

**BRUNO LEMES DE OLIVEIRA**

**Projeto de melhoria de eficiência energética utilizando tecnologia de lâmpadas LED em  
uma planta industrial.**

Guaratinguetá - SP  
2019

**Bruno Lemes de Oliveira**

**Projeto de melhoria de eficiência energética utilizando tecnologia de lâmpadas LED em uma planta industrial.**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador (a): Rubens Alves Dias

Guaratinguetá - SP  
2019

O48p Oliveira, Bruno Lemes de  
Projeto de melhoria de eficiência energética utilizando tecnologia / Bruno Lemes de Oliveira. – Guaratinguetá, 2019.  
52 f : il.  
Bibliografia: f. 51-52

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2019.  
Orientador: Prof. Dr. Rubens Alves Dias

1. Iluminação elétrica. 2. Diodos emissores de luz . 3. Energia - Conservação  
I. Título

CDU 628.9

Pâmella Benevides Gonçalves  
Bibliotecária/CRB-8/9203

**BRUNO LEMES DE OLIVEIRA**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
“ENGENHARIA ELÉTRICA”


APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM NOME DO CURSO

Profª. Dra. PALOMA MARIA SILVA ROCHA RIZOL  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. RUBENS ALVES DIAS  
Orientador/UNESP-FEG

  
Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO LOTUFO  
UNESP-FEG

  
Prof. Dr. JOSÉ FELICIANDO ADAMI  
UNESP-FEG

Fevereiro/2019

## **DADOS CURRICULARES**

### **BRUNO LEMES DE OLIVEIRA**

**NASCIMENTO** 23.05.1992 – São José dos Campos / SP

**FILIAÇÃO** Márcio Cândido de Oliveira  
Mara Adriana Lemes Oliveira

**2010/2019** Graduação em Engenharia Elétrica  
UNESP – Campus Guaratinguetá

dedico este trabalho  
de modo especial, à minha família

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos,

ao meu orientador, *Prof. Dr. Rubens Alves Dias* que jamais deixou de me incentivar. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível.

aos meus pais *Mara e Márcio*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos.

às funcionárias da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar,

aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campos de Guaratinguetá pela dedicação e alegria no atendimento.

“Não se deve ir atrás de objetivos fáceis, é preciso buscar o que só se pode ser alcançado por meio dos maiores esforços”

Albert Einstein



## RESUMO

Este trabalho consiste na avaliação do custo benefício da implementação de luminárias LED em uma planta industrial em substituição a luminárias de vapor de sódio bem como a adequação da indústria em questão à norma NBR8995-1(ABNT, 2012) para ambientes fechados através do Método dos Lúmen visando assim comprovar a maior eficiência energética e, conseqüentemente, impacto ambiental positivo de luminárias LED justificando seu grande crescimento tanto no mercado brasileiro como mundial.

**PALAVRAS-CHAVE:** LED. Eficiência Energética. Luminotécnica. Método dos Lúmen. NBR8995-1.

## **ABSTRACT**

This work consists of the evaluation of the cost benefit of the implementation of LED luminaires in an industrial plant in substitution of sodium vapor lamps as well as the suitability of the industry in question to norm NBR8995-1 (ABNT, 2012) for closed environments through the Method of Lumen so as to prove a greater energy efficiency and, consequently, positive environmental impact of LED luminaires justifying its great growth in both the Brazilian and worldwide markets.

**KEYWORDS:** LED. Energy Efficiency. Lighting. Method of Lumen. NBR8995-1.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Oferta de preço da lâmpada LED e economia de energia mundial, 2010-16 .....	20
Figura 2 – Luminária Philips TMS 426 de 40W .....	26
Figura 3 – Distribuição das luminárias na área da CBS. ....	35
Figura 4 – Iluminação da CBS anterior ao projeto .....	35
Figura 5 – Distribuição das Luminárias na área da Reciclagem .....	36
Figura 6 – Iluminação da Reciclagem anterior ao projeto.....	37
Figura 7 – Novos pontos de iluminação instalados na Refusão .....	38
Figura 8 – Layout 3D da iluminação da área dos fornos da Refusão .....	39
Figura 9 – Distribuição das luminárias no pátio de matéria prima da Refusão.....	39
Figura 10 – Iluminação pátio de matéria prima antes da realização do projeto .....	40
Figura 11 – CBS após a instalação das luminárias.....	45
Figura 12 – Área da Reciclagem após implementação das luminárias .....	47
Figura 13 – Iluminação da área da Refusão após a implementação das luminárias.....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fatores de depreciação de serviço da luminária .....	25
Tabela 2 – Valores médios de refletância em superfícies ( $\rho$ ).....	25
Tabela 3 – Fator de utilização – Luminária Philips TMS 426 – 2 lâmpadas 40W.....	27
Tabela 4 – Fluxo luminoso de alguns tipos de lâmpadas .....	28
Tabela 5 – Aparência da cor de acordo com a temperatura.....	31
Tabela 6 – Quantidade por tipologia das luminárias .....	34
Tabela 7 – Resultados obtidos para as áreas.....	46

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IRC	Índice de reprodução de cores
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
NBR	Normativa Brasileira
NR	Norma Regulamentadora

## LISTA DE SÍMBOLOS

$H_{lb}$	Altura da fonte luminosa ao plano de trabalho
B	Comprimento
$\eta$	Eficiência luminosa
$F_{dl}$	Fator de depreciação da luminária
$F_u$	Fator de utilização
$\psi$	Fluxo luminoso
$E$	Iluminamento médio
k	Índice do recinto
A	Largura
N	Número de luminárias
P	Potência
$\rho$	Refletância
S	Seção da área transversal

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2</b>	<b>TECNOLOGIA LED E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: PRINCIPAIS DEFINIÇÕES E UM BREVE PANORAMA NO MUNDO E NO BRASIL</b> .....	17
2.1	DEFINIÇÕES .....	18
2.2	PANORAMA DA TECNOLOGIA LED APLICADA A ILUMINAÇÃO NO CENÁRIO MUNDIAL .....	20
2.3	PANORAMA DA TECNOLOGIA LED APLICADA A ILUMINAÇÃO NO CENÁRIO BRASILEIRO .....	22
<b>3</b>	<b>ASPECTOS CONCEITUAIS E METODOLOGIA</b> .....	25
3.1	O MÉTODO DOS LÚMEN .....	25
3.2	NBR8995-1 .....	31
3.3	CÁLCULO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	33
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	35
4.1	CBS .....	36
4.2	RECICLAGEM .....	37
4.3	REFUSÃO .....	39
4.4	ILUMINAÇÃO EXTERNA .....	42
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	43
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	50
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	52

## 1 INTRODUÇÃO

Devido a maior conscientização da sociedade, afinal muito se tem discutido sobre a preservação do planeta, se tornam cada vez maiores as cobranças para que o crescimento e desenvolvimento industrial não comprometam o futuro do mesmo. Com isso em pauta as grandes empresas vêm buscando se adequar aos novos tempos para que assim possam passar credibilidade a sociedade, diminuir seus gastos em muitas já que a cobrança por parte dos governos tem sido cada vez mais rigorosa e diminuir custos energéticos sem perder eficiência na produção ou até mesmo deixar de atender as normas vigentes.

Neste contexto sustentabilidade e eficiência energética têm ganhado cada vez mais espaço nas discussões e projetos feitos pelas indústrias visando se adequar as normas e também diminuir os desperdícios e custos com energia e até mesmo problemas ambientais mais graves como desmatamentos, poluição e aquecimento global.

No campo da eficiência energética, como solução para diminuição de custos energéticos, as luminárias LED têm cada vez mais ganhado espaço se tornando uma alternativa barata e eficiente quando comparadas com outros tipos de luminárias. As luminárias LED apresentam como vantagem um nível de luminosidade maior solicitando menos potência, ou seja, podem iluminar mais e de maneira mais eficiente quando comparadas com luminárias de vapor de sódio, por exemplo; a isso se dá o nome de eficiência luminosa. Além disso apresentam também um maior tempo de vida quando comparadas com luminárias de vapor de sódio ou mercúrio diminuindo assim gastos com manutenção. Ainda quanto ao descarte, as luminárias LED podem ser descartadas com muito menos dificuldade, pois não apresentam nenhum produto químico que possa causar danos mais graves ao meio-ambiente.

Devido a todos estes fatores a tecnologia tem ganhado cada vez mais espaço nos mercados ao redor de todo o planeta. Países de todos os continentes, inclusive o Brasil, tem investido bastante na tecnologia aumentando assim a demanda deste produto em comparação a luminárias de vapor de sódio ou mercúrio. E a tendência é que a tecnologia LED se torne cada vez mais utilizada e que assim os padrões de exigência quanto a eficiência da mesma se tornem cada vez maiores como já acontece em alguns países que estipulam os níveis de eficiência mínimos exigidos para a fabricação de luminárias. Até mesmo projetos sociais têm sido feitos utilizando-se a tecnologia para que em países menos desenvolvidos o custo com energia para famílias de baixa renda possa ser menor.



