
- R9 (Reprodução da Cor Vermelha);
- Distorção de Corrente representada pelas harmônicas de 2ª ordem e das ordens ímpares de 3ª a 39ª.

Devido à faixa de tensão das lâmpadas, as medições foram realizadas nas tensões 127V e 220V. Os resultados estão apresentados na Tabela 14 a Tabela 19. Os valores onde os limites foram ultrapassados estão apresentados em células vermelhas.

Tabela 14– Tabela do resultado das médias das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo a Portaria 389/2014 em 220V.

<b>Medições em 220V</b>						
<b>Modelo</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>FP</b>	<b>Fluxo Luminoso (lm)</b>	<b>Eficiência(lm/W)</b>	<b>Ra</b>	<b>R9</b>
I	18,4	<b>0,92</b>	<b>1744</b>	95	84	9
II	18,5	0,94	1929	104	83	7
III	17,6	0,95	<b>1759</b>	100	86	24
IV	18,5	0,93	1926	104	83	8
V	19,3	<b>0,92</b>	2073	107	83	14
VI	18,6	0,93	1850	100	85	21
VII	19,1	<b>0,46</b>	2084	109	83	8
VIII	17,7	0,94	1920	109	85	16
IX	18,7	<b>0,92</b>	1864	100	83	4
X	17,4	<b>0,92</b>	2012	115	82	5

Tabela 15-Tabela do resultado das médias das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo a Portaria 389/2014 em 127V.

<b>Medições em 127V</b>						
<b>Modelo</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>FP</b>	<b>Fluxo Luminoso (lm)</b>	<b>Eficiência (lm/W)</b>	<b>Ra</b>	<b>R9</b>
I	18,7	0,96	<b>1725</b>	92	84	9
II	18,3	0,99	1897	103	83	7
III	17,7	0,96	<b>1749</b>	99	86	24
IV	18,6	0,96	1921	103	83	8
V	19,3	0,96	2049	106	83	14
VI	18,3	0,96	1850	101	85	21
VII	19,0	<b>0,57</b>	2066	108	83	9
VIII	17,3	0,99	<b>1824</b>	105	85	16
IX	18,3	0,95	1851	101	83	4
X	17,1	0,96	1991	116	82	5

Tabela 16 - Tabela do resultado das médias das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo a Portaria 389/2014 – Distorções de Corrente em 220V.

<b>Medições em 220V</b>											
<b>Modelo</b>	<b>THD (%)</b>	<b>Ordens</b>									
		<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>17</b>	<b>19</b>
I	25	1	16	10	7	2	2	3	2	2	2
II	12	0	9	3	3	2	2	2	2	2	2
III	20	0	14	12	5	2	2	3	2	1	1
IV	15	0	14	5	2	2	1	1	1	1	1
V	17	0	10	8	9	6	3	1	1	2	1
VI	20	0	14	8	9	6	3	2	1	2	2
VII	65	6	12	15	11	7	11	9	6	10	11
VIII	16	0	9	5	6	5	3	2	2	2	2
IX	17	0	13	8	5	2	0	1	1	1	1
X	24	0	23	5	3	1	1	2	1	1	1

Tabela 17 - Tabela do resultado das médias das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo a Portaria 389/2014 – Distorções de Corrente em 127V.

<b>Medições em 127V</b>											
<b>Modelo</b>	<b>THD (%)</b>	<b>Ordens</b>									
		<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>17</b>	<b>19</b>
I	24	1	18	10	5	2	3	2	0	2	1
II	6	0	5	1	1	1	1	1	1	1	1
III	26	0	21	14	3	3	4	1	1	1	1
IV	12	0	11	3	1	0	0	1	0	1	1
V	26	0	18	17	4	4	4	1	2	2	1
VI	24	0	16	10	5	3	2	2	1	2	1
VII	58	6	21	16	7	6	7	7	6	5	5
VIII	8	0	3	3	3	3	2	1	1	1	1
IX	27	0	24	9	2	3	3	1	1	1	1
X	26	0	23	10	3	1	2	2	1	1	1

Tabela 18-Tabela do resultado das médias das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo a Portaria 389/2014 – Distorções de Corrente em 220V.

<b>Medições em 220V</b>										
<b>Modelo</b>	<b>Ordens</b>									
	<b>21</b>	<b>23</b>	<b>25</b>	<b>27</b>	<b>29</b>	<b>31</b>	<b>33</b>	<b>35</b>	<b>37</b>	<b>39</b>
I	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1
II	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
III	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
IV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
V	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0
VI	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0
VII	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>7</b>
VIII	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2
IX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Tabela 19-Tabela do resultado das médias das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo a Portaria 389/2014 – Distorções de Corrente em 127V.

<b>Medições em 127V</b>										
<b>Modelo</b>	<b>Ordens</b>									
	<b>21</b>	<b>23</b>	<b>25</b>	<b>27</b>	<b>29</b>	<b>31</b>	<b>33</b>	<b>35</b>	<b>37</b>	<b>39</b>
I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
II	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
III	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
IV	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
V	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0
VI	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0
VII	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>
VIII	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
IX	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
X	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0

## 4.2 AVALIAÇÃO SEGUNDO CRITÉRIOS DO SELO PROCEL

A segunda avaliação foi realizada tomando por base os requisitos do Selo Procel. Os critérios avaliados foram: potência, eficiência e fator de potência. Assim, as lâmpadas que podem receber o selo do Procel são aquelas que já passaram por uma avaliação anterior e receberam a certificação compulsória do Inmetro.

Os resultados avaliados estão apresentados na Tabela 20 até a Tabela 22. As lâmpadas que ultrapassaram algum dos limites requisitados pelo Procel, possuem marcação vermelha em suas células indicando o critério em que foi reprovada.

Tabela 20-Tabela do resultado das médias das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo os critérios para concessão do Selo Procel em 127V e 220V.

Modelo	Fator de Potência		Eficiência (lm/W)	
	220V	127V	220V	127V
I	0,92	0,96	95	92
II	0,94	0,99	104	103
III	0,95	0,96	100	99
IV	0,93	0,96	104	103
V	0,92	0,96	107	106
VI	0,93	0,96	100	101
VII	<b>0,46</b>	<b>0,57</b>	109	108
VIII	0,94	0,99	109	105
IX	0,92	0,95	100	101
X	0,92	0,96	115	116

Tabela 21 - Tabela do resultado individual das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo os critérios para concessão do Selo Procel em 220V.

Amostras	Modelos									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	18,6	18,5	17,5	18,5	19,5	18,5	19,2	17,4	19,0	17,8
2	18,5	18,4	17,9	18,5	19,0	18,7	19,2	17,8	19,0	17,1
3	18,6	18,2	17,4	18,5	19,1	18,4	19,0	17,7	18,7	17,2
4	18,4	18,3	17,5	18,5	19,1	18,2	18,9	17,2	18,3	17,5
5	18,1	18,7	17,6	18,5	19,7	18,6	19,3	18,0	18,5	17,5
6	18,5	18,8	17,7	18,3	19,3	18,9	18,9	18,0	18,4	17,6
7	18,5	18,9	17,8	18,5	19,5	18,8	19,2	17,9	18,9	17,4
8	18,4	18,4	17,6	18,4	19,4	18,5	19,3	17,8	18,9	17,3
9	18,5	18,6	18,0	18,4	19,1	18,6	18,8	17,5	18,3	17,5
10	18,4	18,8	17,6	18,5	19,6	18,7	18,7	17,7	18,6	17,2

Tabela 22 - Tabela do resultado individual das medições das dez amostras de cada modelo para Avaliação segundo os critérios para concessão do Selo Procel em 127V.

Amostras	Modelos									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	18,9	18,3	17,5	18,6	19,3	18,1	19,2	17,1	18,6	17,6
2	18,7	18,2	17,9	18,7	19,0	18,4	19,0	17,8	18,3	16,7
3	18,9	18,0	17,4	18,7	19,0	18,0	19,1	17,2	18,7	16,9
4	18,7	18,0	17,5	18,7	19,0	17,9	18,8	16,9	17,9	17,2
5	18,4	18,4	17,6	18,6	19,7	18,3	19,3	17,6	17,9	17,2
6	18,8	18,6	17,8	18,5	19,2	18,6	18,8	17,5	18,4	17,2
7	18,8	18,6	17,9	18,6	19,4	18,5	19,1	17,4	18,4	17,4
8	18,7	18,3	17,6	18,6	19,4	18,3	19,5	17,4	18,7	16,9
9	18,8	18,3	18,0	18,6	19,0	18,4	19,0	17,1	18,0	17,1
10	18,6	18,6	17,6	18,6	19,7	18,4	18,9	17,4	18,4	16,9

### 4.3 ESTUDO DE CASO: RANQUEAMENTO UTILIZANDO O TOPSIS

A terceira fase do trabalho é composta por um estudo onde diferentes cenários de análise são utilizados para ordenamento de lâmpada segundo a qualidade das mesmas. Nesse sentido, foram propostos três cenários de análise.

No primeiro, utilizou-se apenas o critério eficiência para classificação das lâmpadas. No segundo cenário, a comparação levou em consideração os dados de qualidade de energia, assim, as medições utilizadas foram: fator de potência, distorção harmônica total, potência, corrente e eficiência das lâmpadas. No último cenário, as lâmpadas foram ranqueadas a partir da qualidade da luz por elas emitida, assim os índices avaliados foram: Ra, R9 e fluxo luminoso.

#### 4.3.1 CENÁRIO 1 – EFICIÊNCIA

No primeiro cenário o ranqueamento das lâmpadas foi realizado utilizando apenas os dados de eficiência. Assim, quanto maior a eficiência da lâmpada, melhor posicionada ela estará no ranqueamento. A Tabela 23 apresenta o ranqueamento final das amostras.

Tabela 23 – Resultado do Cenário 1 – *Ranking* das alternativas.

Alternativa	Modelo	Eficiência (lm/W)	Ranking
A <sub>1</sub>	I	94,56	10
A <sub>2</sub>	II	104,05	6
A <sub>3</sub>	III	99,74	8
A <sub>4</sub>	IV	104,41	5
A <sub>5</sub>	V	107,25	4
A <sub>6</sub>	VI	99,55	9
A <sub>7</sub>	VII	109,34	2
A <sub>8</sub>	VIII	108,51	3
A <sub>9</sub>	IX	99,84	7
A <sub>10</sub>	X	115,48	1

### 4.3.2 CENÁRIO 2 – QUALIDADE DE ENERGIA

No segundo cenário, utilizou-se a potência, corrente, eficiência, fator de potência e THD como critérios para avaliação das lâmpadas. O método TOPSIS foi utilizado para o tratamento dos dados e ranqueamento das lâmpadas.

O primeiro passo do método é a ‘Definição das alternativas (A) e critérios (X) a serem avaliados’. A Tabela 24 apresenta os dados das lâmpadas utilizados para comparação do Cenário 2.

Tabela 24 – Dados das lâmpadas para comparação do Cenário 2.

Modelo	Potência (W)	Corrente (mA)	Eficiência (lm/W)	FP	THD (%)
I	18,45	91,43	94,56	0,92	24,72
II	18,54	89,78	104,05	0,94	<b>11,76</b>
III	17,64	<b>83,69</b>	99,74	<b>0,95</b>	20,38
IV	18,45	89,73	104,41	0,93	15,46
V	19,33	94,77	107,25	0,92	17,42
VI	18,59	90,87	99,55	0,93	20,05
VII	19,06	187,94	109,34	0,46	64,75
VIII	17,70	85,68	108,51	0,94	15,77
IX	18,67	93,16	99,84	0,92	16,70
X	<b>17,42</b>	86,99	<b>115,48</b>	0,92	24,15

A partir dos dados da Tabela 24, foi possível montar o segundo passo do método, a ‘Matriz de Decisão **D**’. Tendo em vista que os dados levantados não possuem uniformidade de dimensão, fez-se necessário a ‘Normalização da matriz de decisão’ a fim tornar os dados da matriz comparáveis entre si. A equação (5) foi utilizada para realizar o cálculo e alcançar a matriz normalizada **Dn**.

