



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

Impacto no Sistema de Energia pela Troca das Lâmpadas Tradicionais por Lâmpadas LED

Thuanne Figueiredo Baptista

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof.º Jorge Luiz do Nascimento, D.Eng.

Rio de Janeiro

Abril, 2016

Impacto no Sistema de Energia pela Troca das Lâmpadas Tradicionais por Lâmpadas LED

Thuanne Figueiredo Baptista

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA DE ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRA ELETRICISTA.

Examinada por:

Prof. Jorge Luiz do Nascimento, Dr. Eng
(Orientador)

Prof. Sergio Sami Hazan, Ph.D.

Simaia Roberta Nascimento, Eng.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

ABRIL de 2016

Baptista, Thuanne Figueiredo

Impacto no Sistema de Energia pela Troca das Lâmpadas Tradicionais por Lâmpadas LED / Thuanne Figueiredo Baptista. – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2016.

VIII, 114 p.: il.; 29, 7cm.

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Projeto de Graduação – UFRJ/Escola Politécnica/ Departamento de Engenharia Elétrica, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 125 – 128.

1. Introdução. 2. Impacto de Medidas de Eficiência no Sistema de Energia. 3. Histórico da Eficientização Energética no Mundo e no Brasil. 4. Impactos Relacionados à Eficientização na Iluminação. 5. Retorno Ambiental e Social. 6. Impactos na Troca da Iluminação por LEDs. 7. Retorno do Investimento. 8. Conclusões. I. Nascimento, Jorge Luiz do. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Elétrica. III. Impacto no Sistema de Energia pela Substituição das Lâmpadas Tradicionais por Lâmpadas LED.

Agradecimentos

A Deus em quem sempre busquei forças para nunca desistir dos meus objetivos e ultrapassar todas as barreiras que apareceram.

Aos meus pais Rita e Sergio, que me ajudaram muito nesse projeto, que eu acredito, que sem eles, não sairia tão rápido e tão bem feito nesse espaço de tempo. Eles me aconselharam, sentaram comigo pra fazer, me ajudaram a pesquisar, escrever, formatar, escolher dados, tudo, tudo mesmo. E que além de tudo, me apoiaram em todos os momentos desses cinco anos de faculdade, me acolheram no desânimo e comemoraram comigo cada vitória, sempre com muito carinho e apoio para que eu chegasse até aqui e para que eu possa ainda ir muito além, sem vocês, definitivamente, eu não iria tão longe.

As minhas avós Maria Rita e Léa, pelas palavras de carinho e dedicação e pela eterna preocupação comigo. E aos meus avós Edesio e Sergio, em memória.

Aos meus primos, Yasmin e Bernardo, que me tiravam um pouco desse meio e me levavam pro mundo lúdico deles, serviu como um escape em vários momentos, sem contar com as risadas, os abraços, as brincadeiras e o carinho que eles sempre me dão, e que me fazem renovar as energias.

Ao meu namorado Rafael de Paula pela paciência nas horas de estresse, pelo apoio sempre que eu precisei e pelos muitos conselhos que eu pedi ao longo desse projeto.

Ao meu amigo, Paulo Carneiro, que não poupou esforços pra me ajudar de todas as formas que ele podia, a qualquer hora, sempre se mostrando disponível e além de tudo, se mostrou muito feliz em poder ajudar no projeto e a me ajudar a escrever mais essa parte da minha história, como faz há muitos anos.

Ao Cláudio Cabral, que ajudou muito com os dados, sempre se mostrando disposto a me ajudar a procurar, e a dividir comigo toda a experiência que ele tem no mercado de lâmpadas.

Ao Prof. Jorge Luiz, por ter aceitado a minha proposta e por todas as críticas feitas até a conclusão.

Aos amigos que fiz nesses cinco anos de engenharia, que sempre estiveram próximos durante longas horas de estudo, ou nas de pausa para descontração e brincadeiras, e muitos outros momentos que jamais serão esquecidos.

Aos meus amigos de escola e da vida e familiares, que de alguma forma compreenderam a minha ausência nesses anos de engenharia e que nunca deixaram de me apoiar.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Impacto no Sistema de Energia pela Troca das Lâmpadas Tradicionais por Lâmpadas LED

Thuanne Figueiredo Baptista

Abril 2016

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Curso: Engenharia Elétrica

O setor de iluminação tem passado por transformações ao longo dos anos, e ultimamente, uma das principais mudanças nesse mercado é o LED. Nesse cenário, a tecnologia LED permite a criação de uma lâmpada de alta eficiência energética, que proporciona uma redução no consumo de energia quando comparada as tradicionais lâmpadas utilizadas.

Por ser uma tecnologia relativamente nova, seu custo ainda é considerado alto considerando as outras formas de iluminação isoladamente. No entanto, com a intensificação dos estudos nessa área, a tendência é que esse custo diminua e seja cada vez mais interessante propor tal solução, evidenciando um custo benefício positivo.

Neste trabalho são apresentadas as perspectivas de mercado e o atual cenário da tecnologia LED aplicada a vários tipos de iluminação, é feito um estudo sobre a eficácia no sistema elétrico brasileiro a partir da troca de lâmpadas tradicionais por LED, além de um estudo comparativo entre os tipos de lâmpadas mais utilizados, e leva ainda em consideração a questão ambiental relacionada a esse tipo de tecnologia.

Palavras Chave: LED, Eficiência e Eficácia Energética, Iluminação.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Electrical Engineer.

Impact on Power System for the replacement of traditional lamps in LED Lamps

Thuanne Figueiredo Baptista

April 2016

Advisor: Jorge Luiz do Nascimento

Course: Electrical Engineering

The lighting sector has undergone changes over the years, and lately one of the main changes in this market is the LED system. In this scenario, the LED technology enables the creation of an energy-efficient lamp that provides a reduction in energy consumption compared to traditional lamps used.

Despite being a relatively new technology, its cost is still considered expensive considering other forms of lighting singly. However, with the intensification of studies in this area, the tendency is that this cost decrease, and be even more interesting to propose such a solution, showing a positive benefit cost.

This work presents the market outlook and the current scenario of LED technology applied to various types of lighting, a study of the effectiveness in the Brazilian electrical system for the replacement of traditional lamps in LED lamps as well as a comparative study between most used types of lamps, and also takes into account the environmental issues related to this type of technology.

Keywords: LED, Energy Efficiency and Effectiveness, Lighting.

Sumário

1. Introdução	1
1.1 Histórico das Diferentes Situações	7
1.2 Objetivo	13
1.3 Metodologia do Trabalho	14
1.4 Organização do Trabalho	14
2. Impacto de Medidas de Eficiência no Sistema de Energia	16
2.1 Conceituação de Eficiência	16
2.2 Formulação	18
2.2.1 Eficiência energética	18
2.3 Melhoria da eficiência	19
2.3.1 Potência X Luminosidade	20
2.3.2 Eficiência Luminosa	21
2.3.3 Temperatura de Cor	21
2.3.4 Durabilidade	27
2.3.5 Energia convertida em Luz	27
2.3.6 Descarte	27
2.3.7 Aplicação, Manutenção e Custo	28
2.3.8 Versatilidade e Mercado	28
3. Histórico da Eficientização Energética no Mundo e no Brasil	29
3.1. Regulamentação	29
3.1.1. Conceito de Gerenciamento de Energia e de Medidas Otimizadoras.	29
3.1.2. Aspectos Legais e Institucionais no Brasil	32
3.1.3. O Programa de Conservação de Energia Elétrica	33
3.1.4. A ANEEL e o Programa de Eficiência Energética	34
3.1.5. A Lei nº 9.991	37
3.1.6. A Lei de Eficiência Energética	38
3.1.7. A Empresa de Pesquisa Energética	40
3.1.8. A ISO 50001:2011	40
3.2. Eficiência Energética no Mundo	41
3.3. Integração Energética do Brasil na America do Sul.	43
3.3.1. Situação em 2010	43

3.3.2.	Projetos de Integração na Área de Energia na América Latina	44
3.3.2.1.	IIRSA	44
3.3.2.2.	FOCEM	47
3.3.2.3.	OLADE	48
3.4.	Eficiência Energética no Brasil.....	48
4.	Impactos Relacionados à Eficientização na Iluminação	49
4.1	Medidas Aplicadas na Iluminação para Eficientização de Energia.	49
4.2	Características dos Diferentes Tipos de Lâmpadas.	50
4.3	Aspectos Teóricos e Práticos relacionados à Troca por Leds.	59
5.	Retorno Ambiental e Social	62
5.1	Classificação dos Tipos de Lâmpadas quanto aos Impactos Ambientais.....	62
5.2	Impactos Ambientais no Descarte Inadequado de Lâmpadas.....	62
5.3	Descarte Final de Resíduos.	63
5.4	A Logística Reversa para Lâmpadas.	64
5.5	O LED.....	65
6.	Impactos da Troca da Iluminação por LEDs	66
6.1	Substituição por LEDs – Cenário Idealizado.....	66
6.1.1	Escolha das Lâmpadas.	67
6.2	Consumo destinado à iluminação.....	73
6.3	Metodologia Utilizada.....	75
6.4	Estudos de Caso.	76
6.4.1	Consumidor Residencial.	76
6.4.2	Consumidor Comercial.	78
6.4.3	Consumidor Industrial.....	80
6.4.4	Iluminação Pública.	81
6.5	Economia para o Sistema de Geração.	83
7.	Retorno do Investimento	86
7.1	Procedimento Metodológico.	87
7.2	Avaliação Econômica.....	90
7.2.1	Consumidor Residencial.	90
7.2.1.1	LEDs versus Lâmpadas Incandescentes	92
7.2.1.2	LEDs versus Lâmpadas Fluorescentes Tubulares	92
7.2.1.3	LEDs versus Lâmpadas Fluorescentes Compactas	94

7.2.2	Consumidor Comercial.....	95
7.2.2.1	LEDs versus Lâmpadas Incandescentes	97
7.2.2.2	LEDs versus Lâmpadas Fluorescentes Tubulares	98
7.2.2.3	LEDs versus Lâmpadas Fluorescentes Compactas	100
7.2.3	Consumidor Industrial.....	102
7.2.3.1.	LEDs versus Lâmpadas Fluorescentes Tubulares	103
7.2.3.2.	LEDs versus Lâmpadas Fluorescentes Compactas	105
7.2.4	Iluminação Pública.....	106
7.2.4.1	LEDs versus Lâmpadas a Vapor de Sódio.....	107
7.2.4.2	LEDs versus Lâmpadas a Vapor de Mercúrio	109
8.	Conclusões	111
	Referências	115

1. Introdução

Em 2001, a população brasileira foi incentivada a mudar seus hábitos de consumo de energia. Havia o risco de racionamento de energia elétrica em todo o país, fenômeno, que ficou conhecido como **apagão** [1].

O termo “Apagão” foi adotado como referência às interrupções ou falta de energia elétrica, frequentes, como “blecautes” de longa duração.

A crise energética estava ligada principalmente à falta de planejamento no setor e à ausência de investimento em geração e distribuição de energia, tendo sido agravada por um período longo de estiagem. Com a escassez de chuva, os níveis de água dos reservatórios das hidrelétricas baixaram tanto na região Sudeste quanto na região Nordeste, podendo ser observado nas Figuras 1 e 2, que mostram como os níveis nesse período foram um dos mais baixos já registrados desde 2000, fazendo com que os brasileiros fossem obrigados a colaborar com o racionamento de energia [2].

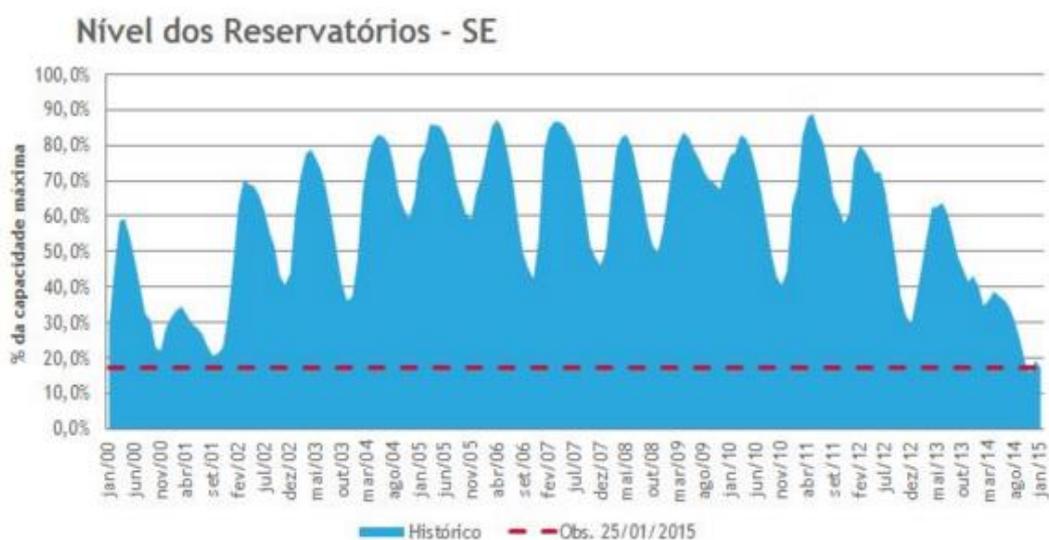


Figura 1 - Nível dos Reservatórios SE

Fonte: ONS - 2015

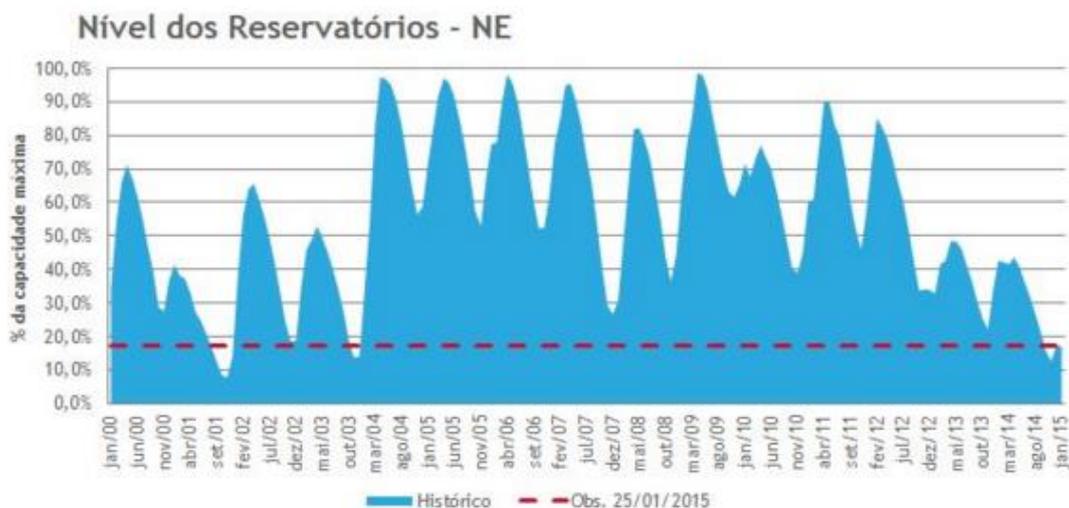


Figura 2 - Nível dos Reservatórios NE

Fonte: ONS

Outra razão que contribuiu para o racionamento de energia foi o aumento contínuo do consumo de energia devido ao crescimento populacional e ao aumento de produção pelas indústrias, conforme apresentado na Figura 3, onde podemos observar uma enorme variação, atingindo níveis que só foram observados 30 anos atrás.

VARIAÇÃO DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL BRASILEIRA (EM %)

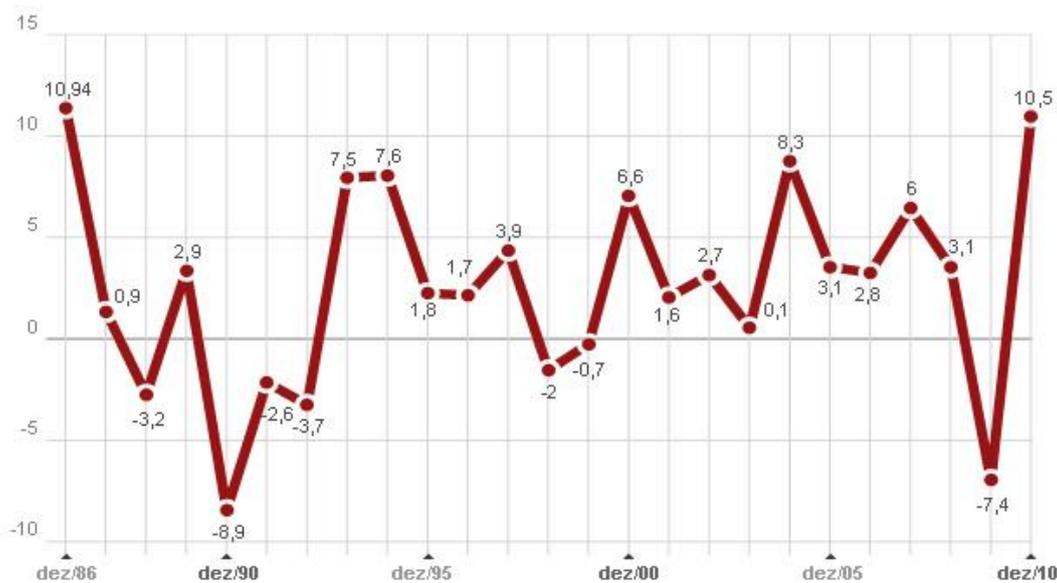


Figura 3 - Variação da Produção Industrial Brasileira

Fonte: IBGE - 2010

A situação foi muito agravada pelo fato de que mais de 90% da energia elétrica do Brasil era produzida por usinas hidrelétricas, que necessitam de chuva para manter o nível adequado de seus reservatórios para a geração de energia.

O governo teve que preparar um plano de contingência, baseado no acionamento de termelétricas, para a reestruturação do planejamento. Foram instituídos os leilões de energia futura no Mercado Atacadista de Energia (MAE) e a realização de um rápido investimento em linhas de transmissão [1].

Além disso, foram adotadas medidas junto aos consumidores. Troca de lâmpadas de elevado consumo por lâmpadas mais econômicas, além de incentivo para a troca de eletrodomésticos na mesma condição, ou até mesmo o desligamento de aparelhos menos utilizados e os stand by dos eletrônicos. O governo também deu bônus na conta de luz. Pelas regras do bônus, quem tinha meta de até 100 kWh por mês, receberia R\$ 2,00 para cada real economizado, e quem tinha meta superior a 100 kWh/mês e consumo abaixo de 225 kWh/mês receberia R\$ 1,00 para cada real economizado [3].

Ao fim da crise, ocorreram várias mudanças no sistema, como está mostrado na Figura 4.

AS MUDANÇAS NO SETOR ELÉTRICO

	Com o seria	Com o será
Medidas de adoção imediata 	As empresas privadas competiriam entre si na geração de energia. O preço iria variar de acordo com a fonte de energia (hidrelétrica, termelétrica, alternativa)	A geração continua estatal e o governo definiu que o nível dos reservatórios das hidrelétricas será parte integrante da formação do preço. Quanto menor o nível dos reservatórios, maior o preço. Assim, há sinalização financeira positiva para aumento de investimentos no setor antes de crises de abastecimento. O tipo da fonte de energia não influi no preço
Liberação de contratos 	Contratos antigos entre geradoras e distribuidoras seriam renovados a partir de 2003, com preços maiores para a energia	Para as geradoras estatais isso não acontecerá dessa forma, para evitar aumento de preços. Ao mesmo tempo, deverá haver leilões da "energia velha" (vinda das geradoras estatais, mais barata) em todo o sistema. Assim, as estatais não poderão prejudicar a competição no mercado
Universalização da energia	Consumidores novos pagariam parte do custo do acesso à rede de distribuição	Distribuidoras arcam com os custos das novas ligações. É possível que elas possam repassar esse custo para a tarifa
MAE 	Mercado auto-regulado, onde geradores negociariam compras da energia extra que existisse no sistema, como em uma Bolsa de Valores	Não haverá mais o MAE. Esse mercado será substituído pelo Mercado Brasileiro de Energia, semelhante ao MAE, mas controlado pela Aneel, e não pelos agentes de mercado
Mercado cativo 	85% dos consumidores de uma geradora tinham que ser cativos. Ou seja, ela só podia comercializar livremente 15% de sua energia	Exigência de contrato para 95% do mercado de uma geradora

Figura 4 - As Mudanças no Setor Elétrico

Fonte: Folha de São Paulo - 2001

Após essas mudanças em curto prazo, também é válido lembrar que foram feitos investimentos em linhas de transmissão, e em outros meios de geração de energia, focando em outras fontes renováveis.

No ano de 2014 e até o final de 2015, passamos por outra crise energética, mas que atualmente, já chegou ao fim. Foi uma crise hídrica, principalmente na região sudeste. A distribuição de chuvas é variável, e a seca não é algo que se possa prever, porém, a redução do volume equivalente dos reservatórios do Paraíba do Sul, que vem ocorrendo desde 2008, deveria ter servido de alerta para que as autoridades tomassem medidas preventivas. No entanto, isso ocorreu apenas quando a crise já estava instaurada [4].

Em 2014, segundo boletim do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), a maioria dos reservatórios das hidrelétricas estava com um nível de água menor do que o registrado desde 2003. Dezoito dos 21 principais reservatórios (85%) enfrentavam problemas com a estiagem. Ainda segundo dados do ONS, na época da crise, apenas os reservatórios de São Simão (MG e GO), Sobradinho (BA) e Serra da Mesa (GO) estavam com índices acima do que era registrado. Todos os demais estavam abaixo, sendo dois deles com o volume útil zerado: Ilha Solteira (SP) e Três Irmãos (SP), que continuam em operação por causa do uso do volume morto dos reservatórios.

E a estiagem, que já melhorou muito, mas ainda continua, tem obrigado o governo federal a acionar as termelétricas, que têm geração de energia bem mais cara que as hidrelétricas.

É sabido que, se comparado à época do racionamento de 2001, a crise hídrica atual é bem mais intensa que a da década passada, mas quando se faz essa comparação, o que está se olhando é o nível do reservatório, e na verdade o que tem que se olhar é nível de reservatório e a capacidade de geração a partir de outros meios, como térmica, eólica, entre outras, como mostrado na Figura 5, que mostra o acréscimo anual de geração desde 1990, se evidenciando um grande aumento, principalmente no ano de 2010. Em 2001 não havia geração térmica suficiente e nem se conseguiu fazer um programa emergencial, que, aliás, deveria ter sido feito antes de 2001. A capacidade de geração de energia termelétrica hoje é muito maior, em torno de 14 mil megawatts. São exatamente as térmicas que foram construídas nos governos anteriores, que hoje levam a essa posição de geração térmica incluída no Sistema Elétrico Nacional. Também é válido lembrar que não se tinha a quantidade de linhas de transmissão que temos hoje em dia, fazendo uma interligação maior de energia entre os estados, como pode ser observado nas Figuras 6 e 7.

Ainda assim, deve-se lembrar, que a situação atual, apesar de ser melhor que a de 2001, ainda é muito ruim, pois essa crise ocorreu por falta de planejamento, e quem está pagando a conta é o bolso do consumidor [5].

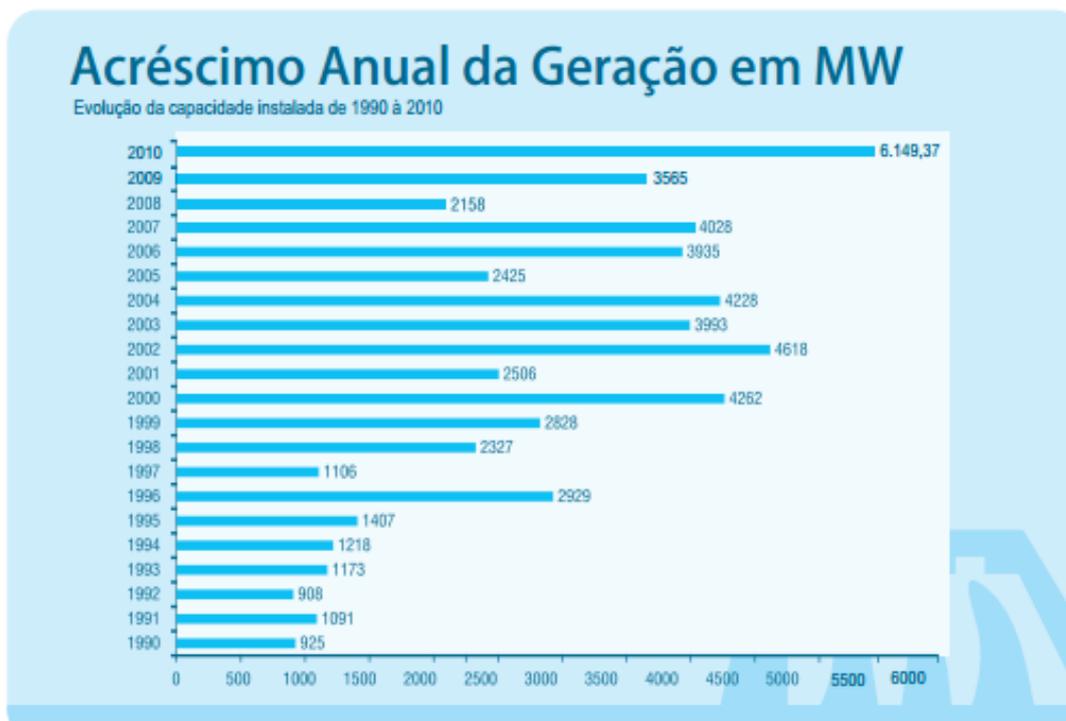


Figura 5 - Acréscimo Anual da Geração (MW)

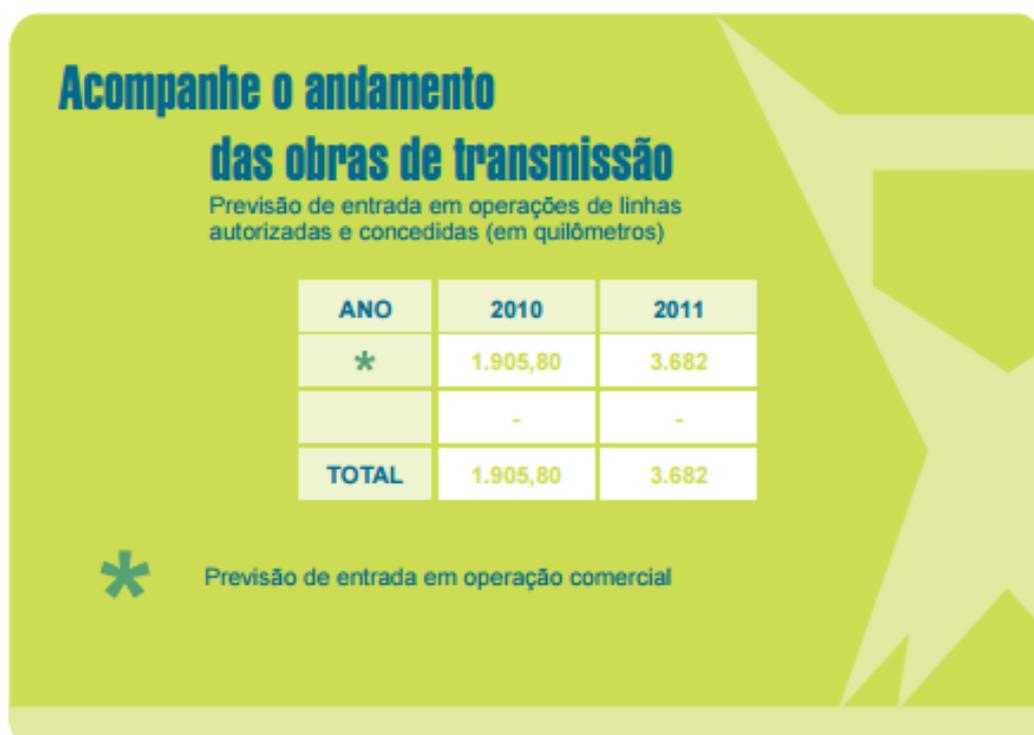


Figura 6 - Andamento das obras de transmissão

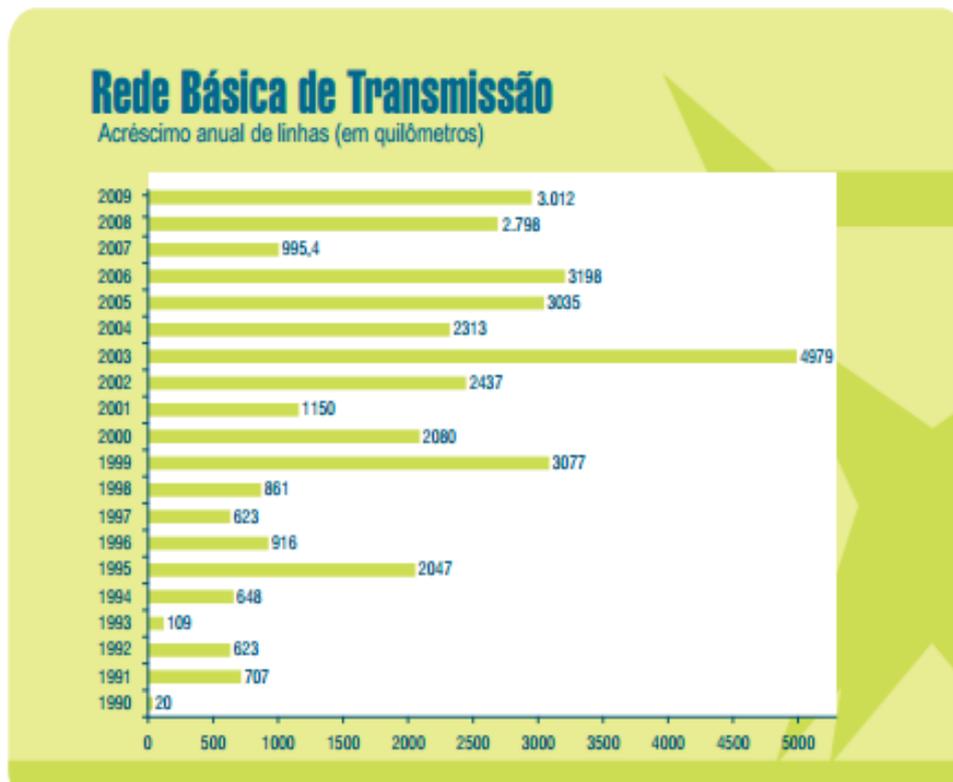


Figura 7 - Rede Básica de Transmissão

Fonte: Aneel

1.1 Histórico das Diferentes Situações

1.1.1. Crise de 2001

A chamada "crise do apagão", que ocorreu no Brasil em 2001 e 2002, foi o resultado da combinação da falta de investimento na geração e na transmissão de energia elétrica com uma estiagem prolongada, que reduziu drasticamente os níveis dos principais reservatórios de água no país, nas regiões Sudeste e Nordeste. Essa combinação impossibilitou a produção de energia suficiente para atender ao consumo, tanto industrial quanto residencial, levando o governo federal a implantar rigorosa política de racionamento, com a redução obrigatória do uso de energia pelos brasileiros e pelas empresas [1].

No dia 1º de junho de 2001, o Brasil iniciou o maior racionamento da sua História, encerrado somente no dia 28 de fevereiro do ano seguinte. Os consumidores tiveram que cortar voluntariamente 20% do consumo de eletricidade, caso contrário, teriam um aumento no valor da energia. Segundo o plano, quem consumisse até 100 KWh por mês (30% dos lares brasileiros) não precisaria economizar nada. Acima dessa faixa, a redução era obrigatória e os que não aderissem ao pacote corriam o risco de ter a sua

energia elétrica cortada - por três dias na primeira infração e seis dias em caso de reincidência. O governo ainda impôs uma sobretaxa às contas de energia que fossem superiores a 200 KWh por mês, pagando 50% a mais sobre o que excedesse a esse patamar. Haveria uma segunda sobretaxa, de 200%, para as contas acima de 500 quilowatts [1].

A troca de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes (bem mais econômicas) foram as principais formas de alcançar a meta de redução do consumo, bem como o desligamento de aparelhos eletrodomésticos, como geladeiras, *freezers*, televisão etc., durante alguns períodos do dia. Na indústria, por exemplo, máquinas alimentadas por energia elétrica foram trocadas por outras a gás.

Mas o governo e os brasileiros, com essa campanha de racionalização voluntária do consumo de energia, conseguiram evitar uma crise ainda pior. Para isso, a população, as empresas e os próprios órgãos do governo foram convocados a racionalizarem o consumo de energia. Mudando os seus hábitos de uso da eletricidade, a população passou a substituir equipamentos e lâmpadas e, sobretudo, a evitar o desperdício de energia elétrica [6].