Neste contexto a finalidade deste trabalho é, através do Método dos Lúmens e do cálculo da economia de energia, analisar a eficiência das luminárias LED com relação a luminárias de vapor de sódio e demais tecnologias em uma planta industrial. Tal pesquisa se justifica devido a uma redução nos gastos com energia de uma planta industrial e, conseqüentemente, maior conscientização ambiental, além de demonstrar que a planta se encontra dentro dos valores estipulados por norma.

Desta forma o trabalho estruturou-se em quatro capítulos principais sendo seguidos de uma conclusão no capítulo 6 na qual se analisa a viabilidade ou não do projeto através da comparação dos valores encontrados com os esperados pela norma e de um cálculo para verificação da economia de energia. Sendo o capítulo 2 responsável por um panorama de como se encontra a tecnologia LED no Brasil e no mundo. Já o capítulo 3 traz os aspectos conceituais do Método dos Lúmen e do cálculo de eficiência energética, termos e conceitos técnicos utilizados e uma visão geral das normas e quais os padrões a serem seguidos para a indústria. O capítulo 4 descreve a situação de cada uma das áreas da planta trazendo detalhadamente qual o projeto realizado em cada uma, bem como descrevendo a quantidade de luminárias substituídas e de que maneiras elas foram estruturadas no ambiente. No capítulo 5 através das metodologias apresentadas foram feitos os cálculos para verificação na conclusão da adequação ou não da planta às normas bem como uma comprovação da eficiência energética das luminárias LED em relação às anteriormente instaladas na planta.

## **2 TECNOLOGIA LED E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: PRINCIPAIS DEFINIÇÕES E UM BREVE PARANORAMA NO MUNDO E NO BRASIL**

Segundo a IEA (2017) a eficiência energética é fundamental para garantir um sistema energético seguro, confiável, acessível e sustentável para o futuro. A eficiência energética é a melhor alternativa que todos os países possuem em abundância e é a maneira mais rápida e barata de abordar os desafios ambientais, econômicos e de segurança energética.

De acordo com Mamede (2010) para realizar um estudo de eficiência energética numa instalação industrial é necessário agir nos diferentes tipos de carga com a finalidade de verificar seu potencial de desperdício, sendo a iluminação um dos segmentos a se observar. E antes de serem desenvolvidas quaisquer ações de eficiência energética que impliquem custos, como por exemplo a substituição de luminárias de vapor de sódio e fluorescentes por LED, deve-se inicialmente fazer um estudo aprofundado da instalação para se avaliar o caminho a ser tomado.

A iluminação em âmbito industrial é uma das principais fontes de desperdício de energia elétrica, devido a diversidade de pontos de consumo, ao uso generalizado do serviço e ao frequente emprego de aparelhos de baixa eficiência. Algumas medidas de implementação em curto prazo sugeridas são utilizar lâmpadas de maior eficiência possível, reatores de maior eficiência possível como, por exemplo, reatores eletrônicos e utilizar luminárias de maior aproveitamento energético, ou seja, com um mesmo fluxo luminoso para uma menor potência. Um bom projeto de iluminação requer a adoção dos seguintes parâmetros como fundamentais (MAMEDE, 2010):

- Nível de iluminamento suficiente para cada atividade específica;
- Distribuição espacial da luz sobre o ambiente;
- Escolha da cor da luz e seu respectivo rendimento;
- Escolha apropriada dos aparelhos de iluminação;
- Tipo de execução das paredes e pisos;
- Iluminação de acesso.

## 2.1 DEFINIÇÕES

Com a finalidade de se compreender melhor o assunto algumas definições se tornam fundamentais, são elas: Luz, Fluxo Luminoso, Iluminância, Eficiência Luminosa, Lâmpadas Fluorescentes, Lâmpadas de Vapor de Sódio, Lâmpadas de LED, Luminárias e Índice de Reprodução de Cores (IRC) (Mamede, 2010).

A luz é uma fonte de radiação emissora de ondas eletromagnéticas sendo que apenas alguns comprimentos de onda são visíveis.

O fluxo luminoso ( $\psi$ ) é a potência de radiação emitida por uma fonte luminosa. É medida em lúmen que mede a quantidade de luz irradiada por uma abertura de  $1\text{m}^2$ . Também pode ser definida como potência de radiação emitida por uma fonte de luz e avaliada pelo olho humano.

A iluminância é segundo a NBR 8995-1 (ABNT, 2012), o limite da razão entre o fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície quando esta tende a zero, sendo medida em lux. É utilizada para se definir os valores adequados para iluminação de interiores devendo ser adotada pelo projetista de acordo com o tipo de interior e atividade realizada como por exemplo escritórios de engenharia ou salas de cirurgia.

A eficiência luminosa ( $\eta$ ) é a relação entre o fluxo luminoso e a potência consumida por esta fonte de luz em watts (W). Através da eficiência luminosa das fontes de radiação, as lâmpadas, elaboram-se projetos luminotécnicos mais eficientes.

As lâmpadas fluorescentes são constituídas de um longo cilindro de vidro, revestida no interior por uma camada de fósforo que emite luz quando ativado por energia ultravioleta, isto é, não visível. Possui eletrodos de filamento de tungstênio nas extremidades que quando aquecido libera elétrons gerando arcos, de forma alternada, entre os mesmos. Apresentam uma elevada eficiência luminosa, compreendida entre 40 e 80 lúmens/watt e uma vida útil estimada entre 7500 e 12000 horas.

As lâmpadas de vapor de sódio são divididas entre lâmpadas de vapor de sódio de alta e baixa pressão. As lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão contêm gases a uma pressão na ordem de  $600\text{N/m}^2$  e são caracterizadas por emitir uma radiação praticamente monocromática, ter alta eficiência luminosa por volta de 200 lúmens/watt e apresentar vida útil de 18000 horas. Já as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão apresentam um espectro visível contínuo propiciando uma razoável reprodução de cor e com isso tendem a ser usadas

em instalações industriais cujas tarefas não exijam grande fidelidade de cores. Tem uma eficiência luminosa de 130 lumens/watt e uma vida útil de 18000 horas.

Os LEDs são componentes eletrônicos que geram luz com baixo consumo de energia, os quais gastam menos energia para gerar uma mesma luminosidade que as demais lâmpadas. Diferentemente das demais, as lâmpadas LED não apresentam filamento aumentando seu tempo de vida. São compostas por vários diodos emissores de luz que são componentes semicondutores. O LED é um componente do tipo bipolar, sendo assim é composto por um anodo e um catodo e quando polarizado corretamente permite a passagem de corrente e com isso a geração de luminosidade. O circuito elétrico composto por estes componentes estimula a movimentação de elétrons fazendo com que luminosidade seja liberada.

Segundo Creder (2010) luminárias são aparelhos destinados a fixação das lâmpadas e apresentam as seguintes características básicas:

- São agradáveis ao observador;
- Modificam o fluxo luminoso da fonte de luz;
- Possibilitam fácil instalação e posterior manutenção.

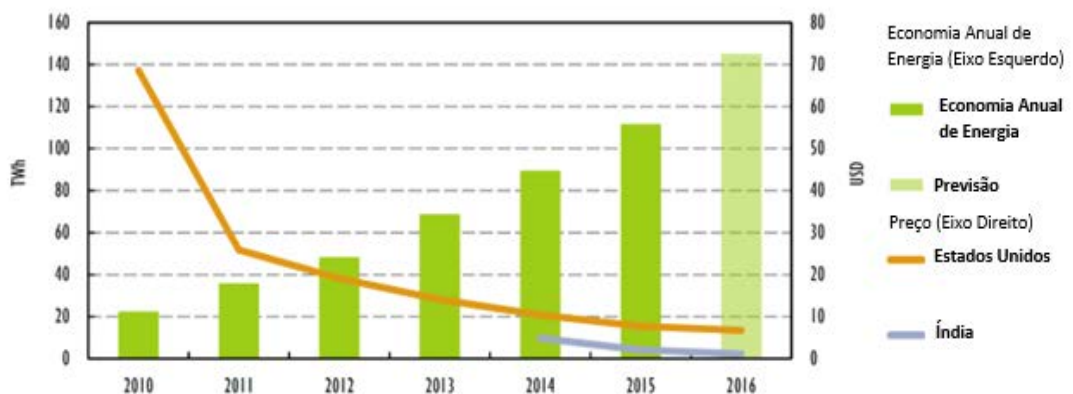
No ambiente industrial uma série de fatores deve ser levado em consideração na hora da escolha de uma luminária, por exemplo, no caso de áreas com estoque de combustíveis inflamáveis é recomendada a escolha de luminárias fechadas afim de se evitar possíveis explosões.