		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
<b>D =</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	18,45	91,43	94,56	0,92	24,72
	<b>A<sub>2</sub></b>	18,54	89,78	104,05	0,94	11,76
	<b>A<sub>3</sub></b>	17,64	83,69	99,74	0,95	20,38
	<b>A<sub>4</sub></b>	18,45	89,73	104,41	0,93	15,46
	<b>A<sub>5</sub></b>	19,33	94,77	107,25	0,92	17,42
	<b>A<sub>6</sub></b>	18,59	90,87	99,55	0,93	20,05
	<b>A<sub>7</sub></b>	19,06	187,94	109,34	0,46	64,75
	<b>A<sub>8</sub></b>	17,70	85,68	108,51	0,94	15,77
	<b>A<sub>9</sub></b>	18,67	93,16	99,84	0,92	16,70
	<b>A<sub>10</sub></b>	17,42	86,99	115,48	0,92	24,15

		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
<b>Dn =</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	0,31712	0,27870	0,28633	0,32539	0,28706
	<b>A<sub>2</sub></b>	0,31878	0,27367	0,31508	0,33187	0,13664
	<b>A<sub>3</sub></b>	0,30326	0,25511	0,30202	0,33744	0,23673
	<b>A<sub>4</sub></b>	0,31720	0,27352	0,31615	0,32902	0,17961
	<b>A<sub>5</sub></b>	0,33233	0,28888	0,32477	0,32700	0,20234
	<b>A<sub>6</sub></b>	0,31959	0,27699	0,30144	0,32793	0,23282
	<b>A<sub>7</sub></b>	0,32766	0,57288	0,33108	0,16269	0,75209
	<b>A<sub>8</sub></b>	0,30429	0,26117	0,32857	0,33124	0,18315
	<b>A<sub>9</sub></b>	0,32093	0,28397	0,30232	0,32443	0,19398
	<b>A<sub>10</sub></b>	0,29949	0,26517	0,34967	0,32551	0,28048

No passo 4 ‘Atribuição de pesos à matriz de decisão normalizada’ pode-se atribuir pesos a cada critério a fim de valorizar ou não um critério em detrimento do outro. Nesse trabalho, optou-se por não priorizar nenhum critério.

Para encontrar a solução ideal e ideal-negativa, descrita no Passo 5, fez-se necessário determinar quais critérios possuem um crescimento diretamente proporcional com a vantagem adquirida, pois as soluções ideal  $A^+$  e ideal-negativa  $A^-$  são obtidas a partir da determinação dos maiores e menores valores de cada coluna da matriz.

Assim, para os critérios Eficiência ( $X_3$ ) e Fator de Potência ( $X_4$ ), a solução ideal é a alternativa que possui maior valor em cada critério avaliado. Já para os critérios potência ( $X_1$ ), corrente ( $X_2$ ) e THD ( $X_5$ ), a solução ideal será aquela que possuir menor valor. Da mesma forma, é possível também identificar as soluções ideais negativas, que para a Eficiência ( $X_3$ ) e Fator de Potência ( $X_4$ ), são os menores valores obtidos na varredura da coluna, e para a Potência ( $X_1$ ), Corrente ( $X_2$ ) e THD ( $X_5$ ) são os maiores valores encontrados.

Tal diferença ocorre uma vez que a variação dos valores de cada critério pode beneficiar ou prejudicar uma determinada amostra quando comparada às outras. Por exemplo, tendo em vista que todas as lâmpadas ensaiadas possuem mesma potência nominal, quanto maior for o distanciamento entre a potência nominal e a potência medida, pior classificada estará a lâmpada. Assim, o valor do critério potência de uma determinada alternativa é inversamente proporcional à vantagem por ela adquirida. Logo, quanto menor a potência ativa medida, ou seja, menor consumo de energia elétrica, melhor posicionada estará a lâmpada. Tal como a potência, o aumento dos valores de corrente e distorção harmônica prejudicam o posicionamento da alternativa.

Em contrapartida, quanto maior o valor medido do fator de potência de determinada lâmpada, melhor será essa lâmpada quando comparada às demais, pois maior será o percentual de potência útil consumida pela lâmpada. Além desse, o critério eficiência é também proporcional a vantagem adquirida pela amostra. Tendo em vista as diferenças dos critérios avaliados, as matrizes  $A^+$  e  $A^-$  foram obtidas a partir da varredura da matriz  $D_n$ .

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
$A^+ =$	0,29949	0,25511	0,34967	0,33744	0,13664
$A^- =$	0,33233	0,57288	0,28633	0,16269	0,75209

O cálculo das distâncias euclidianas, ou seja, a distância entre cada alternativa com 5 dimensões até a solução ideal (S+) e ideal-negativa (S-) pode ser dado através da equação (10) e equação (11), respectivamente.

S+ =	S <sub>1+</sub>	0,16629	S- =	S <sub>1-</sub>	0,57402
	S <sub>2+</sub>	0,04410		S <sub>2-</sub>	0,70565
	S <sub>3+</sub>	0,11092		S <sub>3-</sub>	0,63104
	S <sub>4+</sub>	0,06078		S <sub>4-</sub>	0,66794
	S <sub>5+</sub>	0,08524		S <sub>5-</sub>	0,64137
	S <sub>6+</sub>	0,11203		S <sub>6-</sub>	0,62040
	S <sub>7+</sub>	0,71515		S <sub>7-</sub>	0,04500
	S <sub>8+</sub>	0,05203		S <sub>8-</sub>	0,67219
	S <sub>9+</sub>	0,08362		S <sub>9-</sub>	0,64923
	S <sub>10+</sub>	0,14469		S <sub>10-</sub>	0,59051

O sétimo passo, onde é realizado o cálculo da proximidade relativa entre as alternativas e a solução ideal foi realizado utilizando-se a equação (12).

C+ =	C <sub>1+</sub>	0,22462
	C <sub>2+</sub>	0,05881
	C <sub>3+</sub>	0,14950
	C <sub>4+</sub>	0,08340
	C <sub>5+</sub>	0,11731
	C <sub>6+</sub>	0,15296
	C <sub>7+</sub>	0,94080
	C <sub>8+</sub>	0,07184
	C <sub>9+</sub>	0,11410
	C <sub>10+</sub>	0,19681

A partir dos dados de proximidade relativa entre a solução ideal e as alternativas é possível obter o ordenamento de preferência das alternativas conforme apresentado na Tabela 25.

Tabela 25 – Resultado do Cenário 2 – *Ranking* das alternativas.

<b>Alternativa</b>	<b>Modelo</b>	<b>Ranking</b>
A <sub>1</sub>	I	9
A <sub>2</sub>	II	1
A <sub>3</sub>	III	6
A <sub>4</sub>	IV	3
A <sub>5</sub>	V	5
A <sub>6</sub>	VI	7
A <sub>7</sub>	VII	10
A <sub>8</sub>	VIII	2
A <sub>9</sub>	IX	4
A <sub>10</sub>	X	8

#### **4.3.3 CENÁRIO 3 – QUALIDADE DE ILUMINAÇÃO**

Os dados utilizados na terceira comparação foram escolhidos de acordo com os testes obrigatórios segundo a portaria nº 389 (INMETRO, 2014) que impactam na qualidade da luz emitida que é passível de comparação entre as lâmpadas. Para tanto, foram estudadas as seguintes medições: Fluxo Luminoso em lumens, Índice de Reprodução de Cor (Ra) e Índice R9.

O primeiro passo, ‘Definição das alternativas (A) e critérios (X) a serem avaliados’ está apresentado na Tabela 26. Nela estão os dados de dez lâmpadas a serem comparadas tendo em vista que o objetivo do ranqueamento é obter as melhores lâmpadas em termos de qualidade de luz produzida.

Tabela 26 – Dados das lâmpadas para comparação do Cenário 3.

Modelo	Fluxo Luminoso (lm)	Ra	R9
I	1744,09	83,52	8,90
II	1929,24	83,26	6,80
III	1759,20	<b>86,29</b>	<b>23,80</b>
IV	1926,30	83,00	7,70
V	2072,98	82,84	13,90
VI	1850,30	85,29	8,30
VII	<b>2083,56</b>	83,16	8,30
VIII	1920,39	85,10	15,60
IX	1863,64	83,32	4,00
X	2011,51	82,26	5,00

A partir dos dados da Tabela 26, foi possível montar o segundo passo do método, a ‘Matriz de Decisão **D**’.

		<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>3</sub></b>
<b>D =</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	1744,09	83,52	8,90
	<b>A<sub>2</sub></b>	1929,24	83,26	6,80
	<b>A<sub>3</sub></b>	1759,20	86,29	23,80
	<b>A<sub>4</sub></b>	1926,30	83,00	7,70
	<b>A<sub>5</sub></b>	2072,98	82,84	13,90
	<b>A<sub>6</sub></b>	1850,30	85,29	8,30
	<b>A<sub>7</sub></b>	2083,56	83,16	8,30
	<b>A<sub>8</sub></b>	1920,39	85,10	15,60
	<b>A<sub>9</sub></b>	1863,64	83,32	4,00
	<b>A<sub>10</sub></b>	2011,51	82,26	5,00

Tal como no segundo cenário, faz-se necessária a ‘Normalização da matriz de decisão’ a fim tornar os dados da matriz comparáveis entre si. A equação (5) foi utilizada para realizar o cálculo e alcançar a matriz normalizada **Dn**.

		<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>3</sub></b>
<b>Dn =</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	0,28735	0,31512	0,24076
	<b>A<sub>2</sub></b>	0,31786	0,31414	0,18395
	<b>A<sub>3</sub></b>	0,28984	0,32557	0,64382
	<b>A<sub>4</sub></b>	0,31738	0,31316	0,20830
	<b>A<sub>5</sub></b>	0,34154	0,31256	0,37602
	<b>A<sub>6</sub></b>	0,30485	0,32180	0,22453
	<b>A<sub>7</sub></b>	0,34329	0,31376	0,22453
	<b>A<sub>8</sub></b>	0,31640	0,32108	0,42200
	<b>A<sub>9</sub></b>	0,30705	0,31437	0,10821
	<b>A<sub>10</sub></b>	0,33141	0,31037	0,13526

Não foi realizada atribuição de pesos à matriz de decisão normalizada, assim não foi necessário realizar o passo 4.

No Passo 5 foram determinadas as soluções ideal **A+** e ideal-negativa **A-**. Para tanto, os maiores valores encontrados para os critérios fluxo luminoso (**X<sub>1</sub>**), Ra (**X<sub>2</sub>**) e R9 (**X<sub>3</sub>**) formaram a solução ideal positiva e os menores valores formaram a matriz de soluções ideais negativas. Diferentemente do segundo Cenário, todos os critérios avaliados favorecem as alternativas, pois quanto maior os valores medidos em cada um deles melhor posicionada estará a alternativa em comparação às demais. As matrizes **A+** e **A-** foram obtidas a partir da varredura da matriz **Dn**.

		<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>3</sub></b>			<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>3</sub></b>
<b>A+ =</b>		0,34329	0,32557	0,64382	<b>A- =</b>		0,28735	0,31037	0,10821

Os cálculos das distâncias euclidianas foram realizados utilizando as equação(10) e equação(11) para S+ e S-, respectivamente.

S+ =	S <sub>1+</sub>	0,40706	S- =	S <sub>1-</sub>	0,13264
	S <sub>2+</sub>	0,46072		S <sub>2-</sub>	0,08174
	S <sub>3+</sub>	0,05344		S <sub>3-</sub>	0,53584
	S <sub>4+</sub>	0,43647		S <sub>4-</sub>	0,10453
	S <sub>5+</sub>	0,26813		S <sub>5-</sub>	0,27325
	S <sub>6+</sub>	0,42107		S <sub>6-</sub>	0,11818
	S <sub>7+</sub>	0,41946		S <sub>7-</sub>	0,12911
	S <sub>8+</sub>	0,22349		S <sub>8-</sub>	0,31532
	S <sub>9+</sub>	0,53696		S <sub>9-</sub>	0,02010
	S <sub>10+</sub>	0,50893		S <sub>10-</sub>	0,05170

No sétimo passo foi realizado o cálculo da proximidade relativa entre as alternativas e a solução ideal dado pela equação (12).

C+ =	C <sub>1+</sub>	0,75424
	C <sub>2+</sub>	0,84931
	C <sub>3+</sub>	0,09069
	C <sub>4+</sub>	0,80678
	C <sub>5+</sub>	0,49528
	C <sub>6+</sub>	0,78084
	C <sub>7+</sub>	0,76464
	C <sub>8+</sub>	0,41478
	C <sub>9+</sub>	0,96392
	C <sub>10+</sub>	0,90778

O ordenamento de preferência das alternativas obtido a partir da proximidade relativa está apresentado na Tabela 27.

