



Jadiel Luis Schneider

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA
SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO POR
VAPOR METÁLICO PARA LÂMPADAS DE INDUÇÃO OU
FLUORESCENTES**

**Horizontina
2014**

Jadiel Luis Schneider

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA SUBSTITUIÇÃO DO
SISTEMA DE ILUMINAÇÃO POR VAPOR METÁLICO PARA
LÂMPADAS DE INDUÇÃO OU FLUORESCENTES**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Jonas Rigodanzo, Mestre.

Horizontina

2014

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA
DE ILUMINAÇÃO POR VAPOR METÁLICO PARA LÂMPADAS DE INDUÇÃO OU
FLUORESCENTES”**

Elaborada por:

Jadiel Luis Schneider

como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 13/11/2014
Pela Comissão Examinadora**

**Mestre. Jonas Rigodanzo
Presidente da Comissão Examinadora – Orientador**

**Mestre. Valmir Vilson Beck
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

**Engenheiro Eletricista. Maurício Borba da Rosa
John Deere Brasil**

**Horizontalina
2014**

DEDICATÓRIA

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me possibilitado estar firme durante toda essa trajetória, caminho esse que certamente levará á realização dos meus sonhos!

A minha mãe, ao meu pai (in memoriam), irmãos, minha amada esposa e meus lindos filhos, pelo apoio incondicional. Obrigado pelo carinho e compreensão. Essa vitória não é só minha, é nossa!

AGRADECIMENTO

A FAHOR, que disponibilizou ensino qualificado, prático e teórico possibilitando o desenvolvimento deste projeto.

Aos professores e funcionários, em especial ao professor orientador MsC. Jonas Rigodanzo, pelo apoio, esforço e orientação, tornando realidade este sonho.

A empresa John Deere que me proporcionou a oportunidade de realizar o desenvolvimento deste trabalho em suas dependências, prestando todo o suporte necessário.

Também, a todos os amigos e colegas que tive durante o curso.

“O único lugar aonde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário”.

Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo, analisar e apresentar o Estudo de Viabilidade Econômica para Substituição do Sistema de Iluminação por Vapor Metálico para Lâmpadas de Indução ou Fluorescentes na Empresa John Deere, unidade de Horizontina. O trabalho em questão surgiu através da necessidade da busca constante de novas tecnologias, proporcionando assim, o aumento de desempenho, e conseqüentemente, possibilitando a obtenção de reduções de custos, tornando-se importante para as empresas, para que possam manter ou aumentar sua competitividade no mercado em que estão inseridas. Além disso, mais uma das razões que levou a elaboração deste trabalho, é o problema da falta de energia no Brasil nos últimos anos, pois tem enfrentado sérios problemas na geração de energia devido ao desabastecimento dos reservatórios, e por este motivo intensificou-se a busca de energia pelas empresas, sendo, pelas tecnologias para geração e equipamentos de menor consumo, com o objetivo de reduzir a exposição ao desabastecimento. O trabalho consiste em uma análise do sistema existente, realizada por meio de uma pesquisa quantitativa e de uma análise de viabilidade econômica da substituição do sistema de iluminação, desse modo, foram levantados todos os dados do sistema de iluminação atual, bem como, dados sobre as lâmpadas de indução e lâmpadas fluorescentes, os quais serão demonstrados através de tabelas comparativas, diagramas e gráficos. Neste estudo, também estão explanados os custos de aquisição, manutenção e consumo dos sistemas analisados. Nessa concepção, questionou-se o resultado obtido, após análise de todos os dados levantados, não sendo viável a substituição do sistema de iluminação atual de vapor metálico por lâmpadas de indução ou fluorescentes, uma vez que os investimentos necessários ainda são muito superiores, o que inviabiliza tais mudanças nas instalações.

Palavras-chave: Lâmpadas de indução ou fluorescentes. Análise do sistema de iluminação. Análise de viabilidade econômica.

ABSTRACT

This study aimed to analyze and present the Economic Feasibility Study for Replacement of Metal Vapor Lighting System by Induction Lamps or Fluorescent at the John Deere Company, Horizontina Unit. The work in question arises through the need of constant search for new technologies, thus, the performance increase, and consequently, enabling to obtain cost reductions, making it important for companies so that they can maintain or increase their competitiveness in the market in which they are inserted. In addition, once of the reasons which led the preparation of this work, is the problem of power outages in Brazil in recent years, as it has faced serious problems in power generation due to the shortage of shells, and for this reason has intensified the search for energy by the companies, being the technologies for generation and equipment with lower consumption, aiming to reduce exposure to shortages. The work consists of an analysis of the existing system, accomplished through a quantitative survey and an analysis of economic feasibility of replacing the lighting system, thereby, have been raised all data of the current lighting system, as well as data about induction lamps and fluorescent lamps, which will be demonstrated through comparative spreadsheets, diagrams and graphs. In this study, are also explained the costs of acquisition, maintenance and consumption of the systems analyzed. In this conception, the result is questioned, after analysis of all the data collected, the replacement of the current lighting system by induction or fluorescent lamps is not feasible, since the necessary investments are still much higher than the which prevents such changes at the installations.