O IRC é um índice que identifica as variações de cor de um objeto iluminado por fontes de luz de várias cores. Ele é responsável por caracterizar a aparência como as cores dos objetos iluminados são percebidas pelo observador. As lâmpadas têm como principal função ajudar na visualização de objetos pelo observador com todo espectro de cor característico do mesmo. As lâmpadas que emitem luz avermelhadas têm baixo IRC, como, por exemplo, as lâmpadas de vapor de sódio que tem um IRC de 35%; as lâmpadas incandescentes apresentam um IRC de 100%. As lâmpadas LED têm um IRC próximo de 80% podendo as lâmpadas de maior qualidade chegar até a 93%. Sendo assim, para locais onde existiam uma grande necessidade de identificar cores as lâmpadas incandescentes eram as mais indicadas, todavia, são as que consomem mais energia, sendo retiradas de circulação no comércio brasileiro desde 2014.

## 2.2 PANORAMA DA TECNOLOGIA LED APLICADA A ILUMINAÇÃO NO CENÁRIO MUNDIAL

Segundo a IEA (2017) nos últimos anos a tecnologia LED mudou drasticamente o mercado de iluminação mundial, pois houve uma rápida aceitação do produto em muitos mercados importantes. As lâmpadas LED de qualidade duram mais e oferecem qualidade de luz comparável ou melhor do que outros tipos de iluminação. O custo da iluminação LED também caiu. LEDs de alta eficiência representaram 15% do total de vendas em lâmpadas residenciais em 2015. O gráfico da Figura 1 mostra como o preço da lâmpada LED caiu nos últimos anos nos mercados de Índia e Estados Unidos e também a economia mundial de energia devido a utilização de lâmpadas LED.

Figura 1: Oferta de preço da lâmpada LED e economia de energia mundial, 2010-16



Fonte: IEA (2017)

De acordo com a IEA (2018), os anos de 2016 e 2017 foram anos muito importantes para a eficiência energética aplicada em sistemas de iluminação, com as lâmpadas LED atingindo um terço das vendas de mercado graças a diminuição dos preços e aumento das opções de aplicação no mercado de iluminação. Com esse crescimento órgãos regulatórios têm aproveitado para criar novas leis e normas para guiar as empresas no mercado.

A união europeia, por exemplo, estabeleceu requisitos de Ecodesign para lâmpadas domésticas e para o setor terciário. Os programas de rotulagem que informam os consumidores sobre a maior eficiência dos LEDs também foram aplicados em muitos

mercados como China, Estados Unidos e Índia, onde o esquema de Rotulagem de Eficiência Energética para lâmpadas LED entrou em vigor em julho de 2015 (IEA, 2017) .

Seguindo a IEA (2018), pesquisas feitas na Índia sugerem que existe um grande potencial para implementação rápida e em larga escala se os mecanismos corretos de financiamento e mercado estiverem em vigor. A Índia é o maior mercado de LED, sendo que desde 2015 já foram vendidos um total de 300 milhões de lâmpadas e espera-se vender um total de 770 milhões até março de 2019.

O desempenho do LED também continua melhorando, com médias de mercado 70% maiores do que em 2010, sendo que em diversos mercados a eficácia dos LEDs disponíveis para uso residencial já ultrapassa 110 lm/W. Por outro lado, as lâmpadas fluorescentes, que tiveram seu pico de vendas em 2015, caíram para cerca de 55% no mercado residencial e as lâmpadas incandescentes com eficácia aproximada de 13 lm/W caíram para menos de 5% de participação no mercado.

Alguns governos como os de Austrália e Nova Zelândia, já estão trabalhando em novos requisitos mínimos de desempenho visando aproveitar a eficiência energética oferecida pelos LEDs. Em 2016 Austrália e Nova Zelândia divulgaram minuta com padrões mínimos de desempenho para iluminação LED visando alcançar 110 lm/W até 2020 e 120 lm/W até o ano de 2030 para lâmpadas LED lineares e grandes luminárias LED integradas. A United for Efficiency, liderada pelo Programa Ambiental da ONU, também está atualizando seu modelo de regulamentação para metas baseadas em desempenho e iluminação para países em desenvolvimento. Com isso mais países devem aproveitar para obter uma economia maior de energia. Com o aumento da eficiência e diminuição dos preços o uso de lâmpadas LED em sistemas descentralizados de energia também tem trazido resultados favoráveis. Desde 2010, vinte e três milhões de unidades pico-solares com lâmpadas de LED e carregamento de celulares foram implantados na África Subsaariana e no sul da Ásia. Em 2016 94% das vendas off-grid foram provenientes deste tipo de instalação apoiadas por LED de baixo custo e alta eficiência energética com vendas semelhantes esperadas para 2017.

### 2.3 PANORÂMA DA TECNOLOGIA LED APLICADA A ILUMINAÇÃO NO CENÁRIO BRASILEIRO

Diversos estudos sobre iluminação vêm sendo realizados em plantas industriais nos últimos anos visando uma melhoria da eficiência energética, ou seja, diminuição de potência consumida e por consequência diminuição dos gastos ou até mesmo atender as exigências da NBR8995-1 (ABNT, 2012) no caso das indústrias brasileiras.

Nesse contexto o mercado de lâmpadas LED vem crescendo rapidamente no país, segundo reportagem da revista *Eletricidade Moderna* (**Eletricidade Moderna**, 2018) o BNDESPar aprovou uma verba de R\$ 30 milhões de reais para a Unicoba, empresa do ramo de componentes eletrônicos que vem investindo na tecnologia LED, para investimentos na tecnologia de luminárias LED. O Brasil se encontra em posição de destaque na migração para luminárias LED e segundo apontamento do vice-presidente da Unicoba as indústrias têm demonstrado maior interesse nos projetos com a tecnologia LED já que houve uma redução no preço das luminárias e aumento da eficiência do LED em quase 50%. Essas melhorias causaram uma redução do tempo de retorno em projetos de substituição de luminárias de vapor de sódio ou fluorescentes por luminárias de LED de 4,5 anos para algo em torno de 10 a 14 meses.

Com base em estudo realizado por Valentim, Ferreira e Coletto (2010) a lâmpada não precisa de nenhum cuidado específico na hora de seu manuseio, sendo necessários somente os procedimentos padrão de segurança antes da troca de uma lâmpada. Além disso quando feita comparação entre uma lâmpada LED e uma incandescente de mesma luminosidade o consumo da lâmpada LED se mostrou 12 vezes menor. Indo um pouco além e fazendo a mesma comparação com uma lâmpada fluorescente de 12W o consumo de uma lâmpada LED de mesma luminosidade se mostrou 5 vezes menor.

Outro ponto importante destacado pelos autores (VALENTIM; FERREIRA; COLETTI, 2010) é que lâmpadas LED não apresentam um IRC elevado podendo com isso prejudicar sua aplicação em alguns ambientes específicos como lojas ou salas de cirurgia. Esse baixo IRC se deve ao fato de que a luz emitida pelo LED, apesar de não ser monocromática, apresenta picos em determinadas cores do espectro que dependem dos materiais de fabricação e dopagem.

Segundo Santos et al. (2015) as lâmpadas LED são uma evolução tecnológica que vem ganhando cada vez mais destaque no mercado. Lâmpadas de LED são dispositivos semicondutores preenchidos com gases e revestidos com diferentes materiais de fósforo.

Também fica claro que o papel das lâmpadas LED mudou drasticamente, pois agora já são utilizadas para iluminação pública e indústrias sendo que há alguns anos atrás eram somente utilizadas em faróis de veículos e lâmpadas de *stand by* de dispositivos eletrônicos.

Além da eficiência energética Santos *et al.* (2015) também destaca a importância ambiental da evolução da tecnologia de lâmpadas LED, pois aproximadamente 3,5 milhões de toneladas de mercúrio provenientes de 85 milhões de lâmpadas fluorescentes são descartados no Brasil anualmente em aterros públicos fato este que vem contribuindo para a contaminação do meio-ambiente e com a maior utilização de lâmpadas LED este número deve diminuir já que seu descarte não apresenta grandes problemas ambientais.