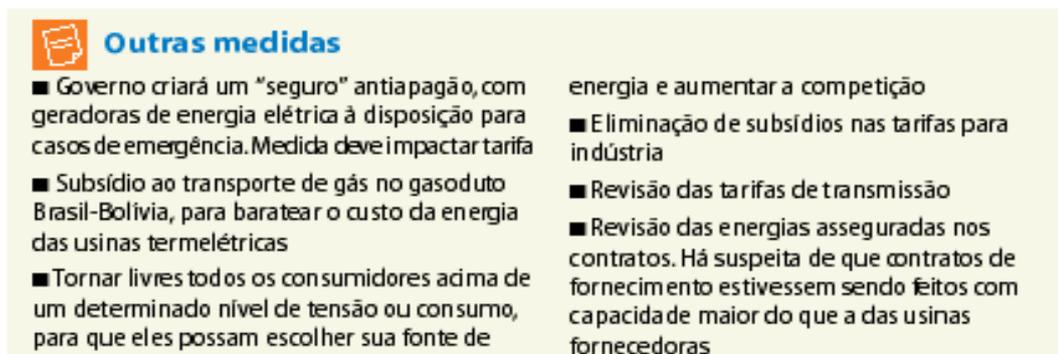
A crise evidenciou um dos principais gargalos do crescimento econômico brasileiro, e levou o governo a investir em formas alternativas de energia, como, por exemplo, a produzida por usinas termelétricas e também em linhas de transmissão de energia elétrica, pois, não havia linhas de transmissão suficientes para levar a energia da Região Sul, onde os reservatórios de água estavam cheios, para o Sudeste e o Nordeste.

Uma boa consequência da crise foi a elaboração de um plano de recuperação do setor, com um melhor planejamento e maior investimento na geração, que obteve resultados que podem ser vistos hoje [6].

Assim com o objetivo de propor e implementar medidas de natureza emergencial para compatibilizar a demanda e a oferta de energia elétrica, o governo criou a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica (GCE).

Essa Câmara tinha como responsabilidade minimizar os impactos negativos da crise de energia, principalmente sobre os níveis de crescimento, emprego e renda, regulamentar e gerenciar medidas de curto prazo para redução do consumo de energia, priorizar setores estratégicos, estimular a autoprodução de energia, definir condições específicas de comercialização de energia elétrica entre concessionários,

permissionários e autorizados, bem como entre estes e os consumidores. Outras medidas utilizadas são apresentadas na Figura 8.



Outras medidas

- Governo criará um "seguro" anti-pagão, com geradoras de energia elétrica à disposição para casos de emergência. Medida deve impactar tarifa
- Subsídio ao transporte de gás no gasoduto Brasil-Bolívia, para baratear o custo da energia das usinas termelétricas
- Tornar livres todos os consumidores acima de um determinado nível de tensão ou consumo, para que eles possam escolher sua fonte de energia e aumentar a competição
- Eliminação de subsídios nas tarifas para indústria
- Revisão das tarifas de transmissão
- Revisão das energias asseguradas nos contratos. Há suspeita de que contratos de fornecimento estivessem sendo feitos com capacidade maior do que a das usinas fornecedoras

Figura 8 - Medidas adotadas durante o racionamento de energia

Fonte: Folha de São Paulo - 2001

1.1.2. Situação Atual

O Plano Decenal de Expansão de 2024, do Ministério de Minas e Energia (MME), prevê que a capacidade de instalação das hidrelétricas deve cair para 56%, em função da mudança da matriz energética, já em meados da próxima década. Em contrapartida, a carga de energia crescerá 3,8% ao ano, passando de 65 mil megawatts em 2015, para 94 mil megawatts em 2024. Através desses dados fica evidente a necessidade de investimento em novos meios de geração de energia [7].

A condição do sistema atual na região sudeste, que foi onde ocorreu a seca mais intensa, segundo ONS, está mostrada a seguir na Figura 9. Atualmente os reservatórios já estão numa condição bem melhor, mas como forma de observação, podemos ver que a bacia que mais abastece a região Sudeste/Centro-Oeste, é a do Rio Parnaíba, sendo o reservatório de Nova Ponte o mais importante, e como pode ser analisado, ele é o que ainda mais sofre com a estiagem, estando o seu nível em torno de 26%, que ainda é ruim, mas podemos considerar que esta já é uma condição de melhora. Em compensação, na Bacia de Rio Grande, onde fica o reservatório de Furnas, que é o mais relevante da região, seu nível está em torno de 47%, mostrando que a crise atual está nos seus últimos dias.

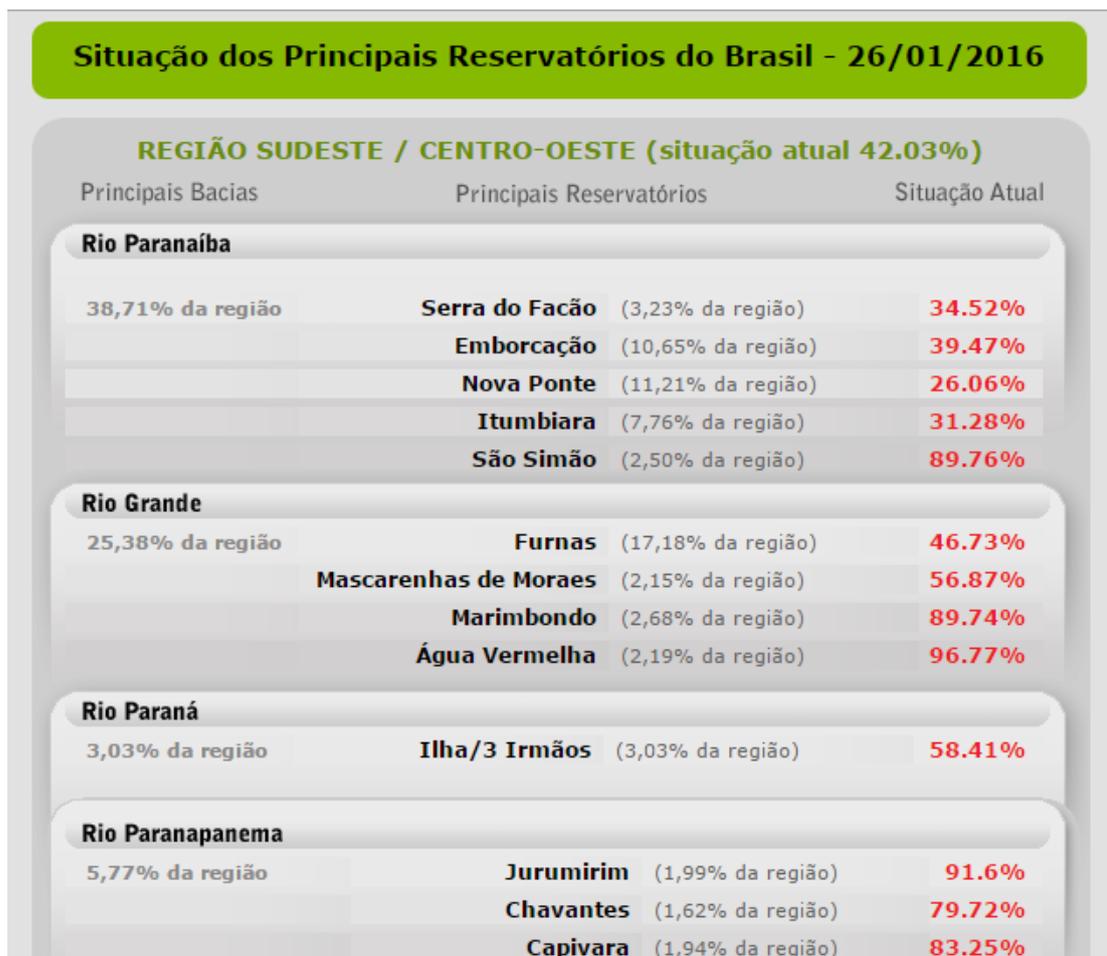


Figura 9 - Situação dos Principais Reservatórios do Brasil

Fonte: ONS - 2015

A capacidade de geração atual está descrita no Gráfico 1. Pode-se ver a dominância da matriz hídrica, porém, pode-se ver também, que as outras matrizes estão em crescimento, e a tendência, é só diminuir a dependência.

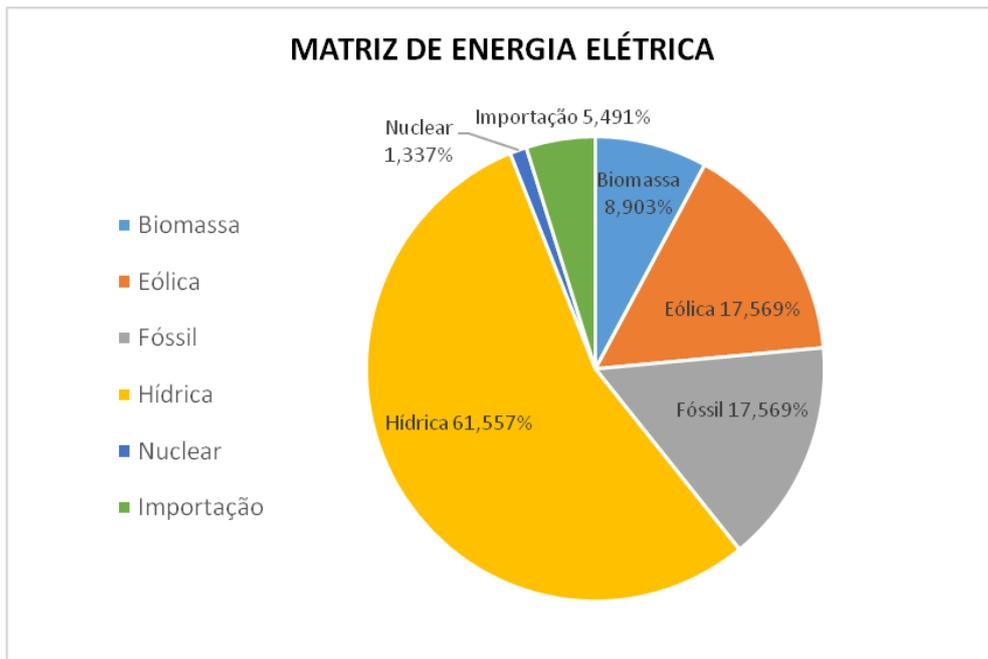


Gráfico 1 - Matriz de Energia Elétrica

Fonte: A autora (PDE-2024)

Entre os planos emergenciais que foram utilizados está o uso da capacidade máxima da energia térmica, a utilização de gás e a expectativa das chuvas se intensificarem. Com isso, aumentariam os níveis dos reservatórios antes de abril de 2015 e reduziriam o uso das usinas térmicas. Os níveis dos reservatórios demoraram um pouco para se estabilizar, mas atualmente, já estão estabilizados [8].

1.1.3. Uma nova crise

Recentemente, no período de estiagem, que gerou uma escassez de água, que em consequência fez com que ocorresse o esvaziamento das represas, gerando um racionamento de energia em alguns estados e temor de futuros apagões, revelou um fato iminente, o crescente aumento da demanda por energia elétrica sem o acompanhamento da estrutura operacional [8].

O problema não é somente uma consequência da escassez de chuva. Como não houve um acréscimo proporcional da capacidade de armazenamento dos reservatórios nas hidrelétricas, a crise energética coloca em evidência a fragilidade do sistema de abastecimento.

O Brasil está enfrentando outra crise energética. A falta de investimento no setor, aliada ao aumento gradativo do consumo resultou, no estabelecimento da crise que

afeta a população, já afetada pelo do racionamento imposto pelo Governo Federal. Os setores da sociedade vivem sob a meta da redução do consumo de energia, com o risco de cortes de fornecimento e multas.

Prevista e anunciada por diversos organismos da sociedade, especialmente nos últimos dois anos, a crise energética muitas vezes foi negada pelo Governo. É relevante também o fato de que em 1999, o Ministério das Minas e Energia (MME) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) elaboraram um Plano Emergencial de Energia Elétrica para enfrentar a prevista crise de 2001, e já constava naquele documento oficial uma ameaça de racionamento para 2015 [9].

Essa crise não surgiu por acaso e nem a causa pode ser justificada por apenas um motivo. Esse processo tem como referência histórica a redução de investimentos na transmissão, distribuição e conservação de energia elétrica, as transformações ambientais, incluindo os baixos índices pluviométricos e também o aumento da demanda em razão do desenvolvimento de novos empreendimentos, associado ainda a um aumento de consumo residencial de energia elétrica.

Como em toda crise, autoridades, especialistas e até a sociedade discutem as possíveis soluções para o setor de energia elétrica no Brasil. São muitas as alternativas. Busca-se, no entanto, alguns critérios de viabilidade.

É válida a ideia de que a dependência hidrológica do setor de energia elétrica é uma vantagem, pois além de apresentar um custo de geração mais baixo, o sistema hídrico proporciona suprimento de energia mesmo quando não há investimento no setor. As usinas termoelétricas, por exemplo, não possuem a maleabilidade das hidráulicas, porém, permitiu mascarar um pouco a crise, pondo seu efetivo máximo de geração quase a totalidade, suprimindo a demanda que estava surgindo, no entanto, com um custo muito mais elevado [1].

A parceria com a iniciativa privada para a construção de novas hidrelétricas, e linhas de transmissão, interligando todo o sistema elétrico é uma boa medida a longo prazo. A curto prazo uma possível solução seria a instalação de geradores movidos a diesel nas grandes indústrias, e a médio prazo, é preciso viabilizar a instalação de termoelétricas de médio porte, ou, o que seria o ideal, investir nas demais fontes alternativas, como biomassa, resíduos, carvão vegetal, e principalmente energia eólica, que mesmo considerando a dependência de ventos, continua sendo uma boa solução como complemento de um sistema de energia [10].

Atualmente o país dispõe de um parque termoeletrico que foi criado depois da crise de 2001 para compensar a pouca produção de energia pelas hidrelétricas. O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) está com praticamente todo o parque de gerador térmico disponível para atender a demanda. Ainda assim, tem sido obrigado a esgotar, gradativamente, os reservatórios hidrelétricos para evitar o racionamento de energia. No Gráfico 2, verifica-se o aumento da utilização das térmicas ao longo do ano de 2015.

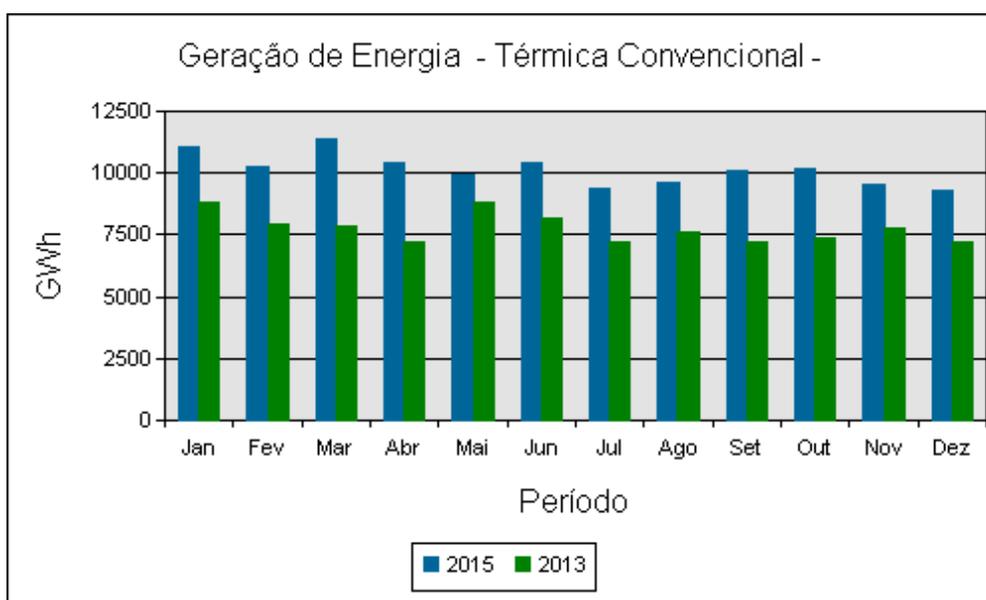


Gráfico 2 - Geração de Energia Térmica Convencional

Fonte: ONS

Diante dos problemas apresentados com a geração de energia elétrica, sabemos que a energia está custando mais caro, e é fortemente recomendado aos consumidores que adotem medidas que obtenham maior eficiência energética e, ao mesmo tempo, reduzam o seu consumo. Assim, como foi feito no racionamento de 2001, propõe-se avaliar a retomada de um programa de substituição de lâmpadas por modelos mais econômicos, tais como as lâmpadas LED.

1.2 Objetivo

O objetivo deste projeto de graduação é avaliar o impacto no sistema energético brasileiro que poderia ser produzido através de um programa de substituição de lâmpadas tradicionais por lâmpadas LED, bem como outros benefícios decorrentes do

uso das lâmpadas LED, que apresentam uma forte tendência de realização, pois oferecem vantagens principalmente em termos de durabilidade, eficiência energética e economia de energia.

1.3 Metodologia do Trabalho

O trabalho segue a seguinte metodologia:

- Revisão bibliográfica: histórica, fundamentos teóricos, normas técnicas e legislação.
- Pesquisa sobre metodologias de projetos de eficiência energética.
- Estudo de viabilidade técnico econômica da implementação da proposta.
- Estudos de casos.
- Análise de resultados e conclusões.

1.4 Organização do Trabalho

Este trabalho está dividido em oito capítulos. No Capítulo 1, é apresentada uma introdução mostrando a necessidade do estudo realizado, objetivo deste trabalho.

No Capítulo 2, é apresentada a base teórica para conceituação da eficiência e suas possíveis consequências que serão seguidas para a elaboração do estudo.

No Capítulo 3, introduz-se um breve resumo sobre o histórico de efficientização no Brasil e no mundo apresentando as medidas que foram tomadas e que impactaram o sistema de energia local.

No Capítulo 4, é analisado o especificamente os impactos da efficientização na iluminação com impactos em energia, ambiente sociedade e economia, utilizando todo o conteúdo descrito nos capítulos 2 e 3. Apresentando ainda as características das lâmpadas, comparando as lâmpadas LED com as PLs e as incandescentes.

No Capítulo 5, é apresentado o retorno social e ambiental desta troca. Quais os prejuízos e agressões ao meio ambiente que cada tipo de lâmpada causa e quais os ganhos sociais para a população em função desta troca.

No Capítulo 6, é detalhado o cenário ideal de substituições de lâmpadas tradicionais por lâmpadas LED, com apresentação dos resultados para o consumidor residencial, comercial, industrial e para o setor público.

No Capítulo 7, é analisado o tempo de retorno do investimento para os diversos setores detalhados no capítulo 6. Com reavaliação dos fatores que impedem ou desestimulam a troca em alguns setores.

No Capítulo 8, são apresentadas as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2. Impacto de Medidas de Eficiência no Sistema de Energia

Neste capítulo é apresentado um breve descritivo da utilização racional de energia com sua conceituação de eficiência, sua formulação, as recomendações dos especialistas para melhorar a eficiência.

2.1 Conceituação de Eficiência

Eficiência energética é uma atividade que busca melhorar o uso das fontes de energia. A utilização racional de energia chamada também simplesmente de eficiência energética, consiste em usar de modo eficiente a energia para se obter um determinado resultado. Por definição, a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização, é fazer mais com menos energia.

Um país que usa menos energia para atingir um mesmo resultado, ou mesmo superá-lo, reduz custos e polui menos, criando uma economia muito mais competitiva. [11].

Toda a energia passa por um processo de transformação após o qual se transforma em calor, frio, luz, etc. durante essa transformação uma parte dessa energia é desperdiçada e a outra, que chega ao consumidor, nem sempre é devidamente aproveitada. A eficiência energética pressupõe a implementação de medidas para combater o desperdício de energia ao longo do processo de transformação.

A eficiência energética acompanha todo o processo de produção, distribuição e utilização da energia, que pode ser dividido em duas grandes fases: Transformação e Utilização [12].

Transformação: A energia existe na natureza em diferentes formas e, para ser utilizada, necessita de ser transformada. Os processos de transformação, transporte e uso final de energia causam impactos negativos no meio ambiente. Parte destas perdas é inevitável e deve-se a questões físicas, mas outra parte é perdida por mau aproveitamento e falta de otimização dos sistemas.

Utilização: O desperdício de energia não se esgota na fase de transformação ou conversão, ocorrendo também durante o consumo.

Nesta fase, a eficiência energética é frequentemente associada ao termo "Utilização Racional da Energia" (URE), que pressupõe a adoção de medidas que permitem uma melhor utilização da energia, tanto no setor doméstico, como nos setores de serviços e da indústria.

Através da escolha, aquisição e utilização adequada dos equipamentos, é possível alcançar significativas poupanças de energia, manter o conforto e aumentar a produtividade das atividades dependentes de energia, com vantagens do ponto de vista econômico e ambiental [11].

Como forma de escolha e utilização adequada de equipamentos, podemos citar alguns exemplos: utilização de energia solar para aquecimento da água em substituição aos chuveiros elétricos; utilização de motores de alto rendimento em relação a motores tradicionais; na produção de vapor, ao invés de caldeiras à gás ou elétricas utilizar o reaproveitamento de gases de escape; cogeração; e o uso de placas solares, na climatização dos ambientes. A cada momento, novas soluções e sistemas são apresentados ao mercado, uma boa solução é a troca de um sistema antigo por um novo, que trará ao cliente final uma economia de 30 a 50% no custo da energia elétrica, além da redução no custo de manutenção, e como ponto principal, objetivo deste trabalho, a troca de lâmpadas tradicionais pelas lâmpadas LED, que contribuem com a diminuição da potência consumida, foco deste trabalho, com a diminuição do calor gerado que contribui com uma maior eficiência dos aparelhos de refrigeração e ainda com a manutenção devido ao seu tempo de vida útil.

A iluminação LED é uma solução eficiente e viável para enfrentarmos a crise energética do Brasil [13].

Observa-se que do total do consumo residencial mensal, cerca de 21% corresponde a iluminação, conforme pode ser observado no Gráfico 3.

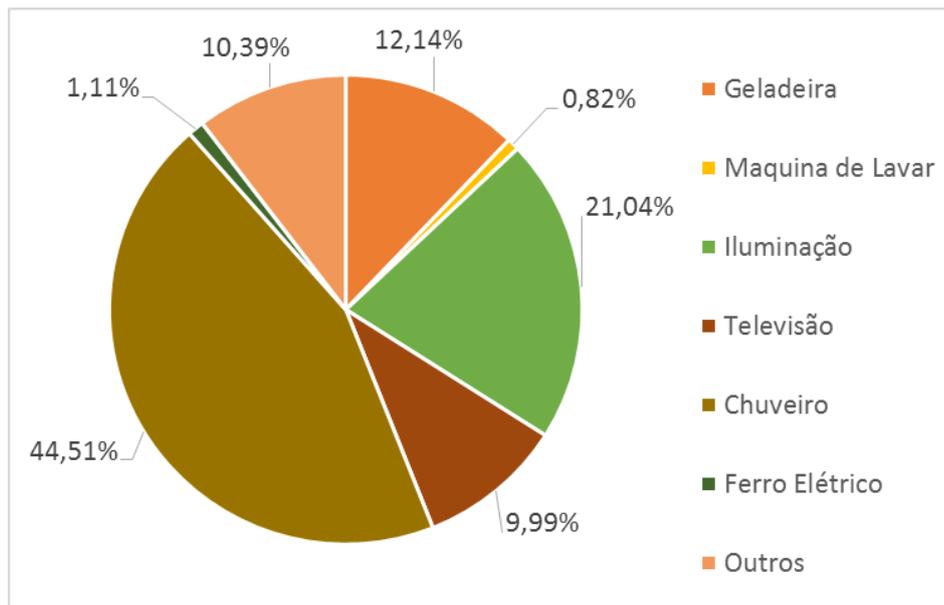


Gráfico 3 - Gasto com Energia numa Residência

Fonte: A autora (Procel - 2014)

Então, como reduzir o consumo de energia elétrica?

Inicialmente através de um planejamento para manter a eficiência da iluminação, porém com economia, sem abrir mão de um ambiente bem iluminado em sua empresa ou residência. Buscar soluções luminotécnicas eficientes, como a tecnologia LED, certamente ajudará na redução do consumo de energia elétrica com maior eficiência.

Mas a busca dessas soluções deverá levar em conta a escolha de luminárias e lâmpadas eficientes com tecnologia LED, observando sua potência, quantidade de lumens emitidos e a temperatura de cor de acordo com o tipo de ambiente que deseja iluminar. Assim, não haverá perda do conforto visual e fluxo luminoso [12].

2.2 Formulação

2.2.1 Eficiência energética

Define-se eficiência energética como a relação entre a quantidade de energia final utilizada e a quantidade total de energia que poderia ser consumida, como se pode ver na Equação 2.1 [21].

$$Eficiência\ Energética = \frac{Energia\ do\ Produto}{Energia\ Total\ Consumida} \quad (2.1)$$

Por exemplo, uma lâmpada transforma a eletricidade em luz e calor, porém seu objetivo é somente iluminar. Uma medida da sua eficiência é obtida dividindo a energia da luz pela energia elétrica usada [23], conforme Equação 2.2.

$$Eficiência\ Energética_{lâmpada} = \frac{luz\ (lm)}{Potência\ (W)} \quad (2.2)$$

Dessa maneira, relaciona-se a eficiência à quantidade de energia utilizada e não à quantidade de energia teórica mínima necessária para realizar a mesma tarefa [21]. O conceito relacionado à energia teórica mínima é o potencial de eficiência. Assim, quanto mais próximo do mínimo teórico for o consumo de energia, mais eficiente terá sido a tarefa sob o ponto de vista da eficiência energética.

2.3 Melhoria da eficiência

A tendência no mercado de iluminação é o crescimento da iluminação LED em todas as áreas de aplicações, residencial, comercial, industrial e iluminação pública. A previsão de crescimento do mercado de iluminação LED é de 45% ao ano até 2020 [34].

A substituição da iluminação convencional pela iluminação LED hoje é uma realidade para todos os segmentos. A busca constante pela redução do consumo de energia elétrica é uma meta a ser atingida com urgência.

Gastar menos e gerar mais. Trata-se do conceito de eficiência que a tecnologia LED leva ao setor de iluminação. Em comparação com as tradicionais incandescentes, por exemplo, as lâmpadas de LED consomem 85% menos de energia. O dado, por consequência, também reduz o impacto ambiental e a conta no final do mês [35].

O LED já supera, em eficiência energética, os demais modelos de lâmpadas usuais do mercado — incluindo fluorescentes compactas, de vapor metálico e a vapor de sódio em alta pressão. “Hoje os LEDs não são uma alternativa, mas sim a solução como fonte de luz para obter eficiência energética” segundo Isac Roizenblatt, diretor da Abilux (Associação Brasileira da Indústria da Iluminação).



Figura 10 - Comparativo de Vários tipos de Lâmpadas

Fonte: Folheto Casa e Vídeo

2.3.1 Potência X Luminosidade

Para escolha de uma lâmpada, geralmente vamos direto para as lâmpadas eletrônicas de 15W, porque são equivalentes às incandescentes de 60W. Com o LED entrando no mercado, muita gente fica condicionada, pensando que quanto maior a proximidade da potência do LED com a da fluorescente compacta, melhor. Só que não é bem assim. Por trás desse jogo de equivalência, existe um termo técnico: o fluxo luminoso. Ele que, de fato, indica o quanto uma lâmpada ilumina, e é o índice que deve ser considerado no cálculo das equivalências.

Por exemplo, conforme Figura 11, uma lâmpada LED de 5 W tem um fluxo luminoso de 470 lm (lumens), um valor aproximado ao fluxo luminoso de uma incandescente de 40 W, por isso uma é equivalente à outra. Por norma, todas essas informações devem constar na embalagem do produto.

Lâmpadas equivalentes

ULTRALED A60 5W	470 lúmens (lm)	Incandescente 40W
ULTRALED A60 10W	860 lúmens (lm)	Incandescente 60W
ULTRALED A60 12W	1055 lúmens (lm)	Incandescente 100W
ULTRALED A60 15W	1470 lúmens (lm)	Incandescente 150W

Figura 11 - Tabela de Equivalência entre as lâmpadas

Fonte: Catálogo Golden

Se uma lâmpada LED com 7W de potência informa que é igual a uma incandescente de 100W e não tem a informação do fluxo luminoso no verso da embalagem, desconfie. A potência jamais indica luminosidade por si só. Essa informação só se obtém com o fluxo luminoso.

Ainda não é obrigatório ter essas informações nas embalagens dos LEDs. O processo compulsório do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) deve acontecer somente após a certificação do Inmetro para lâmpadas LED [15].

2.3.2 Eficiência Luminosa

É um parâmetro que também tem que ser considerado. Ele define quantos lumens (lm) a lâmpada ilumina por Watt (W) consumido. Quanto maior esse número, melhor. As incandescentes têm uma eficiência de 12 lm/W, as fluorescentes compactas têm uma média de 60 lm/W e o LED tem uma média de 80 lm/W.

2.3.3 Temperatura de Cor

A iluminação usando a tecnologia LED oferece muitos benefícios e recursos. Muitos dos benefícios são óbvios, como a redução de custos no consumo elétrico, maior vida útil e menor geração de calor entre outros [16].

A tendência é que nos próximos anos o custo do LED vá baixar ainda mais e com isso será possível a substituição de todas as lâmpadas fluorescentes compactas ou incandescentes para as lâmpadas LED como já acontece nos automóveis importados. No entanto algumas características ainda não estão bem claras, como por exemplo, a questão da temperatura da cor [17].

Para os cientistas, a cor definida em uma escala de temperatura tem base comparativa, e corresponde a uma determinada distribuição espectral da fonte de luz. Um corpo radiador negro, tomado como ideal, emite luz em uma tonalidade comparável à de uma fonte de luz, e essa tonalidade depende da sua temperatura.

Para essa correlação convencionou-se o uso da temperatura absoluta, em graus Kelvin, onde 0 Kelvin é igual à temperatura de - 273 graus Celsius, como unidade da temperatura de cor.

Na prática, a temperatura de cor só faz sentido para fontes de luz que correspondem aproximadamente à radiação do corpo negro, ou seja, aquelas que emitem luz avermelhada / laranja passando pelo amarelo e pelo branco mais ou menos azulado. Não faz sentido falar de temperatura de cor, por exemplo, para tonalidades verdes ou para uma luz púrpura [15].

Observando-se o aquecimento de uma peça de ferro colocada no fogo, esta peça comporta-se segundo a lei de Planck, e vai adquirindo diferentes colorações na medida em que sua temperatura aumenta. Na temperatura ambiente tem uma cor escura, como geralmente vemos o ferro, mas sua cor se torna vermelha a 800 K, amarelada em 3.000 K e branca azulada em 5.000K, ou seja, a cor será cada vez mais clara à medida que a temperatura aumentar, até atingir o ponto de fusão.

Essa observação demonstra que o pico espectral é deslocado para comprimentos de onda mais curtos (resultando em um branco mais azulado) para temperaturas mais elevadas.

Na prática, denominamos a cor segundo nossa condição psicológica, ou seja, chamamos de **Quente** a cor mais **amarelada**, relacionando-a ao calor do Sol na zona tropical, e de **Fria** a cor mais **azulada**, relacionando-a ao frio do gelo dos polos da Terra. No entanto, fisicamente, quanto mais quente a temperatura de cor em Kelvin, mais azulada será essa cor e quanto mais fria, mais amarelada, conforme informado abaixo, que serve de referência para a escolha de lâmpadas e luminárias a LED [18]:

Branco Quente: tipicamente de 2600 Kelvin a 3500 Kelvin

Branco Neutro: tipicamente de 4000 Kelvin a 4500 Kelvin

Branco “Luz do dia”: tipicamente de 5000 Kelvin a 5500 Kelvin

Branco Frio: tipicamente acima de 6000 Kelvin.

A cor branca na faixa de temperatura de cor denominada “luz do dia” é a que mais se aproxima da luz do Sol ao meio-dia, que ilumina naturalmente os ambientes que frequentamos, sejam internos ou externos, depois de filtrada e afetada pela atmosfera da Terra, por isso ganhou esse nome.

Os LEDs brancos estão disponíveis em diferentes temperaturas de cor, à medida que utilizam mais ou menos fósforo em sua composição:

Branco Quente (2700-3500 Kelvin): comparável à tonalidade da lâmpada de filamento incandescente tipo bulbo

Branco Neutro (4000-4500 Kelvin): comparável às lâmpadas halógenas e de vapor metálico das lojas de varejo

Branco “Luz do Dia” (5000-6000 Kelvin): usada para melhor reprodução de cores, sendo tipicamente a temperatura de cor do “Sol do meio-dia” em muitas partes do mundo

Branco Frio (6000-7000 Kelvin): comparável às lâmpadas fluorescentes e de alta potência (lâmpadas de mercúrio ou vapor metálico) utilizadas em indústrias, comércios e tipicamente nos hospitais e drogarias.

A escolha da temperatura de cor mais adequada a cada ambiente é uma escolha pessoal, ou seja, cada pessoa tem sua preferência, mas especialistas em iluminação sugerem algumas referências para essa decisão [17]:

Branco Quente: luz preferida para restaurantes, sala de jantar, sala de estar, quartos e outros ambientes onde se deseja uma sensação de calma / relaxamento e conforto.

Branco Neutro: luz ideal para cozinha, sanitário e outros ambientes onde alguma tarefa seja executada com necessidade de um nível de atenção normal.

Branco “Luz do dia”: luz ideal para lojas, pontos comerciais, escritórios em geral, salas de aula, onde durante boa parte do dia também pode ser aproveitada a

iluminação natural para compor a iluminação total do ambiente, junto à iluminação artificial.