Keywords: Fluorescent or Induction lamps. Analysis of the lighting system. Analysis of economic feasibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Fluxo Luminoso	13
Figura 02 – Intensidade Luminosa	14
Figura 03 – Iluminância	14
Figura 04 – Luminância	15
Figura 05 – Eficiência energética (lm/W) por tipo de lâmpada	16
Figura 06 – Temperatura de Cor – K (Kelvin).....	16
Figura 07 – Índice de reprodução de cores	17
Figura 08 – Lâmpada Incandescente	18
Figura 09 – Lâmpadas Halógenas	19
Figura 10 – Lâmpadas de descarga.....	21
Figura 11 – Lâmpada LED	22
Figura 12 – Lâmpada de indução magnética	23
Figura 13 – Reator eletrônico para fluorescente tubular/compacta	25
Figura 14 – Reator eletrônico dimerizável.....	26
Figura 15 – Cálculo da iluminação geral	27
Figura 16 – Dialux	30
Figura 17 – Lâmpada Vapor metálico	34
Figura 18 – Lâmpada de Indução.....	34
Figura 19 – Lâmpada Fluorescente.....	35
Figura 20 – Distribuição da intensidade luminosa Vapor metálico	36
Figura 21 – Distribuição da Iluminação Vapor metálico 1722 luminárias	36
Figura 22 – Representação das cores falsas Vapor metálico 1722 luminárias	37
Figura 23 – Distribuição da intensidade luminosa Indução 120 W	38
Figura 24 – Distribuição da Iluminação Indução 120 W 1722 luminárias	39
Figura 25 – Representação das cores falsas Indução 120 W 1722 luminárias	39
Figura 26 – Distribuição da intensidade luminosa Indução 200 W	40
Figura 27 – Distribuição da Iluminação Indução 200 W 1722 luminárias	41
Figura 28 – Representação das cores falsas Indução 200 W 1722 luminárias	41
Figura 29 – Distribuição da intensidade luminosa Fluorescentes.....	43
Figura 30 – Distribuição da Iluminação Fluorescentes 1722 luminárias.....	43
Figura 31 – Representação das cores falsas Fluorescentes 1722 luminárias.....	44
Figura 32 - Distribuição da intensidade luminosa Indução 120 W.....	46
Figura 33 – Distribuição da Iluminação Indução 120 W 4692 Luminárias.....	46
Figura 34 – Distribuição da intensidade luminosa Indução 200 W	48
Figura 35 – Distribuição da Iluminação Indução 200 W 3024 Luminárias.....	48
Figura 36 – Distribuição da intensidade luminosa Fluorescentes.....	50
Figura 37 – Distribuição da Iluminação Fluorescentes 1763 luminárias.....	50
Figura 38 – Gráfico Investimentos totais em 5 anos	57
Figura 39 – Gráfico Investimentos totais em 20 anos	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Vapor metálico 1722 luminárias	37
Tabela 02 – Indução 120 W 1722 luminárias	40
Tabela 03 – Indução 200 W 1722 luminárias	42
Tabela 04 – Fluorescentes 1722 luminárias.....	44
Tabela 05 – Indução 120 W 4692 luminárias	47
Tabela 06 – Indução 200 W 3024 luminárias	49
Tabela 07 – Fluorescentes 1763 luminárias.....	51
Tabela 08 – Recursos Envolvidos	52
Tabela 09 – Vapor metálico (Investimento total no período de 5 anos)	53
Tabela 10 – Indução 120 W (Investimento total no período de 5 anos)	54
Tabela 11 – Indução 200 W (Investimento total no período de 5 anos)	55
Tabelas 12 – Fluorescentes (Investimento total no período de 5 anos)	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1 CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS	13
2.2 LÂMPADAS	17
2.2.1 Lâmpadas incandescentes.....	18
2.2.2 Lâmpadas de descarga.....	19
2.2.3 Lâmpadas led (light emitting diode)	21
2.2.4 Lâmpadas de indução eletromagnética	22
2.3 REATORES	24
2.3.1 Reatores eletrônicos.....	24
2.3.2 Reatores dimerizáveis.....	25
2.4 CÁLCULO LUMINOTÉCNICO	26
2.4.1 Cálculo da iluminação geral	26
2.5 PRINCIPAIS PONTOS SOBRE A NBR ISO/CIE 8995-1:2013 - ILUMINAÇÃO DE AMBIENTES DE TRABALHO. PARTE 1: INTERIOR.....	28
2.6 DIALux – PROGRAMA PADRÃO PARA CÁLCULO DE ILUMINAÇÃO	29
3 MÉTODOS E TÉCNICAS	31
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	33
4.1 INFORMAÇÕES SOBRE OS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO ANALISADOS	33
4.2 DIAGRAMAS, TABELAS E GRÁFICOS COM OS CÁLCULOS DOS SISTEMAS ANALISADOS COM BASE NO NÚMERO DE LUMINÁRIAS EXISTENTES	35
4.2.1 Opção 01 (existente) – lâmpadas de vapor metálico.....	35
4.2.2 Opção 02 – Lâmpadas de indução de 120 W e 200 W	38
4.2.3 Opção 03 – lâmpadas fluorescentes.....	42
4.3 DIAGRAMAS, TABELAS E GRÁFICOS COM OS CÁLCULOS DOS SISTEMAS ANALISADOS, VISANDO ALCANÇAR O NÍVEL DE ILUMINAÇÃO MÉDIO DE 500 LUX	45
4.3.1 Opção 01 (existente) – lâmpadas de vapor metálico.....	45
4.3.2 Opção 02 – lâmpadas de indução de 120w e 200w.....	45
4.3.3 Opção 03 – lâmpadas fluorescentes.....	49
4.4 CÁLCULOS DOS INVESTIMENTOS PARA AQUISIÇÃO, MANUTENÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA DOS SISTEMAS ANALISADOS	51
4.4.1 Cálculo do investimento total no período de 5 anos.....	52
4.4.2 Gráficos demonstrativos dos cálculos dos sistemas analisados.....	56
4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	58
5 CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, com o crescente consumo de energia elétrica no Brasil, com os problemas enfrentados na sua geração devido ao desabastecimento dos reservatórios, e o elevado valor que a energia impacta na composição dos preços dos produtos, determina a necessidade de buscar soluções que sejam mais viáveis para o meio ambiente e para a economia.

Nos últimos anos tem se intensificado as buscas, principalmente por parte das indústrias, por tecnologias para geração de energia e de equipamentos com menor consumo de energia, com o objetivo de reduzir os custos da operação e diminuir a exposição ao desabastecimento.

Neste sentido, definiu-se por objetivo geral deste estudo, analisar e apresentar o Estudo de Viabilidade Econômica para Substituição do Sistema de Iluminação por Vapor Metálico para Lâmpadas de Indução ou Fluorescentes na Empresa John Deere, Unidade de Horizontina.

Como objetivos específicos deste estudo definiu-se a busca por tecnologias que possibilitem reduzir os custos de aquisição, manutenção e consumo de energia, a redução da exposição ao desabastecimento de energia, e a busca por soluções que sejam mais viáveis para o meio ambiente, que possibilitem reduzir a emissão de CO₂ no ambiente, a quantidade de material utilizado na produção, e o descarte de material.

O trabalho aborda uma análise sobre os sistemas de iluminação, buscando os tópicos aplicáveis às lâmpadas de vapor metálico, indução e fluorescentes, a fim de analisar se é viável economicamente a substituição do sistema atual de iluminação da empresa John Deere.

A busca por novas tecnologias tem se acentuado cada vez mais entre as empresas, pois as tornam mais competitivas, já que normalmente a energia é um componente importante nos preços dos produtos. Uma empresa que não possua seus equipamentos e/ou sistemas adequados, pode vir a perder participação no mercado por não conseguir praticar preços que sejam competitivos, devido a seu elevado custo de produção.

É importante observar, que o processo de adequação dos sistemas de iluminação requer uma avaliação detalhada nos aspectos físicos, e, também das

normas que cercam esses sistemas, e igualmente das pessoas que trabalham nestes ambientes.

Neste contexto, foram analisadas as principais características desses sistemas de iluminação, através da revisão de literatura de materiais específicos, a fim de buscar uma maior interação sobre o tema proposto, análises dos projetos do sistema de iluminação atual, o histórico dos consumos mensais, os custos de aquisição deste sistema, as despesas com manutenção, e as informações sobre o sistema de iluminação com lâmpadas de indução e fluorescentes, que foram devidamente mapeados e sintetizados para realização do estudo de viabilidade econômica de troca do sistema, que é a proposta da pesquisa, os quais estão demonstrados através de tabelas comparativas, diagramas e gráficos.

Através dos resultados obtidos percebe-se que a adequação é possível, porém demanda maiores investimentos quando comparado ao sistema atual, o que a torna economicamente inviável. De qualquer forma, acredita-se que o trabalho contribuirá de forma muito positiva, oferecendo subsídios para futuras ações da empresa, bem como, aos acadêmicos e profissionais ligados à área, que pretendem aprofundar seus conhecimentos sobre o tema.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Com o intuito de aprimorar o conhecimento sobre os conceitos e diversos tipos de sistemas de iluminação, pesquisou-se e estão apresentados alguns dos tópicos específicos voltados à revisão da literatura, que possibilitaram entender os aspectos técnicos e econômicos envolvidos no projeto.