Em estudo feito em uma indústria têxtil para substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, Agostinho, et al. (2017) puderam aferir que apesar de um gasto inicial consideravelmente alto para a fábrica estudada, no valor de R\$ 39550,00 ao final de um ano haveria uma economia de R\$ 13302,00, ou seja, após três anos a economia com a implantação das lâmpadas LED pagaria o projeto inicial. Ainda se levando em conta que o tempo de vida da lâmpada LED é de onze anos e da fluorescente de menos de um ano haveria um lucro R\$ 82500,00 após 11 anos por não haver necessidade de troca anual das lâmpadas. Com isso na visão do autor a implementação de lâmpadas LED no setor de iluminação industrial se torna algo viável mesmo com o alto investimento inicial.

Segundo a Norma Regulamentadora 17 - NR 17(MTE, 2009), norma que regulamenta a ergonomia em todos os locais de trabalho deve haver iluminação adequada seja ela natural ou forçada apropriada à natureza da atividade conforme NBR 8995-1 (ABNT, 2012). Ainda prevê que a iluminação deve ser uniformemente distribuída e difusa. A iluminação geral deve ser projetada e instalada de forma a evitar ofuscamento, reflexos incômodos, sombras e contrastes excessivos. As medições dos níveis de iluminamento devem ser feitas no campo de trabalho onde se realiza a tarefa visual com auxílio de um luxímetro com fotocélula corrigida para a sensibilidade do olho humano e em função do ângulo de incidência. A Norma Regulamentadora 10 – NR 10 (MTE, 2004) reforça a importância de ambientes bem iluminados no que se refere a segurança de projetos, construção, montagem, operação e manutenção. Sendo assim projetos de iluminação devem assegurar que as instalações proporcionem iluminação adequada aos trabalhadores.



Segundo a NBR8995-1(ABNT, 2012), a qual regulamenta a iluminância de interiores, determina, por exemplo, a iluminância em escritórios de engenharia em 500 lux, para depósitos de matérias-primas 100 lux e para áreas de fundição 300 lux.

### 3 ASPECTOS CONCENTUAIS E METODOLOGIA

#### 3.1 O MÉTODO DOS LÚMEN

O método dos lúmens consiste, de maneira sucinta, em utilizar a equação (3.1) para determinar o fluxo luminoso necessário para obtenção de um nível de iluminamento médio para o local a ser projetado.

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} \quad (3.1)$$

sendo:

$\psi_t$ : Fluxo total em lúmens;

E: Iluminamento médio em lux;

S: Área do local a ser projetado em metros quadrados;

$F_u$  : Fator de utilização do ambiente;

$F_{dl}$ : Fator de depreciação da luminária.

O fator de depreciação da luminária é a relação entre o fluxo luminoso de uma lâmpada ao fim do período considerado para iniciar o processo de manutenção e o fluxo emitido no início de sua operação (Mamede, 2010). A Tabela 1 mostra valores de fatores de depreciação de alguns equipamentos utilizados em projetos de iluminação.

Tabela 1 – Fatores de depreciação de serviço da luminária

<b>Tipo de Aparelho</b>	<b><i>F<sub>at</sub></i></b>
Aparelhos para embutir lâmpadas incandescentes ou lâmpadas refletoras	0,85
Calha aberta e chanfrada	0,80
Refletor Industrial para lâmpadas incandescentes	
Luminária Comercial	0,75
Luminária ampla utilizada em linhas contínuas	
Refletor parabólico para lâmpadas incandescentes	0,7
Aparelho para lâmpada incandescente para iluminação indireta	
Luminária com difusor acrílico	
Globo de vidro fechado para lâmpada incandescente	
Refletor com difusor plástico	0,6
Luminária comercial para lâmpada high output com colmeia	
Luminária para lâmpada fluorescente para iluminação indireta	

Fonte: Mamede (2010)

O fator de utilização é a relação entre o fluxo luminoso que chega ao plano de trabalho e o fluxo luminoso total emitido pelas lâmpadas do ambiente. Depende de alguns fatores que são as dimensões do ambiente, tipo de luminária e a cor da pintura das paredes. Para determinação do fator de utilização é necessário saber o índice de recinto K e os valores médios de refletância das paredes, teto e piso.

Para determinação dos valores médios de refletância ( $\rho$ ) deve-se levar em consideração as tonalidades das superfícies conforme dados da Tabela 2.

Tabela 2 - Valores médios de refletância em superfícies ( $\rho$ )

	Branco	Claro	Escuro
Teto (%)	70	50	30
Paredes (%)	-	50	30
Piso (%)	-	-	10

Fonte: Mamede (2010)

O índice de recinto K é dependente das dimensões do espaço a se projetar a iluminação e pode ser calculado através da equação (3.2).

$$K = \frac{A \times B}{H_{lp} \times (A + B)} \quad (3.2)$$

sendo:

K – Índice do recinto;

A – Largura do recinto em metros;

B - Comprimento do recinto em metros;

$H_{lp}$  – Altura da fonte de luz até o plano de trabalho em metros;

Após a definição dos valores médios das refletâncias ( $\rho$ ) e do índice do recinto K deve-se utilizar a tabela de fator de utilização da luminária que será utilizada no projeto que é disponibilizada pelo fornecedor sendo que a primeira coluna apresenta alguns valores de K e as 3 primeiras linhas os valores de refletância para teto, parede e piso respectivamente. Cruzando-se esses valores encontra-se o valor do fator de utilização na tabela. Caso não exista na tabela o valor de K encontrado durante o cálculo do projeto deve-se fazer uma interpolação para encontrar o valor mais preciso possível para o fator de utilização. A Tabela 3 traz o exemplo da tabela de fator de utilização da luminária TMS 426 ilustrada na Figura 2

Figura 2: Luminária Philips TMS 426 de 40W



Fonte: Philips (2019)

Tabela 3: Fator de utilização – Luminária Philips TMS 426- 2 lâmpadas de 40W

Teto	70%		50%		70%		50%		30%	
Parede	50%	30%	50%	30%	10%	10%	30%	10%	30%	10%
K	10% de refletância do valor do piso									
0,6	0,35	0,28	0,23	0,31	0,25	0,21	0,22	0,19		
0,8	0,43	0,36	0,3	0,38	0,32	0,27	0,28	0,24		
1	0,5	0,42	0,36	0,44	0,38	0,33	0,33	0,29		
1,25	0,56	0,49	0,43	0,49	0,43	0,38	0,38	0,34		
1,5	0,61	0,54	0,48	0,54	0,48	0,43	0,42	0,38		

Fonte: Mamede (2010)

Fazendo uma breve análise da Tabela 3 pode-se perceber que um aumento de K aumenta também o fator de utilização, ou seja, quanto maior a relação entre a área da sala e a altura maior o fator de utilização. Fazendo a mesma análise para os valores médios das refletâncias percebe-se que quanto maiores os valores de  $\rho$  maiores também são os valores dos fatores de utilização.

Para obtenção do iluminamento médio (E) requerido pelo ambiente deve-se utilizar a NBR8995-1 (ABNT, 2012). Para estipular este valor deve-se levar em consideração o tipo de ambiente, tarefa ou atividade empregado no local.

Assim pode-se calcular o fluxo total de a ser emitido pelas lâmpadas ( $\psi_t$ ) restando apenas uma última etapa que é o cálculo da quantidade de luminárias a serem instaladas no recinto. Para tanto utiliza-se a fórmula da equação (3.3). Em caso de obtenção de um valor que não seja inteiro para a quantidade de luminárias deve-se sempre aproximar o valor para cima garantindo assim o nível mínimo de iluminamento conforme instrução da NBR8995-1(ABNT, 2012) e o valores de fluxo luminoso para cada lâmpada podem ser obtidos através da Tabela 4.

$$N_{lu} = \frac{\psi_t}{N_{la} \times \psi_l} \quad (3.3)$$

sendo:

$N_{lu}$ : Número total de luminárias;

$N_{la}$ : Número de lâmpadas por luminária;

$\psi_t$ : Fluxo total em lúmens;

$\psi_l$ : Fluxo luminoso emitido por uma lâmpada.