Branco frio: luz indicada para locais onde as tarefas exijam atenção máxima e onde seja importante realçar a limpeza do ambiente, ou falta dela, como em determinadas áreas de produção industrial, clínicas e hospitais, drogarias, etc.

Psicologicamente, a luz branca fria desperta a atenção do cérebro, enquanto a luz branca quente leva a um estado de maior relaxamento. Em geral, a maioria dos homens prefere a luz fria, enquanto a maioria das mulheres prefere a luz quente [15].

Tanto as temperaturas de cor muito baixas como as muito altas afetam significativamente a cor real dos objetos, com as baixas, tornando-os mais amarelados e as altas, mais azulados. A fidelidade na reprodução das cores é indicada por um índice: IRC – Índice de Reprodução de Cor, ou CRI, em inglês.

O IRC é um valor relativo à sensação de reprodução de cor, baseado em uma série de cores padrão. A luz que tem reprodução das cores com a máxima fidelidade atribui-se IRC = 100 (indicando 100% de fidelidade), que seria equivalente à luz natural do Sol do meio-dia [18], conforme Figura 12.



Figura 12 - Exemplo de Luz quente e Fria

Fonte: Manual Luminotécnico Prático - OSRAM

Em geral, o LED branco frio (acima de 6000K) entrega mais lúmens, porém a qualidade da iluminação não depende somente desse parâmetro. Conforme o ambiente, apesar de tecnicamente mais intensa, a iluminação na tonalidade branca fria pode representar uma iluminação de baixa qualidade, principalmente se a

reprodução fiel das cores for um aspecto importante, ou o estímulo cerebral dessa tonalidade não for adequado ao "clima" desse ambiente, sua decoração e às suas particularidades [17].

Na Figura 13, pode-se ver esse gráfico da escala Kelvin entre cor X temperatura.

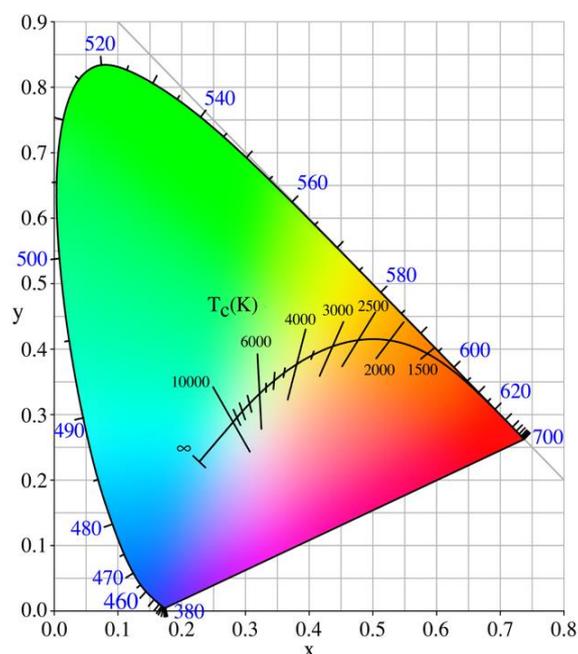


Figura 13 - LED - Cor x Temperatura - Escala Kelvin

Fonte: Especialize – Revista Online [46]

Quanto mais alta a temperatura da cor, mais clara é a tonalidade de cor da luz, mas tenha em mente que quando falamos em luz quente ou fria, não estamos falando de calor físico, mas sim da tonalidade de cor que ela irradia.

Por exemplo, um LED de 2.000 K é quente e tem uma tonalidade avermelhada já um LED com 7.000 K tem tonalidade mais clara puxada para um azulado. Já quando falamos em temperatura de uma cor equivalente a luz natural essa temperatura é de mais ou menos 5.600 K.

A escala de temperatura de Cor no LED

Para os que trabalham na área de eletrônica e tem afinidade com LEDs já se familiarizaram com a ideia de um LED branco ter uma gama de variações que vão do

branco quente ao branco frio. Então um LED de uma mesma cor branca pode variar muito, como você pode ver na imagem da Figura 14.



Figura 14 - Cores LED Branco

Fonte: Catálogo OSRAM - 2015

A Figura 15 apresenta uma tabela com a escala de conversão Kelvin para LED.

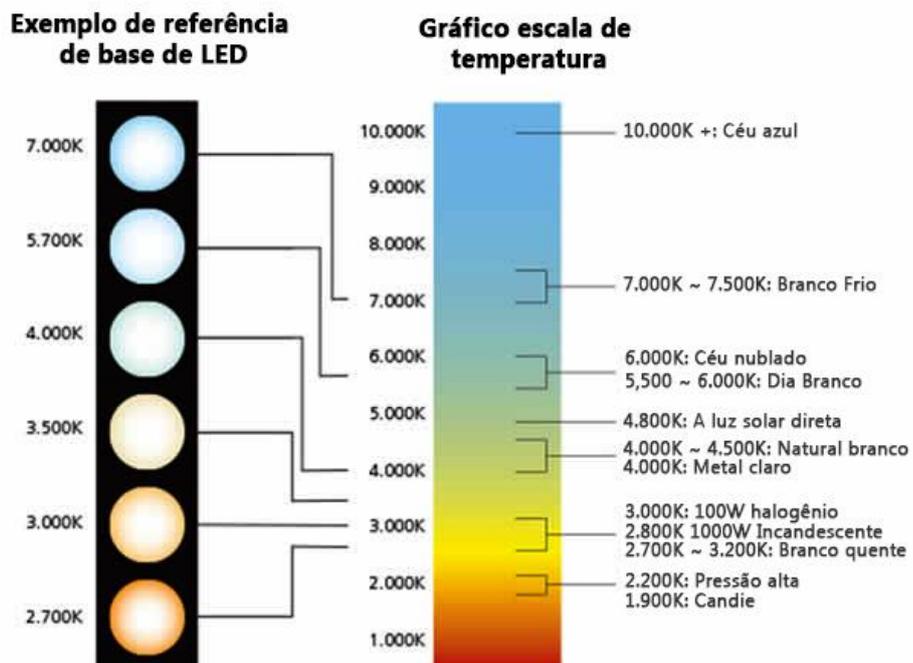


Figura 15 - Temperatura de cor do LED

Fonte: Especialize – Revista Online [46]

É importante lembrar que temperatura especifica apenas a tonalidade da Luz, e não tem nada a ver com a intensidade de luz ou fluxo luminoso, este é medido em lumens ou candela.

MCD de um LED

O MCD é uma medida de intensidade luminosa, a candela (ou vela), ela é definida a partir da potência irradiada por uma fonte luminosa em uma particular direção e o seu símbolo é CD, e o MCD expressa a miliCandela. Por exemplo, um LED comum tem aproximadamente 30 MCD, um LED de alto brilho tem de 9000 a 20000 MCD (ou 20 CD) e uma lâmpada incandescente de 40 W tem 33 CD [19].

2.3.4 Durabilidade

A eficiência energética do LED contribui diretamente com o fator sustentabilidade, pois diminui o impacto ambiental. Além disso, o LED também se destaca pela durabilidade. A sua vida útil pode variar de 15 a 25 mil horas, sendo a mais longa entre todas as tecnologias [19].

2.3.5 Energia convertida em Luz

Toda energia que uma lâmpada de LED utiliza é convertida em luz. O fato esclarece a eficácia energética dessa tecnologia. Numa incandescente convencional de 50 W – aquilo que sai do fecho de luz –, 5% é luz e 80% é calor. Já com o LED, todo o processo de trabalho é voltado para geração de luz. Também não emitem raio ultravioleta e nem infravermelho, fatores estes que reduzem o impacto ao meio ambiente [15].

2.3.6 Descarte

Por ter alta durabilidade, a lâmpada de LED possui menor índice de descarte no meio ambiente — sem contar que todos os seus componentes podem ser reciclados. Ao final da vida útil, o produto deverá seguir a logística reversa prevista para eletroeletrônicos. A lâmpada deve ser desmembrada e cada tipo de material ser destinado ao seu tipo de reciclagem específica [18].

2.3.7 Aplicação, Manutenção e Custo

As lâmpadas de LED — assim como módulos e luminárias com LED — podem ser utilizadas em praticamente todos os tipos de aplicação, em áreas internas ou externas. Sua alta eficiência a torna especialmente interessante para locais que demandam grande gasto energético.

Porém, como o IRC (Índice de Reprodução de Cores) do LED é menor do que de outras tecnologias — como da halógena —, ele se torna menos recomendado para projetos que exijam alta reprodução de cor ou maior brilho. Além disso, o LED não suporta altas temperaturas. Mesmo trabalhando com um corpo dissipador, ele se limita a temperaturas de -20°C e 40°C [18].

Outro fator que pode ser desfavorável é o preço menos competitivo do LED — o custo de uma lâmpada LED ainda é alto. No entanto, essa questão torna-se relativa, se o consumidor considerar a baixa necessidade de manutenção. Deve-se levar em consideração que quanto mais tempo o produto durar, mais sustentável a manutenção fica e maior é a redução do custo.

2.3.8 Versatilidade e Mercado

O LED vem ampliando os modelos de luminárias do mercado. A flexibilidade da tecnologia do diodo emissor de luz viabiliza o desenvolvimento de produtos para iluminação em formatos inovadores e com dimensões reduzidas. As Fitas de LED, fonte de luz vendida em metro linear, servem como prova. O LED permite diversos modelos e formatos para atender diversos mercados e públicos.

A Abilux estima que a aceitação da tecnologia LED no setor de iluminação deva crescer 30% ao ano. Segundo a entidade, as vantagens energéticas, estéticas e ambientais têm motivado a transformação do mercado. “Há previsões de que, por volta de 2020, 70% do faturamento mundial em iluminação seja de produtos com LED” [19].

3. Histórico da Eficientização Energética no Mundo e no Brasil

O presente capítulo apresenta uma breve explicação de como se iniciou a preocupação por um consumo de energia eficiente e sustentável no mundo e especificamente no Brasil, define algumas regulamentações, normas e certificações que surgiram para serem aplicadas ao setor elétrico e ainda como os setores público e privado se comportaram e quais atitudes tomaram em relação ao tema “Eficiência Energética”.

3.1. Regulamentação

3.1.1. Conceito de Gerenciamento de Energia e de Medidas Otimizadoras.

No período de 1973, o Brasil possuía algumas usinas de geração térmica e a crise atingiu em cheio a economia nacional. O País sofreu o impacto da elevação dos preços da energia, devido à forte dependência que sofria – na época da crise do petróleo, 80% do óleo bruto consumido no Brasil era importado. Com isso, os custos aumentaram muito, e por uma questão econômica, as empresas e as indústrias precisaram economizar energia. Ao mesmo tempo, houve um estímulo nacional de mudança de matriz energética. É dessa década o Programa Nacional do Alcool (Proálcool), que estimulou a substituição de combustíveis derivados do petróleo pelo etanol da cana-de-açúcar e o início da construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu [20].

O governo federal incentivou ainda a diversificação da matriz energética para fontes renováveis geradoras de energia elétrica, em especial a hidroeletricidade, e a iniciativa privada começou a adotar conceitos já difundidos em outros países, a fim de começar a gerenciar a energia utilizada nos processos industriais. O crescente apelo ambiental e de sustentabilidade, que ganharam popularidade nos últimos 20 anos, em especial, na última década, também foram importantes para que governo e empresas se mobilizassem.

No meio da década de 1980, começaram a surgir no Brasil lâmpadas econômicas, inversores de frequência e processos de automação, que deram ao mercado de instalações elétricas a chance de otimizar o consumo de energia, com apelo econômico, mas ainda de maneira incipiente e isolada. Ações mais coordenadas nesse sentido só foram registradas no fim do século XX e início deste século.

Mas as iniciativas eram pontuais, tomadas principalmente por grandes empresas que tinham grandes consumos e custos com eletricidade. Não havia ainda iniciativas significativas governamentais de incentivo à conservação, ao gerenciamento ou à eficiência energética. Foi apenas no fim de 1985, que o governo começou então a pensar no assunto, quando os ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio criaram o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), sendo gerido por uma Secretaria Executiva, subordinada à Eletrobrás [24].

Apesar de ter sido instituído na metade da década de 1980, o programa tinha abrangência restrita e suas ações não contemplavam todas as concessionárias de energia, tampouco os fabricantes de equipamentos e produtos eletroeletrônicos. Em 1991, o programa foi ampliado e adquiriu mais responsabilidades. Neste ano, ficou estabelecido que todas as empresas do setor elétrico deveriam destinar 1% de sua receita em ações de conservação de energia, segundo documento da Eletrobrás Furnas, empresa do Sistema Eletrobrás [29].

Legalmente, o Procel tem a finalidade de integrar as ações, visando à conservação de energia elétrica no País, em uma visão abrangente e coordenada. Ele tem por objetivo promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos e os investimentos setoriais. Nesse sentido, em 1993, foi instituído o Selo Procel de Economia de Energia, que indica ao consumidor comum os produtos – entre eletroeletrônicos, eletrodomésticos e equipamentos industriais – que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. Só a partir daí o programa ganhou força e representatividade nacional [24].

De 1985 a 2007, a Eletrobrás calcula que, por iniciativa do Procel, foi economizado 28,5 milhões de MWh no País, o que seria equivalente ao consumo de 16,3 milhões de residências e à energia gerada por uma hidrelétrica de capacidade instalada de 6.841MW, com um custo aproximado de R\$ 19,9 bilhões [24].

Para reforçar a prática do uso eficiente da energia, foi criado em 1992 o Instituto Nacional de Eficiência Energética (Inee), uma organização não governamental sem fins lucrativos, sediada no Rio de Janeiro, que tem por objetivo promover a transformação e o uso final eficiente de todas as formas de energia. Além disso, outra entidade, a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (Abesco), uma entidade civil, sem fins lucrativos, que representa oficialmente o segmento de eficiência energética brasileiro, fomenta e promove, desde 1997, ações e projetos para o crescimento do mercado de eficiência energética [23].

Mas, sem dúvidas, uma das ações que mais influenciou na adoção de medidas de gerenciamento de energia foi o racionamento de energia elétrica de 2001.

A década de 2000 foi determinante para a difusão de práticas de gerenciamento de energia por parte das empresas, sobretudo após o racionamento, finalizado em 2002. Diversas ações de eficiência energética adotadas pelo governo e por iniciativas privadas ou organizações não governamentais contribuíram para a conscientização em torno da economia de energia, tanto em consumidores industriais, quanto em comerciais e residenciais.

Em 2005, a Aneel publicou uma resolução normativa que estabeleceu os critérios para a aplicação de recursos em Programas de Eficiência Energética no País. Determinou, com isso, que as concessionárias de energia elétrica teriam de investir, até 31 de dezembro de 2005, no mínimo, 0,5% da sua Receita Operacional Líquida (ROL) em programas de eficiência energética e, a partir de 1º de janeiro de 2006, o percentual passou para, no mínimo, 0,25%. Esta ROL é obtida, depois de descontados os impostos, a partir da venda de energia elétrica, da receita pela disponibilidade da rede elétrica, da renda da prestação de serviços das concessionárias, de arrendamentos e aluguéis, do serviço taxado e de outras receitas operacionais eventuais [11].

Menos de 1% da receita dessas empresas pode parecer pouco, mas, para se ter uma base de quanto isso representa no desenvolvimento de projetos de eficiência energética no País, em números absolutos, de 1998 a 2007, foi investido cerca de R\$1,9 bilhão, referente a todas as concessionárias elétricas do Brasil, em programas desse tipo, segundo a Aneel. Com essa resolução normativa, diversas iniciativas foram realizadas no País [11].

Um artifício que promete aumentar o número de empresas com ações de gerenciamento é a norma de gestão de energia, além de organizar os processos e certificar empresas. O documento está sendo elaborado na Organização Internacional de Normalização, a ISO, do inglês "International Organization for Standardization". A norma, em questão, é a ISO 50001 e o início de seu desenvolvimento data de março de 2007 [30].

A ISO 50001, de gestão de energia, será aplicada nos mesmos moldes das demais normas ISO. Como se trata de uma norma voluntária, em um primeiro momento, o governo deve oferecer algum incentivo, mais ou menos como aconteceu no início com as normas de gestão da qualidade (ISO 9001) e de meio ambiente (ISO 14001). Essa

norma foi finalizada e publicada, em junho/2011, juntamente com a norma nacional ABNT NBR ISO 50001 [31].

O propósito da Norma de Gestão da Energia ABNT NBR ISO 50.001 é de permitir o estabelecimento de sistemas e processos para melhoria contínua do desempenho energético nas organizações; ser aplicável a todos os tipos de organizações; ser integrada a outros sistemas de gestão; e finalmente ser utilizada para certificação, registro ou autodeclaração [22].

Com a aplicação Global da Norma de Gestão da Energia são esperados os seguintes resultados: Maior disponibilidade de suprimento de energia; melhoria da competitividade de organizações e o impacto positivo nas mudanças climáticas.

3.1.2. Aspectos Legais e Institucionais no Brasil

O Brasil possui várias instituições que lidam regularmente com o tema da eficiência energética, tais como o Ministério de Minas e Energia – MME; a ELETROBRÁS, responsável pela execução do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel); a PETROBRÁS, responsável pela execução do Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural (Conpet); a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, responsável pela execução do Programa de Eficiência Energética das Concessionárias Distribuidoras de Energia Elétrica – PEE; as próprias concessionárias distribuidoras; o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro, responsável pela execução do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE; e algumas grandes empresas industriais, que possuem programas internos de conservação de energia [24].

No passado pode-se destacar o Decreto no 20.466, de 01/10/1931, como um dos primeiros instrumentos legais relacionados à eficiência energética. O mesmo instituiu o primeiro horário de verão no Brasil, “no período de 11h de 03/11/1931 até 24h de 31/03/1932, em todo o Território Nacional”. Como outro instrumento legal tem-se o Decreto no 41.019, de 26/02/1957, que visava regulamentar os serviços de energia. O Art. 10, inciso I, destacava “Caberá ao Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica - CNAEE determinar ou propor a utilização mais racional e econômica das instalações” [11].

Atualmente, o Plano Nacional de Energia (PNE 2030) definiu para 2030 uma meta de economia de 10% no consumo final de energia elétrica, a ser alcançada mediante o

incremento da eficiência dos sistemas energéticos, e evidenciou a necessidade de elaborar um plano específico para atender esse desafio. Com esse propósito, o Ministério de Minas e Energia vem elaborando o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), que deverá nortear essas atividades e constituir um direcionamento fundamental para o desenvolvimento da eficiência energética no País [11].

Um dos instrumentos legais recentes no Brasil é a Lei nº. 10.295/2001 (Lei de Eficiência Energética) e o Decreto nº 4.059/2001, que regulamentou a referida Lei e criou o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), com a função, dentre outras, de elaborar um programa de metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado. Outro instrumento importante é o Programa Brasileiro de Etiquetagem e o Selo PROCEL de Economia de Energia que responde atualmente pela maioria dos resultados obtidos pelo Procel [22].

3.1.3. O Programa de Conservação de Energia Elétrica

O Procel foi instituído em 30 de dezembro de 1985 pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio, sendo gerido por uma Secretaria Executiva subordinada à Eletrobrás e se constituindo no programa mais abrangente e de maior continuidade na área de uso eficiente de energia elétrica no País. Sua atuação, investimentos e mesmo eficácia, no entanto, sofreram flutuações significativas ao longo do período, mas ainda permanece como um apoio institucional importante para alguns programas como o Programa Brasileiro de Etiquetagem, projetos na área de saneamento, edifícios públicos e informação para o público em geral [24].

O Procel aplica, de forma voluntária, recursos da Eletrobrás enquanto existe a obrigação das concessionárias distribuidoras de energia elétrica realizarem investimentos anuais em programas de eficiência de acordo com um percentual de sua receita anual líquida. Em 2007, o investimento total realizado pelo Procel foi de R\$ 53 milhões, e de R\$ 31,3 milhões em 2008, sendo que os recursos aplicados pelas empresas distribuidoras de eletricidade em projetos de eficiência energética foram de mais de R\$ 261 milhões durante o ano fiscal de 2006/2007.

Ao longo dos anos, diversos subprogramas foram empreendidos pelo Procel, alguns com relevante sucesso, como o caso da etiquetagem e atribuição do Selo Procel a equipamentos elétricos e coletores solares, com destaque para refrigeradores, e o programa RELUZ, voltado para a iluminação pública [24].

Segundo o Procel estima-se que no ano de 2014 foram economizados aproximadamente 10.517 bilhões de kWh decorrentes das ações implementadas equivalente a 2,2% do consumo total de energia elétrica no Brasil no período. Essa energia economizada pode ser convertida em emissões evitadas de 1,5 milhão tCO₂ equivalentes, o que corresponde às emissões proporcionadas por 489 mil veículos durante um ano. Esse resultado também equivale à energia fornecida, em um ano, por uma usina hidrelétrica com capacidade de 2.522 MW. Além disso, estima-se que as ações fomentadas pelo Procel contribuíram para uma redução de demanda na ponta de 4.022 MW.

Os resultados energéticos globais alcançados pelo Programa se devem principalmente ao Selo Procel Eletrobrás, indicando o foco que tem sido dado ao consumidor final, por meio da orientação e do estímulo à aquisição de equipamentos mais eficientes. Esse resultado imputado ao Selo Procel Eletrobrás incorpora a contribuição indissociável da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE, concedida pelo Inmetro. Ao longo dos anos, o Selo vem contribuindo para um aumento dos índices de eficiência energética de diversos equipamentos, e conseqüentemente, para uma redução significativa do consumo de energia elétrica no país [29].

O Selo Procel foi instituído em 1993 e anualmente é conferido aos equipamentos que possuem os melhores índices de eficiência energética de cada categoria de equipamento, de acordo com os resultados dos ensaios de avaliação da etiqueta do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE. A economia de energia e de capacidade decorrentes do Selo Procel nos principais produtos que recebem essa distinção tem sido objeto de discussão e aperfeiçoamento [24].

Cabe também ressaltar que o resultado obtido em economia de energia com a realização das ações do Procel, em 2014, é 7,9% superior ao resultado do ano anterior. Isso pode ser explicado pela melhoria na eficiência energética de equipamentos com Selo Procel, bem como pelo aumento do uso de equipamentos eficientes pela sociedade [24].

3.1.4. A ANEEL e o Programa de Eficiência Energética

Instituída pela Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e regulamentada pelo Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997, a ANEEL é autarquia sob regime especial, com personalidade jurídica de direito público e autonomia patrimonial, administrativa e financeira, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, com a finalidade de regular e

fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, em conformidade com as políticas e diretrizes do governo federal [11].

Dentre as competências da ANEEL (Decreto nº 2.335/97), destacamos aquela afeita diretamente à eficiência energética: incentivar o combate ao desperdício de energia no que diz respeito a todas as formas de produção, transmissão, distribuição, comercialização e uso da energia elétrica. Assim, a ANEEL editou, em 24 de julho de 1998, a Resolução nº 242, prevendo a obrigação de investimento anual pelas concessionárias de serviço público, em ações envolvendo eficiência energética, de, no mínimo, 1% da receita operacional apurada no ano anterior. Nessa linha, a ANEEL, através da Resolução nº 318, de 06 de outubro de 1998, previu a aplicação de multa aos concessionários que não apresentarem, nos prazos previstos e segundo as diretrizes dessa Agência, os programas anuais de incremento à eficiência no uso e na oferta de energia elétrica, bem como os relativos à pesquisa e desenvolvimento tecnológico do setor elétrico. Através da Resolução nº 261, de 03 de setembro de 1999, a ANEEL regulamentou a obrigatoriedade de aplicação de recursos das concessionárias de distribuição de energia elétrica em ações de combate ao desperdício de energia elétrica e pesquisa e desenvolvimento tecnológico do setor elétrico para o biênio 1999/2000, estabelecendo limites para ações relacionadas aos setores residencial, industrial, prédios públicos, assim como para projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico do setor elétrico.

Desde o primeiro ciclo (1998/1999) do Programa de Eficiência Energética - PEE o processo de sua elaboração e condução vem sofrendo mudanças significativas. No início, nem as empresas e nem mesmo o órgão regulador tinha a exata noção da forma de conduzir tais projetos e, decorridos todos esses anos, várias foram às mudanças sofridas, traduzidas por diversas resoluções [22].

É importante destacar que nesse período de existência do PEE, um importante avanço foi a criação, pela ANEEL, de uma superintendência denominada Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética – SPE, apenas para tratar da regulamentação e acompanhamento dos Programas de Eficiência Energética juntamente com os programas de P&D [29].

Em 2000 a crise de abastecimento de energia elétrica experimentada no País, levou à implantação de ações que promovessem a racionalização do consumo de energia elétrica de maneira rápida e emergencial, procurando assim, evitar (ou mitigar) seu racionamento. Com isso, as Resoluções Aneel nº 153, de 18/4/2001 e nº 186, de 23/5/2001, alteraram os critérios de aplicação dos recursos em ações de combate ao

desperdício de energia elétrica para o ciclo 2000/2001, previamente estabelecidos na Resolução 271/00. Assim sendo, as concessionárias, deveriam aplicar recursos, no mínimo de 0,25% da ROL em projetos de doação de lâmpadas fluorescentes compactas a consumidores de baixo poder aquisitivo e, no mínimo de 0,5%, deveria ser aplicada em projetos de efficientização da iluminação pública. É importante destacar que os projetos que já se encontravam aprovados pela ANEEL e aqueles tinham contratos de fornecimento de materiais e/ou serviços comprovadamente firmados, poderiam ser concluídos [30].

Outra regulamentação mais recente é aquela que trata dos investimentos destinados a projetos em comunidades de baixo poder aquisitivo, as chamadas baixa renda. A atual resolução nº 300, de 12/02/2008 destaca que as “concessionárias ou permissionárias deverão aplicar no mínimo 50% da obrigação legal de investimento em programas de eficiência energética em projetos voltados a comunidades de baixa poder aquisitivo”.

Outros destaques foram a eliminação dos regimes de ciclos, ou seja, a qualquer momento o projeto pode ser enviado, a necessidade de qualquer projeto apresentar uma metodologia de medição e verificação de resultados (M&V) e que os projetos cujo beneficiário desenvolva atividades com fins lucrativos devem ser feitos mediante Contrato de Desempenho. Uma forma de se criar um “fundo” para projetos de eficiência energética e para a sua gestão consta no Manual MPEE – 2008, reproduzido a seguir:

“...após dois anos da publicação deste manual, para as concessionárias/permissionárias com mercado de energia elétrica superior a 1.000 GWh/ano, o custo do plano de gestão deverá ser bancado, integralmente, com recursos provenientes de contratos de desempenho. O recurso fica limitado ao menor valor entre R\$ 250.000,00 por ano e 20% das receitas provenientes de contrato de desempenho. Os valores aqui referidos podem ser cumulativos para realização de planos de gestão em períodos posteriores”.

O valor a ser aplicado no PEE pelas concessionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica vem sofrendo seguidas alterações como decorrência da aplicação das Leis nº 9.991, de 24/07/2000 e nº 11.465, de 28/03/2007. Assim, até o ano de 2010 estava previsto a aplicação em Programas de Eficiência Energética o valor de 0,50% da receita operacional líquida (ROL) das distribuidoras de energia elétrica. Após esse período o valor deveria retornar ao percentual de 0,25% da ROL [29].

Em 20 de janeiro de 2010 foi sancionada e publicada a Lei nº 12.212 alterando novamente os percentuais destinados ao PEE pelas empresas distribuidoras de energia elétrica. Assim, até 31 de dezembro de 2015, os percentuais mínimos serão de 0,50% (cinquenta centésimos por cento), tanto para pesquisa e desenvolvimento como para programas de eficiência energética na oferta e no uso final da energia. No entanto, as concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica deverão aplicar, no mínimo, 60% (sessenta por cento) dos recursos dos seus programas de eficiência para unidades consumidoras beneficiadas pela Tarifa Social [31].

3.1.5. A Lei nº 9.991

A Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica. Naquele momento da publicação da lei, as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica ficaram obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, setenta e cinco centésimos por cento de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e, no mínimo, vinte e cinco centésimos por cento em programas de eficiência energética no uso final [11].

Até 31 de dezembro de 2005, estes percentuais mínimos definidos no parágrafo anterior foram de cinquenta centésimos por cento, tanto para pesquisa e desenvolvimento, como para programas de eficiência energética na oferta e no uso final da energia. Tais recursos serão deduzidos daquele destinado aos programas de conservação e combate ao desperdício de energia, bem como de pesquisa e desenvolvimento tecnológico do setor elétrico, estabelecidos nos contratos de concessão e permissão de distribuição de energia elétrica celebrados até a data de publicação desta Lei.

As concessionárias de geração e empresas autorizadas à produção independente de energia elétrica e as de serviços públicos de transmissão, também ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, um por cento de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico, observando as condições estabelecidas na Lei. A ANEEL estabelecerá regulamentos para aplicação de parte destes recursos inclusive para aqueles destinados a eficiência energética. A

Lei prevê a constituição, no âmbito do Ministério da Ciência e Tecnologia, que lhe prestará apoio técnico, administrativo e financeiro, Comitê Gestor com a finalidade de definir diretrizes gerais e plano anual de investimentos, acompanhar a implementação das ações e avaliar anualmente os resultados alcançados na aplicação de parte dos recursos de que a Lei [31].

O Comitê Gestor é composto pelos seguintes membros:

I – três representantes do Ministério da Ciência e Tecnologia, sendo um da Administração Central, que o presidirá, um do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e um da Financiadora de Estudos e Projetos – Finep;

II – um representante do Ministério de Minas e Energia;

III – um representante da ANEEL;

IV – dois representantes da comunidade científica e tecnológica;

V – dois representantes do setor produtivo.

Posteriormente, a Lei no 10.848, de 15 de março de 2004, provocou novas alterações na distribuição dos recursos relativo aos 1% que as empresas de energia elétrica devem aplicar em programas de conservação de energia e P&D no setor elétrico.

Em 20 de janeiro de 2010 foi sancionada e publicada a Lei nº 12.212, alterando novamente os prazos de vigência e os percentuais destinados ao PEE pelas empresas distribuidoras de energia elétrica [22].

Assim, até 31 de dezembro de 2015, os percentuais mínimos serão de 0,50% (cinquenta centésimos por cento), tanto para pesquisa e desenvolvimento como para programas de eficiência energética na oferta e no uso final da energia.

3.1.6. A Lei de Eficiência Energética

Um marco importante para a eficiência energética no Brasil ocorreu com a sanção da Lei 10.295/2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. A lei prevê, em seu artigo 2º que o poder executivo estabelecerá “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados e comercializados no país”. O Decreto 4.059/2001 instituiu o Comitê Gestor de

Indicadores e de Níveis de Eficiência Energética – CGIEE, que possui dentre suas atribuições a elaboração das regulamentações específicas para cada tipo de aparelho consumidor de energia e o estabelecimento do Programa de Metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados por cada equipamento regulamentado [32].

O CGIEE iniciou seus trabalhos em julho de 2002 e obteve resultados concretos que se traduzirão em economia de energia significativa para o país ao longo do tempo. Inicialmente foram desenvolvidos os seguintes produtos principais:

a. Plano de Trabalho para implementação da Lei.

b. Regulamentação específica de motores.

c. Decreto Presidencial nº 4.508 de 11 de dezembro de 2002 que dispõe sobre a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução.

O primeiro equipamento selecionado pelo CGIEE para ser objeto da regulamentação específica foi o motor elétrico trifásico, em função do significativo consumo de energia – estimado em cerca de 30% do consumo total do país e 50% do consumo do setor industrial. Da mesma forma, o estabelecimento de regulamentação específica para lâmpadas fluorescentes compactas propiciará a melhoria da qualidade geral dos produtos disponíveis, com a retirada do mercado de produtos de baixa qualidade. A consolidação da implementação da Lei Nacional de Eficiência Energética produzirá, como consequência, os seguintes fatos [32]:

a. Retirar do mercado, no médio e longo prazo, os equipamentos menos eficientes energeticamente.

b. Obter economia de energia ao longo do tempo.

c. Promover o desenvolvimento tecnológico, através da fabricação de equipamentos energeticamente mais eficientes.

d. Promover o aumento da competitividade industrial do país.

e. Reduzir os gastos dos consumidores.

f. Contribuir para a redução dos impactos socioambientais através do uso de equipamentos que consomem menos energia.

É importante citar que em paralelo a aplicação da Lei de Eficiência Energética, de natureza compulsória, tem-se o suporte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) estabelecendo padrões e /ou etiquetas de eficiência energética dos equipamentos, de forma voluntária. O Brasil começou a implementar o PBE com o apoio da Eletrobrás/Procel e do INMETRO, a partir de 1985. Entre os vários equipamentos já etiquetados podem ser destacados motores elétricos trifásicos, refrigeradores e congeladores (freezers), condicionadores de ar, coletores solares, lâmpadas fluorescentes compactas, reatores eletromagnéticos, fogões e fornos a gás [24].

3.1.7. A Empresa de Pesquisa Energética

A Empresa de Pesquisa Energética – EPE, instituída através da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras. Entre suas competências cabe à EPE realizar estudos e projeções da matriz energética brasileira e a elaboração e publicação do Balanço Energético Nacional (BEN) [22].