2.1 CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS

Segundo Silva (2004), o entendimento dos conceitos luminotécnicos é de extrema importância, uma vez que sem os quais nada se pode fazer em termos de iluminação moderna e eficiente.

Nessa perspectiva conceitua sobre luminotécnica Silva (2004):

Luz: É uma radiação eletromagnética capaz de reproduzir sensação visual.

Fluxo luminoso (lm): É a quantidade total de luz emitida por uma fonte e medida em lúmens (lm), conforme pode ser observado na Figura 1. Segundo Cotrim (2009), um lúmen (lm) corresponde à quantidade de luz produzida em 1 segundo por uma radiação eletromagnética (λ) = 55 nm e fluxo radiante de 1/680 W.

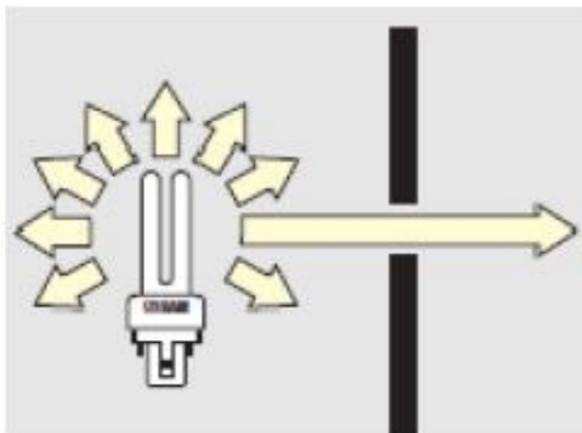
Figura 01 – Fluxo Luminoso



Fonte: Ferreira, 2010.

Intensidade Luminosa (I): É a intensidade do fluxo luminoso (lm), projetado em determinada direção, a qual é expressa em candelas (cd). Segundo Cotrim (2009), uma cd corresponde à intensidade luminosa de uma fonte esférica com emissão uniforme em todas as direções, conforme demonstrado na Figura 2, que emite um fluxo total de 12,56 lm.

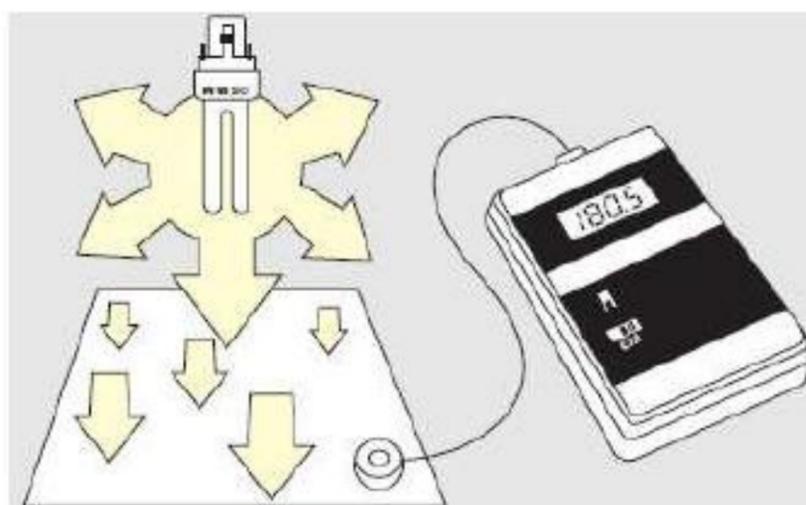
Figura 02 – Intensidade Luminosa



Fonte: Ferreira, 2010.

Iluminância ou iluminamento (E): É o fluxo luminoso que incide sobre uma superfície situada a certa distância da fonte, expressa em lux (lx), conforme pode ser observado na Figura 3. Segundo Cotrim (2009), um lx é a iluminância de uma superfície de 1m² sobre a qual incide um fluxo luminoso de 1 lm.

Figura 03 – Iluminância



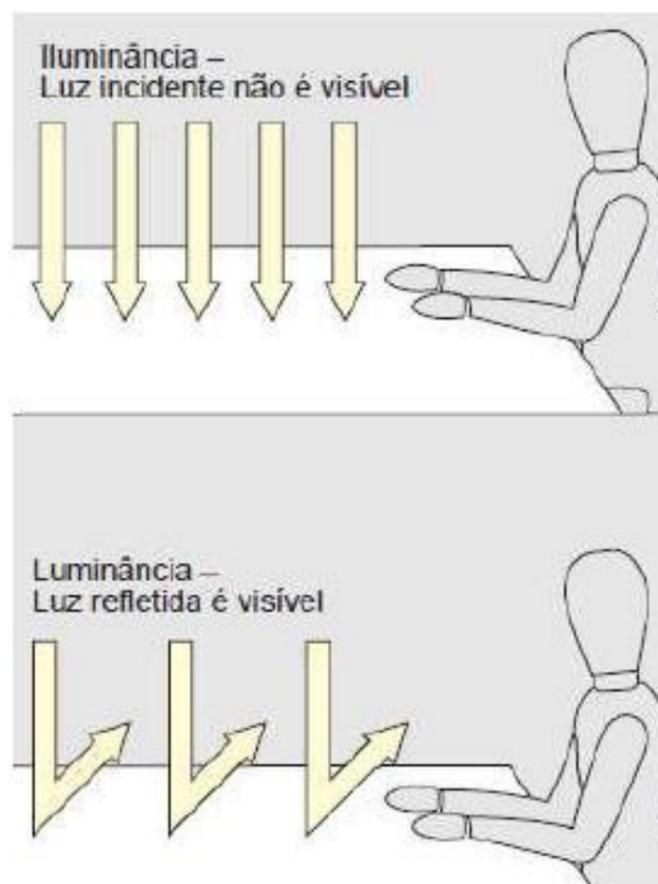
Fonte: Ferreira, 2010.

Ângulo de radiação: É um ângulo sólido produzido por um refletor, que direciona a luz.

Fator ou índice de reflexão: É a relação entre o fluxo luminoso refletido e o incidente, que varia sempre em função das cores ou acabamentos das superfícies e suas características de refletância.

Luminância (L): É medida em candelas por metro quadrado (cd/m²) e é a intensidade luminosa produzida por uma superfície aparente, conforme pode ser observado na Figura 4.

Figura 04 – Luminância



Fonte: Ferreira, 2010.

Vida/durabilidade de uma lâmpada: É dada em horas e definida por critérios preestabelecidos, considerando sempre um grande lote testado sob condições controladas e de acordo com as normas pertinentes.

Vida mediana (h): É o número de horas resultantes em que 50% das lâmpadas ensaiadas ainda permanecem acesas. Coloca-se num sistema 100 lâmpadas e quando a 50ª lâmpada queimar, contamos as horas decorrentes a partir da instalação e esta será a vida mediana, que resulta de um número sempre maior que o resultado do conceito de vida média. Este conceito de vida mediana normalmente é usado nas lâmpadas de descarga.