Tabela 27 – Resultado do Cenário 3 – *Ranking* das alternativas.

<b>Alternativa</b>	<b>Modelo</b>	<b>Ranking</b>
A <sub>1</sub>	I	4
A <sub>2</sub>	II	8
A <sub>3</sub>	III	1
A <sub>4</sub>	IV	7
A <sub>5</sub>	V	3
A <sub>6</sub>	VI	6
A <sub>7</sub>	VII	5
A <sub>8</sub>	VIII	2
A <sub>9</sub>	IX	10
A <sub>10</sub>	X	9

#### **4.3.4 CENÁRIO 4 – AVALIAÇÃO GERAL**

No último cenário foi realizada uma avaliação geral das lâmpadas ensaiadas, onde todos os índices medidos foram levados em consideração para o ranqueamento das lâmpadas.

O primeiro passo, ‘Definição das alternativas (A) e critérios (X) a serem avaliados’ está apresentado na Tabela 28.

Tabela 28 – Dados das lâmpadas para comparação do Cenário 4.

Modelo	Potência (W)	Corrente (mA)	Fluxo (lm)	Ra	R9	FP	THD (%)
I	18,45	91,43	1744,09	83,52	8,90	0,92	24,72
II	18,54	89,78	1929,24	83,26	6,80	0,94	<b>11,76</b>
III	17,64	83,69	1759,20	<b>86,29</b>	<b>23,80</b>	<b>0,95</b>	20,38
IV	18,45	89,73	1926,30	83,00	7,70	0,93	15,46
V	19,33	94,77	2072,98	82,84	13,90	0,92	17,42
VI	18,59	90,87	1850,30	85,29	8,30	0,93	20,05
VII	19,06	187,94	<b>2083,56</b>	83,16	8,30	0,46	64,75
VIII	17,70	<b>85,68</b>	1920,39	85,10	15,60	0,94	15,77
IX	18,67	93,16	1863,64	83,32	4,00	0,92	16,70
X	<b>17,42</b>	86,99	2011,51	82,26	5,00	0,92	24,15

O Passo 2 montagem da ‘Matriz de Decisão D’ está apresentado abaixo.

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>
<b>A<sub>1</sub></b>	18,45	91,43	1744,09	83,52	8,90	0,92	24,72
<b>A<sub>2</sub></b>	18,54	89,78	1929,24	83,26	6,80	0,94	11,76
<b>A<sub>3</sub></b>	17,64	83,69	1759,20	86,29	23,80	0,95	20,38
<b>A<sub>4</sub></b>	18,45	89,73	1926,30	83,00	7,70	0,93	15,46
<b>D = A<sub>5</sub></b>	19,33	94,77	2072,98	82,84	13,90	0,92	17,42
<b>A<sub>6</sub></b>	18,59	90,87	1850,30	85,29	8,30	0,93	20,05
<b>A<sub>7</sub></b>	19,06	187,94	2083,56	83,16	8,30	0,46	64,75
<b>A<sub>8</sub></b>	17,70	85,68	1920,39	85,10	15,60	0,94	15,77
<b>A<sub>9</sub></b>	18,67	93,16	1863,64	83,32	4,00	0,92	16,70
<b>A<sub>10</sub></b>	17,42	86,99	2011,51	82,26	5,00	0,92	24,15

O Passo 3 ‘Normalização da matriz de decisão’ foi realizado a partir da equação (5).

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$
$A_1$	0,31712	0,27870	0,28735	0,31512	0,24076	0,32539	0,28706
$A_2$	0,31878	0,27367	0,31786	0,31414	0,18395	0,33187	0,13664
$A_3$	0,30326	0,25511	0,28984	0,32557	0,64382	0,33744	0,23673
$A_4$	0,31720	0,27352	0,31738	0,31316	0,20830	0,32902	0,17961
$A_5$	0,33233	0,28888	0,34154	0,31256	0,37602	0,32700	0,20234
$A_6$	0,31959	0,27699	0,30485	0,32180	0,22453	0,32793	0,23282
$A_7$	0,32766	0,57288	0,34329	0,31376	0,22453	0,16269	0,75209
$A_8$	0,30429	0,26117	0,31640	0,32108	0,42200	0,33124	0,18315
$A_9$	0,32093	0,28397	0,30705	0,31437	0,10821	0,32443	0,19398
$A_{10}$	0,29949	0,26517	0,33141	0,31037	0,13526	0,32551	0,28048

As soluções ideal  $A^+$  e ideal-negativa  $A^-$  foram encontradas tendo em vista que os maiores valores para os critérios Fluxo Luminoso ( $X_3$ ), Ra ( $X_4$ ), R9 ( $X_5$ ) e Fator de Potência( $X_6$ )formaram a solução ideal e os menores valores formaram a matriz de soluções ideais negativas. Bem como os menores valores de Potência ( $X_1$ ), Corrente ( $X_2$ ) e THD ( $X_8$ ) integraram  $A^+$  e os maiores valores para esses critérios  $A^-$ .

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$
$A^+ =$	0,29949	0,25511	0,34329	0,32557	0,64382	0,33744	0,13664
$A^- =$	0,33233	0,57288	0,28735	0,31037	0,10821	0,16269	0,75209

No Passo 6, os cálculos das distâncias euclidianas foram realizados utilizando a equação (10) e equação (11) para  $S^+$  e  $S^-$ , respectivamente.

	<b>S<sub>1+</sub></b>	0,43513		<b>S<sub>1-</sub></b>	0,58915
	<b>S<sub>2+</sub></b>	0,46153		<b>S<sub>2-</sub></b>	0,70979
	<b>S<sub>3+</sub></b>	0,11353		<b>S<sub>3-</sub></b>	0,82770
	<b>S<sub>4+</sub></b>	0,43941		<b>S<sub>4-</sub></b>	0,67541
<b>S+ =</b>	<b>S<sub>5+</sub></b>	0,28025	<b>S- =</b>	<b>S<sub>5-</sub></b>	0,69609
	<b>S<sub>6+</sub></b>	0,43304		<b>S<sub>6-</sub></b>	0,63137
	<b>S<sub>7+</sub></b>	0,82888		<b>S<sub>7-</sub></b>	0,12920
	<b>S<sub>8+</sub></b>	0,22849		<b>S<sub>8-</sub></b>	0,74127
	<b>S<sub>9+</sub></b>	0,54136		<b>S<sub>9-</sub></b>	0,64935
	<b>S<sub>10+</sub></b>	0,52910		<b>S<sub>10-</sub></b>	0,58938

No sétimo passo foi realizado o cálculo da proximidade relativa entre as alternativas e a solução ideal dado pela equação(12).

	<b>C<sub>1+</sub></b>	0,42482
	<b>C<sub>2+</sub></b>	0,39403
	<b>C<sub>3+</sub></b>	0,12062
	<b>C<sub>4+</sub></b>	0,39415
<b>C+ =</b>	<b>C<sub>5+</sub></b>	0,28704
	<b>C<sub>6+</sub></b>	0,40684
	<b>C<sub>7+</sub></b>	0,86515
	<b>C<sub>8+</sub></b>	0,23562
	<b>C<sub>9+</sub></b>	0,45466
	<b>C<sub>10+</sub></b>	0,47306

O ordenamento de preferência das alternativas obtido a partir da proximidade relativa está apresentado na Tabela.

Tabela 29 – Resultado do Cenário 4 – *Ranking* das alternativas.

<b>Alternativa</b>	<b>Modelo</b>	<b>Ranking</b>
A <sub>1</sub>	I	4
A <sub>2</sub>	II	8
A <sub>3</sub>	III	1
A <sub>4</sub>	IV	7
A <sub>5</sub>	V	3
A <sub>6</sub>	VI	6
A <sub>7</sub>	VII	5
A <sub>8</sub>	VIII	2
A <sub>9</sub>	IX	10
A <sub>10</sub>	X	9

#### 4.3.5 DISCUSSÕES

A primeira parte do capítulo apresentou os dados medidos nas 100 lâmpadas tubulares LED mostrando os resultados encontrados quando as lâmpadas sob teste são comparadas aos parâmetros mínimos requisitados na Portaria 389/2014(INMETRO, 2014) e, num segundo momento, os resultados quando são comparadas aos critérios de concessão do Selo Procel(PROCEL, 2016).

Na primeira avaliação,utilizaram-se os requisitos mínimos e máximos das seguintes medidas: potência (W), fator de potência, fluxo luminoso (lm), eficiência (lm/W), Ra, R9 e distorção da forma de onda de corrente (%) representada pelas harmônicas de 2ª ordem e das ordens ímpares de 3ª a 39ª.

A Tabela 14 e a Tabela 15 apresentam os resultados das medições de Potência, FP, Fluxo Luminoso, Eficiência, Ra e R9, nas tensões 127V e 220V. Da Tabela 16 a Tabela 19 são apresentados os resultados dos ensaios das distorções harmônicas totais e das ordens ímpares

de 3ª a 39ª e 2ª ordem. Em todas as tabelas foram destacados índices onde ocorreram aprovações (verde) e reprovações (vermelho).

A partir dos resultados foi possível destacar as seguintes verificações:

- 50% das lâmpadas foram reprovadas no requisito Fator de Potência. No entanto apenas um modelo (VII) apresentou discrepância do valor de referência;
- 30% das lâmpadas foram reprovadas no requisito Fluxo Luminoso;
- Nenhum modelo de lâmpada foi reprovado no requisito eficiência mínima, reprodução de cor e índice R9;
- 40% das lâmpadas foram reprovadas nas medições de correntes harmônicas;
- Ao final de todas as medições apenas 20% dos modelos de lâmpada medidas foram aprovadas (Modelos II e IV);

A segunda avaliação foi realizada observando os requisitos de potência, eficiência e fator de potência. Os resultados avaliados estão apresentados na Tabela 20 até a Tabela 22. As medições apresentadas destacaram com cor vermelha os índices que foram reprovados e com cor verde os índices aprovados.

As seguintes características das medições foram observadas:

- Apenas um modelo (VII) foi reprovado no requisito Fator de Potência, obtendo variação de 50% entre o seu menor valor medido e o valor de referência;
- Todos os modelos de lâmpadas foram aprovados nos requisitos eficiência mínima e fator de potência;
- Ao final das medições apenas 10% das lâmpadas ensaiadas foram reprovadas.

A partir desses resultados, é possível verificar três características com relação às certificações compulsória e voluntária:

- A certificação compulsória reprovou 80% das lâmpadas medidas, em contrapartida, a certificação voluntária apenas 10%;
- O critério de reprovação do Selo Procel não foi o critério de eficiência;
- Todas as lâmpadas aprovadas na certificação compulsória foram aprovadas também na voluntária;
- 40% das lâmpadas foram reprovadas no requisito fator de potência da portaria 389/2014 (INMETRO, 2014), mas não foram reprovadas no critério do Procel;

Outro aspecto a ser analisado é a questão das lâmpadas requererem avaliação do Procel apenas depois de obter a ENCE. Assim, tendo em vista que as lâmpadas que podem receber o

selo do Procel são aquelas que já passaram por uma avaliação anterior e receberam a certificação compulsória do Inmetro, podem-se destacar os seguintes resultados.

- A única lâmpada reprovada segundo os critérios do Procel foi anteriormente reprovada no requisito da ENCE, portanto não poderia requerer o Selo;
- A lâmpada reprovada pelo critério do Procel possuiu aprovação no critério eficiência mínima;
- Todas as lâmpadas que foram aprovadas pelos critérios da ENCE foram também aprovadas pelos critérios de concessão do Selo Procel.

A partir dos resultados obtidos e das análises realizadas, faz-se necessário investigar duas possíveis questões. A primeira é a possibilidade dos critérios adotados pelo Inmetro para concessão da ENCE serem demasiadamente rígidos em alguma das avaliações realizadas, tornando essa avaliação a retentora dos selos ENCE. Tal fato deve ser estudado, pois quando se observa a distribuição das reprovações a partir dos critérios vê-se uma diferença grande entre a reprovação no critério fator de potência e os outros critérios avaliados. A Tabela 30 apresenta os resultados encontrados, onde o critério que reprovou mais amostras, fator de potência, corrente obteve uma retenção de 50% das amostras ensaiadas.