Particularmente em relação à eficiência energética, a EPE tem por finalidade “promover estudos e produzir informações para subsidiar planos e programas de desenvolvimento energético ambientalmente sustentável, inclusive, de eficiência energética” e “promover planos de metas voltadas para a utilização racional e conservação de energia, podendo estabelecer parcerias de cooperação para este fim” [21].

3.1.8. A ISO 50001:2011

ISO 50001:2011 não examina apenas como deve ser o desempenho de um Sistema de Gestão de Energia. Assim como as normas para gestão da qualidade e gestão ambiental, a norma se baseia no chamado ciclo PDCA. Aqui, P significa "Plano", D "Do (fazer)", C "Check (verificar)" e A for "Act (agir)" [30].

O uso de energia e de outros recursos como a água ou substâncias fósseis, deve ser transferido para processo controlável usando orientações e instruções. A gestão de energia uniforme não é um disfarce, mas um processo que ajuda a empresa a se

familiarizar o seu consumo e custos sem limitar o volume e a qualidade de sua produção.

Da gestão de fábrica a todos os membros da equipe, todos aqueles que desempenham um papel em uma empresa estão envolvidos, desde concordar com as metas para os resultados de controle até etapas procedimentais qualificadas. Assim, com a ISO 50001:2011 dá-se um grande valor na gestão de toda a energia em uma empresa e deve ser integrada à cadeia de valor completa.

O núcleo da nova norma é o esquema PDCA: “Planejar Fazer Verificar Agir”. Isso significa que ele envolve uma abordagem de quatro etapas [29].

Planejar: No primeiro passo, a situação real é compreendida. Com base em indicadores de desempenho de resultados de energia de saída, são criados metas e planos vinculantes.

Fazer: Os planos da Etapa 1 são implementados.

Verificar: Os resultados devem ser medidos, monitorados e documentados. As metas foram atingidas e os dados de produção ainda correspondem às diretrizes?

Agir: Etapas bem-sucedidas devem ser estabelecidas e desenvolvidas em toda organização. A ação corretiva da fase. Agir forma o ponto inicial para o próximo ciclo no processo de certificação ISO 50001.

Os princípios fundamentais das normas ISO 50001:2011 mostram claramente que um bom funcionamento do Sistema de Gestão de Energia deve permanentemente medir, coletar, processar e analisar dados de produção e consumo. O principal instrumento para isso é um Sistema de Gestão de Dados de Energia (SGE), que tem tudo controlado, de medidores de consumo de energia até relatórios significativos [22].

3.2. Eficiência Energética no Mundo.

Com o repentino choque do Petróleo, na década de 70, que ocasionou as principais crises de suprimento de energia, líderes de todo mundo readequaram suas estratégias de gerenciamento e utilização dos recursos energéticos disponíveis. Para minimizar os efeitos gerados por tal crise, surgiram assim algumas medidas de geração e utilização de energia com mais eficiência.

Países desenvolvidos industrialmente organizaram-se e levantaram fundos para investimentos em projetos voltados para efficientização do uso de energia e para projetos que utilizavam fontes renováveis de energia. Os objetivos destes investimentos eram de diminuir a dependência em relação ao uso do petróleo e seus derivados [22].

Por volta dos anos 80, mais um problema entrou em questão quanto ao uso dos combustíveis fósseis originados pelo petróleo, estes estavam afetando consideravelmente o clima, portanto, novamente virando pauta de assuntos de cunho mundial.

O Resultado disto foi o protocolo de Kyoto em 1997. Este protocolo foi um acordo internacional em que os países solicitantes estabeleceram metas de redução de emissões de CO₂. Para alcançar tais objetivos, foram necessárias medidas e mecanismos que estimulassem a eficiência energética. [22]

O Canadá, por exemplo, iniciou seus programas de efficientização de energia na década de 70, porém só em 1995 foi criado o National Action Program on Climate. Seus principais programas, atualmente, são voltados para a indústria, setor público, transportes, normalizações de equipamentos na construção civil, programa de etiquetagem de padrões eficientes e de conservação de energia [14].

A Espanha, por sua vez, com o programa de Eficiência Energética por meio do Instituto para Diversificação e Economia Energética (IDAE), empresa pública que realiza projetos que estimulam o uso racional de energia, incentivava às fontes renováveis, auditorias energéticas, uso de combustíveis limpos e substituição de equipamentos antigos.

Os Estados Unidos atuam por meio do Energy Efficiency and Renewable Energy Network (EERN), onde os objetivos são de estimular e explorar as fontes alternativas de energia. Outros países como: Noruega, Dinamarca, Austrália, Nova Zelândia e Japão desenvolvem programas parecidos com os demais, buscando reduzir as perdas de energia desnecessárias em todos os segmentos de consumo, sejam por meio de programas de etiquetagem e normalização de produtos ou por geração de energia utilizando matérias primas renovável [12].

3.3. Integração Energética do Brasil na América do Sul.

A América do Sul é uma região que tem um histórico de concentração de renda, índices sociais que retratam a pobreza, o analfabetismo, o subemprego, etc. Os países não têm um vasto domínio tecnológico, capacitação técnica, o que faz a região ser caracterizados como dependente de tecnologias e exportadora de produtos primários.

Em consequência, avançar no processo de integração traz sempre dois pontos, que, embora não sejam explicitados, estão certamente nas mentes dos dirigentes quando sentam nas reuniões regionais: o medo da perda de soberania e o sentimento de desconfiança.

Então a saída que se observa é realizar projetos bilaterais que atendam aos interesses do planejamento energético entre dois países, como usinas binacionais, gasodutos, linhas de transmissão etc. Esses projetos servem a interesses legítimos entre países, mas não atendem aos interesses regionais. Muitos os classificam como negócios comerciais entre países [29].

3.3.1. Situação em 2010.

O que caracteriza as ações estratégicas bilaterais é a falta de uma perspectiva coletiva e integracionista, uma vez que visam solucionar o problema do suprimento de insumos energéticos de um determinado país no curto e médio prazo [30].

As concepções dos projetos não são o resultado de um planejamento coletivo de desenvolvimento e otimização dos recursos disponíveis na região, mas sim o resultado de ações bilaterais e pontuais, conforme apresentado na Tabela 1. A fim de avançar rumo a um processo mais sólido, as nações sul-americanas têm redirecionado seus projetos para a área multilateral.

O viés demonstra sua relevância na medida em que essas iniciativas podem contribuir para formação de um mercado integrado, bem como vislumbrar a ampliação dos projetos [31].

Tabela 1 - Integrações Energéticas do Brasil com outros países

País	Situação 2010	Descrição
Argentina	Conexão Elétrica	Duas interligações elétricas com a Argentina, através de conversoras de frequência 50/60 Hz, totalizando uma capacidade 2250 MW de potência. No ano de 2007, o Brasil transferiu à Argentina 1 milhão de m ³ de gás da Bolívia, ademais de energia elétrica. Para atender a demanda de energia elétrica argentina, o Brasil iniciou em maio de 2008 o fornecimento de 300 MW que podem chegar segundo acordo entre os dois países, a 800 MW.
Bolívia	Gás Natural	Em 2009 o volume de gás natural exportado para o Brasil foi cerca de 20 MMmcd. A Petrobras Bolívia estima que em 2010, este valor deve ser de quase 24 MMmcd. Estes valores são muito abaixo do máximo previsto no Gas Supply Agreement (GSA), que é de 30 MMmcd.
Paraguai	Hidroelétrica	Maior hidroelétrica do mundo em geração elétrica, que a partir de 2008 passou a poder produzir 14GW. Metade da energia produzida em Itaipu pertence ao Paraguai. Porém, o país transfere a energia não consumida ao Brasil, em 50 Hz. A transmissão é realizada em corrente contínua, em 600 kV até São Paulo (Ibiúna), com uma extensão de 800 km, onde é convertida para corrente alternada em 60Hz
Uruguai	Conexão Elétrica	A conexão elétrica Brasil – Uruguai é realizada através de uma conversora de frequência 50/60 Hz, 70 MW de potência, localizada em Santana do Livramento, no Brasil.
Venezuela	Conexão	A interligação Brasil – Venezuela é realizada por meio de um sistema de transmissão em 230/400kV, com cerca de 780 km, interligando a subestação de Boa Vista, no Brasil, à subestação Macagua, na Venezuela, com capacidade de transmissão de 200 MW.

MMmcd – Milhões de metros cúbicos por dia.

Fonte: A autora [29]

3.3.2. Projetos de Integração na Área de Energia na América Latina

3.3.2.1. IIRSA

A IIRSA (Iniciativa para a Integração da Infraestrutura Regional Sul-Americana) surgiu em 2000 com prazo para seu término em 2010, atuando em três setores:

transporte, energia e comunicações. Para que os projetos da IIRSA possam ter continuidade, está se negociando entre os países da América do Sul a transferência de sua carteira de projetos ao âmbito da Unasul (União de Nações Sul-Americanas).

Até o momento, os projetos, apresentados na Tabela 2, são os projetos da IIRSA em energia que envolvem o Brasil:

Tabela 2 - Integração energética de outros países

Projeto	Países	Situação
Interconexão elétrica Yavaraté (Mitú) – Fronteira com o Brasil	Colômbia (o projeto só faz sentido estratégico com a participação brasileira)	O projeto encontra-se em fase de pré-execução, pois requer autorização do Brasil para iniciar a sua construção. Segundo o Plano Decenal de Expansão (PDE) de Energia 2008-2017, além do projeto binacional de Itaipu, envolvendo Brasil e Paraguai, a configuração atual contempla interligações do Brasil com Argentina, Uruguai e Venezuela. A possibilidade de ampliação dessas interligações ou o estabelecimento de novos pontos de interligação tem sido objeto de análises específicas pelo Ministério de Minas e Energia (MME).
Interconexão energética Pucallpa - Cruzeiro do Sul	Peru (o projeto só faz sentido estratégico com a participação brasileira)	O projeto não está contemplado no PDE 2008-2017 e deverá, depois de concluídos os estudos de viabilidade, ser objeto de análise específica pelo MME.
PCH Leticia e Interconexão Tabatinga	Brasil e Colômbia	Após a realização dos estudos de viabilidade deve ser objeto de análise específica pelo MME.
Expansão da Linha de Transmissão Guri-Boa Vista	Brasil e Venezuela	Após a conclusão dos estudos em andamento, deverá ser objeto de análise específica pelo MME.
Gasoduto Aldeña Brasileña (Argentina) – Uruguiana – Porto Alegre	Brasil	O projeto encontra-se em fase de execução. Estão sendo realizados os estudos necessários para a construção do tramo Uruguiana-Porto Alegre.
Linha de transmissão Itaipu-Londrina-Araraquara	Brasil	O projeto já foi concluído. Aumentou-se a capacidade de transmissão entre a Usina de Itaipu e o submercado Sudeste/Centro- Oeste do Brasil com a construção de uma linha de 500 kV ligando Londrina-Assis- Araraquara (370 km).
Sistema Itaipu	Brasil e Paraguai	O projeto já foi concluído. Foram executadas obras complementares.
PCHs de Centurión e		Construção de pequenas centrais hidrelétricas sobre o rio Yaguarón. Após

Tavalera		a conclusão dos estudos, deverá ser objeto de análise específica pelo MME.
Hidrelétrica Binacional	Bolívia e Brasil	O projeto encontra-se em fase de pré-execução. O empreendimento hidrelétrico binacional Bolívia/Brasil necessita, tanto para a realização dos estudos e projetos, quanto para a implantação e operação, da assinatura de Acordo de Cooperação entre o Brasil e a Bolívia. Após a conclusão dos estudos de viabilidade, o projeto deverá ser objeto de análise e manifestação pelo MME. O Plano estratégico da Bolívia para 2007-2014 prevê que o país poderia ofertar a seus vizinhos cerca de 6.200 MW de potência hidrelétrica em 2020.
Complexo Hidrelétrico do rio Madeira (hidrelétrica de Santo Antônio e Jirau)	Brasil	O projeto encontra-se em fase de execução. Instalação de hidrelétricas no rio Madeira. UHE Santo Antônio: 3.150 MW. UHE Jirau: 3.450 MW.
Linha de Transmissão entre as centrais hidrelétricas do rio Madeira e o Sistema Interligado Nacional	Brasil	O projeto encontra-se em fase de execução. O objetivo é interligar os empreendimentos do rio Madeira (UHE Santo Antônio e Jirau) ao Sistema Interligado Nacional. O projeto inclui: - Subestação em Araraquara: Construção da SE Araraquara e da LT 500 kV Araraquara / Araraquara(Furnas) e da LT 440 kV Araraquara / Araraquara(CTEEP). - Circuito 1: Construção das conversoras CA-CC e CC- CA (1ª etapa) e da LT 600 kV SE Coletora Porto Velho - Araraquara II C.1. - Circuito 2: Construção das conversoras CA-CC e CC- CA (2ª etapa) e da LT 600 kV SE Coletora Porto Velho - Araraquara II C.2. - Subestação Coletora de Porto Velho: Construção da LT 230 kV Coletora Porto Velho – Porto Velho e 2 estações conversoras CA-CC-CA 500/230 kV - Linha de Transmissão Cuiabá - Ribeirãozinho - Rio Verde: Construção da LT 500 kV Cuiabá/Ribeirãozinho/Rio Verde
Construção da Hidrelétrica de Garabí	Argentina e Brasil	O projeto encontra-se em fase de pré-execução. A construção da hidrelétrica de Garabí tem por objetivo aproveitar o

elevado potencial para a produção de energia hidrelétrica no rio Uruguai, a montante da represa já existente de Salto. O empreendimento consiste na construção de uma represa no rio Uruguai, entre a Argentina e o Brasil, com uma potência instalada oscilando entre 1.400 e 1.800 MW. Em setembro de 2008 foi firmado um convênio de cooperação entre a Emprendimientos Energéticos Binacionales S.A. (EBISA) e as Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRÁS) para contratação de empresa responsável pela realização estudos de inventário e de viabilidade para um dos aproveitamentos selecionados, de comum acordo pelos países. O referido estudo de inventário já foi contratado e encontra-se em elaboração pela empresa CNEC.

Fonte: A autora [29]

3.3.2.2. FOCEM

O FOCEM (Fondo de Convergencia Estructural del MERCOSUR) está destinado a financiar projetos em benefício das economias menores do MERCOSUL. Em operação desde 2006, constitui o primeiro instrumento financeiro do bloco com o objetivo de contribuir para a redução das assimetrias. Está integrado por contribuições financeiras dos Estados Partes - não reembolsáveis - no montante anual de US\$ 100 milhões [29].

Os objetivos do Fundo são promover a convergência estrutural; desenvolver a competitividade; promover a coesão social, em particular das economias menores e regiões menos desenvolvidas, e apoiar o funcionamento da estrutura institucional e o fortalecimento do processo de integração [29].

O único projeto energético diretamente relacionado ao Brasil é a “Interconexão elétrica Uruguai-Brasil”, que apesar de ainda não fazer parte da Carteira IIRSA, já teve a sua inclusão solicitada pelo Uruguai. O referido empreendimento constava do Plano Decenal de Expansão de Energia 2008-2017, e já possui estudos concluídos desde 2007. Esse projeto foi apresentado ao Focem pelo Uruguai, que pleiteia recursos para a sua implantação, no entanto, ainda encontra-se em processo de avaliação [30].

3.3.2.3. OLADE

A Organização Latino- Americana de Energia (OLADE) foi criada na década 70 no contexto da crise do petróleo com a finalidade de se criar um mecanismo de cooperação entre os países da região para desenvolver seus recursos energéticos e atender conjuntamente aos aspectos relativos a eficiência e uso racional. Na atualidade, destacam-se os sistemas de informação energéticos disponibilizados pela organização, a saber: econômico; legal; nacional; e planificação elétrica regional [29].

3.4. Eficiência Energética no Brasil.

O Brasil enfrentou tal crise de forma a intensificar a geração de energia, como o incremento de usinas térmicas e o lançamento de um programa nuclear com o objetivo de criar usinas nucleares para a geração de energia elétrica. Criou também o Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL) e no setor elétrico foi dada continuidade à expansão das hidrelétricas para geração de eletricidade [11].

O governo brasileiro passou a perceber que a indústria era o setor que mais consumia o derivado de petróleo (óleo combustível), então aumentaram-se os preços de tal insumo e foi implantado um sistema de controle de abastecimento por meio de cotas de combustíveis. Essas medidas governamentais foram realizadas para frear um pouco o consumo do combustível, porém não foi bem vista pelos empresários e com isso governo lançou o Programa de Conservação de Energia Elétrica, o CONSERVE, em 1981, que constituiu a principal experiência que impulsionou a eficiência energética no Brasil [24].

Ao longo do tempo, a questão ambiental e o desperdício de energia se tornaram pontos importantes para o desenvolvimento econômico e elétrico do País. Com base nessas preocupações, foram criados alguns programas como [22]:

- Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE);
- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL);
- Programa Nacional de Conservação de Petróleo e Derivados (CONPET);
- ESCOS - que são grupos de estudos da Conservação de Energia, que desenvolvem e apoiam estudos direcionados a eficiência na cadeia de captação, transformação e consumo de energia.

4. Impactos Relacionados à Eficientização na Iluminação

Neste capítulo serão apresentados os aspectos teóricos / técnicos relacionados às medidas de eficientização diretamente aplicadas na iluminação.

Em 2001 o Brasil criou um programa de incentivo de economia de energia, Procel, com foco principal no consumo, não deixando tão evidente no setor da iluminação, a economia que poderia ser obtida com a migração das incandescentes para tecnologias mais eficientes [25].

4.1 Medidas Aplicadas na Iluminação para Eficientização de Energia.

Sabemos que a redução nos gastos com a conta de luz impacta diretamente no orçamento doméstico. A eletricidade consumida pela iluminação pode representar até 20% dos gastos de uma residência. Sabemos ainda que a eficiência energética na iluminação é diretamente ligada à eficiência do tipo de lâmpada empregada no projeto e a maneira com que a utilizamos durante o dia.

No entanto somente em 2010, que se deu um destaque maior ao consumo nos segmentos de iluminação residencial e também no de iluminação pública, pode-se inferir que haveria redução tanto pelo alto preço das tarifas, quanto pelo plano de metas estabelecido pela Portaria Interministerial 1007/2010. O referido ato jurídico estabeleceu que a partir de julho de 2014 estaria proibida a comercialização de lâmpadas incandescentes com potências superiores a 60W que não atendessem aos níveis mínimos de eficiência energética [27].

De acordo com o Plano de Metas estabelecido na, já citada, Portaria Interministerial nº1007/2010A, a substituição das lâmpadas incandescentes por outros modelos será gradativa até 2016, quando aquelas que não atenderem aos novos níveis mínimos de eficiência energética deverão ser banidas do mercado. Essa medida do governo integra a nova legislação, elaborada pelo Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE). A decisão faz parte do Plano Nacional de Eficiência Energética, que tem como meta a redução do consumo de energia do País em 10% até 2030 [14].

Segundo a portaria, a substituição das lâmpadas incandescentes por outros modelos será gradativa até 2016, quando elas devem ser retiradas do mercado. Desde o dia 30 de junho de 2012, os modelos de lâmpadas incandescentes de 150 W

e 200 W já não podem mais ser produzidos ou importados. Em julho de 2013 foi a vez das lâmpadas de 100 W e 75 W e as lâmpadas incandescentes de 60 W que atendam às características fixadas anteriormente à portaria atual, só foram produzidas e importadas até junho de 2014 e vendidas até junho de 2015. Os modelos de lâmpadas incandescentes de 40 W e 25W serão as últimas a deixarem o mercado, com previsão para junho de 2016 [12].

Com a conta de luz pesando cada vez mais nos bolsos dos consumidores, a troca de lâmpadas nas residências e na iluminação pública é uma ação que poderá ser priorizada por cada morador e pelos gestores públicos responsáveis pela iluminação dos logradouros.

Caso um processo maciço de troca de lâmpadas eficientes ocorra em boa parte das residências e nas ruas dos municípios brasileiros, a economia do consumo de eletricidade, relacionada exclusivamente ao setor iluminação, será bem expressiva [14].

4.2 Características dos Diferentes Tipos de Lâmpadas.

A ideia é substituir as lâmpadas incandescentes por modelos mais eficientes, como as fluorescentes compactas e as lâmpadas LED. A simples escolha do tipo de lâmpada a ser usada na sua residência pode significar uma economia significativa na conta de luz no final do mês. Por isso, antes de optar, é importante comparar as características dos modelos [34].

Um dos critérios básicos que ajuda o consumidor a fazer comparação é a relação entre a vida útil da lâmpada e o preço.

Para exemplificar, vamos considerar os seis tipos de lâmpadas encontrados no mercado: as incandescentes, as fluorescentes tubulares as fluorescentes compactas, as de vapores de sódio, as de vapores de mercúrio e as lâmpadas Led. Descreveremos a seguir as características de cada uma delas e a razão pela qual essa troca pode ser tão favorável [36].

4.2.1 Incandescente

É alimentada por uma fonte de energia através de duas gotas de solda existentes em sua base metálica. A corrente elétrica atravessa os fios metálicos aquecendo o filamento, que em temperaturas elevadas passa a emitir luz – é o efeito Joule.

O filamento fica então incandescente, de onde vem o nome da lâmpada. O filamento atualmente utilizado é o tungstênio, que garante maior durabilidade à lâmpada, pois este metal só se derrete quando submetido a altas temperaturas. Para se ter uma ideia, a temperatura de trabalho deste metal é aproximadamente de 3.000°C. [25]

O interior do bulbo da lâmpada é preenchido por uma combinação de gases inertes: nitrogênio e argônio ou criptônio para evitar centelhas e posteriormente combustão, pelo contato da centelha com o oxigênio. Conforme Figura 16.

Sua principal vantagem nos dias de hoje é seu nível de IRC (Índice de Reprodução de Cor), que é o ideal (100), o que ainda garante a ela espaço em alguns segmentos onde é essencial a reprodução fiel da cor, por exemplo, uma fábrica de tintas [27].



Figura 16 - Aspectos Construtivos da Lâmpada Incandescente

Fonte: Programa de Eficiência Energética – ANEEL - 2012

As incandescentes ainda representam 20% das vendas de lâmpadas do País, em razão do seu preço atraente, em média 5 vezes menor que uma fluorescente. Por

outro lado, ela se caracteriza por converter a energia em luz e calor, o que faz com que consuma mais.

Com mais de um século de idade, as lâmpadas incandescentes não mudaram muito desde quando foram criadas por Thomas Edison. Uma corrente elétrica passa por um filamento de tungstênio (aquele fiozinho de dentro da lâmpada), aquecendo os átomos que o compõem e gerando luz como consequência. A questão é que apenas 5% da energia gerada são convertidos em luz. Os 95% restantes são transformados em calor, o que explica o grande desperdício que geram [18].

A Abilumi (Associação Brasileira de Importadores de Produtos de Iluminação) estima que em torno de 100 milhões de lâmpadas incandescentes ainda sejam vendidas no Brasil, número que vem caindo devido à sua extinção no mercado em 2016.

Esse tipo de lâmpada dura em média 750 horas, durabilidade considerada baixa por conta do rápido desgaste do filamento de tungstênio.

4.3 Lâmpada de Descarga

Podemos dividir as lâmpadas de descarga mais usuais em fluorescentes, de vapor de mercúrio e de vapor de sódio. Iremos tratar de todos os tipos de lâmpadas, sendo as lâmpadas fluorescentes mais utilizadas em iluminação de interiores, e as de vapor, mais usadas em iluminação pública [37].

4.3.1 Lâmpadas Fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes tubulares eram bastante usadas, mas as lâmpadas compactas ainda não tinham muito mercado. Elas começaram a se popularizar no Brasil devido ao apagão ocorrido entre 2000 e 2001, as lâmpadas incandescentes perderam mercado devido ao seu alto consumo de energia. Em vários países, a utilização de lâmpadas incandescentes é inclusive vetada [27].

4.3.1.1 Lâmpada Fluorescente Tubular

As fluorescentes possuem um ótimo desempenho, e por isso, são recomendadas para iluminação de interiores, tendo espectros luminosos indicados para cada tipo de iluminação, porém, elas não permitem um bom destaque das cores.

A lâmpada fluorescente, Figura 17, utiliza a descarga elétrica através de um gás para produzir energia luminosa. Tal lâmpada é constituída de um bulbo cilíndrico de vidro, que contém em suas extremidades eletrodos metálico de tungstênio (cátodos), por onde circula a corrente elétrica. O tubo da lâmpada fluorescente é preenchido por vapor de mercúrio ou argônio à baixa pressão, sendo a parede interna do tubo pintada com matérias fluorescentes à base de fósforo [14].

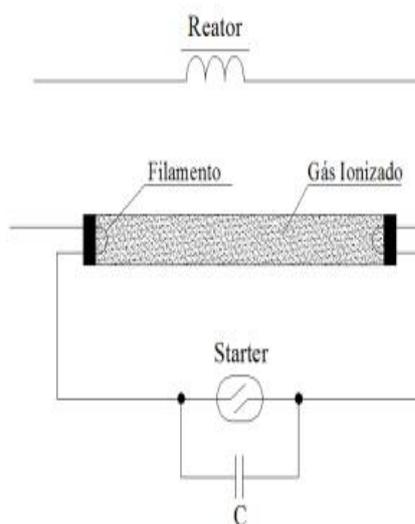


Figura 17 - Aspectos Construtivos da Lâmpada Fluorescente Tubular

Fonte: A autora

As lâmpadas fluorescentes comercialmente disponíveis utilizam bulbos de vidro transparente, designados por uma letra T (de tubular) seguida de um número que indica o seu diâmetro máximo em oitavos de polegada. Por exemplo, T12 significa um bulbo tubular com diâmetro de 12/8 polegadas.

As características colorimétricas (temperatura de cor correlata, reprodução de cores) e a eficácia da lâmpada fluorescente são determinadas pela composição e espessura do pó fluorescente ("fósforo"). Os "fósforos" são compostos que emitem luz por fluorescência quando expostos à radiação ultravioleta. Na década de 1980 foi desenvolvida uma nova família de "fósforos", conhecida comercialmente como

"trifósforos", que é constituída de três compostos, cada um com banda de emissão estreita e centrada nos comprimentos de onda do azul, vermelho e verde respectivamente [18].

A combinação adequada destes compostos, junto a uma camada de halofosfato, possibilitou uma melhora no índice de reprodução de cores e um aumento considerável na eficácia luminosa. As lâmpadas fluorescentes de nova geração utilizam um tubo com diâmetro menor (T8 em vez de T12) e o custo mais elevado do trifósforo é compensado pelo aumento de eficiência resultante.

Ela necessita de reator e starter, sendo mais um item de custo para a implantação desse tipo de lâmpada, e também de consumo, mas que em vários casos, ainda é bem utilizada devido a sua economia em relação a outros tipos de lâmpadas [43].

4.3.1.2 Lâmpada Fluorescente Compacta

As lâmpadas fluorescentes compactas, Figura 18, possuem starter e o reator incorporado à sua base, além de base com rosca semelhante à lâmpada incandescente, permitindo substituir lâmpadas incandescentes sem precisar de qualquer tipo de acessório [25].

Atualmente, existem vários tipos de lâmpadas fluorescentes compactas.



Figura 18 - Tipos de Lâmpadas Fluorescentes Compactas

Fonte: Catálogo Philips

A fluorescente compacta é ideal para iluminar com qualidade e economia ambientes residenciais, comerciais e industriais.

As lâmpadas fluorescentes, sejam tubulares ou compactas, são 80% mais econômicas e duram quase 10 vezes mais que as incandescentes. A vida útil é de aproximadamente 8.000 horas. Apesar de custarem quase 5 vezes mais do que as incandescentes, duram mais e são mais eficientes. Ao substituir uma lâmpada incandescente de 60 W de potência por uma fluorescente de apenas 15 W, há uma economia relevante na conta de luz [28].

Esse tipo de lâmpada é o mais comercializado atualmente, cerca de 250 milhões de lâmpadas por ano, segundo a Abilumi.

4.3.2 Lâmpadas a Descarga de Alta Pressão

As lâmpadas à descarga de alta pressão, também conhecidas como lâmpadas HID (High Intensity Discharge) utilizam vapores metálicos (em geral mercúrio e/ou sódio) a pressões da ordem de 1 a 10 atmosferas [37].

Existem basicamente dois tipos básicos de lâmpadas comerciais: a) a lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão; e b) a lâmpada de vapor de sódio de alta pressão.

4.3.2.1 Lâmpadas de Vapor de Mercúrio de Alta Pressão

A lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão HPMV (High Pressure Mercury), Figura 19, é constituída de um tubo de descarga transparente, de dimensões reduzidas inserido em um bulbo de vidro, revestido internamente com uma camada de "fósforo" para correção do índice de reprodução de cor. O tubo de descarga contém vapor de mercúrio à pressão de 2 a 4 atmosferas e argônio a 0.03 atmosferas. O argônio atua como gás de partida, reduzindo a tensão de ignição e gerando calor para vaporizar o mercúrio. O tubo de descarga é de quartzo para suportar temperaturas superiores a 340°C e evitar absorção da radiação ultravioleta emitida pela descarga. O bulbo de vidro transparente, com formato ovoide, contém nitrogênio, formando uma atmosfera protetora para: reduzir a oxidação de partes metálicas, limitar a intensidade da radiação ultravioleta que atinge o revestimento de "fósforo" e melhorar as características de isolamento térmica [37].

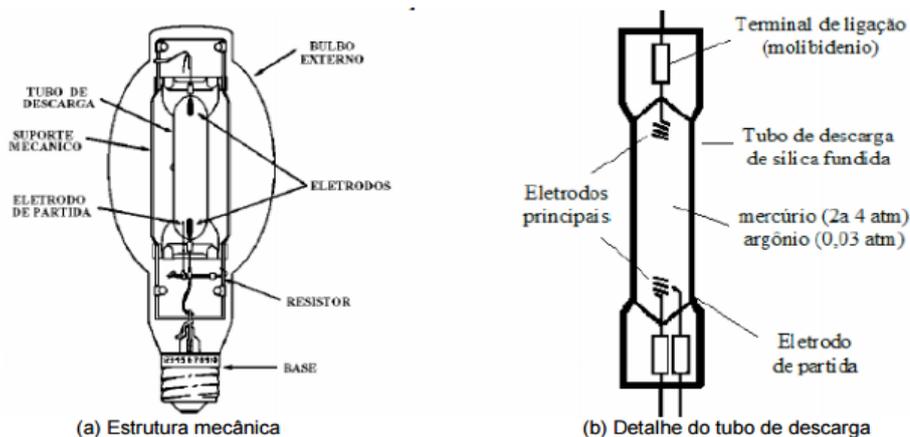


Figura 19 - Aspectos Construtivos Lâmpadas de Vapor de Mercúrio

Fonte: Eficiência Energética – ANEEL – 2012

Nos instantes iniciais da descarga, a lâmpada emite uma luz verde clara. A intensidade luminosa aumenta gradativamente até estabilizar-se após 6 a 7 minutos, quando a luz se torna branca com uma tonalidade levemente esverdeada.

A descarga de mercúrio no tubo de arco produz uma energia visível na região do azul e do ultravioleta. O fósforo, que reveste o bulbo, converte o ultravioleta em luz visível na região do vermelho. O resultado é uma luz de boa reprodução decore com eficiência luminosa de até 60lm/W. A luz emitida por uma lâmpada sem revestimento de fósforo apresenta um baixo índice de reprodução de cor ($IRC = 20$), devido à ausência de raios vermelhas. O "fósforo" utilizado em lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão tem uma banda de emissão de 620 nm a 700 nm e consegue melhorar o significativamente o índice de reprodução ($IRC = 50$) [28].

É importante salientar que devido à emissão de ultravioleta, caso a lâmpada tenha seu bulbo quebrado ou esteja sem o revestimento de fósforo, deve-se desligá-la, pois o ultravioleta é prejudicial à saúde, principalmente em contato com a pele ou os olhos. A lâmpada de mercúrio apresenta fluxo luminoso elevado e vida útil longa, porém, a sua eficácia luminosa é relativamente baixa. Este tipo de lâmpada é utilizado em sistemas de iluminação de exteriores, em especial, na iluminação pública urbana [37].

4.3.2.2 Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão

A lâmpada de vapor de sódio de alta pressão HPS ("High Pressure Sodium"), Figura 20, é constituída de um tubo de descarga cilíndrico e translúcido, com um eletrodo em cada extremidade. O tubo de descarga é sustentado por uma estrutura

mecânica, sob vácuo, no interior em um bulbo de vidro borossilicado, com formato tubular ou elipsoidal.

Em lâmpadas convencionais, o tubo de descarga contém vapor de sódio a pressão de 0.13 atmosferas, vapor de mercúrio a pressão de 0.5 a 2 atmosferas e xenônio, que atua como gás de partida, gerando calor para vaporizar o mercúrio e o sódio. O mercúrio, na forma de vapor e a uma pressão significativamente superior ao sódio, reduz a perda por calor e eleva a tensão de arco da lâmpada. O eletrodo é construtivamente similar ao da lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão [37].