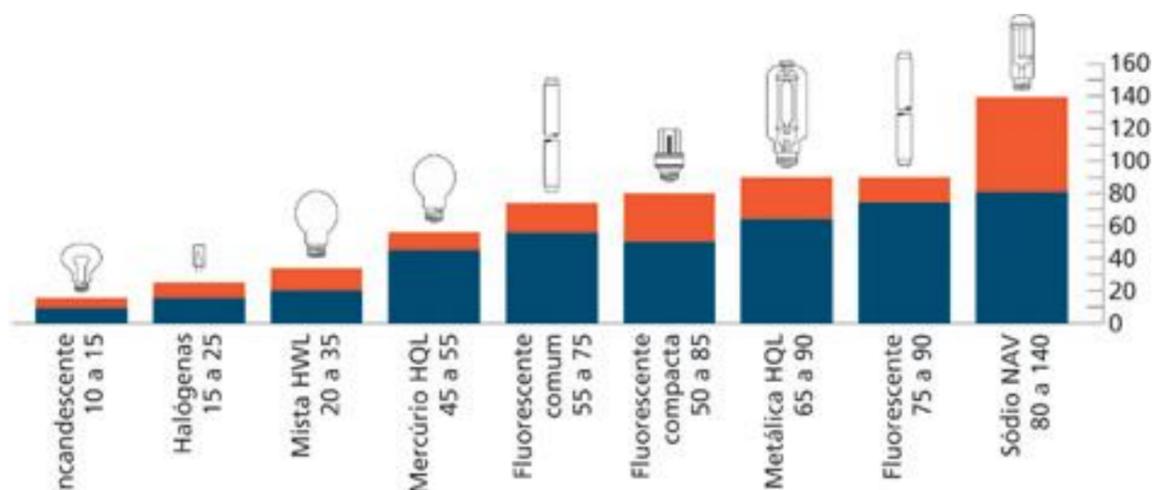
Vida média (h): É a média aritmética do tempo de duração das lâmpadas ensaiadas. Coloca-se num sistema 100 lâmpadas e a medida em que forem queimando, anota-se o número de horas de cada uma. Ao final, soma-se os valores de duração de cada lâmpada e divide-se pelo número de lâmpadas instaladas (100) tendo como resultado a vida média deste produto. Este conceito de vida média normalmente é usado nas lâmpadas de filamento.

Vida útil ou custo benefício: É o número de horas decorridas, quando se atinge 70% da quantidade de luz inicial, devido a depreciação do fluxo luminoso de

cada lâmpada, somado ao efeito das respectivas queimas ocorridas no período, ou seja, 30% de redução na quantidade de luz inicial.

Eficiência energética: É a relação entre o fluxo luminoso e a potência consumida, conforme pode ser observado na Figura 5.

Figura 05 – Eficiência energética (lm/W) por tipo de lâmpada

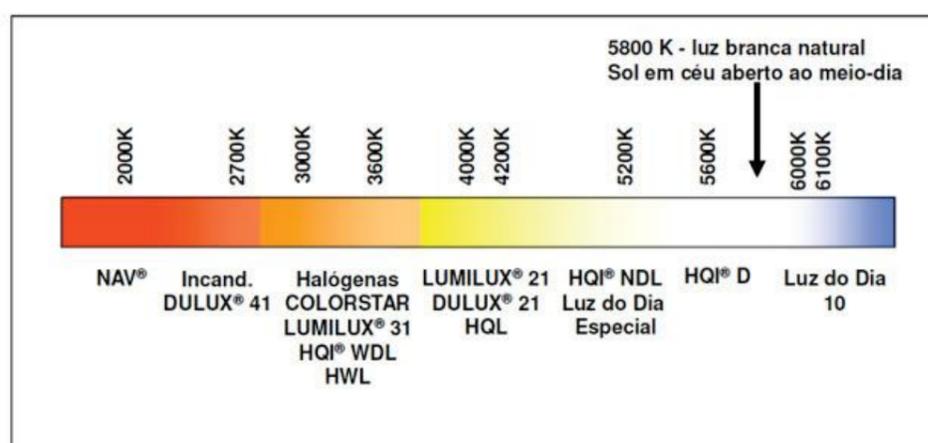


Fonte: Ferreira, 2010.

Espectro visível: É uma faixa de radiação que ocorre em um intervalo, com um comprimento de ondas que vai de 380 a 780 nm (nanômetros), ou seja, da cor ultravioleta à vermelha, passando por azul, verde, amarela e roxa. As cores azul, vermelha e verde, quando somadas em quantidades iguais, definem o aspecto de luz branca.

Temperatura de cor: É a grandeza que define a cor da luz emitida pela lâmpada, pois existem várias tonalidades de cor e são catalogadas conforme sua temperatura em Kelvin. Quanto mais alta for a temperatura em Kelvin, mais branca será a luz e quanto mais baixa mais amarela e avermelhada será, conforme pode ser observado na Figura 6.

Figura 06 – Temperatura de Cor – K (Kelvin)



Fonte: Silva, 2004, p. 38.

Índice de reprodução de cores (IRC): O IRC serve para medir o quanto a luz artificial consegue imitar a luz natural. Ainda segundo Silva (2004) existe um estudo que diz que o IRC de 100 na luz natural é em uma localidade específica em uma determinada cidade do hemisfério norte, a certa hora do dia. Porém, para facilitar o entendimento, 100% seria alguma coisa como dia claro de sol no verão por volta do meio dia. Sendo assim, quanto mais próximo de 100 for o IRC de uma fonte de luz artificial, mais próxima da luz natural estará, ou seja, reproduzirá mais fielmente as cores, e quanto menor for este índice ou mais longe dos 100%, pior será a reprodução das cores, conforme pode ser observado na Figura 7.

Figura 07 – Índice de reprodução de cores

ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE CORES				
100	EXCELENTE	NÍVEL 1	1a - Ra 90 a 100	Testes de cor, floricultura, escritórios, residências, lojas
	MUITO BOM		1b - Ra 80 a 89	
80	BOM	NÍVEL 2	2a - Ra 70 a 79	Áreas de circulação, escadas, oficinas, ginásios esportivos
	RAZOÁVEL		2b - Ra 60 a 69	
60	REGULAR	NÍVEL 3	Ra 40 a 59	Depósitos, postos de gasolina, pátio de montagem industrial
40	INSUFICIENTE	NÍVEL 4	Ra 20 a 39	Vias de tráfego, canteiros de obras, estacionamentos

Fonte: Silva, 2004, p. 39.

2.2 LÂMPADAS

Evidencia Creder (2007), que as lâmpadas fornecem a energia luminosa que lhes é inerente com auxílio das luminárias, que são os seus sustentáculos, através das quais se obtêm melhor distribuição luminosa, melhor proteção contra as intempéries, permitem ligação à rede, além de proporcionarem aspecto visual agradável e estético. Ainda destaca Creder (2007), que as lâmpadas elétricas pertencem a três tipos:

- Lâmpadas incandescentes;
- Lâmpadas de descarga;
- Lâmpadas de Estado sólido – LED (Light Emitting Diode)

Além destes três tipos de lâmpadas citadas por Creder (2007), aborda-se também sobre as lâmpadas de indução, que é o objeto deste estudo.