Além disso, a maioria das amostras ensaiadas (40%) poderia obter aprovação no selo Procel, no entanto por não possuírem a etiqueta compulsória não estariam habilitadas a requisitar o selo Procel. A diferença entre as duas normas se dá de maneira inversa ao esperado onde o selo que seria diferencial de eficiência possui requisitos menores ( $FP \geq 0,92$ ) do que os valores mínimos requisitados para que as lâmpadas circulem em mercado nacional ( $FP > 0,92$ ).

Outra questão a ser analisada são os critérios utilizados na concessão do selo Procel. Como o selo tem como objetivo destacar os produtos com maior eficiência no mercado, ele contempla apenas 25% dos produtos disponíveis no mercado valorizando os que possuem eficiência mais elevada. No entanto, no cenário estudado, percebeu-se que os critérios para obtenção do Selo Procel não destacou as lâmpadas que o receberam, pois todas as lâmpadas que obtiveram a ENCE obtiveram também o selo do Procel.

Tendo em vista os resultados encontrados nas duas comparações realizadas, o trabalho busca discutir as regulamentações vigentes, sugerindo, por meio do estudo de caso, possíveis modificações nesses documentos. Assim, a terceira fase do trabalho é composta por um estudo onde diferentes critérios de análise são utilizados para ordenamento das lâmpadas segundo a qualidade das mesmas. Nesse sentido, foram propostos três cenários de análise.

Tabela 30 - Reprovação de modelos de lâmpadas por critério.

<b>Critério Avaliado</b>	<b>Modelos Reprovados</b>	<b>Percentual de Reprovação</b>
Potência	-	0%
Fator de Potência	I, V, VII, IX, X	50%
Fluxo Luminoso	I, III, VIII	30%
Eficiência	-	0%
Ra	-	0%
R9	-	0%
Distorções na Corrente	III, V, VI, VII	40%

No primeiro cenário, o ranqueamento foi feito utilizando apenas o critério eficiência para classificação das lâmpadas. O segundo cenário levou em consideração os testes obrigatórios segundo a portaria nº 389/2014 do Inmetro (INMETRO, 2014) que impactam na qualidade de energia que é passível de comparação entre as lâmpadas. Portanto, os dados utilizados para o ranqueamento do segundo cenário foram potência, corrente, eficiência, fator de potência e THD. No terceiro cenário as lâmpadas foram ranqueadas segundo a qualidade da luz emitida. Assim, foram estudadas as seguintes medições: fluxo luminoso, índice de reprodução de cor (Ra) e índice R9. A Tabela 31 apresenta um resumo dos resultados encontrados nos cenários. A partir dos ranqueamentos é possível observar algumas características:

- As lâmpadas apresentam perfis de qualidade distintos;
- Apenas a lâmpada VIII obteve mesma posição em mais de um *ranking* (cenário 2 e 3);
- Em geral, as lâmpadas que apresentaram melhores características de cor apresentaram as piores características de qualidade de energia, com exceção da lâmpada modelo VIII;

Os rankings presentes na Tabela 31 mostram que as lâmpadas, em geral, possuem características destacantes diferentes. Assim, dependendo do público consumidor uma lâmpada pode ser mais ou menos adequada para um determinado projeto que outra. Cita-se como exemplo consumidores que possam escolher lâmpadas com melhores índices de qualidade de luz a fim de proporcionar maior fidelidade na reprodução de cores dos objetos ou produtos expostos, mesmo quando esses consumidores desconhecem os índices que

representam tais medidas. Em contrapartida, há consumidores que priorizam a eficiência, e ainda outros que por possuírem penalização na tarifa de energia priorizam melhores índices de qualidade de energia.

Nesse sentido, o trabalho aponta uma melhoria a ser realizada na revisão de 2020 da regulamentação para concessão do selo Procel. A Figura 17 apresenta como proposta o modelo de um novo selo de lâmpadas LED onde são valorizadas as diferentes características das lâmpadas LEDs do mercado brasileiro.

Tabela 31 - Reprovação de modelos de lâmpadas por critério.

Modelo	Ranqueamento		
	Cenário 1 – Eficiência	Cenário 2 – Qualidade de Energia	Cenário 3 – Qualidade de Luz
I	10	9	4
II	6	1	8
III	8	6	1
IV	5	3	7
V	4	5	3
VI	9	7	6
VII	2	10	5
VIII	3	2	2
IX	7	4	10
X	1	8	9

No novo selo é possível identificar visualmente o desempenho global obtido pela lâmpada quando comparada às outras de mesma categoria (faixa de desempenho no centro do desenho). Acredita-se que a graduação de cores ajudará a identificação do selo por parte dos consumidores que já reconhecem o formato, tendo em vista o uso difundido em outros produtos.

Além disso, as diferentes características dos produtos disponíveis no mercado são valorizadas através da categorização da lâmpada nos três grupos de análise: eficiência, iluminação e energia, permitindo que diferentes públicos possam adquirir produtos adequados dependendo da destinação final.

Outro aspecto a ser destacado para a revisão do regulamento de concessão do selo Procel é a correção do limite mínimo permitido no critério fator de potência. Nesse sentido, faz-se necessário o ajuste em uma das normas de forma que os requisitos do Procel (PROCEL, 2016) sejam no mínimo iguais aos requisitos da portaria 389/2014 (INMETRO, 2014), podendo esta última ser o regulamento modificado.

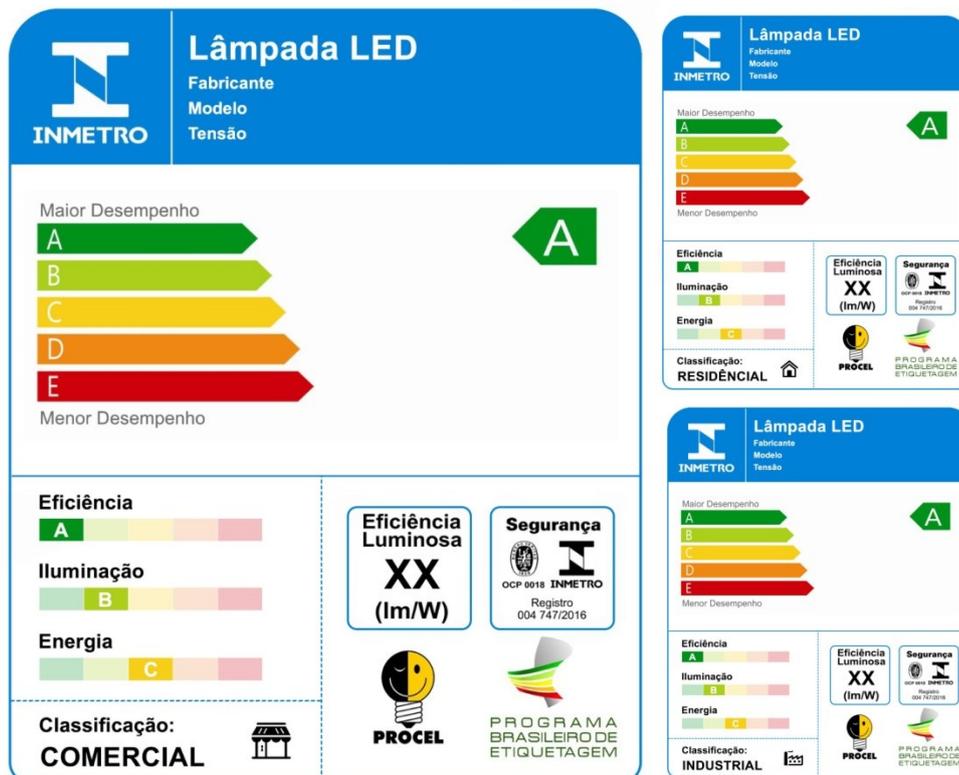


Figura 17 - Proposta da nova etiqueta do Procel.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do trabalho foi realizar de maneira objetiva uma análise da certificação de lâmpadas realizada no país identificando os pontos a serem melhorados. Para tanto, foram realizados ensaios em 100 lâmpadas tubulares LED de 18W para verificar a atuação da certificação compulsória e voluntária na concessão dos selos.

A partir dos dados levantados e análise realizada, foi possível observar que a certificação compulsória é eficaz ao atingir o objetivo de filtrar as lâmpadas que não atendem os requisitos mínimos para circulação no mercado brasileiro.

No entanto, a análise também identificou que a certificação voluntária não distinguiu as variações de qualidade existentes nas lâmpadas estudadas. Isso porque todas as lâmpadas que obtiveram os requisitos mínimos da ENCE ultrapassaram os valores mínimos requisitados para a certificação voluntária. O que apontou uma possível desatualização dessa normativa.

A fim de investigar possíveis melhorias nas normas vigentes o trabalho propôs uma investigação a respeito das características fotométricas, de qualidade de energia e eficiência energética buscando verificar se todas as lâmpadas que possuem destacadas características em uma medição, por exemplo, qualidade de iluminação, possuiria também destaque em outra.

Para esse estudo, três cenários de ranqueamento de lâmpadas foram propostos. O primeiro levava em consideração apenas a eficiência das lâmpadas, o segundo observava as características de qualidade de energia, o terceiro, qualidade de luz gerada.

A investigação apontou para a necessidade de valorização dos diferentes padrões de lâmpadas fabricados, uma vez que diferentes fabricantes possuem produtos com características distintas, não necessariamente melhores ou piores do que outras. Tal medida foi apresentada por meio da sugestão de um novo selo onde essas características são valorizadas, o que permitiria consumidores leigos realizar uma correta escolha do produto, sem a necessidade de conhecimento específico sobre os critérios utilizados em cada avaliação.

Atualmente o Procel busca promover a revisão dos critérios técnicos exigidos para a concessão do selo a cada 4 anos, contemplando apenas 25% dos produtos disponíveis no mercado. Assim, independente da solução adotada pelos órgãos responsáveis na nova atualização prevista para 2020, é necessário uma atualização frequente dos requisitos uma vez que esses equipamentos possuem rápida evolução tecnológica necessitando revisões periódicas nos valores dos critérios adotados.

Vale ressaltar que as mudanças propostas buscam contribuir para o aumento da eficiência dos equipamentos e para o desenvolvimento de hábitos e conhecimentos sobre o consumo

eficiente da energia. Além de valorizar as diferentes características das lâmpadas permitindo ao consumidor realizar a escolha mais adequada sem necessidade de conhecimento aprofundado sobre os critérios de medição das lâmpadas.

Outro aspecto importante a ser destacado é a necessidade de mais trabalhos onde os diferentes modelos de lâmpadas são estudados a fim de verificar a validade da troca dos selos para todos os modelos de lâmpadas LEDs disponíveis no mercado brasileiro.

Além disso, os métodos de análise multicritério podem ser também utilizados para a classificação das lâmpadas e também como ferramenta de auxílio nos processos de certificação de outros produtos criando uma ferramenta completa de análise de dados.

Uma vez que a criação de um novo mecanismo de rotulagem de produtos pode auxiliar compradores a buscarem os melhores produtos disponíveis no mercado, tal medida pode impactar diversos setores da sociedade. Além disso, a atualização dos mecanismos de certificação ajudará a impulsionar os fabricantes a melhorarem os produtos oferecidos no mercado brasileiro.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista que as amostras e os dados utilizados foram provenientes do laboratório de luminotécnica da UFF (LABLUX) e que por isso houve a necessidade de adequação do trabalho segundo as restrições quanto ao número de amostras e modelos disponíveis no laboratório, propõe-se que trabalhos futuros possam buscar um banco de dados dos órgãos do governo (Eletrobrás- Procel e Inmetro) a fim de estudar os limites impostos para classificação das lâmpadas segundo os critérios utilizados no presente trabalho. De posse dos dados do governo espera-se que a proposta para o novo selo possa ser ajustada atendendo às necessidades identificadas no trabalho.

Vislumbra-se também como trabalho futuro a aplicação de outras metodologias para ranqueamento de equipamentos que possuam algum método de certificação e qualificação por portarias ou regulamentos e/ou a inserção de outros parâmetros não avaliados pelas regulamentações existentes na análise de produtos de iluminação, como por exemplo, a interferência eletromagnética.