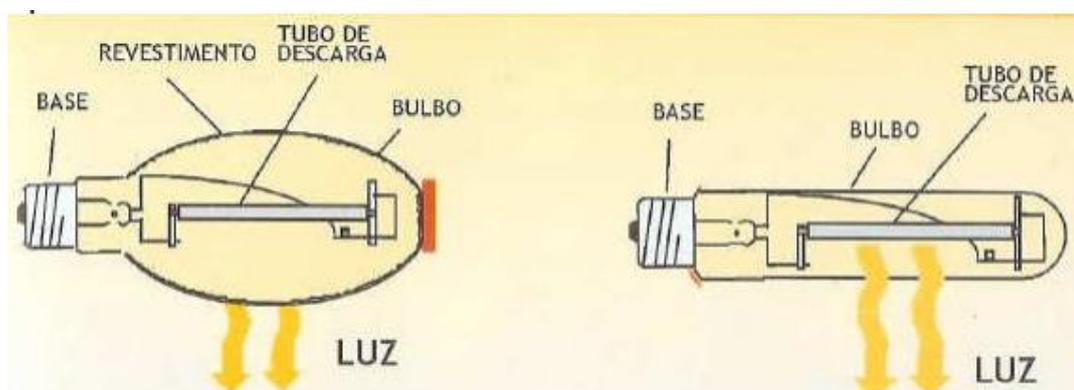


Figura 20 - Aspectos Construtivos Lâmpada de Vapor de Sódio

Fonte: Especialize – Revista Online [46]

O bulbo das lâmpadas HPS é em geral transparente ou apresenta um revestimento de “fósforo” neutro para tornar a superfície difusa, sem alterar a distribuição espectral da luz emitida. A lâmpada de vapor de sódio convencional apresenta, em geral, um baixo índice de reprodução de cor ($CRI \approx 20$), porém, uma elevada eficácia luminosa (120 lm/W para a lâmpada de 400 W) e vida útil longa (24 000 horas). No entanto, existem lâmpadas especiais que apresentam um elevado índice de reprodução de cor ($CRI = 85$), porém, com uma eficácia luminosa de 80 lm/W [37].

4.3.3 LED

As lâmpadas de LED são caracterizadas pela alta eficiência luminosa, baixo consumo de energia e alta durabilidade [44]. Estas lâmpadas são compostas por diodos emissores de luz (light emission diode), normalmente montados em ligações série paralelo, e possuem acoplados conversores de CA para CC.

LED é um dispositivo semicondutor de junção P e N que quando polarizados corretamente emitem boa parte da energia na forma de luz [45]. A luz emitida por um LED é monocromática, possuindo uma faixa de frequência bem definida no espectro eletromagnético. O primeiro dispositivo LED surgiu por volta dos anos 60, sendo produzidos nos laboratórios da GE, apresentavam como características a emissão de luz na cor vermelha e de baixa intensidade luminosa, por volta dos anos 70 com o desenvolvimento de novos materiais semicondutores surgiram os LEDs de cor verde e amarelo, além de uma melhora significativa na intensidade luminosa emitida por estes dispositivos [27].

No começo dos anos 90 surgiram os primeiros LEDs azuis e brancos, o que permitiram a popularização da tecnologia para diversas aplicações em iluminação (Lighining Research Center). Os LEDs são amplamente utilizados em: Aparelhos Eletrônicos como indicadores e sinalizadores; Displays LCD; Iluminação em Veículos; Iluminação Residencial e decorativa. Os LEDs possuem características elétricas semelhantes aos diodos, sendo considerado um caso especial desses dispositivos. As diferenças básicas estão no encapsulamento e na composição do material semicondutor, responsáveis também pela coloração e intensidade emitida por esses dispositivos [45].

Os tipos de LED, Figura 21, podem ser classificados conforme a sua aplicação:

LED indicativos – utilizados como sinalizadores em equipamentos elétricos e eletrônicos, informando o status de determinadas funções destes equipamentos;

LED de alto brilho – utilizados principalmente em semáforos, lanternas, painéis de automóveis.

LED de potência – são os tipos de LED de alto brilho com maior intensidade luminosa, podendo ser empregados em iluminação de emergência, iluminação de vias públicas e iluminação decorativa.



Figura 21 - Tipos de LED

Fonte: Site OSRAM

Esta classificação do LED representa o avanço desta tecnologia, e sugere também a classificação dos tipos de LED que emitem luz colorida e luz branca.

Aqueles de luz colorida são resultantes da combinação entre as cores vermelho, verde e azul (RGB – Red, Green, Blue), que podem originar 16 milhões de cores diferentes. Os tipos de LED que emitem luz branca são obtidos através de um LED azul coberto com uma camada de fósforo.

Esse tipo de lâmpada é o que possui a tecnologia mais avançada do mercado. Totalmente eletrônicas, a cada dia se mostram mais eficientes. O mercado dessas lâmpadas encontra-se em crescimento e com os preços em queda. Há perspectivas de que esse modelo se popularize em pouco tempo, substituindo as lâmpadas incandescentes e fluorescentes em alguns anos. A vida útil de uma lâmpada de LED chega a durar até 50 vezes mais que uma incandescente e proporciona uma economia de até 80% na conta de luz [18].

4.3 Aspectos Teóricos e Práticos relacionados à Troca por Leds.

Os comparativos abaixo foram retirados de catálogos de fabricantes [27], [28]; [36] e [44]. As informações variam bastante de fabricante para fabricante, devido a isso, foram considerados valores máximos e mínimos, e tempos de vida útil aproximados, encontrados nos catálogos.

Tabela 3 – Comparativo das Lâmpadas

Fonte Luminosa	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência Luminosa (lm/W)	Potência (W)	Reprodução de Cor	Vida Útil (hs)
Incandescente	200 a 9.359	8 a 18	15 a 500	Muito Boa	≈ 1000
Fluorescente Tubular	650 a 8.300	56 a 90	15 a 110	Regular/Boa	≈ 7.500
Fluorescente Compacta	400 a 2.900	44 a 80	7 a 26	Muito Boa	≈ 10.000
Vapor de Mercúrio	1.800 a 22.000	40 a 55	50 a 400	Regular	≈ 15.000
Vapor de Sódio	5.600 a 125.000	60 a 80	70 a 1000	Baixa	≈ 15.000
LED	200 a 9.500	35 a 100	5 a 120	Muito Boa	≈ 50.000

Fonte: A autora

A partir da Tabela 3, podemos analisar vários pontos, primeiro, o IRC (Índice de Reprodução de Cor). A princípio, todas as lâmpadas tiveram um índice de reprodução numa boa qualificação, menos a lâmpada de Vapor de Sódio, que tem um índice muito baixo. Porém, entre as lâmpadas utilizadas na iluminação pública, que são as de vapor de sódio e as de vapor de mercúrio, as de mercúrio possuem uma reprodução de cor melhor [18].

Para a eficiência luminosa, temos valores bem discrepantes, porém, vimos melhores rendimentos para as lâmpadas LED e fluorescentes tubulares.

A vida útil representa a superioridade absoluta das lâmpadas LED em relação a todas as outras. Tanto entre as lâmpadas para iluminação pública, quanto para as das outras aplicações.

A economia de energia e a sustentabilidade são dois grandes motivadores para o uso eficiente da iluminação. O cenário atual é favorável a aplicações de tecnologias mais modernas e eficientes em função do crescente aumento dos preços da energia elétrica nos últimos anos e em função da busca por certificações de edificações como o LED, que objetivam disseminar práticas sustentáveis e ambientalmente corretas nas construções. [2]

Dessa forma, o uso de equipamentos mais eficientes e ecologicamente corretos, como LEDs, são fatores essenciais para que os projetos luminotécnicos obtenham menores cargas instaladas. O problema ainda é seu custo, bem mais alto do que o de uma lâmpada de menor eficiência.

A crise de energia está transformando o LED na grande estrela do mercado de iluminação. Diante do susto na conta de luz, uma parcela crescente de consumidores está gastando mais com lâmpadas de LED agora para reduzir custos e aumentar a

eficiência energética no médio e longo prazo. Resultado: em menos de um ano, o LED passou de tendência à realidade no mercado nacional [18].

Além do impulso da crise energética, a queda de 50% no preço do LED no mercado mundial nos últimos 12 meses barateou o custo das lâmpadas e foi decisiva para que essa tecnologia deslanchasse no país. A explicação está no ganho de escala da indústria mundial de LED, dominada, sobretudo, pela China, origem de 95% dos produtos que chegam ao Brasil [19].

De olho no potencial de um mercado no qual predominam os itens importados, algumas empresas passaram a fabricar produtos de LED no país com o auxílio de componentes importados. “O imposto de importação para componentes de LED é menor do que o produto final [12% contra 18%], o que funciona como um estímulo ao renascimento da indústria de iluminação no país”, afirma Georges Blum, presidente-executivo da Abilumi.

Segundo portaria do Inmetro publicada em 13 de março de 2015, em dezembro de 2015 termina o prazo para que fabricantes e importadores de lâmpadas de LED concluam o processo de certificação dos produtos vendidos no mercado brasileiro, garantindo assim a qualidade do produto, com isso, a expectativa é que o mercado comece a se consolidar a partir de 2016 [22].

A necessidade de adequar os produtos importados à regra do Inmetro tende a afastar os “aventureiros” e deixar apenas os competidores já estabelecidos no mercado. O custo da certificação é relativamente alto, mas inibe fornecedores que não têm um nome a zelar.

A grande vantagem, segundo os importadores, é o ganho de qualidade para a tecnologia. Existe hoje uma infinidade de itens de baixa qualidade que acabam depreciando o LED para o consumidor. Deve ser garantido que, uma lâmpada LED tem de durar, em média, 25 mil horas. E tem ainda que ser equivalente a 50 lâmpadas incandescentes ou oito fluorescentes compactas [18].

5. Retorno Ambiental e Social

A reciclagem de lâmpadas é o caminho mais seguro para tratar os elementos químicos perigosos presentes principalmente nas lâmpadas fluorescentes. O processo de reciclagem consiste na separação criteriosa dos componentes e substâncias para que estes possam ser utilizados como matéria prima na fabricação de outros produtos como, por exemplo, outras lâmpadas.

Apesar das lâmpadas fluorescentes consumirem até 90% menos energia elétrica para produzir a mesma luminosidade, muitas vezes são fabricadas a partir de elementos tóxicos [40].

5.1 Classificação dos Tipos de Lâmpadas quanto aos Impactos Ambientais.

A Instituição “Net Resíduos”, de Portugal realizou um estudo quanto aos riscos inerentes aos usos das lâmpadas, com base nas legislações vigentes na Comunidade Europeia e na presença, na lâmpada, de compostos potencialmente perigosos.

Neste estudo, foi realizada a distinção dos tipos de lâmpadas existentes em duas categorias: “lâmpadas não potencialmente perigosas para o meio ambiente” que são basicamente, as lâmpadas incandescentes, e “lâmpadas potencialmente perigosas para o meio ambiente” que são as lâmpadas que contêm mercúrio. Todos os estudos referentes ao impacto ambiental das lâmpadas falam apenas das que possuem mercúrio e sódio, visto serem os elementos que têm mais relevância quantitativa nas lâmpadas [41].

5.2 Impactos Ambientais no Descarte Inadequado de Lâmpadas.

Hoje, a iluminação eficiente e a melhoria contínua das fontes de luz artificial devem considerar como foco importante não só o custo de produção, mas também a proteção ao ambiente e ecossistemas [42].

O mercúrio é considerado o elemento potencialmente mais perigoso entre os constituintes das lâmpadas, encontrando-se num estado e composição bastante volátil nas condições normais de pressão e temperatura. É considerado pelos fabricantes de lâmpadas e pelo ELC (European Lighting Companies Federation) como a única substância de relevância ecológica representando elevados riscos ambientais. Esta

conclusão baseia-se no fato de que muitas das outras substâncias estão presentes em composições estáveis ou dentro de uma matriz de outros materiais.

Ao final de sua vida útil, as lâmpadas, contendo mercúrio, são na maioria das vezes, destinadas aos aterros sanitários contaminando o solo e, mais tarde, os cursos d'água. A presença de mercúrio nas águas, mesmo que em pequenas quantidades, representa um grande problema ecológico devido à sua bioconcentração, ou seja, a concentração de mercúrio aumenta nos organismos dos animais com a passagem através da cadeia alimentar, devido ao depósito do metal em vários tecidos vivos [40].

No caso dos sais de sódio presentes nas lâmpadas de sódio à baixa pressão, existe algum risco de reação destes com água, aonde produzem soluções potencialmente corrosivas de hidróxido de sódio e de gás de hidrogênio que é extremamente inflamável e explosivo.

5.3 Descarte Final de Resíduos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12305/2010, busca dividir as responsabilidades pela destinação ambientalmente adequada entre toda a sociedade, incluindo fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, consumidores, titulares de serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos e o poder público em geral.

A lei ainda faz uma distinção importante entre “resíduo sólido” e “rejeito”. De acordo com a Lei, resíduos sólidos são todos os materiais, substâncias, objetos ou bens descartados resultante das atividades humanas em sociedade. São exemplos de resíduos sólidos: os agrotóxicos, as pilhas e baterias, os pneus, os óleos lubrificantes e suas embalagens, as lâmpadas fluorescentes e os produtos eletroeletrônicos.

Já rejeito é todo resíduo sólido que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentam outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada. Este conceito é importante porque a Lei 12.305 determina que somente os rejeitos, podem ser descartados em aterros sanitários [42].

As lâmpadas contendo mercúrio não podem ser descartadas em aterros públicos diretamente, elas necessitam de uma prévia recuperação para evitar os danos ambientais. Anualmente, só no Brasil, são descarregados na natureza perto de 3,5

toneladas de mercúrio contidas nas 85 milhões de lâmpadas descartadas nos aterros públicos, que vêm, sistematicamente, contaminando o ar do nosso meio ambiente [42].

O Brasil é o quarto país que mais consome lâmpada fluorescente no mundo. O descarte é realizado por empresas que recebem estas lâmpadas e encaminham para reciclagem à empresas específicas [43].

A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabeleceu a obrigatoriedade de implantação de sistemas de logística reversa para lâmpadas fluorescentes, responsabilizando os fabricantes e distribuidores pelo descarte final. Na prática, ninguém quer arcar com os custos deste descarte. O valor da reciclagem é quase 30 a 40% do custo de uma lâmpada nova [41].

As lâmpadas incandescentes convencionais são produzidas a partir de vidro e metal e, portanto, não contêm materiais prejudiciais ao meio ambiente. Na verdade, não há problema em se descartar lâmpadas incandescentes em aterros sanitários, porém, elas não devem ser jogadas em lixos para reciclagem de vidros, pois o tipo de vidro usado na produção de lâmpadas é diferente dos vidros convencionais.

Um problema a ser encarado é que a vida útil das lâmpadas incandescentes é menor se comparada com as lâmpadas de LED ou fluorescentes, o que gera uma quantidade muito grande de resíduos que serão descartados nos aterros.

No caso das lâmpadas LED, 98% dos materiais de sua composição são recicláveis e não contêm metais pesados, como por exemplo; o mercúrio, sendo menos agressivas ao homem e ao meio ambiente. [42]

5.4 A Logística Reversa para Lâmpadas.

Pela lei mencionada anteriormente, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de lâmpadas fluorescentes deverão estruturar e implantar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o seu uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos.

A logística reversa é um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento em seu próprio ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada [40].

Cabe ressaltar, ainda que a Lei 12.305 dispõe o conceito de corresponsabilidade do gerador do resíduo, ao definir, em seu artigo 27, parágrafo 1º, o seguinte: “A contratação de serviços de coleta, armazenamento, transporte, transbordo, tratamento ou destinação final de resíduos sólidos, ou de disposição final de rejeitos, não isenta as pessoas físicas ou jurídicas da responsabilidade por danos que vierem a ser provocados pelo gerenciamento inadequado dos respectivos resíduos ou rejeitos” [42].

Assim, não apenas o gerador de uma lâmpada queimada deve tomar os cuidados necessários para que ela seja descartada corretamente, como deve tomar os cuidados necessários para que o destino desta lâmpada não cause impactos ambientais.

Para que os órgãos envolvidos possam selecionar as opções menos impactantes, eles devem conhecer as opções existentes para acondicionamento, transporte e destinação das lâmpadas.

5.5 O LED.

O LED contribui com a diminuição do impacto ambiental por se tratar de uma fonte de luz livre de elementos tóxicos em sua composição, sendo considerado lixo comum que não necessita de tratamento especial no seu descarte, diferentemente das lâmpadas fluorescentes que possuem mercúrio, elemento tóxico. Segundo Santos (2010:104) a diminuição da produção de resíduos é fundamental para a preservação do meio-ambiente [42].

A indústria da reciclagem necessita de escala e de incentivos para que seja plenamente viável, e os órgãos de pesquisa devem ser estimulados a desenvolverem novas tecnologias.

A lâmpada LED, sem mercúrio e de alta eficiência luminosa, é uma possibilidade real de substituir as lâmpadas mercuriais nas próximas décadas.

6. Impactos da Troca da Iluminação por LEDs

No presente capítulo será apresentado um cenário idealizado de substituições de lâmpadas incandescentes, fluorescentes tubulares e compactas e de vapores de sódio e de mercúrio (lâmpadas tradicionais) por lâmpadas LEDs, para os diferentes tipos de consumidores, mostrando a economia de energia conseguida com as referidas trocas.



Figura 22 - Lâmpadas

6.1 Substituição por LEDs – Cenário Idealizado.

Uma alternativa cada vez mais buscada pelas organizações corporativas e comerciais, com a finalidade de economizar energia e reduzir as manutenções em instalações, é a substituição de lâmpadas tradicionais pelas lâmpadas de LED.

A tecnologia de lâmpadas a LED para os segmentos comercial, residencial, industrial e público passará por um processo de inovação nos próximos anos que possibilitará o desenvolvimento de produtos e sistemas com mais desempenho em relação à eficiência energética e dissipação térmica durante a operação [25] [35].

Disponíveis no mercado desde o final de 2013, as lâmpadas tubulares de LED vêm se apresentando cada vez mais como uma alternativa viável economicamente, ampliando a sua participação no setor energético. Mais eficiente e econômica que as similares fluorescentes, a nova tecnologia tem despertado o interesse de grandes consumidores, que, com os recentes aumentos das tarifas de energia elétrica, precisam encontrar formas de reduzir os custos com a conta de luz.

A substituição de sua iluminação convencional por LED é totalmente viável, proporciona resultados imediatos, simplicidade de operação e tem se mostrado atraente em termos de custos e benefícios.

O LED é o sinônimo de economia em iluminação. Mas quando se fala na aplicação do sistema, logo se imagina que é preciso trocar toda a rede de iluminação junto e que o custo é muito alto. Isso não é verdade. É possível instalar o LED com a mesma facilidade das lâmpadas tradicionais e os preços para a compra dessas lâmpadas estão cada vez mais baixos, principalmente para as lâmpadas LED convencionais.

6.1.1 Escolha das Lâmpadas.

Para escolha das lâmpadas foram comparadas todas as características de cada uma das lâmpadas, principalmente tensão, fluxo luminoso, comprimento, diâmetro e base, sendo todas elas baseadas no catálogo da Osram [27].

Desta forma, foi escolhida uma lâmpada LED com característica similar a da lâmpada tradicional de modo que a substituição fosse direta, isto é, uma para uma.

Para as lâmpadas incandescentes foram escolhidas como referência, as lâmpadas de 40W, uma vez que as de 60W não estão mais sendo fabricadas, as características da lâmpada escolhida estão apresentadas na Tabela 4

Tabela 4 - Lâmpada Incandescente Escolhida

	V Tensão	W Potência	lm Fluxo Luminoso	∅ Diâmetro [mm]	I max. Compr. máx. [mm]	Base	t Vida Média [h]
CLASSIC A - BULBO CLARO							
CLAS A CL 25 W	127	25	230	55	94	E27	750
CLAS A CL 40 W	127	40	516	55	94	E27	750
CLAS A CL 25 W	220	25	210	55	94	E27	1000
CLAS A CL 40 W	220	40	415	55	94	E27	1000

Fonte: Catálogo OSRAM 2015

A partir das características da lâmpada incandescente, que são utilizadas tanto no setor residencial quanto no comercial, foi escolhida uma lâmpada LED específica, do mesmo fabricante conforme Tabela 5, para ser usada na substituição.

Tabela 5 - Lâmpada LED correspondente a Incandescente

										
	Cor	Potência	Tensão	Fluxo Luminoso	Compr. máx.	Diâmetro	Vida Útil	Base	Equivalência	Figura
LED SUPERSTAR CLASSIC A										
LED SUPERSTAR CLA 25	Warm White	5	100-240	250	107	60	15000	E27	25	1
LED SUPERSTAR CLA 25	Daylight	5	100-240	250	107	60	15000	E27	25	1
LED SUPERSTAR CLA 40	Warm White	7	100-240	500	107	60	25000	E27	40	1
LED SUPERSTAR CLA 40	Daylight	7	100-240	500	107	60	25000	E27	40	1
LED SUPERSTAR CLA 60	Warm White	10	100-240	800	107	60	25000	E27	60	1
LED SUPERSTAR CLA 60	Daylight	10	100-240	800	107	60	25000	E27	60	1
LED SUPERSTAR CLA 60	Warm White	10	127	806	107	60	25000	E27	60	2
LED SUPERSTAR CLA 60	Warm White	10	220-240	806	107	60	25000	E27	60	2
LED SUPERSTAR CLA A75 ADV	Warm White	13	220-240	1055	116	62	20000	E27	75	3

Fonte: Catálogo OSRAM, 2015

Para as lâmpadas fluorescentes compactas, o critério de seleção para escolha das lâmpadas foi o mesmo. Isto é, escolher lâmpadas LED com características similares a das fluorescentes de modo que a substituição continuasse sendo direta.

Após análise dos catálogos e características das lâmpadas foi decidido que seria utilizada o mesmo tipo de lâmpada para os setores residencial, comercial e industrial. As características da lâmpada fluorescente compacta escolhida para utilização são apresentadas na Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 - Lâmpada Fluorescente Compacta Escolhida

										
	Temp. de Cor	Índice de reprod.	Potência	Equivalência	Tensão	Fluxo Luminoso	Comprimento	Diâmetro	Base	Figura
DULUXSTAR® TWIST T2										
Vida mediana: 8.000 horas										
DULUXSTAR® Twist 8W/827	2700	≥80	8	30	110-130	400	77	45	E27	1
DULUXSTAR® Twist 8W/827	2700	≥80	8	30	220-240	400	77	45	E27	1
DULUXSTAR® Twist 12W/827	2700	≥80	12	50	110-130	650	97	45	E27	1
DULUXSTAR® Twist 12W/827	2700	≥80	12	50	220-240	650	97	45	E27	1
DULUXSTAR® Twist 15W/827	2700	≥80	15	60	110-130	840	97	46	E27	1
DULUXSTAR® Twist 15W/827	2700	≥80	15	70	220-240	840	97	46	E27	1
DULUXSTAR® Twist 20W/827	2700	≥80	20	80	110-130	1180	98	54	E27	2
DULUXSTAR® Twist 20W/827	2700	≥80	20	90	220-240	1180	98	54	E27	2
DULUXSTAR® Twist 23W/827	2700	≥80	23	90	110-130	1380	104	59	E27	2

Fonte: Catálogo OSRAM, 2015

A partir das características da lâmpada fluorescente compacta foi escolhida uma lâmpada LED específica, do mesmo fabricante conforme Tabela 7, para ser usada diretamente na substituição.

Tabela 7 - Lâmpada LED correspondente a Fluorescente Compacta

	 Cor	 Potência	 Tensão	 Fluxo Luminoso	 Compr. máx.	 Diâmetro	 Vida Útil	 Base	 Equivalência	 Figura
LED SUPERSTAR CLASSIC A										
LED SUPERSTAR CLA 25	Warm White	5	100-240	250	107	60	15000	E27	25	1
LED SUPERSTAR CLA 25	Daylight	5	100-240	250	107	60	15000	E27	25	1
LED SUPERSTAR CLA 40	Warm White	7	100-240	500	107	60	25000	E27	40	1
LED SUPERSTAR CLA 40	Daylight	7	100-240	500	107	60	25000	E27	40	1
LED SUPERSTAR CLA 60	Warm White	10	100-240	800	107	60	25000	E27	60	1
LED SUPERSTAR CLA 60	Daylight	10	100-240	800	107	60	25000	E27	60	1
LED SUPERSTAR CLA 60	Warm White	10	127	806	107	60	25000	E27	60	2
LED SUPERSTAR CLA 60	Warm White	10	220-240	806	107	60	25000	E27	60	2
LED SUPERSTAR CLA A75 ADV	Warm White	13	220-240	1055	116	62	20000	E27	75	3

Fonte: Catálogo OSRAM, 2015

Para as lâmpadas fluorescentes tubulares, o critério de seleção para escolha das lâmpadas se manteve o mesmo. Isto é, a lâmpada LED tubular escolhida deverá ter características similares a das fluorescentes tubulares tradicionais de modo que a substituição continuasse sendo direta.

Com a análise dos catálogos e das características das lâmpadas foi decidido que seria utilizada o mesmo tipo de lâmpada fluorescente tubular para os setores residencial e comercial e outro tipo para o setor industrial. As características da lâmpada fluorescente tubular escolhida, para utilização no setor residencial e comercial, são apresentadas na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 - Lâmpada Fluorescente Tubular Escolhida - Setores Residencial e Comercial

							
	Temp. de Cor	Índice de reprod.	Potência	Fluxo Luminoso	Comprimento	Diâmetro	Base
LUMILUX® e BASIC T8 F016W / F032W							
Vida mediana: 10.000h (com QUICKTRONIC)							
BASIC L18 W/765	6500	≥70	18	1050	590	26	G13
LUMILUX L18 W/830	3000	≥80	18	1350	590	26	G13
LUMILUX L18 W/840	4000	≥80	18	1350	590	26	G13
BASIC L36 W/765	6500	≥70	36	2500	1200	26	G13
LUMILUX L36 W/830	3000	≥80	36	3350	1200	26	G13
LUMILUX L36 W/840	4000	≥80	36	3350	1200	26	G13
BASIC L58 W/765	6500	≥70	58	4000	1500	26	G13
LUMILUX L58 W/830	3000	≥80	58	5200	1500	26	G13
LUMILUX L58 W/840	4000	≥80	58	5200	1500	26	G13

Fonte: Catálogo OSRAM, 2015

A partir das características da lâmpada fluorescente tubular foi escolhida uma lâmpada LED específica, conforme Tabela 9, para ser usada diretamente na substituição para os setores residencial e comercial.

Tabela 9 - Lâmpada LED correspondente a Fluorescente Tubular - Setor Residencial e Comercial

											
	Cor	Potência	Tensão	Fluxo Luminoso	Ângulo	Compr. máx.	Diâmetro	Vida Útil	Base	Índice de reprod.	Equivalência*
TUBO LED ST8 MULTITENSÃO											
ST8-HB2-830	3000K	9	220-240	800	160° x 120°	602	26	40.000	G13	≥80	20
ST8-HB2-840	4000K	9	220-240	900	160° x 120°	602	26	40.000	G13	≥80	20
ST8-HB2-865	6500K	9	220-240	900	160° x 120°	602	26	40.000	G13	≥80	20
ST8-HB4-830	3000K	18	220-240	1700	160° x 120°	1212	26	40.000	G13	≥80	40
ST8-HB4-840	4000K	18	220-240	1900	160° x 120°	1212	26	40.000	G13	≥80	40
ST8-HB4-865	6500K	18	220-240	1900	160° x 120°	1212	26	40.000	G13	≥80	40
ST8-830 87850	3000K	10	120-277	900	100° x 150°	602	26	40.000	G13	≥80	20
ST8-841 87851	4100K	10	120-277	900	100° x 150°	602	26	40.000	G13	≥80	20
ST8-850 87852	5000K	10	120-277	900	100° x 150°	602	26	40.000	G13	≥80	20
ST8-830 87853	3000K	16	120-277	1650	100° x 150°	1212	26	40.000	G13	≥80	40
ST8-841 87854	4100K	16	120-277	1650	100° x 150°	1212	26	40.000	G13	≥80	40
ST8-850 87855	5000K	16	120-277	1650	100° x 150°	1212	26	40.000	G13	≥80	40

Fonte: Catálogo OSRAM, 2015

Ainda sobre as características das lâmpadas fluorescentes tubulares para o setor industrial, as características da lâmpada escolhida, são apresentadas na Tabela 10 a seguir.

Tabela 10 - Lâmpada Fluorescente Tubular escolhida - Setor Industrial

							
LUMILUX® e BASIC T8 F016W / F032W							
Vida mediana: BASIC 12.000h e LUMILUX 20.000h (com QUICKTRONIC)							
BASIC F016W/640	4000	>80	16	1050	590	26	G13
LUMILUX F016W/830	3000	>80	16	1200	590	26	G13
LUMILUX F016W/840	4000	>80	16	1200	590	26	G13
LUMILUX F016W/850	5000	>80	16	1150	590	26	G13
BASIC F032W/640	4000	>80	32	2350	1200	26	G13
LUMILUX F032W/830	3000	>80	32	2700	1200	26	G13
LUMILUX F032W/840	4000	>80	32	2700	1200	26	G13
LUMILUX F032W/850	5000	>80	32	2600	1200	26	G13

Fonte: Catálogo OSRAM, 2015

A partir das características da lâmpada fluorescente tubular foi escolhida uma lâmpada LED específica, conforme Tabela 11, para ser usada diretamente na substituição para o setor industrial.

Tabela 11 - Lâmpada LED correspondente a Fluorescente Tubular - Setor Industrial

											
TUBO LED S8 MULTITENSÃO											
ST8-HB2-830	3000K	9	220-240	800	160° x 120°	602	26	40.000	G13	>80	20
ST8-HB2-840	4000K	9	220-240	900	160° x 120°	602	26	40.000	G13	>80	20
ST8-HB2-865	6500K	9	220-240	900	160° x 120°	602	26	40.000	G13	>80	20
ST8-HB4-840	4000K	18	220-240	1900	160° x 120°	1212	26	40.000	G13	>80	40
ST8-HB4-865	6500K	18	220-240	1900	160° x 120°	1212	26	40.000	G13	>80	40
ST8-830 87850	3000K	10	120-277	900	100° x 150°	602	26	40.000	G13	>80	20
ST8-841 87851	4100K	10	120-277	900	100° x 150°	602	26	40.000	G13	>80	20
ST8-850 87852	5000K	10	120-277	900	100° x 150°	602	26	40.000	G13	>80	20
ST8-830 87853	3000K	16	120-277	1650	100° x 150°	1212	26	40.000	G13	>80	40
ST8-841 87854	4100K	16	120-277	1650	100° x 150°	1212	26	40.000	G13	>80	40
ST8-850 87855	5000K	16	120-277	1650	100° x 150°	1212	26	40.000	G13	>80	40

Fonte: Catálogo OSRAM, 2015

Para a iluminação pública foram consideradas lâmpadas de vapor de sódio e de vapor de mercúrio, o critério de seleção para escolha das lâmpadas se manteve o

mesmo. Isto é, a lâmpada LED escolhida para substituição deverá ter características similares a das tradicionais de modo que a substituição continue sendo direta.

Cabe aqui ressaltar que essa substituição direta se mostrou viável devido às informações obtidas no catálogo do fornecedor Vialuz [28] onde é esclarecido que a substituição da lâmpada LED pode ser direta com as lâmpadas de vapor de sódio e de vapor de mercúrio, devido ao seu alto nível de reprodução de cor apesar da diferença entre a quantidade de lumens entre as lâmpadas tradicionais e a LED.

Os tipos de lâmpadas escolhidas para a análise comparativa na iluminação pública são as lâmpadas a vapor de mercúrio e a vapor de sódio, mostradas nas Tabelas 12 e 13. Estas foram comparadas com as lâmpadas LED, que têm suas características detalhadas na Tabela 14 [28], que foram as únicas não encontradas no catálogo da Osram.