2.2.1 Lâmpadas incandescentes

De acordo com Silva (2004), as lâmpadas incandescentes possuem bulbo de vidro, em cujo interior existe um filamento de tungstênio espiralado, que é levado à incandescência pela passagem da corrente elétrica (efeito Joule), conforme pode ser observado na Figura 8. Nesse ponto de vista Creder (2007) afirma que a vida útil gira entre 1000 e 6000 horas.

Figura 08 – Lâmpada Incandescente



Fonte: Ferreira, 2010.

As lâmpadas incandescentes são divididas em:

Lâmpadas Halógenas: Conforme Silva (2004), como as lâmpadas de incandescência, as lâmpadas de halogéneo possuem um filamento que emite luz com a passagem da corrente elétrica, conforme pode ser observado na Figura 9. São preenchidas com gases inertes e halogênio (iodo, cloro, bromo) que capturam os átomos de tungstênio e os transportam de volta para o filamento. Com isto, o tamanho da lâmpada pode ser reduzido significativamente, emitindo luz brilhante e tendo elevada durabilidade. Sua eficiência é alta, e a vida útil gira em torno de 2500 horas.

Figura 09 – Lâmpadas Halógenas



Fonte: Ferreira, 2010.

Lâmpadas Halógenas Dicroicas: Define Silva (2004), a lâmpada dicroica como lâmpada halógena com bulbo de quartzo, no centro de um refletor com espelho multifacetado numa base bi-pino. Possui fecho de luz bem delimitado, homogêneo, de abertura controlada e fria, pelo fato de transmitir aproximadamente 65% da radiação infravermelha para a parte superior da lâmpada. Dicroica é a característica do espelho de desviar para trás 2/3 do calor gerado pela lâmpada, projetando para frente 100% da luz e apenas 1/3 do calor.

2.2.2 Lâmpadas de descarga

Segundo Silva (2004), nessas lâmpadas o fluxo luminoso é gerado diretamente ou indiretamente pela passagem da corrente elétrica através de um gás, mistura de gases ou vapores. Na Figura 10, estão apresentados alguns exemplos de lâmpadas de descarga.

Destaca Silva (2004), os seguintes conceitos sobre lâmpadas de descarga:

- **Lâmpadas Fluorescentes:** São lâmpadas que utilizam a descarga elétrica através de um gás para produzir energia luminosa. Sua eficiência é alta e a vida útil gira entre 7000 e 10000 horas.
- **Lâmpadas fluorescentes compactas integradas:** São lâmpadas mais eficientes, pois economizam até 80% de energia em relação às lâmpadas incandescentes de vida longa (»10.000 h) com ótimo índice de reprodução de cores (»80) e adaptável a base comum (E-27), com potências que variam de 9 a 23W.
- **Lâmpadas fluorescentes compactas não integradas:** São lâmpadas de 2 pinos constituídas por um grupo de pequenos tubos revestidos de pó

fluorescente, interligados de modo a formar uma lâmpada “*single-ended*” com dimensões muito compactas, e reator eletromagnético acoplado. São bastante utilizadas em iluminação comercial e ambientes residenciais.

- **Sistema fluorescente circular:** É composto de uma lâmpada fluorescente circular e um adaptador para soquetes comuns, também podendo substituir diretamente as lâmpadas incandescentes em cozinhas, áreas de serviço, garagens, etc.

- **Lâmpadas fluorescentes tubulares:** São as tradicionais lâmpadas fluorescentes de comprimentos diversos que variam entre aproximadamente 400mm, 600mm, 1200mm e 2400mm, com potência que varia de 15 a 110 W, de tonalidades de cor distintas e em dois diâmetros (26mm e 33,5mm) para operação em partida rápida, convencional ou eletrônica. São muito utilizadas em iluminação de grandes áreas como escritórios, bancos, lojas, escolas, hospitais, hotéis, supermercados, etc.

- **Lâmpadas de Luz Mista:** Constam de um tubo de arco de vapor de mercúrio em série com um filamento incandescente de tungstênio que, além de produzir fluxo luminoso funciona como elemento de estabilização da lâmpada. Reúne características da lâmpada incandescente, fluorescente e vapor de mercúrio, pois luz do filamento emite luz incandescente, a luz do tubo de descarga a vapor de mercúrio emite intensa luz azulada e a radiação invisível (ultravioleta).

- **Lâmpadas a Vapor de Mercúrio:** Constam de um tubo de descarga feito de quartzo para suportar elevadas temperaturas, tendo em cada extremidade um eletrodo principal, de tungstênio recoberto com material emissor de elétrons. O IRC é de 45, a eficiência luminosa varia entre 45 a 55 lm/W, e a vida varia em torno das 18.000 horas, sendo encontradas em vias públicas, fábricas, parques, praças, estacionamentos, etc.

- **Lâmpadas a Vapor de Sódio:** Produzem uma luz monocromática amarela, sem ofuscamento, e são apresentadas como a melhor solução para iluminação em locais onde existe névoa ou bruma. O IRC das lâmpadas a vapor de sódio é 23, a temperatura de cor é em torno de 2.000K e a vida varia em torno de 16.000 horas, necessitando de reator e ignitor de boa qualidade para operação e ignição confiável, não devendo ser utilizadas com circuitos capacitivos. São usadas em estradas, pontes, viadutos, túneis, aeroportos, etc.

– **Lâmpadas de Vapores Metálicos:** As lâmpadas de vapores metálicos estão substituindo as lâmpadas de vapor de mercúrio dadas a sua eficiência superior e a qualidade do espectro da luz emitida. São bastante semelhantes às lâmpadas de vapor de mercúrio, porém no tubo de descarga há o acréscimo de haletos (iodo, bromo, etc.). O IRC é de 75, a eficiência luminosa varia entre 75 a 100 lm/W, e a vida útil varia em entre 6.000 e 15.000 horas.

– **Lâmpadas de Luz Negra:** São lâmpadas a vapor de mercúrio, diferindo destas somente no vidro utilizado na confecção da ampola externa. São usadas em exames de gemas e minerais, apuração de fabricações, setores de correio, levantamento de impressões digitais, na indústria alimentícia para verificar adulterações, etc.

Figura 10 – Lâmpadas de descarga



Fonte: Ferreira, 2010.

2.2.3 Lâmpadas led (light emitting diode)

Descreve sobre Lâmpadas LED Cotrim (2009), LED é a sigla em inglês para Lighting Emitting Diode, ou Diodo Emissor de Luz, que se trata de um diodo semicondutor que, quando energizado, emite luz visível. Na Figura 11 podemos observar um dos exemplos de lâmpadas LED.

De acordo com Ferreira (2010), aquecidos estes materiais condutores são constituídos de cristais de silício e é encapsulado por uma resina de epóxi transparente para direcionar a emissão da luz e proteger o elemento semiconductor. A composição para Led's coloridos (vermelho, azul, verde, laranja, âmbas) se faz dos elementos químicos (gálio, arsênio, fósforo, alumínio e nitrogênio). A cor branca foi a mais recente a ser desenvolvida.