Tabela 4: Fluxo Luminoso de alguns tipos de lâmpadas

(continua)

Tipo de Lâmpada	Potência(W)	Fluxo Luminoso(lm)
Incandescente Comum	40	470
	60	780
	100	1480
	150	2360
Mista	160	3000
	250	5500
	500	13500
Vapor de mercúrio	80	3500
	125	6000
	250	12600
	400	22000
	700	35000
Fluorescente Comum	15	850
	20	1200
	30	2000
	40	3000
Fluorescente Compacta	5	250
	7	400
	9	600
	11	900
	13	900
	15	1100
	20	1200
	23	1400
Vapor de sódio a alta pressão	50	3000
	70	5500
	150	12500
	250	26000
	400	47500

Tabela 4: Fluxo Luminoso de alguns tipos de lâmpadas

(conclusão)		
Tipo de Lâmpada	Potência(W)	Fluxo Luminoso(lm)
Vapor Metálico	400	28500
	1000	90000
	2000	182000
Lâmpada LED	4	300
	6	470
	10	810
	12	1100
	20	1700
	150	19500
	180	26000
	200	30000

Fonte: Mamede (2010)

Não existe nenhuma regra para a distribuição das luminárias no recinto a ser iluminado, porém com a finalidade de manter o fluxo bem distribuído recomenda-se espalhar as luminárias de maneira uniforme. Existem também casos aonde a atividade de um recinto se concentra mais em uma determinada região, justificando assim que nem sempre uma distribuição uniforme é a melhor alternativa, porém nunca é recomendado que se deixem formar penumbras e para isso, caso necessário, pode-se utilizar de mais luminárias para garantir uma boa iluminação. Sempre, é claro, com o cuidado de não extrapolar a quantidade de iluminação que pode causar ofuscamento da visão dentre outros problemas. Também deve-se considerar a altura do pé direito para uma distribuição mais eficiente das luminárias no ambiente, sendo a distância máxima entre os centros das luminárias deve ser de 1 a 1,5 vezes a altura do pé direito e a distância do centro da luminária até a parede metade deste valor conforme a NBR8995-1(ABNT, 2012).

### 3.2 NBR8995-1

A NBR8995-1 (ABNT, 2012) é uma norma técnica brasileira que visa especificar os requisitos de iluminação para locais de trabalhos internos afim de garantir que as pessoas desempenhem suas tarefas visuais de maneira mais eficiente, com conforto e segurança. Essa norma não especifica as técnicas de projetos, no caso deste trabalho será utilizado o método dos lumens.

Para se garantir um bom projeto deve-se levar em conta o conforto visual dos trabalhadores, garantindo um desempenho rápido e preciso. Aumentando-se a segurança visual e com isso ajudando melhorando detecção de possíveis fontes de perigo. Levando-se em consideração esses fatores os principais parâmetros para atender a norma são uma distribuição eficiente da luminância, ofuscamento, direcionalidade da luz, aspectos de cor da luz e superfícies, luz natural e manutenção.

Uma adaptação bem balanceada da luminância é responsável por garantir uma maior acuidade visual, sensibilidade ao contraste e eficiência das funções oculares. Contrastes de luminância muito altos podem levar ainda a fadiga visual.

Ofuscamento é gerado por fontes muito brilhantes como refletores ou janelas em ambientes escuros, podendo assim inibir a visualização de objetos e causar acidentes sendo então melhor evitar esse tipo de situação.

A iluminação direcional geralmente é utilizada para o destaque de objetos, para revelar texturas e melhorar a aparência das pessoas em um determinado espaço não sendo recomendado que a iluminação seja tão direcional a ponto de produzir sombras. A iluminação direcional pode ser utilizada para se facilitar determinadas atividades revelando detalhes específicos de uma área ou maquina fazendo assim com que a tarefa seja realizada de maneira mais simples e segura.

A aparência da cor de uma lâmpada é a cor da luz que a lâmpada emite e está diretamente ligada à temperatura. A Tabela 5 traz a aparência da cor de acordo com a temperatura correlata, sendo que quanto maior a temperatura mais fria é a cor tendendo assim a cores de tons azulados. A escolha da cor depende muito do ambiente de trabalho sendo recomendadas cores quentes para ambientes frios e cores frias para ambientes quentes.



Tabela 5 – Aparência da cor de acordo com a temperatura

<b>Aparência da cor</b>	<b>Temperatura Correlata</b>
Quente	Abaixo de 3300 K
Intermediária	Entre 3300 K e 5300 K
Fria	Acima de 5300 K

Fonte: Mamede (2010)

A luz natural pode fornecer completa ou parcialmente a iluminação para uma atividade, porém varia de acordo com a hora do dia fazendo assim que a iluminação de um interior também varie. Ainda se recomenda que um sistema de dimerização manual ou automático, como é feito em postes externos de iluminação, seja utilizado para se adequar a luminosidade de recintos de trabalho. Afim de evitar ofuscamento no caso de utilizações de janelas para iluminação natural deve ser prevista a utilização de proteções.

A manutenção é um item fundamental para manter os níveis de luminosidade dentro do exigido pela norma, pois deve-se prever defeitos de possíveis equipamentos e sendo assim um plano de manutenção deve ser desenvolvido para garantir o correto funcionamento das luminárias. A norma prevê que se deve preparar um cronograma de manutenção abrangente e com a frequência de substituição das lâmpadas, frequência de limpeza das luminárias e do ambiente bem como o método de limpeza.

Para procedimentos de verificação a norma dispõe que a luminância deve ser medida em pontos específicos em áreas pertinentes e as leituras jamais devem ser inferiores as calculadas em projeto e para medições repetidas devem-se utilizar os mesmos pontos. A norma ainda prevê uma tolerância de 10% nos valores medidos de luminância e iluminância já que algumas aproximações foram assumidas durante o projeto como, por exemplo, todas as lâmpadas terem desempenho fotométrico idêntico.

### 3.3 CÁLCULO DA EFICÊNCIA ENERGÉTICA

Para avaliar-se a viabilidade do projeto é importante também fazer uma análise da economia em watts do projeto e qual a redução nos custos da empresa com a instalação das luminárias. Para tanto deve-se utilizar a equação (3.4) para cálculo da potência instalada em cada uma das áreas.

$$P_i = N_l \times P_l \quad (3.4)$$

sendo:

$P_i$  – Potência Instalada em watts;

$N_l$  – Número de luminárias;

$P_l$  – Potência da luminária em watts.

Para cálculo da economia de energia deve-se utilizar a equação (3.5) que consiste em calcular a diferença entre a potência instalada inicialmente no prédio e a potência instalada ao final do projeto. Para cálculo do consumo de energia deve-se considerar o período no qual as luminárias ficarão ligadas conforme equação (3.5).

$$E = \frac{(P_{i-i} - P_{i-f}) \times t}{1000} \quad (3.5)$$

sendo:

$E$  - Economia no consumo de energia em kWh;

$P_{i-i}$  - Potencial Instalada inicialmente em watts;

$P_{i-f}$  - Potencial Instalada após o projeto em watts;

$t$  - Tempo de funcionamento das luminárias em horas;

E para calcular a economia em reais que o projeto apresentou pode-se utilizar a equação (3.6) para uma análise financeira da viabilidade do projeto.

$$C = E \times p \quad (3.6)$$

sendo:

C – Economia no custo de energia em reais;

E – Economia no consumo de energia em kWh;

p – Preço do kWh em reais.

#### 4 ESTUDO DE CASO

O projeto realizado previu a instalação de quatrocentos e setenta e sete pontos de iluminação, mantendo a posição original das luminárias já existentes e acrescentando luminárias em algumas áreas, em três setores diferentes da planta que são a CBS, Reciclagem e Refusão juntamente com pontos de iluminação externa. A altura do pé direito nestes locais varia de 6 a 20 metros. Na Tabela 5 estão as tipologias e quantidades das luminárias utilizadas para o projeto.

Tabela 6: Quantidade por tipologia das luminárias

<b>Tipologia</b>	<b>Potência</b>	<b>Quantidade</b>
LED High Bay	200W	97
LED High Bay	150 W	175
LED High Bay*	180 W	21
LED Refletor	150 W	3
LED Refletor*	160 W	53
LED Refletor	160 W	61
LED Street Light	140 W	67
Total		477

Fonte: EDP Brasil

\*Luminária apropriada para altas temperaturas

#### 4.1 CBS

O setor da CBS teve como proposta a instalação de 84 luminárias LED High Bay de 150 W em substituição a 84 luminárias de vapor de sódio de 250 W com a adição de uma fileira de 6 luminárias totalizando 90 luminárias. Para o caso desta área as luminárias foram instaladas a uma altura de 6 metros de distância do chão com distribuição conforme a Figura 3.

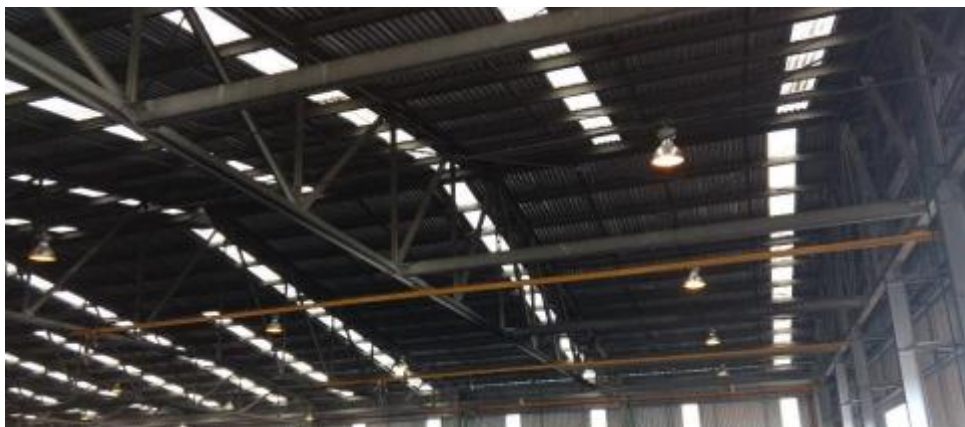
A CBS, mostrada na figura 4, é um depósito para armazenamento de bobinas com comprimento de 120 metros e largura de 44,2 metros, totalizando uma área de 5304 metros quadrados.