Tabela 12 - Lâmpada de Vapor de Sódio Escolhida

	 Cor	 Índice de reprod.	 Potência	 Fluxo Luminoso	 Compr. l máx.	 Diâmetro	 Base	 Vida mediana	 Figura
VIALOX® NAV®-E SUPER 4Y®									
NAV®-E 100W SUPER 4Y®	2000K	≤25	100	10200	183	76	E40	28.000h	2
SON-E									
SON-E 70W	2000K	≤25	70	5600	156	70	E27	24.000h	1
SON-E 100W	2000K	≤25	100	9000	186	75	E40	24.000h	2
SON-E 150W	2000K	≤25	150	13000	220	90	E40	24.000h	2
SON-E 250W	2000K	≤25	250	25000	226	90	E40	24.000h	2
SON-E 400W	2000K	≤25	400	47200	290	120	E40	24.000h	2

Fonte: Catálogo OSRAM, 2015

Tabela 13 - Lâmpada de Vapor de Mercúrio Escolhida

	 Temp. de Cor	 Índice de reprod.	 Potência	 Fluxo Luminoso	 Compr. l máx.	 Diâmetro	 Base	 Figura
HWL® - Lâmpada mista, elipsoidal								
Vida mediana: 5.000 horas								
HWL® 160 225 V	3400K	62	160	3100	153	71	E27	1
HWL® 250 E27 225 V	3400K	50	250	5600	175	76	E27	2
HWL® 250 E40 225 V	3400K	58	250	5600	175	76	E40	2
HWL® 300 225 V	3700K	60	300	14000	270	122	E40	2

Fonte: Catálogo OSRAM, 2015

Tabela 14 - Lâmpada LED correspondente a Vapor de Sódio e Vapor de Mercúrio

VL-P90 - LED de Alto Brilho para Iluminação Pública



- ▼ Baixo consumo de energia - 28W
- ▼ Alto Brilho - Até 2100 lumens, 8 vezes maior do que as lâmpadas incandescentes,
- ▼ Vida útil - Até 50000 Horas,
- ▼ Design Robusto – resistente a choque, vibração e intempéries,
- ▼ Feixe luminoso - Baixo calor gerado / n^o UV,
- ▼ Fácil instalação - Encaixe padrão: soquete Edison 40 e substitui as lâmpadas de sódio de alta pressão diretamente.
- ▼ Baixo custo - Reduz custos trabalhistas e de manutenção

Fonte: Catálogo Vialuz – Iluminação LED, 2015

6.2 Consumo destinado à iluminação.

O Gráfico 4 apresenta para o ano de 2014 o consumo total de energia para cada setor de atividade do nosso país (EPE – Anuário Estatístico de Energia Elétrica - 2014). Onde consumo próprio refere-se ao fornecimento destinado ao consumo de energia elétrica total das distribuidoras. [26]

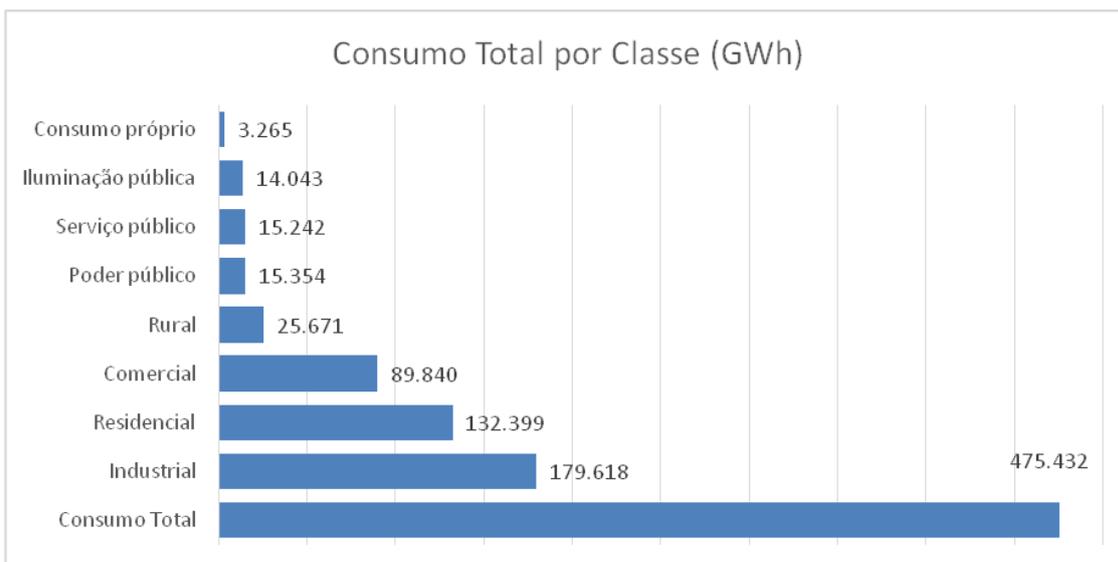


Gráfico 4 - Consumo Total por Classe

Fonte: A autora

Faremos o estudo de caso das quatro classes de consumo, Setor Residencial, Setor Comercial, Setor Industrial e Iluminação Pública.

Para o Setor Residencial, a energia consumida com iluminação está entre 20% e 24% da energia total consumida pelo setor. No Setor Comercial, a energia consumida com iluminação correspondente situa-se entre 40% a 44% da energia total consumida pelo setor. O Setor Industrial tem sua parcela de energia consumida com iluminação entre 1% a 5% da energia total consumida pelo setor. E para a Iluminação Pública, a energia consumida com iluminação corresponde a 100% da energia total consumida [14], [21], [22], [24], [32] e [33]. Essas informações estão descritas na Tabela 15 a seguir.

Tabela 15 - Consumo com Iluminação

Setor	Consumo Total (GWh)	Porcentagem com iluminação	Valor de porcentagem média	Consumo com Iluminação (GWh)
Residencial	132.398	de 20% a 24%	22%	29.126
Comercial	89.839	de 40% a 44%	42%	37.731
Industrial	179.618	de 1% a 5%	3%	5.388
Iluminação pública	14.043	100%	100%	14.043
Total	415.900			86.290

Fonte: A autora

6.3 Metodologia Utilizada.

A metodologia utilizada para avaliar a redução do consumo é bem simples. E foi realizada através do passo a passo descrito abaixo [14] e [24]:

1º passo: Consumo relativo de cada tipo de lâmpada no ano.

$$\begin{aligned} & \text{Pot. Consumida pela lâmpada em 1 ano (GWh)} \\ & = \text{Pot. Total consumida no setor em 1 ano (GWh)} \\ & \quad \times \text{Porcentagem da Lâmpada no Setor} \end{aligned} \tag{5.1}$$

2º passo: Número de horas anuais de consumo.

$$\begin{aligned} & \text{Número de horas das lâmpadas acesas (hs)} \\ & = 365 \times \text{Números de horas de consumo diário de cada setor (hs)} \end{aligned} \tag{5.2}$$

3º passo: Consumo anual de cada lâmpada.

$$\begin{aligned} & \text{Consumo de 1 lâmpada em 1 ano (GWh)} \\ & = \text{Número de horas acesas (hs)} \times \text{Potência da lâmpada (GW)} \end{aligned} \tag{5.3}$$

4º passo: Quantidade do tipo de lâmpada utilizada no ano.

$$\begin{aligned} & \text{Quantidade de lâmpadas utilizadas em 1 ano} \\ & = \frac{\text{Pot. consumida pela lâmpada em 1 ano (GWh)}}{\text{Consumo de 1 lâmpada em 1 ano (GWh)}} \end{aligned} \tag{5.4}$$

5º passo: Consumo total da lâmpada LED usada na substituição.

$$\begin{aligned} & \text{Consumo da lâmpada LED em substituição a lâmpada (GWh)} \\ & = \text{Quantidade de lâmpadas utilizadas em 1 ano} \\ & \quad \times \text{Potência da lâmpada LED (GW)} \\ & \quad \times \text{Número de horas da lâmpadas acesas (hs)} \end{aligned} \tag{5.5}$$

6º passo: Potência total economizada para cada tipo de substituição.

$$\begin{aligned} & \text{Potência Economizada com a substituição (GWh)} \\ & = \text{Potência Consumida pela Lâmpada em 1 ano (GWh)} \\ & - \text{Consumo da lâmpada LED em substituição a lâmpada (GWh)} \end{aligned} \quad (5.6)$$

7º passo: Economia total para cada classe de consumo

$$\begin{aligned} & \text{Economia Total por Classe de Consumo (GWh)} \\ & = \sum \text{Todas as Potências Economizadas com as substituições (GWh)} \end{aligned} \quad (5.7)$$

6.4 Estudos de Caso.

A seguir será avaliada a redução do consumo de energia elétrica com a substituição da lâmpada tradicional pela respectiva lâmpada LED em cada classe de consumo.

6.4.1 Consumidor Residencial.

No Brasil, em 2014, o setor residencial gastou com iluminação cerca de 29.126GWh, como pode ser visto na Tabela 15.

Considerando que a iluminação das residências é composta basicamente de lâmpadas tipo incandescentes e fluorescentes tubulares e compactas, simularemos a substituição por lâmpadas LEDs para a situação idealizada com a utilização referencial das lâmpadas em 60% incandescente, 10% fluorescente tubular e 30% fluorescente compacta [32] e [36].

A Tabela comparativa com as características de cada uma das lâmpadas escolhidas está apresentada na Tabela 16.

Tabela 16 – Comparativo das Lâmpadas

Tipo	Código	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Vida útil (hs)
Lâmpada Incandescente	CLAS A CL 40W	40	516	750
LED	LED SUPERSTAR CLA 40	7	500	25000
Fluorescente Tubular	BASIC L18 W/765	18 +21(reator)	1050	10000
LED	ST8-830 87850	10	900	40000
Fluorescente Compacta	DULUXSTAR Twist 15W/827	15	840	8000
LED	LED SUPERSTAR CLA 60	10	800	25000

Fonte: Catálogo OSRAM

Baseado na Tabela 16 e no custo total de energia consumida em iluminação para o setor residencial foi elaborada a Tabela 17 a seguir, que apresenta os cálculos realizados utilizando a metodologia anteriormente descrita para a substituição das lâmpadas tradicionais pelas lâmpadas LED equivalentes.

Vale ressaltar que para os cálculos apresentados foi considerado um tempo de utilização da iluminação residencial de 8h diárias.

Tabela 17 - Tabela de Análise Econômica do Setor Residencial

RESIDENCIAL

Consumo Total (GWh)	29.126
Consumo Incandescente - 60% (GWh)	17.476
Consumo Fluorescente Tubular - 10% (GWh)	2.913
Consumo Fluorescente Compacta - 30% (GWh)	8.738
<hr/>	
Número de horas das lâmpadas acesas (hs)	2920
<hr/>	
Consumo de 1 lâmpadas incandescente em 1 ano (GWh)	0,0001168
Quantidade de lâmpadas incandescentes utilizadas em 2014	149619863 ≈ 150 milhões
Consumo de lâmpadas LED em substituição as incandescentes (GWh)	3.058
Potência economizada com a substituição (GWh)	14.417
<hr/>	
Consumo de 1 lâmpadas FT em 1 ano (GWh)	0,00011388
Quantidade de lâmpadas FT utilizadas em 2014	25576045 ≈ 25.600 milhões
Consumo de lâmpadas LED em substituição as FT (GWh)	747
Potência economizada com a substituição (GWh)	2.166
<hr/>	
Consumo de 1 lâmpadas FC em 1 ano (GWh)	0,0000438
Quantidade de lâmpadas FC utilizadas em 2014 (GWh)	199493151 ≈ 200 milhões
Consumo de lâmpadas LED em substituição as FC (GWh)	5.825
Potência economizada com a substituição (GWh)	2.913
<hr/>	
Economia Total Residencial (GWh)	19.496

Fonte: A autora

Podemos verificar que a economia total encontrada com a substituição de todas as lâmpadas residenciais por lâmpadas LED é de 19.496 GWh, gerando um economia de 67% no consumo.

6.4.2 Consumidor Comercial.

No Brasil, em 2014, o setor comercial gastou com iluminação cerca de 37.731GWh, como pode ser visto na Tabela 15.

Considerando que a iluminação comercial é composta basicamente de lâmpadas tipo incandescentes e fluorescentes tubulares e compactas, simularemos a substituição por lâmpadas LEDs para a situação idealizada com a utilização referencial

das lâmpadas em 10% incandescente, 30% fluorescente tubular e 60% fluorescente compacta [32] e [36].

Nos últimos anos, já pensando nas reduções de custo com energia e na eficiência energética, ao contrário das residências, boa parte das empresas já fez a substituição de lâmpadas por fluorescentes tubulares mais eficientes, como as T8 ou T5 e, em breve, trocarão as tubulares fluorescentes pelas lâmpadas tubulares LED.

Os tipos de lâmpadas utilizadas para a análise comparativa no setor comercial serão idênticos aos tipos escolhidos no setor residencial, com suas características técnicas já apresentadas na Tabela 16.

Baseado na Tabela 16 e no custo total de energia consumida em iluminação para o setor comercial foi elaborada a Tabela 18 a seguir, que apresenta os cálculos realizados utilizando a metodologia anteriormente descrita para a substituição das lâmpadas tradicionais pelas lâmpadas LED equivalentes.

Vale ressaltar que para os cálculos apresentados foi considerado um tempo médio de utilização da iluminação comercial de 11h diárias.

Tabela 18 - Tabela de Análise Econômica do Setor Comercial

Comercial

Consumo Total (GWh)	37.731
Consumo Incandescente - 10% (GWh)	3.773
Consumo Fluorescente Tubular - 30% (GWh)	11.319
Consumo Fluorescente Compacta - 60% (GWh)	22.639
<hr/>	
Número de horas das lâmpadas acesas (hs)	4015
<hr/>	
Consumo de 1 lâmpadas incandescente em 1 ano (GWh)	0,0001606
Quantidade de lâmpadas incandescentes utilizadas em 2014	23493773 ≈ 23 milhões
Consumo de lâmpadas LED em substituição as incandescentes (GWh)	660
Potência economizada com a substituição (GWh)	3.113
<hr/>	
Consumo de 1 lâmpadas FT em 1 ano (GWh)	0,000156585
Quantidade de lâmpadas FT utilizadas em 2014	72288533 ≈ 72 milhões
Consumo de lâmpadas LED em substituição as FT (GWh)	2.902
Potência economizada com a substituição (GWh)	8.417
<hr/>	
Consumo de 1 lâmpadas FC em 1 ano (GWh)	0,000060225
Quantidade de lâmpadas FC utilizadas em 2014	375900374 ≈ 376 milhões
Consumo de lâmpadas LED em substituição as FC (GWh)	15.092
Potência economizada com a substituição (GWh)	7.546
<hr/>	
Economia Total Comercial (GWh)	19.076

Fonte: A autora

Podemos verificar que a economia total encontrada com a substituição de todas as lâmpadas comerciais por lâmpadas LED é da ordem de 19.076 GWh, gerando uma economia de 50,56% no consumo.

6.4.3 Consumidor Industrial.

No Brasil, em 2014, o setor industrial gastou com iluminação cerca de 5.388GWh, como pode ser visto na Tabela 15.

Considerando que a iluminação industrial é composta basicamente de lâmpadas tipo fluorescente tubular e compacta, simularemos a substituição por lâmpadas LEDs para a situação idealizada com a utilização referencial das lâmpadas em 60% fluorescente tubular e 40% fluorescente compacta [32] e [36].

A Tabela comparativa com as características de cada uma das lâmpadas escolhidas está apresentada na Tabela 19.

Tabela 19 - Comparativo das Lâmpadas

Tipo	Código	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Vida útil (hs)
Fluorescente Tubular	BASIC F032W/640	32 +21(reator)	2350	12000
LED	ST8-HB4-840	18	1900	40000
Fluorescente Compacta	DULUXSTAR Twist 15W/827	15	840	8000
LED	LED SUPERSTAR CLA 60	10	800	25000

Fonte: Catalogo OSRAM - 2015

A Tabela 20 apresenta os cálculos realizados de acordo com a metodologia apresentada com a substituição das lâmpadas fluorescentes tradicionais pelas lâmpadas LED equivalentes.

Vale ressaltar que para os cálculos apresentados foi considerado um tempo médio de utilização da iluminação industrial de 16h diárias.

Tabela 20 - Tabela de Análise Econômica do Setor Industrial

Industrial

Consumo Total (GWh)	5.388
Consumo Fluorescente Tubular - 60% (GWh)	3.233
Consumo Fluorescente Compacta - 40% (GWh)	2.155
<hr/>	
Número de horas das lâmpadas acesas (hs)	5840
<hr/>	
Consumo de 1 lâmpadas FT em 1 ano (GWh)	0,00030952
Quantidade de lâmpadas FT utilizadas em 2014	10444559 ≈10,5 milhões
Consumo de lâmpadas LED em substituição as FT (GWh)	1.098
Potência economizada com a substituição (GWh)	2.135
<hr/>	
Consumo de 1 lâmpadas FC em 1 ano (GWh)	0,0000876
Quantidade de lâmpadas FC utilizadas em 2014	24602740 ≈24,6 milhões
Consumo de lâmpadas LED em substituição as FC (GWh)	1.437
Potência economizada com a substituição (GWh)	718
<hr/>	
Economia Total Industrial (GWh)	2.853

Fonte: A autora

Podemos verificar que a economia total encontrada com a substituição de todas as lâmpadas industriais por lâmpadas LED é de 2.853 GWh, gerando uma economia de 52,95% no consumo.

6.4.4 Iluminação Pública.

No Brasil, em 2014, a iluminação pública foi responsável pelo consumo de cerca de 14.043GWh, como pode ser visto na Tabela 15.

Considerando que a iluminação pública é composta praticamente sua totalidade pelas lâmpadas a vapor de mercúrio e a vapor de sódio, simularemos a substituição por lâmpadas LEDs para a situação idealizada, 65% em lâmpadas de vapor de sódio e 35% em lâmpadas de vapor de mercúrio [32] e [37].

Como já mencionado anteriormente, para uma substituição das lâmpadas utilizadas na iluminação pública por lâmpadas de LED, neste trabalho, será necessária uma modificação na instalação, de maneira a adequar as novas luminárias LED.

Os tipos de lâmpadas utilizados para a análise comparativa na iluminação pública são as lâmpadas a vapor de mercúrio e a vapor de sódio, comparadas com as lâmpadas LED.

Novamente procurou-se manter uma substituição direta entre as lâmpadas, o que só foi possível em função da alta reprodução de cor oferecida pela lâmpada LED. O que independe do fluxo luminoso de cada uma delas [18] e [28]. Conforme apresentado na Tabela 21 a seguir.

Tabela 21 – Comparativo das Lâmpadas

Tipo	Código	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Vida útil (hs)
Vapor de Mercúrio	HWL 250 E40225 V	250	5600	5000
Vapor de Sódio	SON-E 100W	100+30(reator)	9000	24000
LED	VL-P90 (ViaLuz)	28	2100	50000

Fonte: Catálogo OSRAM e Catálogo Vialuz- 2015

Considerando os dados apresentados anteriormente, segue a Tabela 22 onde se apresenta os cálculos realizados de acordo com a metodologia apresentada com a substituição das lâmpadas de iluminação pública tradicionais pelas luminárias LED equivalentes.

Vale ressaltar que para os cálculos apresentados foi considerado um tempo médio de utilização da iluminação pública de 12h diárias.

Tabela 22 - Tabela de Análise Econômica da Iluminação Pública

Iluminação Pública

Consumo Total (GWh)	14.043
Consumo Vapor de Sódio - 65%(GWh)	9.128
Consumo só Vapor de Mercúrio - 35% (GWh)	4.915
<hr/>	
Número de horas das lampadas acesas (hs)	4380
<hr/>	
Consumo de 1 lâmpadas VS em 1 ano (GWh)	0,0005694
Quantidade de lâmpadas VS utilizadas em 2014	16030822 ≈ 16 milhões
Consumo de lâmpadas LED em substituição as VS (GWh)	1.966
Potência economizada com a substituição (GWh)	7.162
<hr/>	
Consumo de 1 lâmpadas VM em 1 ano (GWh)	0,001095
Quantidade de lâmpadas VM utilizadas em 2014	4488630 ≈ 4,5 milhões
Consumo de lâmpadas LED em substituição as VM (GWh)	550
Potência economizada com a substituição (GWh)	4.365
<hr/>	
Economia Total Iluminação Pública (GWh)	11.526

Fonte: A autora

Podemos verificar que a economia total encontrada com a substituição de toda iluminação pública por luminárias LED é de 11.526 GWh, gerando uma economia de 82,07% no consumo.

6.5 Economia para o Sistema de Geração.

Verificamos nos itens anteriores que a iluminação artificial consumiu no ano de 2014 aproximadamente 86.288 GWh da energia elétrica no país, conforme Tabela 23 a seguir.

Tabela 23 - Tabela de Consumo Total com a Iluminação Artificial

Consumo Setor Residencial	29.126 GWh
Consumo Setor Comercial	37.731 GWh
Consumo Setor Industrial	5.388 GWh
Consumo de Iluminação Pública	14.043 GWh
Consumo Total	86.288 GWh

Fonte: A autora

A substituição das lâmpadas tradicionais por LEDs, as quais possuem uma potência muito menor que as tradicionais, representou uma economia no consumo de energia no valor de 52.951 GWh ao ano, conforme apresentada na Tabela 24.

Tabela 24 - Tabela da Economia Adquirida pela troca por LED

Economia Total Setor Residencial	19.496 GWh
Economia Total Setor Comercial	19.076 GWh
Economia Total Setor Industrial	2.853 GWh
Economia Total Setor de Iluminação Pública	11.526 GWh
Economia Total	52.951 GWh

Fonte: A autora

Com a economia de energia em 52.951 GWh e considerando um fator de segurança de 50% encontramos um potencial energético na ordem de 26.476 GWh.

Fazendo uma analogia atual à estimativa de geração de energia elétrica anual que será produzida pela Usina Nuclear de Angra III que ainda está em construção irá gerar 11 TWh (Eletrobrás/Procel,2013), podemos perceber que a economia de energia elétrica utilizando tecnologia de LED é de mais de 2 usinas nucleares do mesmo porte, chegando a uma economia de 22 TWh.

Desta forma, construções de novas usinas de geração de energia elétrica são investimentos que requerem altíssimos gastos, com um retorno de longo prazo. O planejamento de novas usinas além do grande investimento financeiro tem a questão de alteração do meio ambiente, tais como: inundações de grandes áreas para usinas hidroelétricas, desapropriação dessas áreas, aumento na emissão de CO2 devido o uso de usinas térmicas e um nível de segurança para construção de usinas nucleares.

Pode ser destacado que uma forma de se evitar o desperdício é racionar energia elétrica de forma inteligente, usando equipamentos eficientes e sem a perda da qualidade de vida ou de comprometer a produtividade ou do desenvolvimento do país. O racionamento com desperdício só acontece quando desrespeitamos a natureza e consumimos energia elétrica desnecessariamente, prejudicando nosso futuro e o futuro do planeta.

Desta forma, podemos observar que a iluminação do estado sólido aliado a uma política nacional de economia de energia elétrica, trará muitos benefícios para a população, gerando uma economia para todo o país em um curto espaço de tempo.

7. Retorno do Investimento

No presente capítulo será avaliado o retorno do investimento para o cenário idealizado, visto no capítulo anterior, de substituições de lâmpadas incandescentes, fluorescentes e de vapor de sódio e de mercúrio por lâmpadas LEDs, para as diferentes classes de consumo, mostrando o custo e o retorno do investimento conseguido com as referidas substituições.

Também serão avaliados os diferentes setores apresentados e outros fatores que impedem ou desestimulam a substituição.

Numa das etapas de verificação consideramos o custo de aquisição de cada lâmpada obtido através do cálculo do custo médio de três valores diferenciados encontrados em pesquisa de mercado, conforme apresentado na Tabela 25, para cada lâmpada tradicional e as suas respectivas lâmpadas LEDs escolhidas como substituta.

Tabela 25 - Comparativo de Preços

Tipo	Código	Preço Máximo (R\$)	Preço Intermediário (R\$)	Preço Mínimo (R\$)	Preço Utilizado(R\$)
Lâmpada Incandescente	CLAS A CL 40W	2,40	1,06	1,10	1,52
LED	LED SUPERSTAR CLA 40	38,20	36,60	35,90	36,90
Fluorescente Tubular	BASIC L18 W/765	9,20	7,60	6,90	7,90
LED	ST8-830 87850	82,70	79,80	74,50	79,00
Fluorescente Compacta	DULUXSTAR Twist 15W/827	9,90	7,29	6,51	7,90
LED	LED SUPERSTAR CLA 60	51,40	46,60	45,70	47,90
Fluorescente Tubular	BASIC F032W/640	7,90	5,20	4,90	6,00
LED	ST8-HB4-840	145,00	139,60	138,40	141,00
Vapor de Mercúrio	HWL 250 E40225 V	16,50	13,40	12,10	14,00
Vapor de Sódio	SON-E 100W	30,30	27,10	26,60	28,00
LED	VL-P90 (ViaLuz)	605,80	359,90	423,00	462,90

Fonte: A autora

Além do preço médio utilizado para cada lâmpada, foi considerada também a potência e a vida útil de cada uma delas, já informadas nas Tabelas 16, 18 e 20.

7.1 Procedimento Metodológico.

Na análise de viabilidade econômica foi analisada a economia e qual o retorno do investimento feito ao adquirir lâmpadas com a tecnologia de LED, se comparado às lâmpadas convencionais escolhidas. Para tanto, foram considerados os itens: potência consumida por cada tipo de lâmpada; custo da energia por classe de consumo; preço da lâmpada, tempo de vida útil de cada lâmpada, tempo de uso para cada classe de consumo, custo para troca, manutenção e descarte.

Para essa análise traçou-se no Excel uma planilha onde os custos de cada lâmpada só serão considerados ao término de sua vida útil com a necessidade de troca/compra de outra lâmpada, enquanto ao longo do tempo o custo considerado seria apenas do consumo da lâmpada.

Vamos usar a lâmpada incandescente para o setor residencial como exemplo, por ser a troca mais simples, e por podermos ver a viabilidade mais rapidamente, devido ao alto consumo da lâmpada Incandescente. Com a aplicação do conceito acima, foi elaborada a planilha mostrada na Tabela 26 apresentada a seguir e a partir desta planilha foi traçado o Gráfico 5.

Tabela 26 - Tabela de Custos do Excel

Tempo (meses)	Despesas Acumuladas com Lâmpada Incandescente (R\$)			Despesa com Lâmpada LED (R\$)		
	Custo de Implantação, Reposição e Manutenção (R\$)	Custo de Consumo de Energia (R\$)	Custo Total Acumulado (R\$)	Custo de Aquisição / Reposição	Custo de Consumo de Energia	Custo Total Acumulado
0	1,52	0,00	1,52	36,90	0,00	36,90
1	1,52	3,19	4,71	36,90	0,56	37,46
2	1,52	6,39	7,91	36,90	1,12	38,02
3	1,52	9,58	11,10	36,90	1,68	38,58
4	3,04	12,78	15,82	36,90	2,24	39,14
5	3,04	15,97	19,01	36,90	2,80	39,70
6	3,04	19,17	22,21	36,90	3,35	40,25
7	4,56	22,36	26,92	36,90	3,91	40,81
8	4,56	25,56	30,12	36,90	4,47	41,37
9	4,56	28,75	33,31	36,90	5,03	41,93
10	6,08	31,95	38,03	36,90	5,59	42,49
11	6,08	35,14	41,22	36,90	6,15	43,05
12	6,08	38,34	44,42	36,90	6,71	43,61
13	7,60	41,53	49,13	36,90	7,27	44,17
14	7,60	44,73	52,33	36,90	7,83	44,73
15	7,60	47,92	55,52	36,90	8,39	45,29
16	9,12	51,12	60,24	36,90	8,95	45,85
17	9,12	54,31	63,43	36,90	9,50	46,40
18	9,12	57,50	66,62	36,90	10,06	46,96
19	10,64	60,70	71,34	36,90	10,62	47,52
20	10,64	63,89	74,53	36,90	11,18	48,08
21	10,64	67,09	77,73	36,90	11,74	48,64
22	12,16	70,28	82,44	36,90	12,30	49,20
23	12,16	73,48	85,64	36,90	12,86	49,76
24	12,16	76,67	88,83	36,90	13,42	50,32
25	13,68	79,87	93,55	36,90	13,98	50,88
26	13,68	83,06	96,74	36,90	14,54	51,44
27	13,68	86,26	99,94	36,90	15,10	52,00
28	15,20	89,45	104,65	36,90	15,65	52,55
29	15,20	92,65	107,85	36,90	16,21	53,11
30	15,20	95,84	111,04	36,90	16,77	53,67

Fonte: A autora

Através dessa planilha, podemos ver que o ponto em que o custo da lâmpada incandescente fica maior que o custo da lâmpada LED, é entre 11 e 12 meses (faixa amarela), sendo mais próximo de 12 meses, e com um preço em torno de R\$ 43,50.

No Gráfico 5 não é possível ver os degraus na linha da incandescente, pois o custo de implantação é muito pequeno. Já na linha da lâmpada LED, fica mais claro de observar aonde ocorre o salto pela troca da lâmpada.

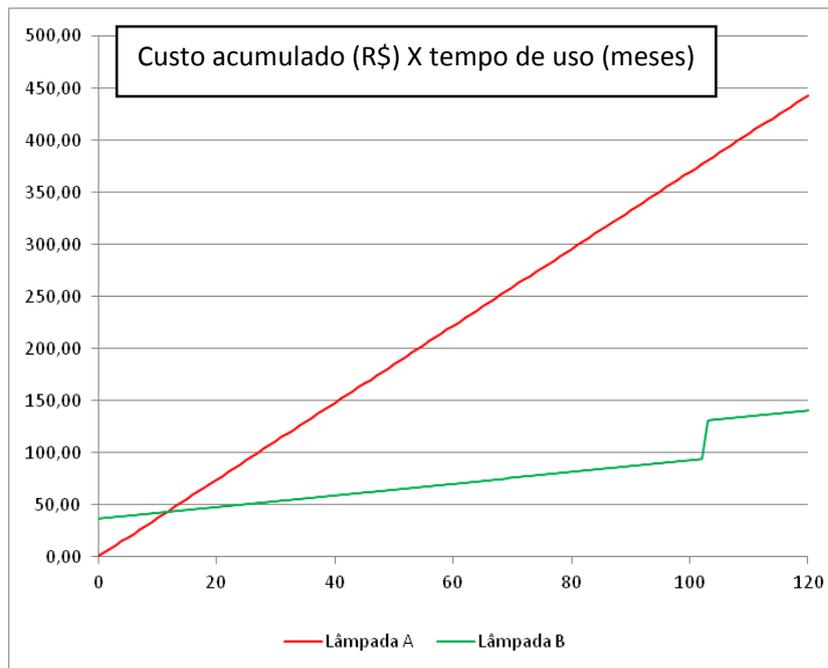


Gráfico 5 - Gráfico a partir dos pontos da Tabela 25

Fonte: A autora

Já no Gráfico 6, ampliamos bastante a escala para poder observar os degraus gerados pelo fim da vida útil da lâmpada incandescente, que ocorrem com uma alta frequência. No Gráfico abaixo também podemos verificar melhor o ponto em que a lâmpada LED passa a ser mais vantajosa que a lâmpada Incandescente.

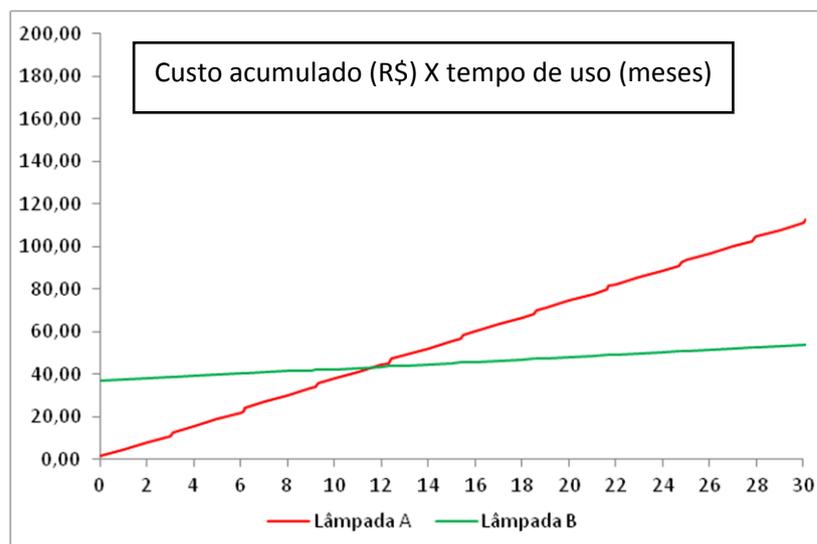


Gráfico 6 - Gráfico 5 ampliado

Fonte: A autora

7.2 Avaliação Econômica.

A avaliação econômica para as diferentes classes de consumo foi realizada de duas maneiras distintas. Na primeira avaliação, muito simples de se realizar, utilizou-se apenas o custo da energia consumida, isto é, quanto se economizaria no pagamento da energia consumida com a simples substituição da respectiva lâmpada LED com um menor consumo de energia. A outra forma de avaliação econômica foi realizada com a tabela no Excel, explicada no item anterior.

No exemplo anterior, não foram considerados itens de custo de troca, manutenção e descarte, pois para lâmpada incandescente no setor residencial, não se mostra necessária, uma vez que a instalação é muito simples, de troca imediata e sem custo no descarte, mas para os outros tipos de lâmpadas esses itens serão considerados e explicitados no cenário de cada tipo de lâmpada para cada setor.

Para mensurar o valor do descarte das lâmpadas verificamos que o valor do descarte e reciclagem é quase 30 a 40% do custo de uma lâmpada nova (SEBEN, 2012). Todos os tipos de lâmpadas necessitam de um correto descarte, exceto as incandescentes e as LEDs, pois essas não contêm metais pesados.

A seguir apresentaremos as avaliações econômicas para quatro classes de consumo analisadas.

7.2.1 Consumidor Residencial.

O valor total considerado de consumo em iluminação para o consumidor residencial foi de 29.126 GWh. Lembramos que, foi idealizada a utilização residencial das lâmpadas com a seguinte padronização, 60% em lâmpadas incandescentes, 30% em fluorescentes compactas e 10% em fluorescente tubular.