Ainda nesse ponto de vista diz Ferreira (2010), de baixo consumo e vida útil extremamente longa, os Led's estão cada vez mais eficientes, superando a eficiência das lâmpadas incandescentes.

Figura 11 – Lâmpada LED



Fonte: Ferreira, 2010.

2.2.4 Lâmpadas de indução eletromagnética

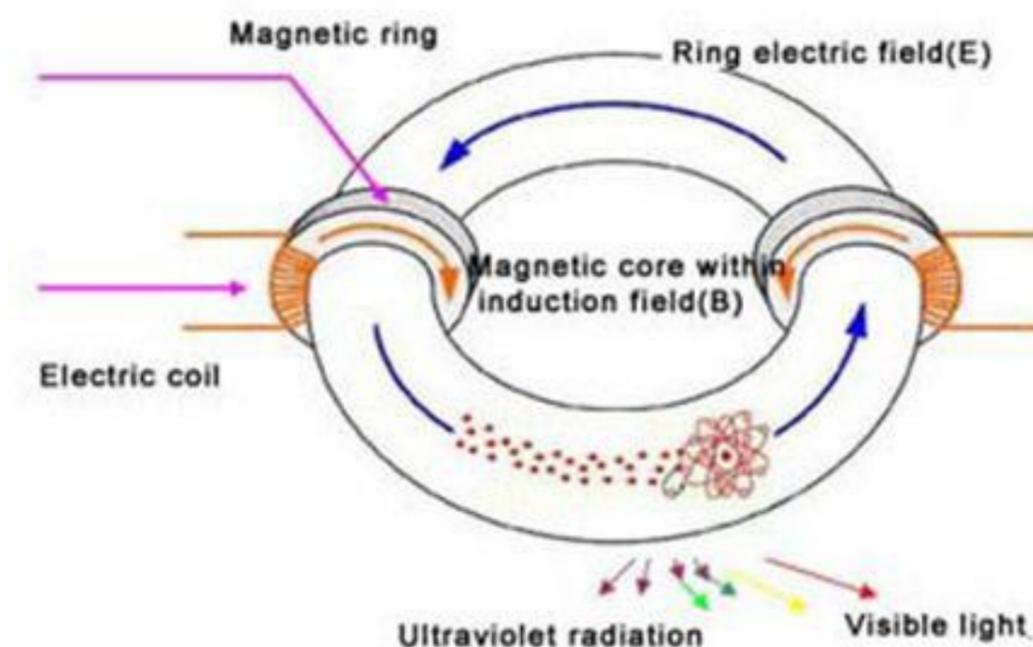
Lâmpadas de Indução Eletromagnética no conceito de Iwashita (2012) é uma lâmpada bastante interessante em função de suas características é a lâmpada de indução magnética. Similar em eficiência a uma lâmpada fluorescente T8, a lâmpada de indução caracteriza-se por não possuir filamento e, conseqüentemente, possuir uma longa vida, geralmente especificada acima de 50.000 horas, chegando a 100.000 horas.

Na lâmpada de indução (Figura 12), a luz é obtida por meio de uma descarga de gás gerada por magnetismo. Transformadores eletromagnéticos, que são constituídos por anéis com bobinas de metal, criam um campo eletromagnético em torno de um tubo de vidro que contém o gás. A descarga, induzida pelas bobinas, forma um circuito fechado causando a aceleração de elétrons livres, que colidem com os átomos de mercúrio e excitam os elétrons. À medida que os elétrons

excitados a partir destes átomos mudam deste estado de energia mais elevada a um nível inferior estável, emitem radiação ultravioleta.

A radiação UV criada é convertida em luz visível à medida que passa pelo revestimento de fósforo sobre a superfície do tubo, semelhante ao processo de geração da luz nas lâmpadas fluorescentes.

Figura 12 – Lâmpada de indução magnética



Fonte: Iwashita, 2012.

Esta tecnologia – embora seja bastante antiga, existindo patentes desde 1967 – apenas ganhou força na década de 1990 quando grandes fabricantes como Philips, GE e Osram investiram na lâmpada de indução. Entretanto, alguns contratempos tecnológicos como interferências eletromagnéticas, depreciação do fluxo luminoso e impossibilidade de dimerização contribuíram para que a tecnologia não emplacasse tecnicamente.

Atualmente, os problemas foram sanados, porém as lâmpadas de indução são praticamente 100% produzidas na China e os grandes fabricantes de fontes de luz voltaram-se ao desenvolvimento dos Leds, que apresentam maior potencial de incremento de eficácia luminosa, atualmente chegando a 230 lm/W em laboratório.

Dentre as vantagens da lâmpada de indução estão: longa vida sem manutenção (acima de 50.000 horas); alta eficácia luminosa (75-85 lm/W); alta reprodução de cor ($R_a > 80$); opções de temperatura de cor (2.700 K – 6.500 K);

partida rápida e reacendimento instantâneo; alto fator de potência, sem flicker; pode operar em temperaturas de até -40°C ; e baixas distorções harmônicas.

Dentre as desvantagens, pode-se apontar o custo elevado do equipamento, sobretudo do reator, que muitas vezes é o ponto problemático do sistema em função das características técnicas necessárias para controlar a lâmpada, e a qualidade do produto. Há geração de radiações eletromagnéticas, que, em equipamentos sensíveis, tais como equipamentos médicos e computadores podem sofrer interferências.

2.3 REATORES

Sobre reatores segundo Silva (2004), o reator usado em iluminação é um componente elétrico a ser acoplado a sistemas de lâmpadas de descarga, para seu funcionamento, o qual possui duas funções, que são de dar a partida e de limitar a corrente elétrica que alimenta a lâmpada. A seguir estão destacados os principais.

2.3.1 Reatores eletrônicos

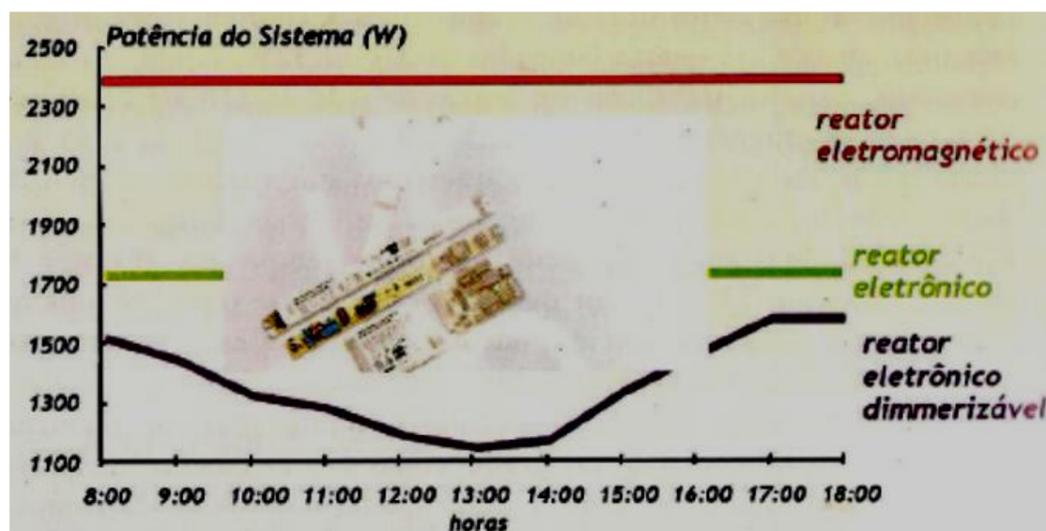
De acordo com Silva (2004), os reatores eletrônicos são uma revolução em relação aos antigos reatores eletromagnéticos e passaram a representar a modernidade no acendimento de sistemas evoluídos de iluminação fluorescente. Os reatores eletrônicos são utilizados também para os sistemas antigos com lâmpadas de bulbo T10 ou T12, que são as fluorescentes tradicionais.