Além das sugestões de conteúdo, é possível relizar alguns estudos para comparação do uso de outros métodos de análise multicritério nesse mesmo caso. Sugere-se, por exemplo, o uso do método MCDA VIKOR. Além disso, futuras pesquisas podem também aplicar aos métodos variação de pesos (método de borda e entropia), variação das distâncias (Euclidiana e de Manhattan) e outras equações de normalização dos dados, a fim de realizar a análise de sensibilidade dos resultados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKBAŞA, H.; BILGEN, B. An integrated fuzzy QFD and TOPSIS methodology for choosing the ideal gas fuel at WWTPs. **Energy**, 125, 2017. 484-497.
- ALMEIDA, A. T. D. **Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. São Paulo: Atlas S.A., 2013.
- AMIRI, M. P. Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods. **Expert Systems with Applications**, 37, 2010. 6218-6224.
- ARESE, M. C. et al. Aplicação do método TOPSIS na avaliação dos critérios utilizados na seleção de docentes em uma instituição de ensino superior. **Conhecimento & Diversidade**, 9, n. 19, 2017. 47-58.
- BEHZADIAN, M. et al. A state-of the-art survey of TOPSIS applications. **Expert Systems with Applications**, 39, n. 17, 2012. 13051–13069. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>.
- BRAGA, N. Como funcionam os LEDs. **Instituto Newton C. Braga**, 2016. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/733-como-funcionam-os-leds-art096>>. Acesso em: 10 Fevereiro 2016.
- CHOUDHARY, D.; SHANKAR, R. An STEEP-fuzzy AHP-TOPSIS framework for evaluation and selection of thermal power plant location: A case study from India. **Energy**, 42, 2012. 510-521.
- COMISSÃO EUROPEIA. **Directiva 2010/30/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010**. [S.l.]. 2010.
- COMISSÃO EUROPEIA. **Regulamento (UE) 2017/1369 do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de julho de 2017**. [S.l.]. 2017.
- CONSELHO DA UNIÃO EUROPÉIA. Etiquetagem energética mais clara: maior eficiência energética. **Site do Conselho Europeu**, 26 Junho 2017. Disponível em: <<http://www.consilium.europa.eu/pt/press/press-releases/2017/06/26/clearer-energy-labelling/>>. Acesso em: 09 Junho 2018.
- DAGDEVIREN, M.; YAVUZ, S.; KILINC, N. Weapon selection using the AHP. **Expert Systems with Applications and TOPSIS methods under fuzzy environment**, 36, 2009. 8143-8151.
- DECUILIANGA; XU, Z. The new extension of TOPSIS method for multiple criteria decision making with hesitant Pythagorean fuzzy sets. **Applied Soft Computing**, 60, 2017. 167-179.

DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT OF LONDON. **Multi-criteria analysis: a manual**. London. 2009.

EUROPEAN COMMISSION. Guidelines accompanying: Regulation (EU) n° 874/2012 and Regulations (EC/EU) n° 244/2009, 245/2009 and 1194/2012. **Ste da União Europeia**, Julho 2015. Disponível em:

<<https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Implementation%20Guide%20Lighting.pdf>>. Acesso em: 19 outubro 2018.

EUROPEAN COMMISSION. **Communication to the Commission from president Juncker and first vice-president Timmermans**. Brussels. 2017.

FERREIRA, A. G.; NUNES, L. H.; ESTRELLA, J. C. Avaliação de desempenho do algoritmo TOPSIS aplicado no Contexto de Internet das Coisas. **Biblioteca Digital Brasileira de Computação**, 2018. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/erad-sp/2016/011.pdf>>. Acesso em: 25 Agosto 2018.

FERREIRA, A. R. **Iluminação do estado sólido, economia potencial de energia elétrica para o país**. Santo André. 2014.

FONSECA, R. S. **Iluminação Eletrica**. São Paulo: McGraw-Hill, 1976.

GOEKING, W. Lâmpadas e LEDs. **Revista Eletrônica: O Setor Elétrico**, Novembro 2009. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/component/content/article/58-artigos-e-materias-relacionadas/176-lampadas-e-leds.html>>. Acesso em: 12 Fevereiro 2016.

GOYAL, T.; KAUSHAL, S. An intelligent scheduling scheme for real-time traffic management using Cooperative Game Theory and AHP-TOPSIS methods for next generation telecommunication networks. **Expert Systems with Applications**, 86, 2017. 125-134.

HWANG, C. L.; YOON, K. Multiple attributes decision-making: methods and applications. **Springer**, 186, n. 1, 1981. doi: 10.1007/978-3-642-48318-9.

INMETRO. Cartilha Lâmpada LED. **Site do Inmetro**, 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/cartilhas/lampada-led/lampadaled.pdf>>. Acesso em: 18 Maio 2018.

INMETRO. Histórico do Inmetro. **Site do Inmetro**, 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/inmetro/historico.asp>>. Acesso em: 22 Agosto 2018.

INMETRO. **Portaria n.º 389, de 25 de agosto de 2014**. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. [S.l.]. 2014.

INMETRO. **Portaria n° 143, de 13 de março de 2015**. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. [S.l.]. 2015.

- INMETRO. **Portaria nº 144, de 13 de março de 2015**. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. [S.l.]. 2015.
- INMETRO. Avaliação da Conformidade. **Site do Inmetro**, 2018. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/acpq.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2018.
- INMETRO. O que é o Inmetro. **Site do Inmetro**, Maio 2018. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/inmetro/oque.asp>>. Acesso em: 17 Maio 2018.
- ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. **Multi-Criteria Decision Analysis - Methods and Software**. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2013. ISBN ISSN: 978-1-119-97407-9. DOI:10.1002/9781118644898.
- JAYANT, A.; SHARMA, J. A COMPREHENSIVE LITERATURE REVIEW OF MCDM TECHNIQUES ELECTRE, PROMETHEE. **International Journal of Current Research**, 10, n. 2, Fevereiro 2018. 65461-65477.
- JOSHI, D.; KUMAR, S. Interval-valued intuitionistic hesitant fuzzy Choquet integral based TOPSIS method for multi-criteria group decision making. **European Journal of Operational Research**, 248, n. 1, 2016. 183-191. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.06.047>.
- KARAHALIOS, H. The application of the AHP-TOPSIS for evaluating ballast water treatment systems by ship operators, 52, 2017. 172-184.
- KAYA, T.; KAHRAMAN, C. Multi criteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology. **Expert Systems with Applications**, 38, n. 6, 2011. 6577-6585. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.11.081>.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decision Making with Multiple Objectives Preferences and Value Tradeoffs**. New York: John Wiley & Sons, 1976.
- KROHLING, R. A. K.; SOUZA, T. T. Dois Exemplos da Aplicação da Técnica TOPSIS para Tomada de Decisão. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, 2011.
- LEITE, A. **Eficiência e desperdício da energia no brasil**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2012. ISBN 978-85-3526-671-9.
- LIMA JUNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R. Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. **Gestão e Produção**, 22, n. 1, 2015. 17-34. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X1190>.
- LIMA JUNIOR, F. R.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. Métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores: um panorama do estado da arte. **Gestão & Produção**, 20, n. 4, 2013. 781-801. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000005>.

- MADJIDTAVANA; DI CAPRIO, D.; SANTOS-ARTEAGA, F. J. An extended stochastic VIKOR model with decision maker's attitude towards risk. **Information Sciences**, 432, 2017. 301-318.
- MARDANI, A. et al. Multiple criteria decision-making techniques and their applications – a review of the literature from 2000 to 2014. **Economic Research-Ekonomiska Istraživanja**, 28, n. 1, Setembro 2015. 516-571. <http://dx.doi.org/10.1080/1331677X.2015.1075139>.
- MARTINS, L. G. B.; GOMES, L. F. A. M. ANÁLISE DO PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO PARA A SELEÇÃO DE LOCALIZAÇÃO DE UM NOVO EMPREENDIMENTO INDUSTRIAL, EM AMBIENTE DE INCERTEZA: UMA AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO. **IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, 20-22 Junho 2013. 1-16.
- MIYASHIRO, M. M. **Avaliação da eficiência energética de lâmpadas LED**. Campinas. 2016.
- OHNO, Y. Spectral design considerations for white LED color rendering. **Optical Engineering**, v. 44, n. 11, p. 1-9, Novembro 2015. <https://doi-org.ez24.periodicos.capes.gov.br/10.1117/1.2130694>.
- ONDER, E.; DAG, S. COMBINING ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS AND TOPSIS APPROACHES FOR SUPPLIER SELECTION IN A CABLE COMPANY. **Journal of Business, Economics & Finance**, v. 2, n. 2, p. 56-74, 2013. ISSN ISSN: 2146-7943.
- OSRAM. **Curso de Iluminação: Conceitos e Projetos**. Osasco. 2016.
- PENG, Y. et al. An empirical study of classification algorithm evaluation for financial risk prediction. **Applied Soft Computing**, 11, n. 2, 2011. 2906-2915. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2010.11.028>.
- PEREIRA, A. M. E. et al. Power Quality Analysis of Domestic Lamps Available in the Brazilian Market. **WSEAS TRANSACTIONS on CIRCUITS and SYSTEMS**, v. 14, p. 389-399, 2015. ISSN E-ISSN: 2224-266X.
- PIMENTA, J. L. Aula Rápida: LED - Uma fonte de Luz Promissora. **Revista Eletrônica: Lume Arquitetura**, Dezembro 2006. Disponível em: <[http://www.lumearquitectura.com.br/pdf/ed23/ed\\_23\\_Aula.pdf](http://www.lumearquitectura.com.br/pdf/ed23/ed_23_Aula.pdf)>. Acesso em: 14 Fevereiro 2016.
- PROCEL. **Regulamento para concessão do selo Procel de economia de Energia**. [S.l.]. 2013.
- PROCEL. **Critérios para a concessão do Selo Procel de economia de energia a lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado à base**. [S.l.]. 2016.

- PROCEL. **Relatório de Avaliação de Resultados Procel 2017 - Ano base 2016**. [S.l.]. 2017.
- PROCEL. O Programa: Procel. **Site do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**, 2018. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team=%7B505FF883-A273-4C47-A14E-0055586F97FC%7D>>. Acesso em: 22 Junho 2018.
- RODRIGUES JR., M. M. et al. MÉTODOS TOPSIS E VIKOR NA VERIFICAÇÃO DA RESOURCE ADVANTAGE THEORY EM EMPRESAS TÊXTEIS BRASILEIRAS. **Anais do XVIII Simpósio de Pesquisa Operacional & Logística da Marinha [Blucher Marine Engineering Proceedings]**, 2, n. 1, 2016. 727-738. DOI: 10.5151/marine-spolm2015-140936.
- ROSELLI, L. R. P.; ALMEIDA, A. T. MODELO MULTICRITÉRIO DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES COM BASE NO MÉTODO TOPSIS COM NÚMEROS GREY. **Anais do XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2015.
- RYER, A. **The light measurement handbook**. Peabody: International Ligh Technologies, 1998. ISBN ISBN: 0-9658356-9-3.
- SABER ELETRÔNICA. LEDs: A iluminação do futuro. **Revista Eletrônica: Saber Eletrônica**, Agosto 2007. Disponível em: <<http://www.sabereletronica.com.br/artigos/1124-leds-a-iluminao-do-futuro>>. Acesso em: 12 Fevereiro 2016.
- SCHNEIDER. Apostila de Instalações Elétricas de Baixa Tensão. **Site da Schneider**, 2018. Disponível em: <<https://www.schneider-electric.com.br/documents/cadernos-tecnicos/harmon.pdf>>. Acesso em: 28 Maio 2018.
- SEKHARA, C.; PATWARDHAN, M.; VYAS, V. A Delphi-AHP-TOPSIS based framework for the prioritization of intellectual capital indicators: A SMEs perspective. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 189, 2015. 275 – 284.
- SHEN, F.; MA, X.; LI, Z. An extended intuitionistic fuzzy TOPSIS method based on a new distance measure with an application to credit risk evaluation. **Information Sciences**, 428, 2018. 105-119.
- SUN, C.-C. A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. **Expert Systems with Applications**, 37, 2010. 7745–7754.
- TAVANA, M.; HATAMI-MARBINI, A. A group AHP-TOPSIS framework for human spaceflight mission planning at NASA. **Expert Systems with Applications**, 38, 2011. 13588–13603.
- TAYLANA, O. et al. Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. **Applied Soft Computing**, 17, 2014. 105–116.