Figura 3: Distribuição das luminárias na área da CBS.



Fonte: EDP Brasil

Figura 4: Iluminação da CBS anterior ao projeto



Fonte: EDP Brasil

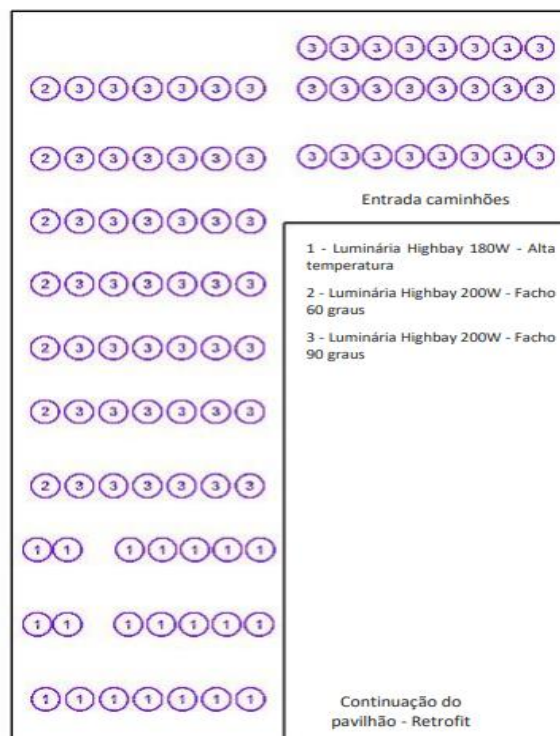
## 4.2 RECICLAGEM

O projeto do setor da reciclagem foi composto pela instalação de 97 luminárias LED High Bay de 200 W, 21 luminárias LED High Bay de 180 W, 1 luminária LED High Bay de 150 W e 3 refletores LED de 150 W que foram instaladas na mesma posição das luminárias já existentes que consistiam em 25 luminárias de vapor de sódio de 250 W e 97 luminárias de vapor de sódio de 400 W. A altura das mesmas varia entre 14 e 16 metros do solo. A Figura 5 mostra a distribuição das luminárias no galpão. A iluminação da reciclagem antes do projeto está ilustrada na Figura 6.

Para efeitos de cálculo do projeto são consideradas duas áreas distintas na Reciclagem. A primeira delas é a entrada de caminhões com comprimento de 36 metros e largura de 40 metros, totalizando uma área de 1440 metros quadrados. Nesta área foram instaladas 24 luminárias de 200 W.

Já a segunda área foi a área dos fornos da reciclagem com comprimento de 152 metros e 38 metros de largura com uma área total de 5776 metros quadrados. Nesta área foram instaladas as luminárias restantes designadas para a Reciclagem.

Figura 5: Distribuição das Luminárias na área da Reciclagem



Fonte: EDP Brasil

Figura 6: Iluminação da Reciclagem anterior ao projeto



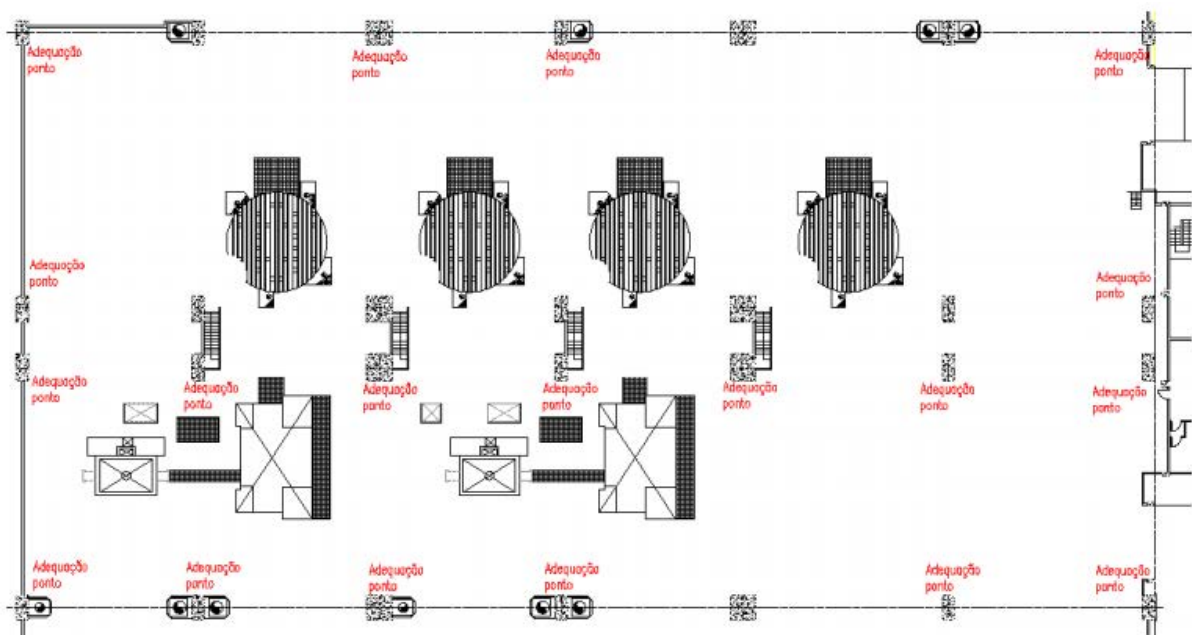
Fonte: EDP Brasil



### 4.3 REFUSÃO

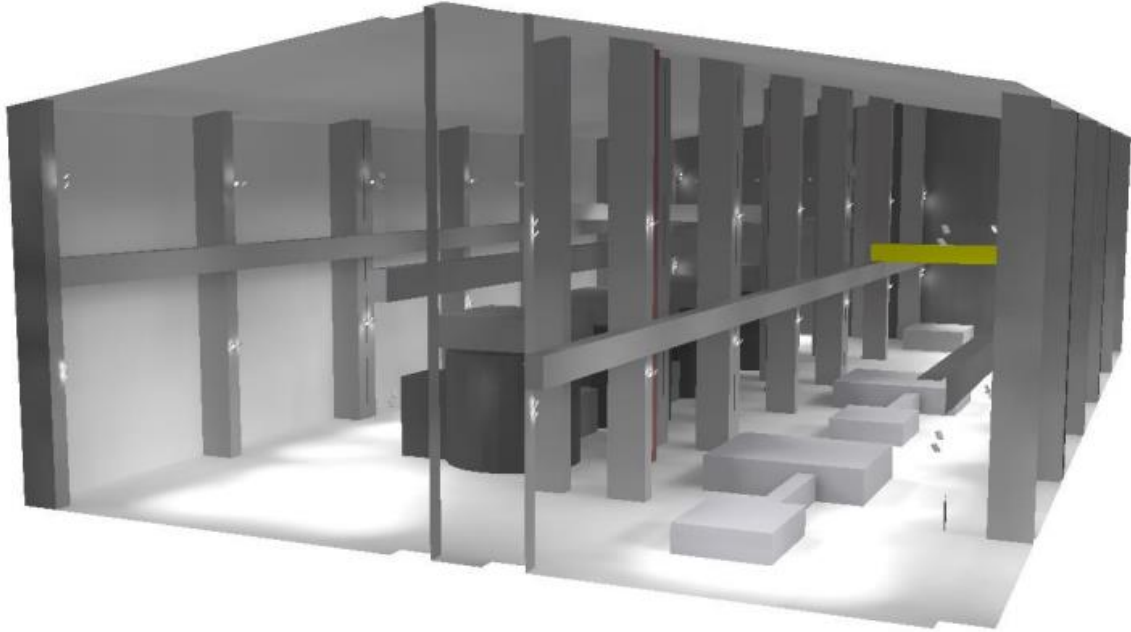
No setor da Refusão o projeto foi dividido em duas partes devido a utilização de cada uma das áreas exigir níveis de iluminação médio diferentes conforme NBR8995-1 (NBR,2012). O primeiro referente a área dos fornos composto por 114 refletores de LED de 160 W, sendo que 53 destes foram adequados para aguentar altas temperaturas. Antes da adequação a área da Refusão era composta por refletores em sua maioria instalados a alturas entre 15 e 17 metros de distância do solo. O projeto contemplou a instalação de somente 28 dos refletores entre essas alturas sendo os demais instalados a uma altura do solo de 7 metros. Foram criados 19 novos pontos de iluminação instalados conforme a Figura 7. A Figura 8 mostra o layout em 3D do sistema de iluminação da área dos fornos da Refusão. O prédio da área dos fornos possui um comprimento de 48 metros e largura de 92 metros totalizando uma área de 4412 metros quadrados.