Principais características dos reatores eletrônicos:

- Alto fator de potência – os de qualidade superior;
- Altíssima frequência, que elimina o efeito estroboscópico e o de cintilação;
- Baixa carga térmica, que resulta em economia de energia;
- Aumento da vida útil da lâmpada em 50% - os de alta performance;
- Economia de energia por volta de 50%;
- Possibilidade de dimerização e utilização de sistemas inteligentes, com redução no consumo de energia em até 70% na comparação com os magnéticos.

De acordo com Silva (2004), o reator magnético trabalha em 60 hertz ou ciclos, e sendo corrente alternada, faz uma curva em que nas extremidades não

Figura 14 – Reator eletrônico dimerizável



Fonte: Silva, 2004, p. 106.

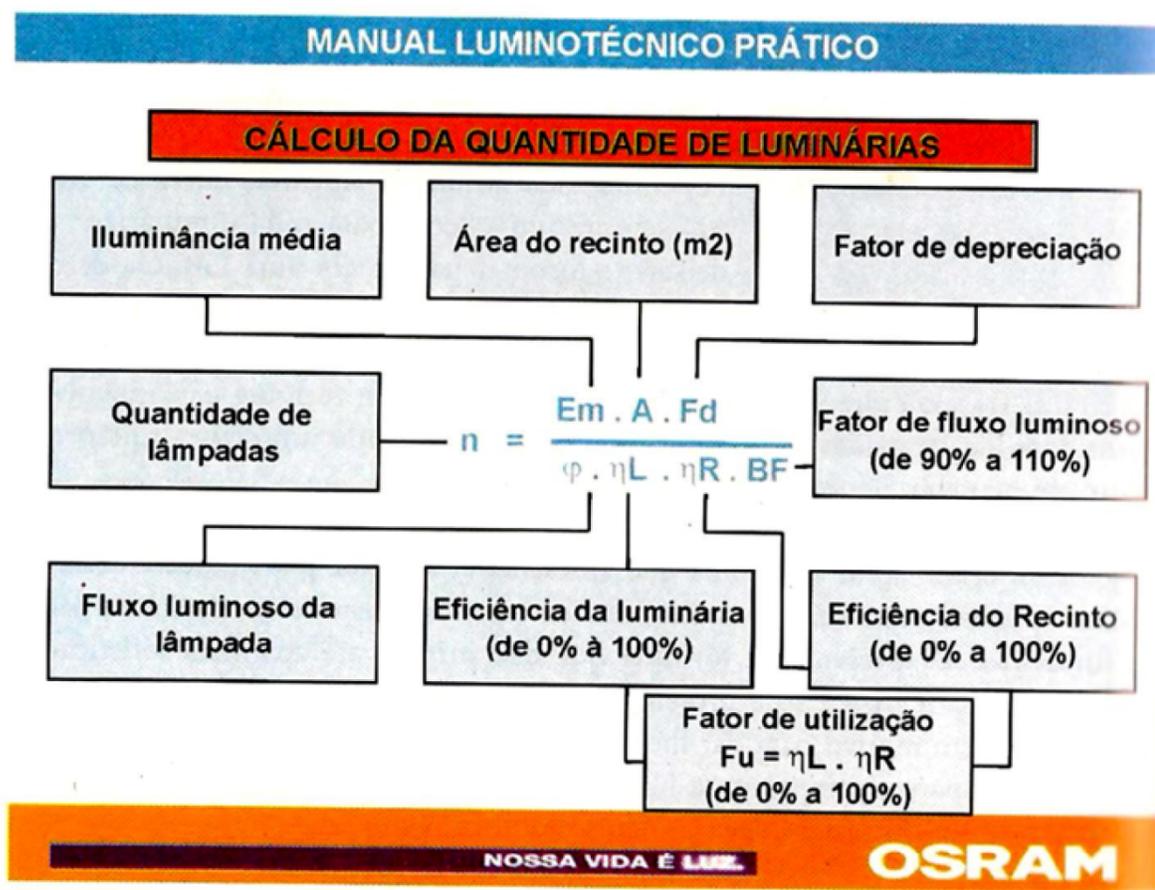
2.4 CÁLCULO LUMINOTÉCNICO

Existem várias fórmulas de cálculo de iluminação, assim diz Silva (2004), algumas bem sofisticadas e complicadas com muitos cálculos, outras bem específicas, mas todas com uma característica básica: os cálculos são definidos por parâmetros, entre os quais um dos principais é o tipo de luminária ou refletor aplicado. Como cada luminária e seus índices de reflexão influem no resultado final do cálculo, os fabricantes de luminárias normalmente desenvolvem seus cálculos baseados nos dados fotométricos de seus produtos.

2.4.1 Cálculo da iluminação geral

Escreve Silva (2004) que com a fórmula apresentada na Figura 15, é possível resolver mais de 80% dos cálculos de iluminação geral, sendo uma fórmula genérica, que não é atrelada a nenhuma luminária e, portanto, a fórmula simplificada que leva em consideração índices médios.

Figura 15 – Cálculo da iluminação geral



Fonte: Silva, 2004, p. 110.

2.4.1.1 Cálculo da iluminação geral – simplificado

Método das eficiências

$$n = \frac{A \cdot Em \cdot Fd}{Q \cdot Fu \cdot (Bf)}$$

Onde:

A = Área

Em = Iluminação média

Fd = Fator de depreciação

Q = Fluxo luminoso da lâmpada

Fu = Fator de utilização

(Bf) = (Fator de iluminação do reator)

N = Número de lâmpadas

Considerar valores médios => $Fd = 1,25$; $Fu = 0,5$

2.5 PRINCIPAIS PONTOS SOBRE A NBR ISO/CIE 8995-1:2013 - ILUMINAÇÃO DE AMBIENTES DE TRABALHO. PARTE 1: INTERIOR

Esta Norma especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos e os requisitos para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de trabalho. Esta Norma não especifica como os sistemas ou técnicas de iluminação devem ser projetados a fim de aperfeiçoar as soluções para locais de trabalho. Estas podem ser encontradas nos guias pertinentes e relatórios da CIE.