Com base na padronização residencial e com o custo da energia da Light Distribuição (Companhia do Estado do Rio de Janeiro de Energia) do setor residencial de R\$ 328,74/MWh (Aneel – 2014), foi realizada a primeira análise da viabilidade econômica conforme apresentada na Tabela 27.

Tabela 27 – Custos apenas com o consumo - Setor Residencial

Residencial

Tarifa (R\$/MWh)	328,74	
	GWh	Custo (R\$)
Consumo Total (GWh)	29.126	R\$ 9.574.881.240,00
Consumo Incandescente - 60% (GWh)	17.476	R\$ 5.744.928.744,00
Consumo Fluorescente Tubular - 10% (GWh)	2.913	R\$ 957.488.124,00
Consumo Fluorescente Compacta - 30% (GWh)	8.738	R\$ 2.872.464.372,00
Consumo de lâmpadas LED em substituição as incandescentes (GWh)	3.058	R\$ 1.005.362.530,20
Potência economizada com a substituição de LED na Incandescente(GWh)	14.417	R\$ 4.739.566.213,80
Consumo de lâmpadas LED em substituição as FT (GWh)	747	R\$ 245.509.775,38
Potência economizada com a substituição de LED na FT (GWh)	2.166	R\$ 711.978.348,62
Consumo de lâmpadas LED em substituição as FC (GWh)	5.825	R\$ 1.914.976.248,00
Potência economizada com a substituição de LED na FC (GWh)	2.913	R\$ 957.488.124,00
Economia Total Residencial (GWh)	19.496	R\$ 6.409.032.686,42

Fonte: A autora

A partir do resultado apresentado na Tabela 25, é possível verificar que a redução do custo de energia que o sistema LED proporcionaria no setor residencial ao longo de um ano em todo o país é em torno R\$ 6,4 bilhões.

Na segunda análise de viabilidade econômica foi feita uma Tabela onde foi possível executar um comparativo unitário entre as lâmpadas convencionais e cada uma das suas respectivas lâmpadas LEDs escolhidas para substituição, em uso residencial. Para tanto, foram considerados basicamente os preços médios de mercado das lâmpadas conforme Tabela 24; a tarifa de energia para uso residencial de R\$ 328,74/MWh (Aneel – 2014), o uso diário de 8 horas durante o ano.

A seguir são apresentadas, caso a caso, as comparações entre as lâmpadas tradicionais e as lâmpadas LED correspondentes, com suas características de utilização/manutenção e os resultados dessas comparações.

7.2.1.1 LEDs versus Lâmpadas Incandescentes

As especificações consideradas para a lâmpada incandescente e para a LED escolhida para substituição são aquelas apresentadas no capítulo 6, Tabela 16.

A partir desses dados foram desenhadas as curvas comparativas dos dois sistemas, conforme o Gráfico 6, tornando possível a avaliação do tempo de retorno considerado na substituição.

Para o Custo Total da Lâmpada nessa comparação (incandescente X LED) foi considerado apenas o preço da lâmpada e da sua troca, não sendo considerado custo com mão de obra, manutenção e descarte da lâmpada.

O Gráfico de lâmpadas incandescentes no setor residencial já foi colocado acima, na explicação do método, não sendo necessária à sua recolocação. Lá nos mostra ainda que apesar do investimento maior na aquisição de uma lâmpada de LED, com o tempo, a redução do consumo de energia, compensa em muito o investimento inicial.

7.2.1.2 LEDs versus Lâmpadas Fluorescentes Tubulares

As especificações consideradas para a lâmpada fluorescente tubular e para a LED escolhida para substituição são aquelas apresentadas no capítulo 6, Tabela 16.

A partir desses dados foram desenhadas as curvas comparativas dos dois sistemas, conforme o Gráfico 7, tornando possível a avaliação do tempo de retorno considerado na substituição.

Para o Custo Total da Lâmpada nessa comparação (fluorescente tubular X LED) foram considerados o preço da lâmpada, a sua troca com o custo com a mão de obra (para instalação do reator) no valor de R\$ 2,00 por lâmpada [39], e o custo do descarte da lâmpada fluorescente tubular que fica no valor de 35% do preço da lâmpada, valor esse em torno de R\$ 2,75.

Para o Preço Inicial da Lâmpada nessa comparação (fluorescente tubular X LED), foi considerado o preço da lâmpada com um custo de mão de obra, para instalação no valor de R\$ 2,00.

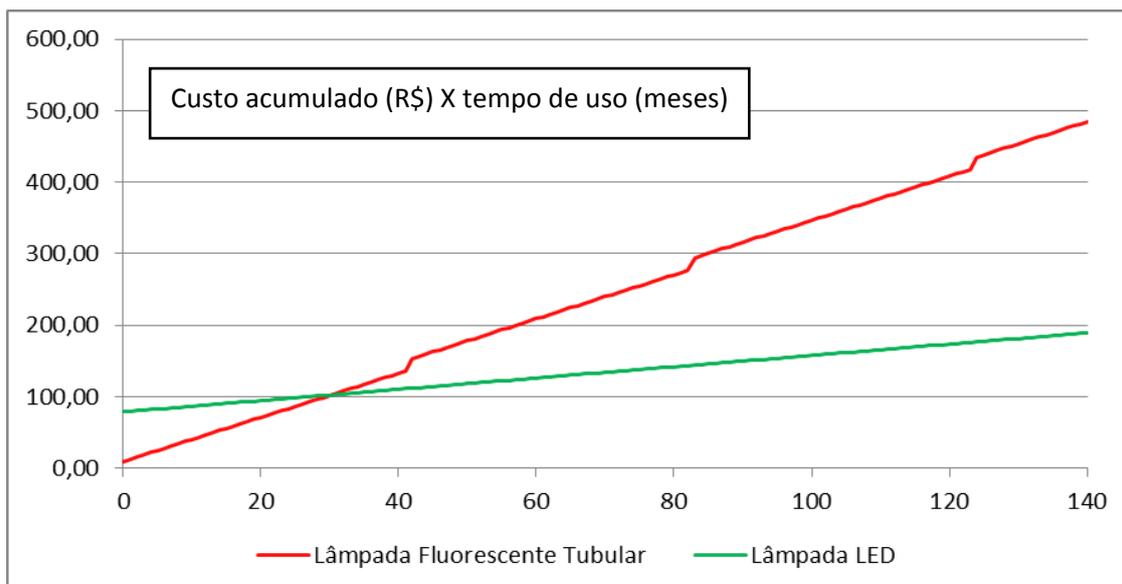


Gráfico 7 - LED x Fluorescente Tubular - Setor Residencial

Fonte A autora

Tabela 28 - Ponto de Interseção

Tempo (meses)	Despesas Acumuladas com Lâmpada FT (R\$)			Despesa com Lâmpada LED (R\$)		
	Custo de Implantação, Reposição e Manutenção (R\$)	Custo de Consumo de Energia (R\$)	Custo Total Acumulado (R\$)	Custo de Aquisição / Reposição	Custo de Consumo de Energia	Custo Total Acumulado
30	9,90	92,31	102,21	79,00	23,67	102,67
31	9,90	95,39	105,29	79,00	24,46	103,46

Fonte A autora

No Gráfico 7 e na Tabela 28 visualizamos que, para um custo acumulado em torno de R\$ 103,00 com um tempo de uso de 30 meses de utilização das lâmpadas, a Lâmpada LED começa a se mostrar mais vantajosa que a Lâmpada Fluorescente Tubular, com uma economia de energia e dinheiro.

O Gráfico nos mostra que só existe retorno do investimento após algo em torno de 30 meses de substituição. Isso se deve, à boa eficiência da lâmpada fluorescente tubular. É importante registrar que as lâmpadas LED, em especial as tubulares, podem sim ser uma alternativa bem mais econômica que as tubulares fluorescentes. É claro que devemos olhar caso a caso visto que é muito importante que haja uso intensivo da iluminação para que a substituição seja vantajosa assim como uma análise do tipo de fluorescente utilizada, deixando aqui o registro que a substituição dos modelos T8

possuem um retorno de investimento mais curto, do que a substituição dos modelos T5, que apesar de serem também fluorescentes, são mais eficientes que as T8.

7.2.1.3 LEDs versus Lâmpadas Fluorescentes Compactas

As especificações consideradas para a lâmpada fluorescente compacta e para a LED escolhida para substituição são aquelas apresentadas no capítulo 6, Tabela 16.

A partir desses dados foram desenhadas as curvas comparativas dos dois sistemas, conforme o Gráfico 8, tornando possível a avaliação do tempo de retorno considerado na substituição.

Para o Custo Total da Lâmpada nessa comparação (fluorescente compacta X LED) foram considerados o preço da lâmpada e de sua troca, e o custo do descarte da lâmpada fluorescente compacta que fica em 35% do preço da lâmpada, valor esse de descarte em torno de R\$ 2,75.

Nesta comparação não houve acréscimo no Preço Inicial da Lâmpada.

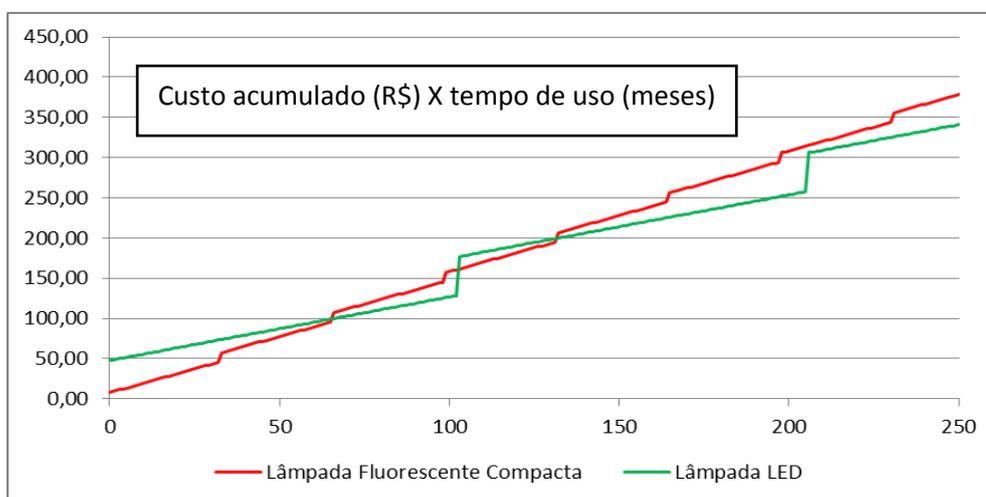


Gráfico 8 - LED x Fluorescente Compacta - Setor Residencial

Fonte: A autora

Tabela 169 - Ponto de Interseção

Tempo (meses)	Despesas Acumuladas com Lâmpada FC (R\$)			Despesa com Lâmpada LED (R\$)		
	Custo de Implantação, Reposição e Manutenção (R\$)	Custo de Consumo de Energia (R\$)	Custo Total Acumulado (R\$)	Custo de Aquisição / Reposição	Custo de Consumo de Energia	Custo Total Acumulado
131	39,85	155,03	194,88	95,80	103,36	199,16
132	50,50	156,22	206,72	95,80	104,14	199,94

Fonte: A autora

No Gráfico 8 e na Tabela 29 visualizamos que, para um custo acumulado em torno de R\$ 199,00 com um tempo de uso de 131 meses de utilização das lâmpadas, a lâmpada LED fica com uma utilização mais vantajosa que a Lâmpada Fluorescente Compacta. Cabe aqui ressaltar que, conforme pode ser visto no Gráfico as curvas se cruzam três vezes antes dos 131 meses, demonstrando que a viabilidade econômica da lâmpada LED aparece com aproximadamente 60 meses de uso e permanece economicamente viável até o momento da sua troca, que ocorre com aproximadamente 105 meses de uso. Depois dos 105 meses, a lâmpada LED só se apresenta novamente viável após os 131 meses de uso.

O Gráfico nos mostra que o tempo de retorno é muito grande. Isso se deve, principalmente, à eficiência da lâmpada fluorescente compacta e a grande diferença dos custos iniciais entre as duas lâmpadas. É importante ressaltar que com o desenvolvimento da tecnologia LED a tendência de mercado é tornar a lâmpada LED cada vez mais competitiva em preço, conseqüentemente, tornando muito mais viável a sua utilização. Essa diminuição no custo da lâmpada LED também pode ser resultado de uma eventual intervenção de governo no mercado de modo a baixar o custo das lâmpadas LED para economia no consumo da energia.

7.2.2 Consumidor Comercial.

O valor total considerado de consumo em iluminação para o consumidor comercial foi de 37.731 GWh. Para esse valor, foi idealizada a utilização comercial das lâmpadas com a seguinte padronização, 10% em lâmpadas incandescentes, 60% em fluorescentes compactas e 30% em fluorescente tubular.

Com base nesta padronização comercial e com o custo da energia comercial da Light Distribuição (Companhia do Estado do Rio de Janeiro de Energia) no valor de R\$317,48/MWh (Aneel - 2014), foi verificada a primeira análise de viabilidade econômica conforme Tabela 30 a seguir.

Tabela 30 – Custo de consumo para setor Comercial

Tarifa (R\$/MWh)	317,48	
	GWh	Custo (R\$)
Consumo Total (GWh)	37.731	R\$ 11.978.837.880,00
Consumo Incandescente - 10% (GWh)	3.773	R\$ 1.197.883.788,00
Consumo Fluorescente Tubular - 30% (GWh)	11.319	R\$ 3.593.651.364,00
Consumo Fluorescente Compacta - 60% (GWh)	22.639	R\$ 7.187.302.728,00
Consumo de lâmpadas LED em substituição as incandescentes (GWh)	660	R\$ 209.629.662,90
Potência economizada com a substituição de LED na Incandescente(GWh)	3.113	R\$ 988.254.125,10
Consumo de lâmpadas LED em substituição as FT (GWh)	2.902	R\$ 921.449.067,69
Potência economizada com a substituição de LED na FT (GWh)	8.417	R\$ 2.672.202.296,31
Consumo de lâmpadas LED em substituição as FC (GWh)	15.092	R\$ 4.791.535.152,00
Potência economizada com a substituição de LED na FC (GWh)	7.546	R\$ 2.395.767.576,00
Economia Total Comercial (GWh)	19.076	R\$ 6.056.223.997,41

Fonte: A autora

A partir do resultado apresentado na Tabela 30, é possível verificar que a redução do custo de energia que o sistema LED proporcionaria no setor comercial ao longo de um ano em todo o país é da ordem de R\$ 6 bilhões.

Na segunda análise de viabilidade econômica foi utilizada a formula apresentada no item 6.2 onde foi possível executar um comparativo unitário entre as lâmpadas convencionais e cada uma das suas respectivas lâmpadas LEDs escolhidas para substituição, em uso comercial. Como já informado anteriormente, iguais às residenciais. Para tanto, foram considerados basicamente os preços médios de mercado das lâmpadas conforme Tabela 24; a tarifa de energia para uso comercial de R\$ 317,48/MWh (Aneel – 2014), o uso diário de 11 horas durante o ano.

Deve-se ressaltar ainda que no caso de um estabelecimento comercial, em que a iluminação elétrica costuma funcionar por mais horas, o retorno do investimento inicial costuma vir em menos tempo. Um corredor de hotel, por exemplo, fica aceso 24 horas

por dia, o que dá um pouco mais de 8.700 horas por ano. Considerando-se essa situação, podemos afirmar que o retorno se dá muito mais rápido do que em uma residência.

A seguir são apresentadas, caso a caso, as comparações entre as lâmpadas tradicionais e as lâmpadas LED correspondentes, com suas características de utilização/manutenção e os resultados dessas comparações.

7.2.2.1 LEDs versus Lâmpadas Incandescentes

As especificações consideradas para a lâmpada incandescente e para a LED escolhida para substituição são aquelas apresentadas no capítulo 6, Tabela 16.

A partir desses dados foram desenhadas as curvas comparativas dos dois sistemas, conforme o Gráfico 9, tornando possível a avaliação do tempo de retorno considerado na substituição.

Para o Custo Total da Lâmpada nessa comparação (incandescente X LED) foi considerado o preço da lâmpada e da sua troca, com um custo de mão de obra no valor de R\$ 2,00. O custo de descarte da lâmpada não foi considerado.

Para o Preço Inicial da Lâmpada nessa comparação (incandescente X LED) foi considerado o preço da lâmpada com um custo de mão de obra, para instalação comercial, no valor de R\$ 2,00.

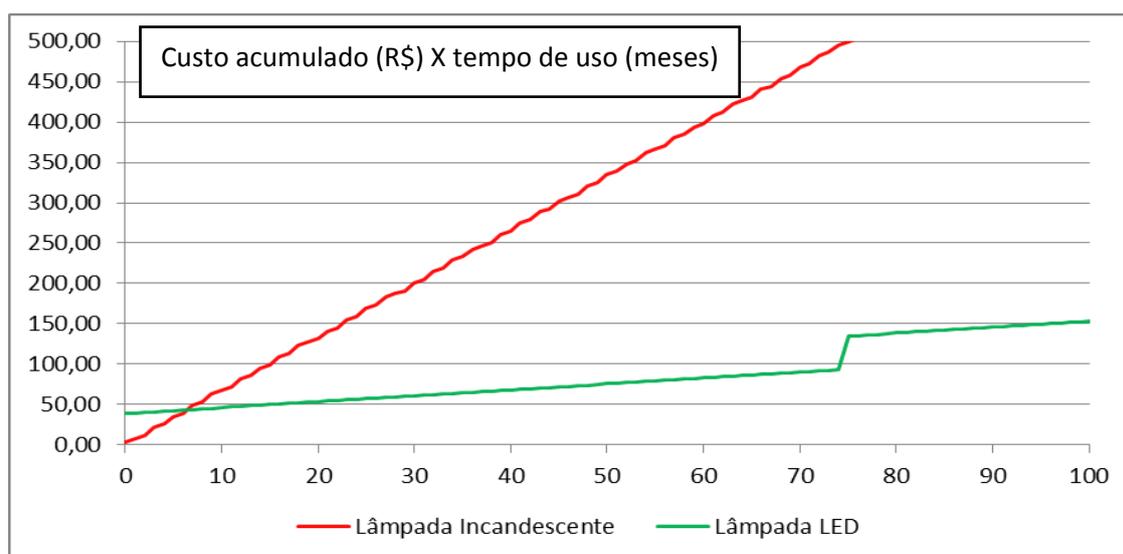


Gráfico 9 - LED x Incandescente - Setor Comercial

Fonte: A autora

Tabela 171 - Ponto de Interseção

Tempo (meses)	Despesas Acumuladas com Lâmpada Incandescente (R\$)			Despesa com Lâmpada LED (R\$)		
	Custo de Implantação, Reposição e Manutenção (R\$)	Custo de Consumo de Energia (R\$)	Custo Total Acumulado (R\$)	Custo de Aquisição / Reposição	Custo de Consumo de Energia	Custo Total Acumulado
7	12,08	29,34	41,42	36,90	5,13	42,03
8	12,08	33,53	45,61	36,90	5,87	42,77

Fonte: A autora

No Gráfico 9 e na Tabela 31 visualizamos que, para um custo acumulado em torno de R\$ 42,00 com um tempo de uso de 7 meses de utilização das lâmpadas, a lâmpada LED passa a ter uma utilização muito mais vantajosa que a Lâmpada Incandescente. Conforme pode ser visualizado no Gráfico, a linha da lâmpada LED possui uma inclinação muito menor que a da Lâmpada Incandescente.

O Gráfico nos mostra que apesar do alto investimento na aquisição de uma lâmpada de LED, como o tempo de uso é relativamente alto, a redução do consumo de energia e a menor necessidade de troca de lâmpadas, compensam bastante o investimento.

7.2.2.2 LEDs versus Lâmpadas Fluorescentes Tubulares

As especificações consideradas para a lâmpada fluorescente tubular e para a LED escolhida para substituição são aquelas apresentadas no capítulo 6, Tabela 16.

A partir desses dados foram desenhadas as curvas comparativas dos dois sistemas, conforme o Gráfico 10, tornando possível a avaliação do tempo de retorno considerado na substituição.

Para o Custo Total da Lâmpada nessa comparação (fluorescente tubular X LED) foram considerados o preço da lâmpada, a sua troca com o custo com a mão de obra (para instalação do reator) no valor de R\$ 2,00 por lâmpada [39], e o custo do descarte

da lâmpada fluorescente tubular fica em torno de 35% do preço da lâmpada, valor esse em torno de R\$ 2,75.

Para Preço Inicial da Lâmpada nessa comparação (fluorescente tubular X LED) foi considerado o preço da lâmpada com um custo de mão de obra, para instalação comercial, no valor de R\$ 2,00.

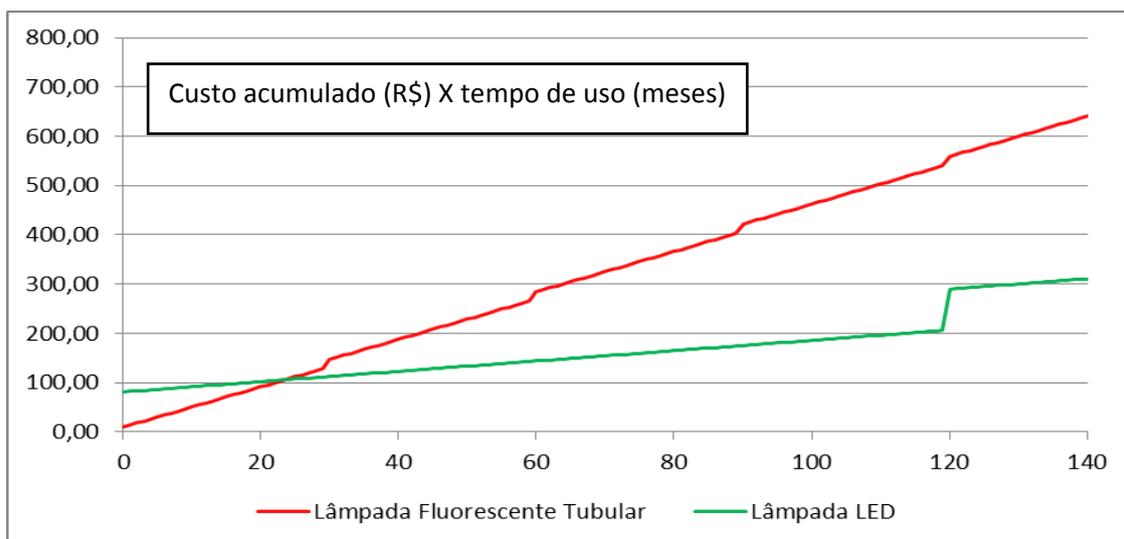


Gráfico 10 - LED x Fluorescente Tubular - Setor Comercial

Fonte: A autora

Tabela 32 - Ponto de Interseção

Tempo (meses)	Despesas Acumuladas com Lâmpada FT (R\$)			Despesa com Lâmpada LED (R\$)		
	Custo de Implantação, Reposição e Manutenção (R\$)	Custo de Consumo de Energia (R\$)	Custo Total Acumulado (R\$)	Custo de Aquisição / Reposição	Custo de Consumo de Energia	Custo Total Acumulado
23	9,90	93,98	103,88	81,00	24,10	105,10
24	9,90	98,06	107,96	81,00	25,14	106,14

Fonte: A autora

No Gráfico 10 e na Tabela 32 visualizamos que, para um custo acumulado em torno de R\$ 105,00 com um tempo de uso de 23 meses de utilização das lâmpadas, a lâmpada LED começa a se mostrar mais vantajosa do que a Lâmpada Fluorescente Tubular, com uma economia de energia e dinheiro. Esse tempo para a lâmpada LED começar a ser uma melhor opção também é menor que aquele apresentado no setor

residencial, em função de um maior tempo de uso das lâmpadas, conforme já explicado anteriormente.

É importante registrar que as lâmpadas LED, em especial as tubulares, podem ser uma alternativa bem mais econômica que as tubulares fluorescentes. É claro que é muito importante que haja uso intensivo da iluminação para que a substituição seja vantajosa. Cabe registrar que para certos ambientes comerciais com necessidade de iluminação constante a lâmpada fluorescente tubular perde luminosidade com o passar do tempo, viabilizando ainda mais a utilização da lâmpada LED.

7.2.2.3 LEDs versus Lâmpadas Fluorescentes Compactas

As especificações consideradas para a lâmpada fluorescente compacta e para a LED escolhida para substituição são aquelas apresentadas no capítulo 6, Tabela 16.

A partir desses dados foram desenhadas as curvas comparativas dos dois sistemas, conforme o Gráfico 11, tornando possível a avaliação do tempo de retorno considerado na substituição.

Para o Custo Total da Lâmpada nessa comparação (fluorescente compacta X LED) foram considerados o preço da lâmpada e da sua troca, com um custo de mão de obra no valor de R\$ 2,00 por lâmpada [39], e o custo do descarte da lâmpada fluorescente compacta que fica no valor de 35% do preço da lâmpada, valor esse em torno de R\$ 2,75.

Para Preço Inicial da Lâmpada nessa comparação (fluorescente compacta X LED) foi considerado o preço da lâmpada com um custo de mão de obra, para instalação comercial, no valor de R\$ 2,00.

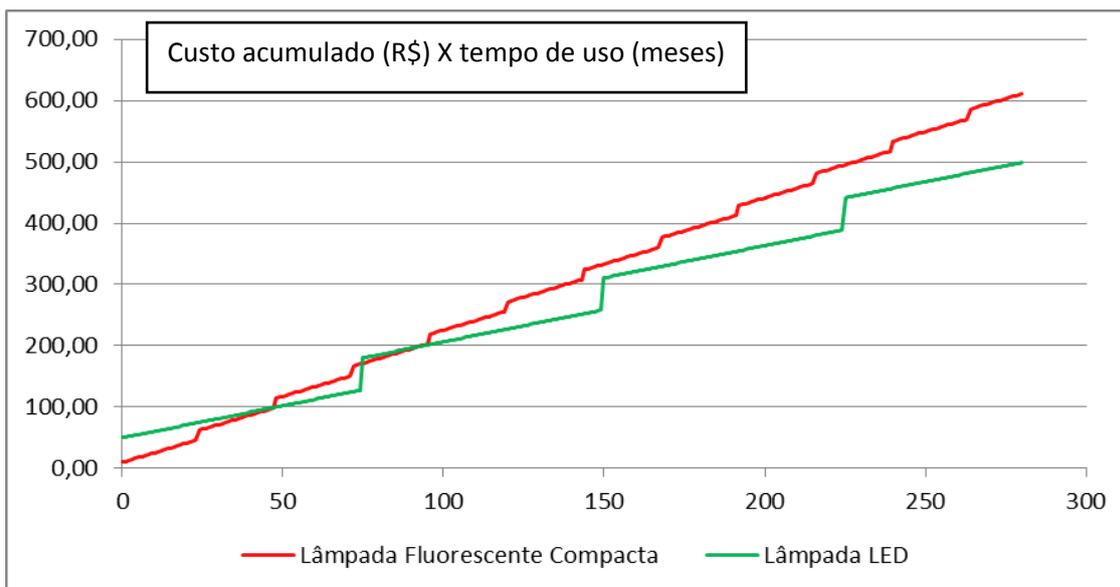


Gráfico 11 - LED x Fluorescente Compacta - Setor Comercial

Fonte: A autora

Tabela 33 - Pontos de Interseção

Tempo (meses)	Despesas Acumuladas com Lâmpada FC (R\$)			Despesa com Lâmpada LED (R\$)		
	Custo de Implantação, Reposição e Manutenção (R\$)	Custo de Consumo de Energia (R\$)	Custo Total Acumulado (R\$)	Custo de Aquisição / Reposição	Custo de Consumo de Energia	Custo Total Acumulado
91	53,85	143,01	196,86	101,80	95,34	197,14
92	53,85	144,58	198,43	101,80	96,39	198,19

Fonte: A autora

No Gráfico 11 e na Tabela 33 visualizamos que, para um custo acumulado em torno de R\$ 198,00 com um tempo de uso de 92 meses de utilização das lâmpadas, a lâmpada LED fica com uma utilização mais vantajosa que a Lâmpada Fluorescente Compacta. Cabe aqui ressaltar que, conforme pode ser visto no Gráfico as curvas se cruzam três vezes antes dos 92 meses, demonstrando que a viabilidade econômica da lâmpada LED aparece com aproximadamente 45 meses de uso e permanece economicamente viável até o momento da sua troca, que ocorre com aproximadamente 75 meses de uso. Depois dos 75 meses, a lâmpada LED, fica com o seu custo praticamente coincidente com a Lâmpada Fluorescente Compacta (em uso comercial) até os 92 meses, e após esse tempo se apresenta plenamente viável.

O Gráfico nos mostra que o tempo de retorno é grande. Isso se deve, principalmente, à eficiência da lâmpada fluorescente compacta e a diferença dos custos iniciais entre as duas lâmpadas. É importante ressaltar que com o desenvolvimento da tecnologia LED a tendência de mercado é tornar essa lâmpada cada vez mais competitiva em preço, conseqüentemente, tornando muito mais viável a sua utilização.

Na aplicação comercial obtém-se um retorno mais rápido do que na aplicação residencial, por conta do maior tempo de uso, tornando-se mais viável o uso de LEDs.

7.2.3 Consumidor Industrial.

O valor total considerado de consumo em iluminação para o consumidor industrial foi de 5.388 GWh. Para esse valor, foi idealizada a utilização industrial das lâmpadas com a seguinte padronização: 40% em fluorescentes compactas e 60% em fluorescente tubular.

Com base nesta padronização industrial e com a tarifa de energia da Light Distribuição (Companhia do Estado do Rio de Janeiro de Energia) para uso industrial no valor de R\$ 273,03/MWh (Aneel – 2014), foi calculada a primeira viabilidade econômica do setor, conforme Tabela 34.

Tabela 34 – Custos somente com o consumo para o Setor Industrial

Tarifa (R\$/MWh)	273,03	
	GWh	Custo (R\$)
Consumo Total (GWh)	5.388	R\$ 1.471.085.640,00
Consumo Fluorescente Tubular - 60% (GWh)	3.233	R\$ 882.651.384,00
Consumo Fluorescente Compacta - 40% (GWh)	2.155	R\$ 588.434.256,00
Consumo de lâmpadas LED em substituição as FT (GWh)	1.098	R\$ 299.768.394,57
Potência economizada com a substituição de LED na FT (GWh)	2.135	R\$ 582.882.989,43
Consumo de lâmpadas LED em substituição as FC (GWh)	1.437	R\$ 392.289.504,00
Potência economizada com a substituição de LED na FC (GWh)	718	R\$ 196.144.752,00
Economia Total Industrial (GWh)	2.853	R\$ 779.027.741,43

Fonte: A autora

A partir do resultado apresentado na Tabela 34, é possível verificar que a redução do custo de energia que o sistema LED proporcionaria no setor industrial ao longo de um ano em todo o país é da ordem de R\$ 779 milhões.

Na segunda análise de viabilidade econômica foi utilizada a fórmula apresentada no item 6.2 onde foi possível executar um comparativo unitário entre as lâmpadas convencionais e cada uma das suas respectivas lâmpadas LEDs escolhidas para substituição, em uso industrial. Para tanto, foram considerados basicamente os preços médios de mercado das lâmpadas conforme Tabela 24; a tarifa de energia para uso comercial de R\$ 273,03/MWh (Aneel – 2014), o uso diário de 16 horas durante o ano.

A seguir podem-se observar os resultados dessas comparações, para cada tipo de lâmpada tradicional (lâmpada fluorescente tubular e lâmpada fluorescente compacta) e as lâmpadas LED correspondentes, com suas respectivas características de utilização/manutenção.

7.2.3.1. LEDs versus Lâmpadas Fluorescentes Tubulares

As especificações consideradas para a lâmpada fluorescente tubular e para a LED escolhida para substituição são aquelas apresentadas no capítulo 6, Tabela 19.

A partir desses dados foram desenhadas as curvas comparativas dos dois sistemas, conforme Gráfico 12, tornando possível a avaliação do tempo de retorno considerado na substituição.

Para o Custo Total da Lâmpada nessa comparação (fluorescente tubular X LED) foram considerados o preço da lâmpada, a sua troca com o custo com a mão de obra (para instalação do reator e montagem de andaime) no valor de R\$ 8,00 por lâmpada [39], e o custo do descarte da lâmpada fluorescente tubular fica em torno de 35% do preço da lâmpada, valor esse que ficou em torno de R\$ 2,10.

Para o Preço Inicial da Lâmpada nessa comparação (fluorescente tubular X LED) foi considerado o preço da lâmpada com um custo de mão de obra, para instalação industrial no valor de R\$ 8,00.