Figura 7: Novos pontos de iluminação instalados na Refusão.



Fonte: EDP Brasil

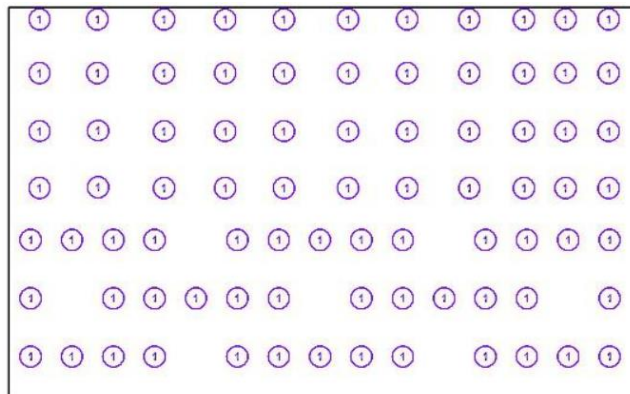
Figura 8: Layout 3D da iluminação da área dos fornos da Refusão.



Fonte: EDP Brasil

Já o segundo setor, referente ao pátio de matéria prima mostrado na figura 10, foi composto por 84 luminárias LED High Bay de 150 W instaladas no lugar das antigas luminárias de vapor de sódio de 250 W a altura de 8 metros em relação ao solo. A Figura 9 traz a distribuição das luminárias. O local possui comprimento de 50 metros e largura de 92 metros totalizando uma área de 4600 metros quadrados.

Figura 9: Distribuição das luminárias no pátio de matéria prima da Refusão



Fonte: EDP Brasil

Figura 10: Iluminação pátio de matéria prima antes da realização do projeto



Fonte: EDP Brasil

#### 4.4 ILUMINAÇÃO EXTERNA

O projeto de iluminação externa compreendeu a instalação de 67 pontos de iluminação em diferentes áreas de alta circulação da planta como, por exemplo, a área próxima aos bombeiros. Os postes foram instalados a uma altura de 9 metros. As luminárias utilizadas foram LED Street Light de 150 W em substituição a luminárias de 250 W.

## 5 RESULTADOS

Foi feita uma análise da redução de consumo de energia nos setores da planta e também se o projeto está atendendo a norma NBR 8995-1 (NBR, 2012). Para análise econômica do mesmo o preço do kWh foi estipulado em R\$0,60; valor utilizado na planta estudada; considerou-se ainda que a planta funciona 24 horas todos os dias ao longo do ano logo o tempo para cálculo do consumo das luminárias foi considerado de 8760 horas por ano. Os valores de fator de utilização utilizados no projeto foram obtidos de fornecedores durante a fase de cálculos do mesmo, para todos os casos considerou-se piso, parede e tetos escuros. O fator de depreciação escolhido foi de 0,75 que é o valor indicado para luminárias comerciais e luminárias de linhas contínuas conforme a Tabela 1. Para o cálculo da potência está considerando-se que o reator das lâmpadas de vapor de sódio consome uma potência de 10% do valor da potência da luminária.

Conforme descrito no capítulo 4 na CBS foram utilizadas 90 luminárias LED *HighBay* de 180W em substituição a 84 luminárias de vapor de sódio de 250W. Para cálculo do fluxo luminoso total ( $\psi_t$ ) foi considerado um fluxo luminoso por luminária de 19500 lm.

Utilizando-se a equação (3.3) e substituindo os valores de projeto obteve-se o fluxo luminoso total para o local.

$$N_{lu} = \frac{\psi_t}{N_{la} \times \psi_l}$$

Considerando-se

$$N_{lu} = 90;$$

$$N_{la} = 1;$$

$$\psi_l = 19500 \text{ lm.}$$

$$90 = \frac{\psi_t}{1 \times 19500}$$

$$\psi_t = 1755000 \text{ lm}$$

Após isso utilizando-se a equação (3.2) calculou-se o índice do recinto (K) que foi utilizado para a especificação do fator de utilização junto ao fabricante. Conforme especificação o fator de utilização ( $F_u$ ) considerado para o projeto desta área foi de 0,84.

$$K = \frac{A \times B}{H_{lp} \times (A + B)}$$

Considerando-se:

$$A = 44,2 \text{ m};$$

$$B = 120 \text{ m};$$

$$H_{lp} = 6 \text{ m}.$$

$$K = \frac{44,2 \times 120}{6 \times (44,2 + 120)}$$

$$K = 5,38$$

Após o cálculo de índice de recinto (K), obtenção do fator de utilização e do fluxo total em lúmens do galpão finalmente obteve-se o nível de iluminamento do projeto para futura verificação se o projeto se enquadra dentro da norma NBR8995-1 (NBR, 2012) através da equação (3.1).

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}}$$

Considerando-se:

$$\psi_t = 1755000 \text{ lm};$$

$$S = 5304 \text{ m}^2;$$

$$F_u = 0,84;$$

$$F_{dl} = 0,75.$$

$$1755000 = \frac{E \times 5304}{0,84 \times 0,75}$$

$$E = 208,46 \text{ lux}$$

Após o cálculo do nível de iluminamento também foi feita uma análise da economia financeira do projeto. Para tanto utilizou-se a equação (3.4) para calcular a potência instalada antes do projeto considerando –se 84 luminárias de vapor de sódio de 250W e após a realização do projeto 90 luminárias LED de 150W.

$$P_{i-i} = 1,1 \times (N_l \times P_l)$$

Considerando-se:

$$P_l = 250W;$$

$$N_l = 84 \text{ luminárias};$$

$$P_{i-f} = N_l \times P_l$$

Considerando-se:

$$P_l = 150W;$$

$$N_l = 90 \text{ luminárias};$$

Obtendo-se:

$$P_{i-i} = 23100 \text{ W}$$

$$P_{i-f} = 13500 \text{ W}$$

Após isso, utilizou-se a equação (3.5) para o cálculo da economia de energia e a equação (3.6) para avaliação financeira do projeto.

$$E = \frac{(P_{i-i} - P_{i-f}) \times t}{1000}$$

$$E = \frac{(23100 - 13500) \times 8760}{1000}$$

$$E = 84096kWh/\text{ano}$$

$$C = E \times p$$

$$C = 84096 \times 0,60$$

$$C = \text{R\$ } 50.457,60/\text{ano}$$

Após a instalação das luminárias é esperado um nível médio de iluminamento de 208,46 lux e uma economia de R\$ 50.457,60 por ano para o prédio da CBS, a Figura 11 mostra como ficou o local após a realização do projeto. No caso desse prédio as luminárias foram distribuídas de maneira homogênea sendo que a maior distância entre elas foi de 7,5 metros e de 3,75 metros de distância para parede.

Figura 11: CBS após a instalação das luminárias.



Fonte: Produção do próprio autor

De maneira análoga aos cálculos feitos para a CBS, foram calculados os valores para as áreas da Refusão, Reciclagem e Área externa gerando assim a Tabela 6 com os valores de fluxo luminoso total da área, iluminamento médio esperado pela norma, iluminamento calculado das áreas e economia no custo de energia.



Tabela 6: Resultados obtidos para as áreas

Área	$\psi_t$ (lm)	$E_{NBR}$ (lux)	$E_{calc}$ (lux)	C (R\$/ano)
CBS	1755000	200	208,46	50.457,60
Refusão (Área dos fornos)	2280000	300	310	41.443,56
Refusão (PMP)	1638000	100	199,72	55188,00
Reciclagem(Entrada dos caminhões)	720000	300	311,25	30.274,56
Reciclagem (Área dos fornos)	2814000	300	303,27	105.198,84

Fonte: Produção do próprio autor

Conforme descrito no Capítulo 4 devido ao formato em L da área da reciclagem a mesma foi dividida em duas para efeito de cálculos. A primeira área foi denominada área de entrada de caminhões e a segunda a área dos fornos. Na primeira área foram instaladas 24 luminárias LED de 200 W em substituição a luminárias de vapor de sódio de 400 W para estas luminárias considerou-se um fluxo luminoso ( $\psi_l$ ) de 30000 lm. Já na área dos fornos foram instaladas as demais luminárias sendo consideradas para as lâmpadas de 150W, 180W e 200W fluxos luminosos ( $\psi_l$ ) de, respectivamente, 19500, 26000 e 30000 lm.