UNIÃO EUROPEIA. Prioridades: União da Energia e Clima. **Site da União Européia**, 2018. Disponível em: <[https://ec.europa.eu/commission/priorities/energy-union-and-climate\\_pt](https://ec.europa.eu/commission/priorities/energy-union-and-climate_pt)>. Acesso em: 23 Junho 2018.

UNIÃO EUROPEIA. Rótulos energéticos. **Site da União Européia**, 2018. Disponível em: <[https://europa.eu/youreurope/business/product/energy-labels/index\\_pt.htm](https://europa.eu/youreurope/business/product/energy-labels/index_pt.htm)>. Acesso em: 18 outubro 2018.

VINODH, S.; PRASANNA, M.; PRAKASH, N. H. Integrated Fuzzy AHP–TOPSIS for selecting the best plastic recycling method: A case study. **Applied Mathematical Modelling**, 38, 2014. 4662–4672.

WANG, Y. J.; AIHUA. Emergency alternative evaluation under group decision makers: A method of incorporating DS/AHP with extended TOPSIS. **Expert Systems with Applications**, 39, 2012. 1315–1323.

## ANEXO A – Lista de Lâmpadas LED que possuem selo Procel



Selo Procel

### Lâmpadas LED

Encontre o modelo do seu  
interesse clicando nos links  
abaixo:

#### LED BULBO

Fornecedores: 9

Produtos: 38

#### LED TUBULAR

Fornecedores: 15

Produtos: 99

Atualização

16/05/2018

**LÂMPADAS LED**

Bulbo

Fornecedores: 9

Produtos: 38

Atualização: 16/05/2018



FORNECEDOR	MARCA	MODELO	TENSÃO (V)	FLUXO LUMINOSO (lm)	POTÊNCIA (W)	EQUIV. LÂMP. INCANDESCENTE (W)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (lm/W)	IRC	TEMP. DE COR (K)	VIDA (h)	CÓDIGO DE BARRA
ALPER	ALPER	ALP-LP20-7W-B-25°-005LM-830	100 - 240	560	7	60	80	80	3000(BM)	25000	7898946171778
ALPER	ALPER	ALP-LB-08W-B-150-008LM-830	100 - 240	880	8	60	110	80	3000(BM)	25000	7898946171723
ALPER	ALPER	ALP-LB-08W-B-150-009LM-840	100 - 240	940	8	60	117	80	4000(BN)	25000	7898946171730
ALPER	ALPER	ALP-LB-08W-B-150-008LM-855	100 - 240	880	8	60	110	80	6500(BF)	25000	7898946171747
ALPER	ALPER	ALP-LP30-9.5W-B-25°-008LM-830	100 - 240	875	9,5	60	92	80	3000(BM)	25000	7898946171754
ALPER	ALPER	ALP-LSAR111-9.5W-B-30°-008LM-830	100 - 240	875	9,5	60	92	80	3000(BM)	25000	7898946171761
CELEINA	GOLDEN	ULTRA LED A60 PRO 8W 127-240V 4000K	100 - 240	850	8	60	106	80	4000(BN)	25000	7897714352968
CELEINA	GOLDEN	ULTRA LED PRO A60 8W 127-240V 6500K	100 - 240	850	8	60	106	80	6500(BF)	25000	7897714352975
CELEINA	GOLDEN	ULTRA LED PRO A60 8W 127-220V 4000K	100 - 240	850	8	60	106	80	4000(BN)	25000	7897714352845
CELEINA	GOLDEN	ULTRA LED PRO A60 8W 127-220V 6500K	100 - 240	850	8	60	106	80	6500(BF)	25000	7897714352852
CELEINA	GOLDEN	ULTRA LED A60 PRO 14W 100-220V 3000K	100 - 240	1507	14	100	107	80	3000(BM)	25000	7897714352906
CELEINA	GOLDEN	ULTRA LED A60 PRO 14W 100-220V 6500K	100 - 240	1507	14	100	107	80	6500(BF)	25000	7897714352913

Notas:

- Branca Fria (BF) : TC >= 5000 K (Tonalidade Azul)
- Branca Neutra (BN) : 3300 K <= TC < 5000 K (Tonalidade Branca)
- Branca Morna (BM) : TC < 3300K (Tonalidade Amarelo)

Página 2 de 13

**LÂMPADAS LED**

Bulbo

Fornecedores: 9

Produtos: 38

Atualização: 16/05/2018



FORNECEDOR	MARCA	MODELO	TENSÃO (V)	FLUXO LUMINOSO (lm)	POTÊNCIA (W)	EQUIV. LÂMP. INCANDESCENTE (W)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (lm/W)	IRC	TEMP. DE COR (K)	VIDA (h)	CÓDIGO DE BARRA
INTRAL	ALEDIS	BULBO LED A60 PLC Cód.03862	100 - 242	560	6	40	93	80	6500(BF)	25000	7891482038628
INTRAL	ALEDIS	BULBO-A60(A19) Cód.03470	100 - 242	600	7,5	40	80	80	3000(BM)	25000	7891482034705
INTRAL	ALEDIS	BULBO-A60(A19) Cód.03471	100 - 242	600	7,5	40	80	80	4000(BN)	25000	7891482034712
INTRAL	ALEDIS	BULBO-A60(A19) Cód.03472	100 - 242	600	7,5	40	80	80	5000(BF)	25000	7891482034729
INTRAL	ALEDIS	BULBO-A60 PCL Cód.03859	100 - 242	810	8	60	101	80	6500(BF)	25000	7891482038598
INTRAL	ALEDIS	BULBO-A60 Cód.03641	100 - 242	810	8,5	60	95	80	3000(BM)	25000	7891482036419
INTRAL	ALEDIS	BULBO LED A60 PCL Cód.03642	100 - 242	810	8,5	60	95	80	4000(BN)	25000	7891482036426
INTRAL	ALEDIS	BULBO LED A60 PCL Cód.03643	100 - 242	850	8,5	60	100	80	5000(BF)	25000	7891482036433
INTRAL	ALEDIS	BULBO-A60(A19) Cód.03475	100 - 242	810	9,5	60	85	80	3000(BM)	25000	7891482034750
INTRAL	ALEDIS	BULBO-A60(A19) Cód.03476	100 - 242	810	9,5	60	85	80	4000(BN)	25000	7891482034767
INTRAL	ALEDIS	BULBO-A60(A19) Cód.03477	100 - 242	810	9,5	60	85	80	5000(BF)	25000	7891482034774
Luter LED	LUTERLED	LÂMPADA PL 10W 3000K capa leitosa - AL+PC	100 - 240	950	10	80	95	82	3000(BM)	36000	700083352965
Luter LED	LUTERLED	LÂMPADA PL 10W 4000K capa leitosa - AL+PC	100 - 240	1000	10	80	100	82	4000(BN)	36000	700083352972
Luter LED	LUTERLED	LÂMPADA PL 10W 6500K capa leitosa - AL+PC	100 - 240	1000	10	80	100	82	6500(BF)	36000	700083455611

Notas:

- Branca Fria (BF) : TC >= 5000 K (Tonalidade Azul)
- Branca Neutra (BN) : 3300 K <= TC < 5000 K (Tonalidade Branca)
- Branca Morna (BM) : TC < 3300K (Tonalidade Amarelo)

Página 3 de 13



**LÂMPADAS LED**

Bulbo

Fornecedores: 9

Produtos: 38

Atualização: 16/05/2018



FORNECEDOR	MARCA	MODELO	TENSÃO (V)	FLUXO LUMINOSO (lm)	POTÊNCIA (W)	EQUIV. LÂMP. INCANDESCENTE (W)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (lm/W)	IRC	TEMP. DE COR (K)	VIDA (h)	CÓDIGO DE BARRA
MULTI MERCANTES	EMPALUX	AL30362	100 - 220	2820	30	180	94	80	6500(BF)	25000	7896619426088
MULTI MERCANTES	EMPALUX	AL40362	100 - 220	4120	40	250	103	80	6500(BF)	25000	7896619426439
OSRAM	OSRAM	CLASSIC A60/850 100-240V 8W E27 PROCEL	100 - 240	945	8	60	118	80	5000(BF)	25000	4058075813991
OSRAM	OSRAM	CLASSIC A60/860 100-240V 8W E27 PROCEL	100 - 240	806	8	60	101	80	6500(BF)	25000	4058075062580
PHILIPS	PHILIPS	LED Bulb 6-40W E27 4000K W A60 ND P	100 - 240	600	6	40	100	80	4000(BN)	25000	8718696777824
PHILIPS	PHILIPS	LED Bulb 6-40W E27 6500K W A60 ND P	100 - 240	600	6	40	100	80	6500(BF)	25000	8718696777848
PHILIPS	PHILIPS	LED Bulb 8-60W E27 4000K W A60 ND 1PF BR	100 - 240	806	8	60	100	80	4000(BN)	25000	871869695708
PHILIPS	PHILIPS	LED Bulb 8-60W E27 6500K W A60 ND 1PF BR	100 - 240	806	8	60	100	80	6500(BF)	25000	871869695722

Notas:

- Branca Fria (BF) : TC >= 5000 K (Tonalidade Azul)
- Branca Neutra (BN) : 3300 K <= TC < 5000 K (Tonalidade Branca)
- Branca Morna (BM) : TC < 3300K (Tonalidade Amarelo)

Página 4 de 13

**LÂMPADAS LED**

Bulbo

Fornecedores: 9

Produtos: 38

Atualização: 16/05/2018



FORNECEDOR	MARCA	MODELO	TENSÃO (V)	FLUXO LUMINOSO (lm)	POTÊNCIA (W)	EQUIV. LÂMP. INCANDESCENTE (W)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (lm/W)	IRC	TEMP. DE COR (K)	VIDA (h)	CÓDIGO DE BARRA
SOUTH AMERICAN LIGHTING	FLC	LAMPLED A65 9.5W BIV 6500K	100 - 240	1018	9,5	75	107	80	6500(BF)	30000	7899433607404
SOUTH AMERICAN LIGHTING	FLC	LAMPLED A65 12W BIV 3000K	100 - 240	1311	12	90	109	80	3000(BM)	30000	7899433607411
SOUTH AMERICAN LIGHTING	FLC	LAMPLED A65 12W BIV 6500K	100 - 240	1311	12	90	109	80	6500(BF)	30000	7899433607428
ULTRALUZ	ULTRALUZ	LED BULBO 7W 3000K 127-220V	127 - 220	650	7	40	93	80	3000(BM)	25000	7898568232697
ULTRALUZ	ULTRALUZ	LED BULBO 9W 3000K 127-220V	127 - 220	880	9	60	98	80	3000(BM)	25000	7898568232321
ULTRALUZ	ULTRALUZ	LED BULBO 7W 6500K 127-220V	127 - 220	560	7	35	80	80	6500(BF)	25000	7898568232529
ULTRALUZ	ULTRALUZ	LED BULBO 9W 6500K 127-220V	127 - 220	925	9	60	103	80	6500(BF)	25000	7898568232536

Notas:

- Branca Fria (BF) : TC >= 5000 K (Tonalidade Azul)
- Branca Neutra (BN) : 3300 K <= TC < 5000 K (Tonalidade Branca)
- Branca Morna (BM) : TC < 3300K (Tonalidade Amarelo)