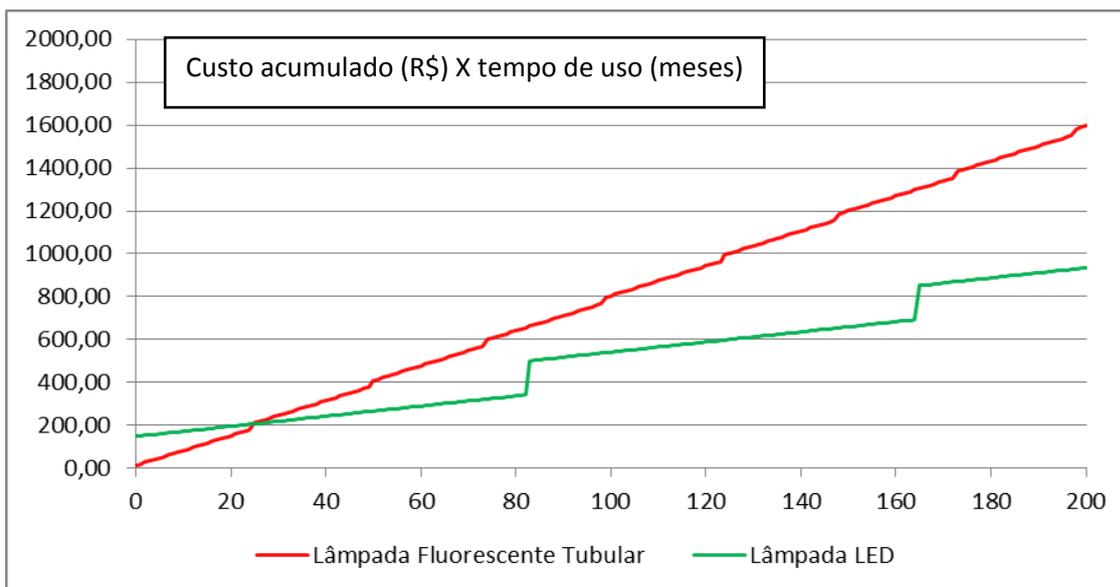


Gráfico 12 - LED x Fluorescente Tubular - Setor Industrial

Fonte: A autora

Tabela 35 - Ponto de Interseção

Tempo (meses)	Despesas Acumuladas com Lâmpada FT (R\$)			Despesa com Lâmpada LED (R\$)		
	Custo de Implantação, Reposição e Manutenção (R\$)	Custo de Consumo de Energia (R\$)	Custo Total Acumulado (R\$)	Custo de Aquisição / Reposição	Custo de Consumo de Energia	Custo Total Acumulado
24	14,00	166,70	180,70	149,00	56,62	205,62
25	38,10	173,65	211,75	149,00	58,97	207,97

Fonte: A autora

No Gráfico 12 e na Tabela 35 visualizamos que, para um custo acumulado em torno de R\$ 206,00 com um tempo de uso de 24,5 meses de utilização das lâmpadas, a lâmpada LED começa a se mostrar mais vantajosa do que a Lâmpada Fluorescente Tubular, com uma economia expressiva de energia e dinheiro.

É importante registrar que as lâmpadas LED, em especial as tubulares, podem sim ser uma alternativa bem mais econômica que as tubulares fluorescentes. É claro que é muito importante que haja uso intensivo da iluminação para que a substituição seja vantajosa. Cabe registrar que para certos ambientes industriais com necessidade de planejamento para manutenção, a lâmpada fluorescente tubular perde luminosidade e com o passar do tempo necessita ser trocada, e essa condição viabiliza ainda mais a utilização da lâmpada LED.

7.2.3.2. LEDs versus Lâmpadas Fluorescentes Compactas

As especificações consideradas para a lâmpada fluorescente compacta e para a LED escolhida para substituição são aquelas apresentadas no capítulo 6, Tabela 19.

A partir desses dados foram desenhadas as curvas comparativas dos dois sistemas, conforme o Gráfico 13, tornando possível a avaliação do tempo de retorno considerado na substituição.

Para o Custo Total da Lâmpada nessa comparação (fluorescente compacta X LED) foram considerados o preço da lâmpada, a sua troca com o custo com a mão de obra (para montagem de andaime) no valor de R\$ 8,00 por lâmpada [39], e o custo do descarte da lâmpada fluorescente compacta fica em torno de 35% do preço da lâmpada, valor esse que ficou em torno de R\$ 2,75.

Para o Preço Inicial da Lâmpada nessa comparação (fluorescente compacta X LED) foi considerado o preço da lâmpada com um custo de mão de obra, para instalação industrial no valor de R\$ 8,00.

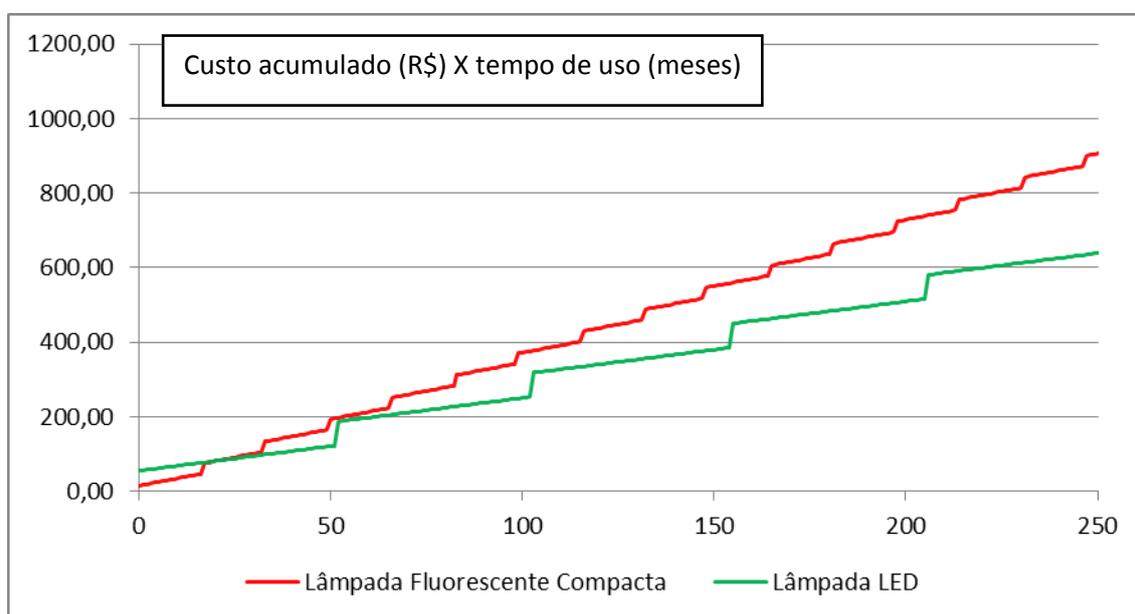


Gráfico 13 - LED x Fluorescente Compacta - Setor Industrial

Fonte: A autora

Tabela 36 - Pontos de Interseção

Tempo (meses)	Despesas Acumuladas com Lâmpada FC (R\$)			Despesa com Lâmpada LED (R\$)		
	Custo de Implantação, Reposição e Manutenção (R\$)	Custo de Consumo de Energia (R\$)	Custo Total Acumulado (R\$)	Custo de Aquisição / Reposição	Custo de Consumo de Energia	Custo Total Acumulado
20	42,55	39,32	81,87	55,90	26,21	82,11
21	42,55	41,28	83,83	55,90	27,52	83,42

Fonte: A autora

No Gráfico 13 e na Tabela 36 visualizamos que, para um custo acumulado em torno de R\$ 83,00 com um tempo de uso de 21 meses de utilização das lâmpadas, a lâmpada LED fica com uma utilização mais vantajosa que a Lâmpada Fluorescente Compacta. Cabe aqui ressaltar que, conforme pode ser visto no Gráfico as curvas quase se tocam após os 21 meses, mas a viabilidade econômica da lâmpada LED fica evidente devido à inclinação na sua curva.

O Gráfico nos mostra que o tempo de retorno é bem factível e incentiva a substituição. Isso se deve, principalmente, a incorporação do custo de mão de obra na troca das lâmpadas e ao menor tempo de vida útil da Lâmpada Fluorescente Compacta.

Na aplicação industrial obtém-se um retorno mais rápido do que na aplicação comercial, por conta do maior tempo de utilização e, da consideração do custo empregado para manutenção/troca das referidas lâmpadas.

7.2.4 Iluminação Pública.

O valor total considerado de consumo em iluminação pública foi de 14.043 GWh. Para esse valor, foi idealizada a utilização das lâmpadas para a iluminação pública com a seguinte padronização: 65% em lâmpadas vapor de sódio e 35% em lâmpadas vapor de mercúrio.

Com base nesta padronização para a iluminação pública e com o custo da energia para iluminação pública da Light Distribuição (Companhia do Estado do Rio de Janeiro de Energia) em R\$ 195,65/MWh, conforme informação da Aneel, foi verificada a primeira viabilidade econômica do setor, de acordo com a Tabela 37.

Tabela 37 – Custo considerando apenas o consumo - Iluminação Pública

Tarifa (R\$/MWh)	195,65	
	GWh	Custo (R\$)
Consumo Total (GWh)	14.043	R\$ 2.747.512.950,00
Consumo Vapor de Sódio - 65%(GWh)	9.128	R\$ 1.785.883.417,50
Consumo só Vapor de Mercúrio - 35% (GWh)	4.915	R\$ 961.629.532,50
Consumo de lâmpadas LED em substituição as VS (GWh)	1.966	R\$ 384.651.813,00
Potência economizada com a substituição de LED na VS (GWh)	7.162	R\$ 1.401.231.604,50
Consumo de lâmpadas LED em substituição as VM (GWh)	550	R\$ 107.702.507,64
Potência economizada com a substituição de LED na VM (GWh)	4.365	R\$ 853.927.024,86
Economia Total Iluminação Pública (GWh)	11.526	R\$ 2.255.158.629,36

Fonte: A autora

A partir do resultado apresentado na Tabela 37, é possível verificar que a redução do custo de energia que o sistema LED proporciona na iluminação pública ao longo do ano em todo país está em torno dos R\$ 2 bilhões.

Através da análise da função linear indicada no item 6.2, foi realizada a segunda análise de viabilidade econômica onde foi possível executar um comparativo unitário entre a lâmpada LED e as lâmpadas convencionais usadas na iluminação pública. Para tanto, foram considerados basicamente os preços médios de mercado das lâmpadas conforme Tabela 24; a tarifa de energia para iluminação pública com uso diário de 12 horas o ano.

A seguir podem-se observar os resultados dessas comparações, para cada tipo de lâmpada convencional (lâmpada a vapor de sódio e lâmpada a vapor de mercúrio) e a lâmpada LED correspondente, com suas características de utilização/manutenção.

7.2.4.1 LEDs versus Lâmpadas a Vapor de Sódio

As especificações consideradas para a lâmpada a vapor de sódio e para a LED escolhida para substituição são aquelas apresentadas no capítulo 6, Tabela 21.

A partir desses dados foram desenhadas as curvas comparativas dos dois sistemas, conforme o Gráfico 14, tornando possível a avaliação do tempo de retorno considerado na substituição.

Para o Custo da Lâmpada nessa comparação (lâmpada vapor de sódio X LED) foram considerados o preço da lâmpada, a sua troca com o custo de manutenção (utilização de carrinho com plataforma elevatória para o eletricitista) no valor de R\$ 11,00 por lâmpada [37], e o custo do descarte da lâmpada vapor de sódio que fica em aproximadamente 35% do preço da lâmpada, valor este em torno de R\$ 9,80.

Para o Preço Inicial da Lâmpada nessa comparação (vapor de sódio X LED) foi considerado o preço da lâmpada com um custo de mão de obra, para instalação em Iluminação Pública no valor de R\$ 11,00.

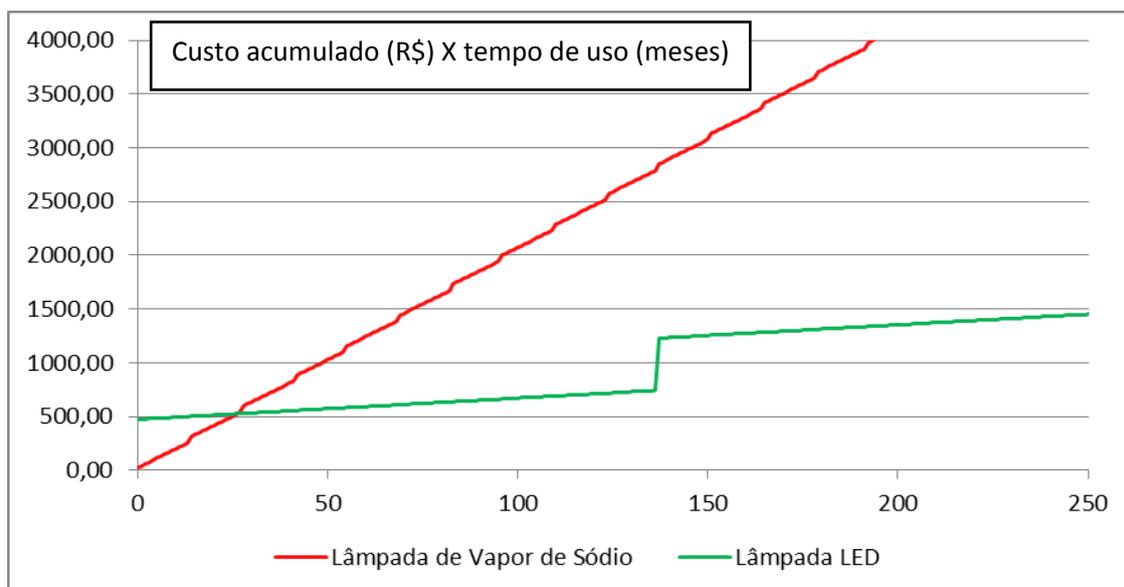


Gráfico 14 - LED x Vapor de Sódio - Iluminação Pública

Fonte: A autora

Tabela 38 - Ponto de Interseção

Tempo (meses)	Despesas Acumuladas com Lâmpada VS (R\$)			Despesa com Lâmpada LED (R\$)		
	Custo de Implantação, Reposição e Manutenção (R\$)	Custo de Consumo de Energia (R\$)	Custo Total Acumulado (R\$)	Custo de Aquisição / Reposição	Custo de Consumo de Energia	Custo Total Acumulado
26	65,90	457,82	523,72	473,90	51,28	525,18
27	65,90	475,43	541,33	473,90	53,25	527,15

Fonte: A autora

No Gráfico 14 e na Tabela 38 visualizamos que, para um custo acumulado em torno de R\$ 527,00 com um tempo de uso de 26 meses de utilização das lâmpadas, a lâmpada LED fica com uma utilização mais vantajosa que a Lâmpada de Vapor de Sódio.

É importante esclarecer que existe uma grande economia de energia e que, devido à diferença de praticamente o dobro de vida útil, também se conseguirá uma boa economia no gasto com a manutenção. No Gráfico podemos visualizar essa grande viabilidade econômica da lâmpada LED é apresentada em função da inclinação se sua linha representativa.

7.2.4.2 LEDs versus Lâmpadas a Vapor de Mercúrio

As especificações consideradas para a lâmpada a vapor de mercúrio e para a LED escolhida para substituição são aquelas apresentadas no capítulo 6, Tabela 21.

A partir desses dados foram desenhadas as curvas comparativas dos dois sistemas, conforme o Gráfico 15, tornando possível a avaliação do tempo de retorno considerado na substituição.

Para o Custo da Lâmpada nessa comparação (lâmpada vapor de mercúrio X LED) foram considerados o preço da lâmpada, a sua troca com o custo de manutenção (utilização de carrinho com plataforma elevatória para o eletricista) no valor de R\$ 11,00 por lâmpada [37], e o custo do descarte da lâmpada vapor de mercúrio que fica em aproximadamente 35% do preço da lâmpada, valor em torno de R\$ 4,90.

Para o Preço Inicial da Lâmpada nessa comparação (vapor de mercúrio X LED) foi considerado o preço da lâmpada com um custo de mão de obra, para instalação em Iluminação Pública no valor de R\$ 11,00.

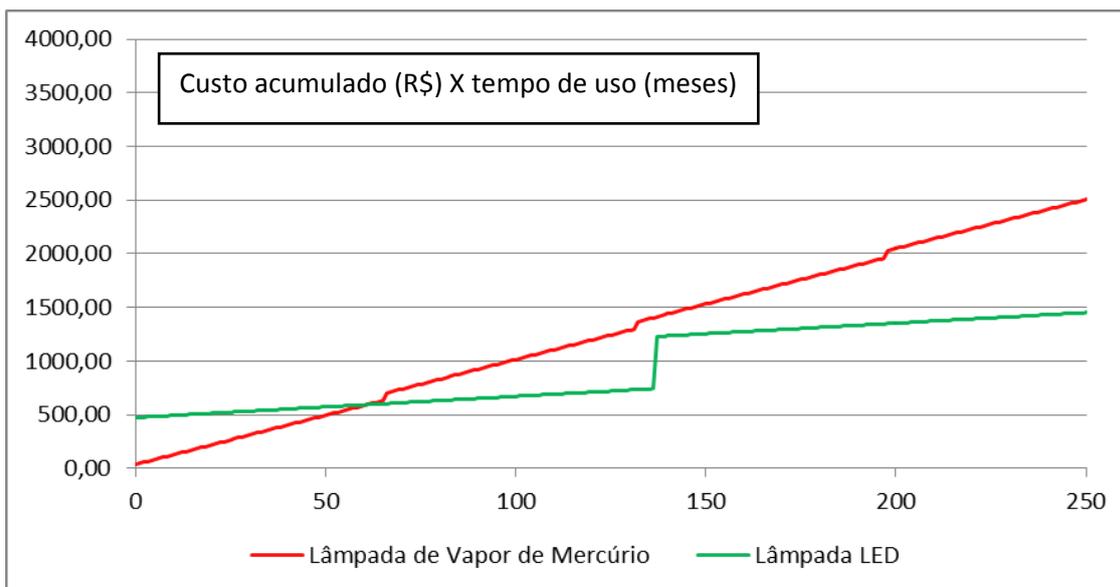


Gráfico 15 - LED x Vapor de Mercúrio - Iluminação Pública

Fonte: A autora

Tabela 39 - Ponto de Interseção

Tempo (meses)	Despesas Acumuladas com Lâmpada VM (R\$)			Despesa com Lâmpada LED (R\$)		
	Custo de Implantação, Reposição e Manutenção (R\$)	Custo de Consumo de Energia (R\$)	Custo Total Acumulado (R\$)	Custo de Aquisição / Reposição	Custo de Consumo de Energia	Custo Total Acumulado
60	39,00	549,39	588,39	473,90	118,33	592,23
61	39,00	558,54	597,54	473,90	120,30	594,20

Fonte: A autora

No Gráfico 15 e na Tabela 39 visualizamos que, para um custo acumulado em torno de R\$ 594,00 com um tempo de uso de 61 meses de utilização das lâmpadas, a lâmpada LED fica com uma utilização mais vantajosa que a Lâmpada de Vapor de Mercúrio.

O Gráfico nos mostra que é perfeitamente viável a substituição das Lâmpadas a Vapor de Mercúrio pelas lâmpadas LED, devido a grande diferença entre o tempo de vida útil entre elas e ao alto custo de manutenção, com a iluminação pública, necessária para troca de ambas às lâmpadas.

8. Conclusões

O presente trabalho se propôs a avaliar o impacto no sistema energético brasileiro que pode ser produzido através de um programa de substituição de lâmpadas tradicionais por lâmpadas LED. Foram avaliados, também, outros benefícios decorrentes do uso das lâmpadas LED, que apresentam uma forte tendência de mercado, pois oferecem vantagens em termos de durabilidade, eficiência energética, economia financeira e de custo ambiental.

Foi detalhado o cenário ideal de substituições de lâmpadas tradicionais por lâmpadas LED, com apresentação dos resultados para os quatro setores: residencial, comercial, industrial e iluminação pública, e analisada a viabilidade econômica de cada tipo de substituição para os diferentes setores.

Por ser um trabalho que exigiu a pesquisa de muitas informações, uma grande dificuldade foi encontrar os dados iniciais para o desenvolvimento do mesmo. A decisão da escolha das lâmpadas para avaliação comparativa também se apresentou com certa dificuldade.

Outra dificuldade foi determinar as características relacionadas entre as lâmpadas escolhidas, baseadas nos catálogos disponíveis pelos fabricantes, de forma a se tomar dados realmente consistentes.

Um ponto que surpreendeu favoravelmente foi o cálculo da viabilidade econômica, que era esperado que apresentasse certa dificuldade, mas terminou por ser até bem simples.

Exceto por melhor avaliação, o objetivo de avaliar o impacto no sistema energético brasileiro produzido através de um programa de substituição de lâmpadas tradicionais por lâmpadas LED foram alcançados, tendo sido cumprida toda a proposta inicial apresentada.

Este projeto de graduação permitiu perceber as vantagens dos LEDs em relação às lâmpadas convencionais e a importância da sua utilização. Além disso, identificou que o uso desta tecnologia se coloca ajustadamente como alternativa de recurso energético no Brasil, proporcionando economia de energia elétrica e contribuindo para um consumo consciente.

Diante do estudo apresentado, é possível concluir que o investimento na aquisição de lâmpadas LEDs se torna viável em aplicações onde o uso da iluminação é intenso,

tanto em ambientes industriais como em iluminação pública, devido à eficiência energética e durabilidade destas lâmpadas.

Com os resultados obtidos neste trabalho, é possível perceber que, do ponto de vista da geração de energia elétrica, o mercado para a tecnologia LED é muito promissor para os próximos anos, visto que as lâmpadas LED estão em uma fase de crescimento de sua popularização e com caimento de seus preços.

Atualmente o desperdício de energia devido à iluminação ineficiente é muito grande. A adoção de lâmpadas LED na iluminação irá estabelecer um novo patamar no que se refere à qualidade e eficiência energética nesse setor, pois uma lâmpada LED possui uma maior eficiência energética se comparadas às tecnologias atuais [41].

Utilizando a tecnologia de iluminação LED, trazemos uma solução mais eficiente para o nosso Sistema Integrado Nacional e para o meio ambiente, inclusive diminuindo emissões de CO₂, produzindo impacto imediato na utilização de energia elétrica e podendo prorrogar os grandes investimentos em geradoras no Brasil.

Na indústria o custo com a manutenção tem grande importância e a iluminação LED, além das inúmeras vantagens e mais a economia no consumo de energia elétrica, também, apresenta baixo custo de manutenção. A vida útil de luminárias LED é de 50.000 a 60.000 horas, e conseqüentemente o custo durante este período é zero.

Estes números para alguns segmentos industriais e de utilidade pública são fundamentais, porque obrigatoriamente devem programar a paralisação da produção, cobrir equipamentos, proteger todas as máquinas de impurezas e sujeira, providenciar a locação de plataformas elevatórias com toda a rotina de EPI/segurança, empregar mão de obra de um eletricista treinado para alcançar as lâmpadas ou luminárias a serem trocadas. O custo de toda essa operação, com certeza, não pode e não deve ser esquecido numa avaliação de eventual substituição das lâmpadas tradicionais [39] e [43].

Por falta de alternativas atraentes sob todos os pontos de vista, na iluminação pública atual, as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão detêm grande parcela deste segmento, pois é uma tecnologia consolidada e considerada como umas das mais eficientes. No entanto, com o surgimento e a evolução da aplicação do LED na IP, estes pressupostos têm que ser reavaliados. Deve-se destacar a vida útil da tecnologia LED que é da ordem de 50.000 horas de operação, o que corresponde a aproximadamente uma vida útil de 12 anos. Isso implica em uma grande redução da

manutenção dessas lâmpadas, assim como na quantidade de resíduos gerados, pois o sistema com iluminação LED incorpora benefícios energéticos e ambientais [43].

Com a aplicação da nova tecnologia LED, as necessidades da sociedade poderão ser atendidas com considerável redução na potência instalada. Sob o ponto de vista das geradoras, essa energia elétrica economizada, resultante da aplicação das novas tecnologias, poderá ser disponibilizada para outros segmentos onde a tarifa é mais atrativa.

Com relação aos impactos ao meio ambiente, a eficiência elétrica foi colocada como condição de instrumento privilegiado e, por vezes, preferencial para a mitigação de efeitos decorrentes das emissões de gases causadores do efeito estufa e destruidores da camada de ozônio, devido aos movimentos em prol do meio ambiente e com os tratados relacionados à mudança climática. É fato, que a percepção realista do aumento da eficiência ocasionada pela substituição das lâmpadas tradicionais pela nova tecnologia LED, em todas as classes de consumo, pode constituir uma das formas mais econômica e ambientalmente favorável de atendimento aos requisitos para o uso consciente da energia elétrica pela população.

Além da complementação da minha formação de engenheira com a realização desse trabalho, onde houve a oportunidade de aplicar vários dos conhecimentos aprendidos no curso, bem como de desenvolver o conhecimento sobre a metodologia de realização de um projeto desta natureza, foi possível perceber que o conjunto dos conteúdos curriculares, em sua maioria, estrutura de forma integrada a formação profissional e pessoal do estudante. Neste sentido, o trabalho também contribui para a formação e aprendizado de outros alunos, ou até mesmo pode representar uma pequena contribuição para o curso de engenharia elétrica. Até porque, os conceitos de viabilidade econômica e de eficiência energética referente à tecnologia LED foram tópicos pouco explorados ao longo do curso de engenharia elétrica.

Pessoalmente, esse trabalho representou uma etapa de superação. Inicialmente, foi muito difícil, e em vários momentos fiquei muito desestimulada, mas no fim, ele representa a conclusão de uma realização. Após passar cinco anos e meio na faculdade de engenharia, ele propicia a conclusão de uma fase, e me apresenta um novo caminho que eu posso começar a seguir a partir de agora.

Como sugestões para trabalhos futuros, cito: (1) estudo sobre a depreciação física dos equipamentos e a vida útil dos componentes utilizados para as lâmpadas LED; (2)

estudo sobre possíveis índices econômicos em relação ao retorno de investimento na utilização das lâmpada LED, para as diferentes classes de consumo; (3) avaliação da economia de energia resultante de uma menor utilização de ar condicionado para resfriamento de ambiente, que foi aquecido pela carga térmica ocasionada pela utilização das lâmpadas tradicionais, principalmente, as incandescentes.

Referências

- [1] <http://brasilecola.uol.com.br/historiab/apagao.htm>, visualizado em 16/01/2016.
- [2] <http://www.ienergia.com.br/energia/apagao.aspx>; visualizado em 16/01/2016.
- [3] <http://www.provedor.nuca.ie.ufrj.br/english/acompanhamento/risco.htm>; visualizado em 16/01/2016.
- [4] Jornal do Engenheiro – SENGE-RJ – Dezembro 2015.
- [5] <http://www.msnoticias.com.br/editorias/noticias-brasil-mundo/nivel-de-agua-de-85-das-hidreletricas-e-menor-que-em-2001-ano/55276> ; visualizado em 16/01/2016.
- [6] http://www.darwin.com.br/wp-content/uploads/2014/07/RP-1_Atualidades.pdf; visualizado em 20/01/2016.
- [7] http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/PDE2023_ConsultaPublica.pdf; visualizado em 16/01/2016.
- [8] <http://www.istoe.com.br/reportagens> ; Edição: 2252 (11.Jan.13 - 21:00), visualizado em 25/01/2016.
- [9] <http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/busca/=PLANO+EMERGENCIAL+DE+REDUÇÃO+DO+CONSUMO+DE+ENERGIA+ELETRICA>; visualizado em 10/02/2016.
- [10] <http://www.comciencia.br/reportagens/energiaeletrica/energia02.htm>; visualizado em 16/01/2016 e 15/02/2016.
- [11] **Marco Aurélio Giancesini** - Apresentação Eficiência Energética e a Nova Regulamentação do PEE ANEEL.
- [12] <http://www.portal-eficienciaenergetica.com.pt/conceitos.html>; visualizado em 15/02/2016.
- [13] <http://blog.tairis.com.br/index.php/2016/01/14/como-aplicar-corretamente-a-temperatura-de-cor-na-iluminacao-led/>; visualizado em 10/02/2016.
- [14] Elektro, Universidade Federal de Itajubá, Excen, Fupai; - **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES**, 1ª Edição - Campinas - SP 2012.
- [15] <http://www.portaldoled.com.br/lampada-led-potencia-nao-indica-luminosidade/>; visualizado em 10/02/2016.

- [16] <http://www.eccel.com.br/ledtek/index.php/artigos-noticias/117-temp-color>; visualizado em 15/02/2016.
- [17] <http://blog.novaeletronica.com.br/led-cor-x-temperatura/>; visualizado em 15/02/2016.
- [18] <http://www.luxtrue.com/tecnologia-led>; visualizado em 15/02/2016.
- [19] <http://www.abilux.com.br/portal/abilux-na-midia/6/diretor-da-abilux-explica-como-mesmo-sem-chip-local-a-industria-de-led-cresce-com-a-crise-energetica>; visualizado em 15/02/2016.
- [20] <http://www.osetoreletrico.com.br/web/component/content/article/57-artigos-e-materias/393-gerenciamento-de-energia-no-brasil.html>; visualizado em 15/02/2016.
- [21] http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20100809_4.pdf; EPE (1), **Nota técnica DEA 14/10: Avaliação da Eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019)**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010; visualizado em 20/02/2016.
- [22] http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20121221_1.pdf; EPE (2), **Nota técnica DEA 16/12: Avaliação da Eficiência Energética para os próximos 10 anos (2012-2021)**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil 2012; visualizado em 20/02/2016.
- [23] http://www.inee.org.br/eficiencia_o_que_eh.asp?Cat=eficiencia; **INEE, O que é eficiência energética?** Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013, visualizado em 15/02/2016.
- [24] PROCEL (ELETROBRÁS). **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações**. Universidade de Itajubá (FUPAI), Itajubá-MG, ed.2006.
- [25] <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2011/11/tecnologia-led-inovacao-como-luz/15642>; **Tecnologia LED – Inovação como Luz**, visualizado em 20/02/2016.
- [26] <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>; **Anuário Estatístico de Energia Elétrica da EPE**, visualizado em 25/02/2016.
- [27] <http://www.osram.com.br/media/resource/HIRES/544800/13873763/catalog-osram-led-lamp-and-luminaire--2015-br-pt.pdf>; **Catálogo Osram**, visualizado em 25/02/2016.
- [28] <http://vialuz.net/?p=164>; **Catálogo VIALUZ**, visualizado em 25/02/2016.

- [29] <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2015/06/integracao-energetica-na-america-sul-uma-questao-geopolitica-e-de-negocios-bilaterais/26053>; visualizado em 25/02/2016.
- [30] http://cebri.org/midia/documentos/seguranca_energetica.pdf; **SEGURANÇA ENERGÉTICA NA AMÉRICA DO SUL: UM PANORAMA BRASILEIRO**, visualizado em 25/02/2016.
- [31] SANTOS, Romário de Jesus. **Fontes energéticas no âmbito da América do Sul: uma breve análise do potencial regional e sua capacidade de integração**. C@LEA – Revista Cadernos de Aulas do LEA, Ilhéus, n. 2, p. 32 – 45, nov. 2013.
- [32] BARROS, Benjamin Ferreira; BORELLI, Reinaldo; GEDRA, Ricardo Luis; - **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - Técnicas de Aproveitamento, Gestão de Recursos e Fundamentos**, 1ª Edição – editora Érica, 2015.
- [33] SENRA, Renato; **Energia Elétrica – Medição, Qualidade e Eficiência**, 1ª Edição – editora Baraúna.
- [34] <http://blog.tairis.com.br/index.php/2015/11/04/industria-de-iluminacao-led-com-expectativa-crescimento-de-45-ate-2020/>; **Iluminação LED: mercado, estratégias e tendências mundiais de 2014 a 2020**; visualizado em 25/02/2016.
- [35] http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=438; Instituto de Pesquisas Tecnológicas, visualizado em 20/02/2016.
- [36] RODRIGUES, P. **Manual de iluminação eficiente**. Procel, 1 ed. Julho/2002.
- [37] SALES, R. P., **LED, O NOVO PARADIGMA DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA**, Instituto de Engenharia do Paraná – IEP, Mestrado em Tecnologia, 2012.
- [38] BIZON, E. G. A., **Ajustes dos Parâmetros dos Controladores de Unidades Geradoras para Recomposição Fluente do SIN em Estudos de Estabilidade Eletromecânica**, UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.
- [39] SILVA, C. C., **Estudo de Caso Real de Retorno de Investimento no Shopping Park Europeu – Luxtrue – Março 2015**.
- [40] BRANDÃO, A. C., GOMES, L. M. B., AFONSO, J. C., **O caso das lâmpadas usadas**, Instituto de Química – UFRJ, Rio de Janeiro, RQI - 2º trimestre 2011.

[41] <http://www.ecycle.com.br/component/content/article/70-homes/273-sub-home-lampadas.htm>; visualizado em 16/03/2016.

[42] <http://www.apliquimbrasilrecicle.com.br>; **Descarte de Lâmpadas e Política Nacional de Resíduos Sólidos: O que você precisa saber**; visualizado em 16/03/2016.

[43] SANTOS, T. S., BATISTA, M. C., POZZA, S.A., ROSSI, L.S., Artigo Técnico, **Análise da Eficiência Energética, Ambiental e Econômica entre Lâmpadas de LED e Convencionais**, Dezembro 2015.

[44] <http://www.lighting.philips.com.br/prof>; **Catálogo Osram**, visualizado em 25/02/2016.

[45] L. BOYLESTAD, ROBERT; **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**, 8ª Edição – editora Pearson, 2013.

[46] BLEY, FRANCIS; **LEDs versus Lâmpadas Convencionais – Viabilizando a Troca**, Especialize IPOG Revista On Line, Maio/2012.