Após a instalação das luminárias é esperado um nível médio de iluminamento de 311,25 luxes para a área dos caminhões e 303,27 luxes para a área dos fornos e uma economia de R\$ 135.473,40 por ano para a reciclagem no total, a figura 12 mostra como ficou o local após a realização do projeto. No caso do prédio da reciclagem as luminárias foram distribuídas de acordo com a atividade realizada, não sendo distribuídas de maneira homogênea. A maior distância existente entre luminárias foi de 15,2 metros, sendo esta a maior distância até a parede também.

Figura 12: Área da Reciclagem após implementação das luminárias



Fonte: Produção do próprio autor

A Refusão foi dividida em duas áreas que consistem na área dos fornos e o pátio de matérias primas. Conforme descrito no capítulo 4 a área dos fornos era composta de 95 luminárias de vapor de sódio de 250 W e com o projeto foram instalados novos 19 pontos de iluminação totalizando 114 luminárias LED de 160 W. Já no caso do pátio de matéria prima foram substituídas 84 luminárias de 250 W por luminárias LED e 150 W. Para o caso das luminárias o fluxo luminoso( $\psi_l$ ) considerado foi de 20000 lm para as luminárias da área dos fornos e de 19500 lm para as luminárias do pátio de matéria prima.

Após a instalação das luminárias é esperado um nível médio de iluminamento de 310 luxes para a área dos fornos e 199,72 luxes para o pátio de matéria prima e uma economia de R\$ 96631,56 por ano para a Refusão no total, a Figura 13 mostra como ficou o local após a realização do projeto. No caso da Refusão como as alturas de serviço são diferentes deve-se avaliar a máxima distância para cada uma das áreas. Para a área dos fornos a máxima distância entre luminárias foi de 13,5 metros. Já no caso do pátio de matéria prima a distância máxima foi de 15 metros sendo a distância máxima para parede metade deste valor.

Figura 13: Iluminação da área da Refusão após a implementação das luminárias



Fonte: Produção do próprio autor

Conforme descrito no capítulo quatro a iluminação externa consistiu na troca de 67 luminárias de vapor de sódio de 250 W luminárias de LED de 150 W. Como se trata de iluminação externa neste caso as luminárias foram instaladas em pontos cujo a movimentação e pessoas era alta durante a noite e a iluminação baixa, por exemplo, a área dos bombeiros totalizando uma economia de R\$44.019,00 por ano.

## 5 CONCLUSÃO

O trabalho teve como propósito desde o início avaliar os impactos da instalação de luminárias LED em um ambiente industrial, neste contexto, visou-se avaliar tanto a economia financeira que o projeto trouxe à planta como a adequação do mesmo à NBR8995-1 (NBR, 2012). A Iluminação pública apresentou uma economia de R\$ 44.019,00 para a planta, sendo instalados postes de iluminação nos locais de maior movimentação de colaboradores durante a noite.

A CBS apresentou um nível de iluminamento (E) de 208,45 lux. O local é um depósito de bobinas, logo segundo a NBR8995-1 o nível de iluminamento mínimo para o local deve ser de 200 lux já que os trabalhos na área são contínuos. Com isto percebe-se que o projeto atende às expectativas da norma. Ainda quanto a distância máxima das luminárias o Método dos Lúmen diz que a máxima distância deve ser entre 1 e 1,5 a distância das luminárias ao plano de trabalho, logo no caso da Expedição esta distância deveria estar entre 6 e 9 metros a distância máxima é de 7,5 metros o que faz com que o esteja dentro dos valores exigidos. Haverá uma economia de R\$ 50.457,60 por ano para a planta com a implementação do projeto.

A Reciclagem apresentou um nível de iluminamento (E) de 311,25 lux para a área da entrada de caminhões e de 303,27 lux para a área dos fornos. Sendo classificada como área de fundição o nível de iluminamento esperado pela norma é de 300 lux mostrando que o local está adequado à norma. Ainda houve redução nos custos com energia de R\$135.473,40 por ano com a nova tecnologia instalada.

A Refusão foi dividida em duas áreas. O pátio de matéria prima, cujo nível de iluminamento mínimo exigido por norma é de 100 lux já que o local é um depósito de matérias primas. Os cálculos do projeto demonstraram que o nível de iluminamento do local após a implementação do projeto será de 189, 61 lux se enquadrando na norma. Já a área dos fornos, cujo projeto estipulou um nível de iluminamento médio de 310 lux, sendo uma área de fundição tem como nível de iluminamento mínimo estipulado pela norma 300 lux e, portanto, se enquadrando na mesma. A Refusão apresentou uma economia de R\$96.631,56 segundo a expectativa do projeto.

Também houve uma grande redução nos custos e no tempo gasto com manutenção, pois devido às altas temperaturas e ao fato de ficarem 24 horas ligadas às luminárias de vapor de sódio tinham que ser trocadas frequentemente.

De uma maneira geral, conclui-se que o projeto atendeu às expectativas já que, segundo os cálculos do mesmo, houve uma redução no consumo de energia da planta em todas as áreas com a instalação das luminárias. Esta redução foi de aproximadamente 48,23% em relação ao instalado inicialmente. E mesmo com esta redução de consumo todas as áreas se enquadram dentro das expectativas das NBR8995-1 (NBR, 2012), totalizando uma economia anual de aproximadamente R\$327000,00 para planta.

Todos estes resultados somente vão de encontro com as pesquisas feitas demonstrando como as luminárias LED são mais eficientes que as demais e justificando assim o crescimento da mesma no mercado, não somente no setor industrial, mas também nas residências e tendência é que não somente o mercado como a eficiência desta tecnologia aumentem nos próximos anos.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, Fabio Ribeiro et al. Estudo sobre a viabilidade financeira na atualização tecnológica de uma planta fabril: utilização de motores elétricos de alta eficiência e iluminação LED. **Revista Espacios**, [S.l.], v. 38, n. 12, p. 5-17, jan. 2017. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a17v38n12/a17v38n12p05.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8995-1**: iluminação de ambientes de trabalho – parte 1: interior. Rio de Janeiro, 2012. p. 54.

CRÉDER, Hélio. **Instalações elétricas industriais**. 16.ed. São Paulo: LTC, 2016. 494 p.

EDP SOLUÇÕES EM ENERGIA S/A. **Memorial descritivo**: projeto de eficiência energética. Pindamonhangaba, 2017. 20 p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Clean energy ministerial. **Lightning**. 2017. Disponível em: <<https://www.iea.org/topics/energyefficiency/lighting/>>. Acesso em: 05 ago. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Clean Energy Ministerial. **Lightning**: tracking clean energy progress, maio, 2018. Disponível em: <<http://www.iea.org/tcep/buildings/lighting/>>. Acesso em: 05 ago. 2018.

MAMEDE, João. **Instalações elétricas industriais**. 8. ed. São Paulo: LTC, 2010. 666 p.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO - MTE. **NR-10**: segurança em instalações e serviços em eletricidade. Aprovada pela portaria nº 598, de 07 de dezembro de 2004, publicada no D.O.U. em 8 de dezembro de 2004. Brasília, 2004.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO - MTE. **NR-17**: ergonomia. Brasília, 2009.

SANTOS, Talia Simões et al. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. **Eng Satin Ambient**, [S.l.], v. 20, n. 4, p. 595-602, dez. 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Simone\\_Pozza/publication/291015146\\_Analise\\_da\\_eficiencia\\_energetica\\_ambiental\\_e\\_economica\\_entre\\_lampadas\\_de\\_LED\\_e\\_convencionais/links/5729d3dd08ae2efbfdbb8e84.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Simone_Pozza/publication/291015146_Analise_da_eficiencia_energetica_ambiental_e_economica_entre_lampadas_de_LED_e_convencionais/links/5729d3dd08ae2efbfdbb8e84.pdf)>. Acesso em: 04 ago. 2018.

UNICOBA TEM APORTE DO PERFORMA PARA INVESTIR EM LEDs. **Eletricidade moderna**, São Paulo, n. 526, p. 9-10, jan. 2018. Disponível em: <<http://www.arandanet.com.br/assets/revistas/em/2018/janeiro/index.php>>. Acesso em: 02 ago. 2018.

VALENTIM, Alexandre Abib; FERREIRA, Hélder Saldanha; COLETTO, Matheus André. Lâmpadas LED: impacto no consumo e fator de potência. **Ciências do Ambiente Online**, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 29-33, jun. 2010. Disponível em: <<http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/nova/index.php/be310/article/view/222/168>>. Acesso em: 04 ago. 2018.