Página 5 de 13



**LÂMPADAS LED**

Tubular

Fornecedores: 15

Produtos: 99

Atualização: 16/05/2018



FORNECEDOR	MARCA	MODELO	TENSÃO (V)	FLUXO LUMINOSO (lm)	POTÊNCIA (W)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (lm/W)	BASE	COMPRIMENTO (mm)	IRC	TEMP. DE COR (K)	VIDA (h)	CÓDIGO DE BARRA
ALPER	ALPER	ALP-LT8-08W-P-160-009LM-830	100 - 240	950	8	119	G13	600	80	3000(BM)	25000	7898932244073
ALPER	ALPER	ALP-LT8-08W-P-160-009LM-840	100 - 240	950	8	119	G13	600	80	4000(BN)	25000	7898932244103
ALPER	ALPER	ALP-LT8-08W-V-145-009LM-840	100 - 240	950	8	119	G13	600	80	4000(BN)	25000	7898946171792
ALPER	ALPER	ALP-LT8-08W-V-145-009LM-865	100 - 240	950	8	119	G13	600	80	6500(BF)	25000	7898946171808
ALPER	ALPER	ALP-LT8-08W-P-160-009LM-840	100 - 240	950	8	119	G13	600	80	6500(BF)	25000	7898932244134
ALPER	ALPER	ALP-LT8-09W-V-145-010LM-830	100 - 240	1000	9	111	G13	600	80	3000(BM)	25000	7898946171815
ALPER	ALPER	ALP-LT8-09W-V-145-009LM-840	100 - 240	900	9	100	G13	600	80	4000(BN)	25000	7898946171894
ALPER	ALPER	ALP-LT8-09W-P-145-009LM-840	100 - 240	900	9	100	G13	600	80	4000(BN)	25000	7898946171907
ALPER	ALPER	ALP-LT8-09W-P-145-009LM-865	100 - 240	900	9	100	G13	600	80	6500(BF)	25000	7898946171891
ALPER	ALPER	ALP-LT8-15W-P-160-018LM-830	100 - 240	1850	15	123	G13	1200	80	3000(BM)	25000	7898932244011
ALPER	ALPER	ALP-LT8-15W-V-145-019LM-840	100 - 240	1950	15	130	G13	1200	80	4000(BN)	25000	7898946171846
ALPER	ALPER	ALP-LT8-15W-P-160-021LM-840	100 - 240	2100	15	140	G13	1200	80	4000(BN)	25000	7898932244035
ALPER	ALPER	ALP-LT8-15W-P-160-018LM-865	100 - 240	1850	15	123	G13	1200	80	6500(BF)	25000	7898932244059
ALPER	ALPER	ALP-LT8-18W-V-145-018LM-840	100 - 240	1850	18	103	G13	1200	80	4000(BN)	25000	7898946171914
ALPER	ALPER	ALP-LT8-18W-V-145-023LM-840	100 - 240	2300	18	128	G13	1200	80	4000(BN)	25000	7898946171860
ALPER	ALPER	ALP-LT8-18W-P-145-018LM-840	100 - 240	1850	18	103	G13	1200	80	4000(BN)	25000	7898946171938

Notas:

- Branca Fria (BF) : TC >= 5000 K (Tonalidade Azul)
- Branca Neutra (BN) : 3300 K <= TC < 5000 K (Tonalidade Branca)
- Branca Morna (BM) : TC < 3300K (Tonalidade Amarelo)

Página 6 de 13

**LÂMPADAS LED**

Tubular

Fornecedores: 15

Produtos: 99

Atualização: 16/05/2018



FORNECEDOR	MARCA	MODELO	TENSÃO (V)	FLUXO LUMINOSO (lm)	POTÊNCIA (W)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (lm/W)	BASE	COMPRIMENTO (mm)	IRC	TEMP. DE COR (K)	VIDA (h)	CÓDIGO DE BARRA
ALPER	ALPER	ALP-LT8-18W-P-160-021LM-840	100 - 240	2100	18	117	G13	1200	80	4000(BN)	25000	7898932244066
ALPER	ALPER	ALP-LT8-18W-V-145-018LM-865	100 - 240	1850	18	103	G13	1200	80	6500(BF)	25000	7898946171921
ALPER	ALPER	ALP-LT8-18W-V-145-021LM-865	100 - 240	2100	18	117	G13	1200	80	6500(BF)	25000	7898946171877
ALPER	ALPER	ALP-LT5-08W-P-160-009LM-830	100 - 240	950	8	119	G5	600	80	3000(BM)	25000	7898932244257
ALPER	ALPER	ALP-LT5-08W-P-160-009LM-840	100 - 240	950	8	119	G5	600	80	4000(BN)	25000	7898932244264
ALPER	ALPER	ALP-LT5-15W-P-160-018LM-830	100 - 240	1850	15	123	G5	1200	80	3000(BM)	25000	7898932244165
ALPER	ALPER	ALP-LT5-15W-P-160-018LM-840	100 - 240	1850	15	123	G5	1200	80	4000(BN)	25000	7898932244196
ALPER	ALPER	ALP-LT5-18W-P-160-021LM-840	100 - 240	2100	18	117	G5	1150	80	4000(BN)	25000	7898932244226
BRASILUX	TASCHIBRA	120185	100 - 240	900	9,9	90	G13	600	80	6500(BF)	25000	7897079059366
BRASILUX	TASCHIBRA	120289	100 - 240	900	9,9	90	G13	600	80	6500(BF)	25000	27897079068713
BRASILUX	TASCHIBRA	120187	100 - 240	1850	20,5	90	G13	1200	80	6500(BF)	25000	7897079059380
BRASILUX	TASCHIBRA	120290	100 - 240	1850	20,5	90	G13	1200	80	6500(BF)	25000	27897079068720
CELENA	GOLDEN	ULTRALED TUBULAR PRO 9W 4000K	100 - 240	1000	9	111	G13	600	80	4000(BN)	25000	7897714352937
CELENA	GOLDEN	ULTRALED TUBULAR PRO 9W 6500K	100 - 240	1000	9	111	G13	600	80	6500(BF)	25000	7897714352920
CELENA	GOLDEN	ULTRALED TUBULAR PRO 18W 4000K	100 - 240	2000	18	111	G13	1200	80	4000(BN)	25000	7897714352951
CELENA	GOLDEN	ULTRALED TUBULAR PRO 18W 6500K	100 - 240	2000	18	111	G13	1200	80	6500(BF)	25000	7897714352944

Notas:

- Branca Fria (BF) : TC >= 5000 K (Tonalidade Azul)
- Branca Neutra (BN) : 3300 K <= TC < 5000 K (Tonalidade Branca)
- Branca Morna (BM) : TC < 3300K (Tonalidade Amarelo)

Página 7 de 13



**LÂMPADAS LED**

Tubular

Fornecedores: 15

Produtos: 99

Atualização: 16/05/2018



FORNECEDOR	MARCA	MODELO	TENSÃO (V)	FLUXO LUMINOSO (lm)	POTÊNCIA (W)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (lm/W)	BASE	COMPRIMENTO (mm)	IRC	TEMP. DE COR (K)	VIDA (h)	CÓDIGO DE BARRA
CELENA	GOLDEN	ULTRALED TUBULAR PRO TS 8W 3000K	100 - 240	900	8	112	G5	563	80	3000(BM)	25000	7897714354634
CELENA	GOLDEN	ULTRALED TUBULAR PRO TS 8W 4000K	100 - 240	900	8	112	G5	563	80	4000(BN)	25000	7897714354641
CELENA	GOLDEN	ULTRALED TUBULAR PRO TS 8W 6500K	100 - 240	900	8	112	G5	563	80	6500(BF)	25000	7897714354658
CELENA	GOLDEN	ULTRALED TUBULAR PRO TS16W 3000K	100 - 240	1850	16	115	G5	1163	80	3000(BM)	25000	7897714354665
CELENA	GOLDEN	ULTRALED TUBULAR PRO TS 16W 4000K	100 - 240	1850	16	115	G5	1163	80	4000(BN)	25000	7897714354672
CELENA	GOLDEN	ULTRALED TUBULAR PRO TS 16W 6500K	100 - 240	1850	16	115	G5	1163	80	6500(BF)	25000	7897714354689
GE	GE	316188R	100 - 240	950	10	95	G13	604	80	3000(BM)	25000	7501011855137
GE	GE	316198R	100 - 240	1050	10	105	G13	604	80	4000(BN)	25000	7501011855144
GE	GE	316728R	100 - 240	1950	18	108	G13	1214	80	3000(BM)	25000	7501011855212
GE	GE	316768R	100 - 240	2050	18	114	G13	1214	80	4000(BN)	25000	7501011855229
GE	GE	316398R	100 - 240	1050	10	105	G13	604	80	6500(BF)	25000	7501011855168
GE	GE	316818R	100 - 240	2000	18	111	G13	1214	80	6500(BF)	25000	7501011855243
GE	GE	392708R	100 - 240	1850	18	103	G13	1214	80	3000(BM)	25000	7501011859104
GE	GE	392718R	100 - 240	1850	18	103	G13	1214	80	4000(BN)	25000	7501011859111
GE	GE	392748R	100 - 240	1850	18	103	G13	1214	80	6500(BF)	25000	7501011859128
GLIGHT	GLIGHT	T8/LED/G13/9,9W/190/65/3C	100 - 240	900	9,9	91	G13	600	80	6500(BF)	25000	7899605522023

Notas:

- Branca Fria (BF) : TC >= 5000 K (Tonalidade Azul)
- Branca Neutra (BN) : 3300 K <= TC < 5000 K (Tonalidade Branca)
- Branca Morna (BM) : TC < 3300K (Tonalidade Amarelo)

Página 8 de 13

**LÂMPADAS LED**

Tubular

Fornecedores: 15

Produtos: 99

Atualização: 16/05/2018



FORNECEDOR	MARCA	MODELO	TENSÃO (V)	FLUXO LUMINOSO (lm)	POTÊNCIA (W)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (lm/W)	BASE	COMPRIMENTO (mm)	IRC	TEMP. DE COR (K)	VIDA (h)	CÓDIGO DE BARRA
GLIGHT	GLIGHT	T8/LED/G13/9,9W/190/30/3C	100 - 240	900	9,9	91	G13	600	80	3000(BM)	25000	7899605532107
GLIGHT	GLIGHT	T8/LED/G13/20W/190/65/3C	100 - 240	1860	20	93	G13	1200	80	6500(BF)	25000	7899605522566
GLIGHT	GLIGHT	T8/LED/G13/20W/190/30/3C	100 - 240	1860	20	93	G13	1200	80	3000(BM)	25000	7899605532114
INTRAL	ALEDIS	TUBOLED T8-BL-118-9W COD.: 09197	100 - 242	1050	9	116	G13	600	80	3000(BM)	25000	7891482091975
INTRAL	ALEDIS	Tubo LED BL-168-9W COD.: 09211	100 - 242	1050	9	116	G13	600	80	4000(BN)	25000	7891482092118
INTRAL	ALEDIS	Tubo LED BL-108-9W COD.: 09196	100 - 242	1050	9	116	G13	600	80	6000(BF)	25000	7891482091968
INTRAL	ALEDIS	TUBOLED T8-BL-118-18W COD.: 09199	100 - 242	2100	18	116	G13	1200	80	3000(BM)	25000	7891482091999
INTRAL	ALEDIS	Tubo LED BL-168-18W COD.: 09212	100 - 242	2100	18	116	G13	1200	80	4000(BN)	25000	7891482092125
INTRAL	ALEDIS	TUBOLED T8-BL-108-18W COD.: 09198	100 - 242	2100	18	116	G13	1200	80	6000(BF)	25000	7891482091982
INTRAL	ALEDIS	TUBOLED G2 600mm BRC NEUTRO - COD.: 09889	100 - 242	1000	8,5	117	G13	600	80	4000(BN)	25000	7891482098899
INTRAL	ALEDIS	TUBOLED G2 600mm BRC FRIO - COD.: 09888	100 - 242	1000	8,5	117	G13	1200	80	6000(BF)	25000	7891482098882
INTRAL	ALEDIS	TUBOLED G2 1200mm BRC NEUTRO - COD.: 09892	100 - 242	2000	17	117	G13	1200	80	4000(BN)	25000	7891482098929
INTRAL	ALEDIS	TUBOLED G2 1200mm BRC FRIO - COD.: 09891	100 - 242	2000	17	117	G13	1200	80	6000(BF)	25000	7891482098912
LPS	AVANT	LED-TUB-T8-IN-VIDRO-NE4000K-10W- BIVOLT-FS990	100 - 240	990	10	99	G13	600	80	4000(BN)	25000	7899452001245
LPS	AVANT	LED-TUB-T8-IN-VIDRO-BR6500K-10W- BIVOLT-FS990	100 - 240	990	10	99	G13	600	80	6500(BF)	25000	7899452001252
LPS	AVANT	LED-TUB-T8-IN-VIDRO-NE4000K-20W- BIVOLT-FS2100	100 - 240	2100	20	105	G13	1200	80	4000(BN)	25000	7899452001214

Notas:

- Branca Fria (BF) : TC >= 5000 K (Tonalidade Azul)
- Branca Neutra (BN) : 3300 K <= TC < 5000 K (Tonalidade Branca)
- Branca Morna (BM) : TC < 3300K (Tonalidade Amarelo)

Página 9 de 13



**LÂMPADAS LED**

Tubular

Fornecedores: 15

Produtos: 99

Atualização: 16/05/2018



FORNECEDOR	MARCA	MODELO	TENSÃO (V)	FLUXO LUMINOSO (lm.)	POTÊNCIA (W)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (lm/W)	BASE	COMPRIMENTO (mm)	IRC	TEMP. DE COR (K)	VIDA (h)	CÓDIGO DE BARRA
LPS	AVANT	LED-TUB-T8-IN-VIDRO-BR6500K-20W-BIVOLT-FS2100	100 - 240	2100	20	105	G13	1200	80	6500(BF)	25000	789945201221
Luter LED	LUTERLED	Lâmpada LED T8 - 600mm - 10W -4000k - capa letosa (vidro)	100 - 240	1100	10	110	G13	600	82	4000(BN)	36000	751320180278
Luter LED	LUTERLED	Lâmpada LED T8 - 600mm - 10W -6500k - capa letosa (vidro)	100 - 240	1100	10	110	G13	1200	82	6500(BF)	36000	751320180285
Luter LED	LUTERLED	Lâmpada LED T8 - 600mm - 9W -3000k - capa letosa (alumínio e PC)	100 - 240	1000	9	111	G13	1200	82	3000(BM)	36000	751320180223
Luter LED	LUTERLED	Lâmpada LED T8 - 600mm - 9W -6500k - capa letosa (alumínio e PC)	100 - 240	1000	9	111	G13	600	82	6500(BF)	36000	751320180230
Luter LED	LUTERLED	Lâmpada LED T8 -1200mm - 18W - 3000k - capa letosa (vidro)	100 - 240	2100	18	117	G13	1200	82	3000(BM)	36000	751320180292
Luter LED	LUTERLED	Lâmpada LED T8 -1200mm - 18W - 4000k - capa letosa (vidro)	100 - 240	2100	18	117	G13	1200	82	4000(BN)	36000	751320180308
Luter LED	LUTERLED	Lâmpada LED T8 -1200mm - 18W - 6500k - capa letosa (vidro)	100 - 240	2100	18	117	G13	1200	82	6500(BF)	36000	751320180315
Luter LED	LUTERLED	Lâmpada LED T8 -1200mm -20W -3000k - capa letosa (alumínio e PC)	100 - 240	2200	20	110	G13	1200	82	3000(BM)	36000	751320180247
Luter LED	LUTERLED	Lâmpada LED T8 -1200mm -20W - 4000k - capa letosa (alumínio e PC)	100 - 240	2200	20	110	G13	1200	82	6500(BF)	36000	751320180254
Luter LED	LUTERLED	Lâmpada LED T8 -1200mm - 20W - 6500k - capa letosa (alumínio e PC)	100 - 240	2200	20	110	G13	1200	82	6500(BF)	36000	751320180261
MULTI MERCANTES	EMPALLUX	TL10414	100 - 220	900	10	90	G13	600	80	4000(BN)	25000	7896619428310
MULTI MERCANTES	EMPALLUX	TL10416	100 - 220	900	10	90	G13	600	80	6500(BF)	25000	7896619428297
MULTI MERCANTES	EMPALLUX	TL20414	100 - 220	1940	20	97	G13	1200	80	4000(BN)	25000	7896619428303
MULTI MERCANTES	EMPALLUX	TL20416	100 - 220	1860	20	93	G13	1200	80	6500(BF)	25000	7896619428280

Notas:

- Branca Fria (BF) : TC >= 5000 K (Tonalidade Azul)
- Branca Neutra (BN) : 3300 K <= TC < 5000 K (Tonalidade Branca)
- Branca Morna (BM) : TC < 3300K (Tonalidade Amarelo)

Página 10 de 13

**LÂMPADAS LED**

Tubular

Fornecedores: 15

Produtos: 99

Atualização: 16/05/2018



FORNECEDOR	MARCA	MODELO	TENSÃO (V)	FLUXO LUMINOSO (lm.)	POTÊNCIA (W)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (lm/W)	BASE	COMPRIMENTO (mm)	IRC	TEMP. DE COR (K)	VIDA (h)	CÓDIGO DE BARRA
OSRAM	OSRAM	LED TUBE 10W 100-240V G13 4000K	100 - 240	1000	10	100	G13	600	80	4000(BN)	25000	4052899951709
OSRAM	OSRAM	LED TUBE 20W 100-240V G13 4000K	100 - 240	2000	20	100	G13	1200	80	4000(BN)	25000	4052899951730
OSRAM	OSRAM	LED TUBE 10W 100-240V G13 6500K	100 - 240	1000	10	100	G13	600	80	6500(BF)	25000	4058075037007
OSRAM	OSRAM	LED TUBE 20W 100-240V G13 6500K	100 - 240	2000	20	100	G13	1200	80	6500(BF)	25000	4058075037021
PHILIPS	PHILIPS	Master LEDTube 600mm 10W 840 T8   W	90 - 250	1050	10	105	G13	600	82	4000(BN)	25000	8718696524084
PHILIPS	PHILIPS	Master LEDTube 600mm 10W 865 T8   W	90 - 250	1050	10	105	G13	600	82	6500(BF)	25000	8718696524107
PHILIPS	PHILIPS	Master LEDTube 1200 mm 18W 840 T8   W	100 - 240	2100	18	117	G13	1200	82	4000(BN)	25000	8718696524046
PHILIPS	PHILIPS	Master LEDTube 1200mm 18W 865 T8   W	100 - 240	2100	18	117	G13	1200	82	6500(BF)	25000	8718696524060
PHILIPS	PHILIPS	ESSENCIAL LEDtube 9W 840 T8 CWG	100 - 240	900	9	100	G13	600	80	4000(BN)	25000	8718696527870
PHILIPS	PHILIPS	ESSENCIAL LEDtube 9W 865 T8 CWG	100 - 240	900	9	100	G13	600	80	6500(BF)	25000	8718696527894
PHILIPS	PHILIPS	ESSENCIAL LEDtube 18W 840 T8 CWG	100 - 240	1850	18	103	G13	1200	80	4000(BN)	25000	8718696527955
PHILIPS	PHILIPS	ESSENCIAL LEDtube 18W 865 T8 CWG	100 - 240	1850	18	103	G13	1200	80	6500(BF)	25000	8718696528198
PHILIPS	PHILIPS	ESSENCIAL LEDtube 600mm 9W 830 T8	100 - 240	900	9	100	G13	600	82	3000(BM)	25000	8718696683019
PHILIPS	PHILIPS	ESSENCIAL LEDtube 600mm 9W 840 T8	100 - 240	900	9	100	G13	600	82	4000(BN)	25000	871869682975
PHILIPS	PHILIPS	ESSENCIAL LEDtube 600mm 9W 865 T8C	100 - 240	900	9	100	G13	600	82	6500(BF)	25000	8718696682999
PHILIPS	PHILIPS	ESSENCIAL LEDtube 1200mm 18W 830 T8	100 - 240	1850	18	103	G13	1200	82	3000(BM)	25000	8718696682951

Notas:

- Branca Fria (BF) : TC >= 5000 K (Tonalidade Azul)
- Branca Neutra (BN) : 3300 K <= TC < 5000 K (Tonalidade Branca)
- Branca Morna (BM) : TC < 3300K (Tonalidade Amarelo)

Página 11 de 13



**LÂMPADAS LED**

Tubular

Fornecedores: 15

Produtos: 99

Atualização: 16/05/2018



FORNECEDOR	MARCA	MODELO	TENSÃO (V)	FLUXO LUMINOSO (lm)	POTÊNCIA (W)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (lm/W)	BASE	COMPRIMENTO (mm)	IRC	TEMP. DE COR (K)	VIDA (h)	CÓDIGO DE BARRA
PHILIPS	PHILIPS	ESSENTIAL LEDtube 1200mm 18W 840 T8	100 - 240	1850	18	103	G13	1200	82	4000(BN)	25000	8718696682913
PHILIPS	PHILIPS	ESSENTIAL LEDtube 1200mm 18W 865 T8	100 - 240	1850	18	103	G13	1200	82	6500(BF)	25000	8718696682937
PHILIPS	PHILIPS	ESSENTIAL LEDtube 1200mm 18W 840 T8	100 - 240	2100	18	117	G13	1200	82	4000(BN)	25000	8718696683057
PHILIPS	PHILIPS	ESSENTIAL LEDtube 1200mm 18W 865 T8	100 - 240	2100	18	117	G13	1200	82	6500(BF)	25000	8718696683071
PULSE	PULSE	LB-LTC 49B	100 - 240	1000	9	111	G13	600	80	4000(BN)	25000	7898956013983
PULSE	PULSE	LB-LTC 69B	100 - 240	927	9	103	G13	600	80	6500(BF)	25000	7898956013990
PULSE	PULSE	LB-LTC 418B	100 - 240	1865	18	104	G13	1200	80	4000(BN)	25000	7898929730018
PULSE	PULSE	LB-LTC 618B	100 - 240	1850	18	103	G13	1200	80	6500(BF)	25000	7898929730025
SOUTH AMERICAN LIGHTING	FLC	LAMPLED TUB T8 10WBIV 4000K	100 - 240	900	10	90	G13	600	80	4000(BN)	30000	7899433607459
SOUTH AMERICAN LIGHTING	FLC	LAMPLED TUB T8 10WBIV 6500K	100 - 240	900	10	90	G13	600	80	6500(BF)	30000	7899433607466
SOUTH AMERICAN LIGHTING	FLC	LAMPLED TUB T8 20WBIV 4000K	100 - 240	1850	20	93	G13	1200	80	4000(BN)	30000	7899433612958
SOUTH AMERICAN LIGHTING	FLC	LAMPLED TUB T8 20WBIV 6500K	100 - 240	1850	20	93	G13	1200	80	6500(BF)	30000	7899433607480
ULTRALUZ	ULTRALUZ	TUBULAR LED 9W 4000K 127-220V	127 - 220	900	9	100	G13	600	80	4000(BN)	25000	78985682323007
ULTRALUZ	ULTRALUZ	TUBULAR LED 9W 6500K 127 - 220V	127 - 220	926	9	102	G13	600	80	6500(BF)	25000	7898568232796
ULTRALUZ	ULTRALUZ	TUBULAR LED 18W 4000K 127-220V	127 - 220	1950	18	108	G13	1200	80	4000(BN)	25000	7898568232789
ULTRALUZ	ULTRALUZ	TUBULAR LED 18W 6500K 127 - 220V	127 - 220	1944	18	108	G13	1200	80	6500(BF)	25000	7898568232772
UNICOBA	LEDSTAR	LS-T8V059W-4K0-DA	127 - 220	900	9	100	G13	600	80	4000(BN)	25000	7899964108807

Notas:

- Branca Fria (BF) : TC >= 5000 K (Tonalidade Azul)
- Branca Neutra (BN) : 3300 K <= TC < 5000 K (Tonalidade Branca)
- Branca Morna (BM) : TC < 3300K (Tonalidade Amarelo)

Página 12 de 13

**LÂMPADAS LED**

Tubular

Fornecedores: 15

Produtos: 99

Atualização: 16/05/2018



FORNECEDOR	MARCA	MODELO	TENSÃO (V)	FLUXO LUMINOSO (lm)	POTÊNCIA (W)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (lm/W)	BASE	COMPRIMENTO (mm)	IRC	TEMP. DE COR (K)	VIDA (h)	CÓDIGO DE BARRA
UNICOBA	LEDSTAR	LS-T8V059W-6KS-DA	127 - 220	900	9	100	G13	600	80	6500(BF)	25000	7899964108821
UNICOBA	LEDSTAR	LS-T8VFFB09W3CA	127 - 220	900	9	100	G13	600	80	5000(BN)	25000	7899964109255
UNICOBA	LEDSTAR	LS-T8VFFB09W3CA	127 - 220	900	9	100	G13	600	80	6500(BF)	25000	7899964109262
UNICOBA	LEDSTAR	LS-T8VFFB018W4CA	127 - 220	1850	18	103	G13	1200	80	4000(BN)	25000	7899964109279
UNICOBA	LEDSTAR	LS-T8VFFB018W3CA	127 - 220	1850	18	103	G13	1200	80	6500(BF)	25000	7899964109293

Notas:

- Branca Fria (BF) : TC >= 5000 K (Tonalidade Azul)
- Branca Neutra (BN) : 3300 K <= TC < 5000 K (Tonalidade Branca)
- Branca Morna (BM) : TC < 3300K (Tonalidade Amarelo)

Página 13 de 13