A prática de uma boa iluminação para locais de trabalho é muito mais do que apenas fornecer uma boa visualização da tarefa. É essencial que as tarefas sejam realizadas facilmente e com conforto. Desta maneira a iluminação deve satisfazer os aspectos quantitativos e qualitativos exigidos pelo ambiente. Em geral a iluminação assegura:

- Conforto visual, dando aos trabalhadores uma sensação de bem estar;
- Desempenho visual, ficando os trabalhadores capacitados a realizar suas tarefas visuais, rápida e precisamente, mesmo sob circunstâncias difíceis e durante longos períodos;
- Segurança visual, ao olhar ao redor e detectar perigos;

A fim de satisfazer isto, é requerido que seja dada atenção a todos os parâmetros que contribuem para o ambiente luminoso. Os principais são:

- Distribuição da luminância;
- Iluminância;
- Ofuscamento;
- Direcionalidade da luz;
- Aspectos da cor da luz e superfície;
- Cintilação;
- Luz natural;
- Manutenção.

Os valores de projeto para os parâmetros quantificáveis de iluminância, desconforto referente ao ofuscamento e reprodução de cor estão estabelecidos na seção para várias atividades.

Nota: Adicionalmente à iluminação, existem outros parâmetros ergonômicos visuais que influenciam o desempenho visual dos operadores, como:

- a. As propriedades intrínsecas da tarefa (tamanho, forma, posição, cor e refletância do detalhe e do fundo).
- b. Capacidade oftálmica do operador (acuidade visual, percepção de profundidade, percepção da cor).

A atenção a estes fatores pode otimizar o desempenho visual sem a necessidade de um incremento dos níveis de iluminância.

A distribuição da luminância no campo de visão controla o nível de adaptação dos olhos, o qual afeta a visibilidade da tarefa. Uma adaptação bem balanceada da luminância é necessária para ampliar:

- A acuidade visual (nitidez da visão);
- A sensibilidade ao contraste (discriminação das diferenças relativamente pequenas da luminância);
- A eficiência das funções oculares (como acomodação, convergência, contrações pupilares, movimento dos olhos, etc.).

2.6 DIALUX – PROGRAMA PADRÃO PARA CÁLCULO DE ILUMINAÇÃO

O DIALux foi o programa utilizado para realizar os cálculos de iluminação, presentes neste trabalho, no capítulo que falará sobre a apresentação e análise dos resultados. O DIALux é um software destinado ao cálculo de iluminação, desde os cálculos mais simples até os mais avançados. É completamente gratuito e utilizado atualmente por mais de 300.000 profissionais em todo o mundo. Está disponível em mais de 26 idiomas diferentes em todo o mundo, inclusive o português.

O software apresenta visualização 3D fotográfica realística do ambiente, conforme pode ser observado na Figura 16, com a possibilidade de criação de filmes para apresentação do trabalho. Importa e exporta arquivos DXF e DWG de todos os softwares CAD disponíveis no mercado. Está em contínuo desenvolvimento, sempre baseado nas normas e padrões internacionais mais recentes.

Figura 16 – Dialux



Fonte: E-CiViL, 2010.

3 MÉTODOS E TÉCNICAS

Segundo Prodanov e Freitas (2013), a metodologia é compreendida como uma disciplina que consiste em estudar, compreender e avaliar os vários métodos disponíveis para a realização de uma pesquisa acadêmica. A Metodologia, em um nível aplicado, examina, descreve e avalia métodos e técnicas de pesquisa que possibilitam a coleta e o processamento de informações, visando ao encaminhamento e à resolução de problemas e/ou questões de investigação. A Metodologia é a aplicação de procedimentos e técnicas que devem ser observados para construção do conhecimento, com o propósito de comprovar sua validade e utilidade nos diversos âmbitos da sociedade.

Este trabalho tem como procedimento técnico um estudo de caso, que de acordo com (YIN, 2001) refere-se ao estudo minucioso e profundo de um ou mais objetos. Pode permitir novas descobertas de aspectos que não foram previstos inicialmente. Nesse ponto de vista diz Schramm (apud YIN, 2001), a essência do estudo de caso é tentar esclarecer uma decisão, ou um conjunto de decisões, seus motivos, implementações e resultados. Gil (2010) afirma, que o estudo de caso “consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou mais objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento”.

Neste estudo, foi avaliada a viabilidade econômica de troca do sistema atual de iluminação da John Deere, unidade de Horizontina, de vapor metálico por lâmpadas de indução ou fluorescentes, para iluminação interna de uma área denominada como Pavilhão II, que possui uma área de 50.400,25m². Um estudo com características similares foi desenvolvido e apresentado por Kalahe (2013), porém, analisando a viabilidade econômica da aplicação de LED.

Para a realização deste trabalho optou-se primeiramente pela revisão de literatura de materiais específicos, a fim de buscar uma maior interação sobre o tema proposto. Após, foram analisados os projetos do sistema de iluminação atual, o histórico dos consumos mensais, os custos de aquisição deste sistema, as despesas com manutenção, e as informações sobre o sistema de iluminação com lâmpadas de indução e fluorescentes, que foram devidamente mapeados e sintetizados para realização do estudo de viabilidade de troca do sistema, os quais estão

demonstrados através de tabelas comparativas, diagramas e gráficos, que foram realizados também através do uso do programa DIALux.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este estudo foi realizado com o apoio do Departamento de Engenharia de Facilities (Instalações), departamento este que é responsável por prestar suporte a todas as unidades da John Deere localizadas na América do Sul, em todos os projetos de melhorias, expansão e construção de novas fábricas.

No entanto, tem como premissa a análise do sistema de iluminação da área fabril do Pavilhão II, que possui uma área de 50.400,25m², com pé direito de 10m, onde estão localizadas as áreas de montagem, solda, primários, pintura e manutenção. Nesta pesquisa não foram consideradas as áreas de escritório.

O propósito da pesquisa foi avaliar se é econômica e viável, a substituição do sistema atual, que é composto por lâmpadas de vapor metálico, por lâmpadas de indução, que é uma tecnologia relativamente nova no mercado, e, que promete ser mais viável do ponto de vista econômico e ambiental, ou por lâmpadas fluorescentes, que já vem sendo utilizadas pela John Deere em alguns projetos de melhoria que foram implementados, bem como em algumas das novas fábricas que foram construídas nos últimos anos.

4.1 INFORMAÇÕES SOBRE OS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO ANALISADOS

De acordo com cada atividade desenvolvida nos diversos ambientes, é necessário garantir uma boa iluminação, com nível adequado, condições de visão confortáveis e sem ofuscamento, proporcionando desta forma, um bom desempenho visual. Portanto, utilizou-se o nível médio de iluminação adequado para cada local de acordo com as atividades realizadas e suas características.

O sistema de iluminação atual, composto por lâmpadas de vapor metálico, foi projetado para garantir um nível de iluminação médio de 500 Lux, que é requerido para áreas Fabris onde há a realização de atividades de precisão média, que é o caso da John Deere, e este será o nível médio de iluminação que será mantido para análise de viabilidade dos demais sistemas analisados.

Neste estudo foram consideradas 03 (três) opções de sistemas de iluminação para a área fabril, sendo:

OPÇÃO 01 (Figura 17 - existente) – Utilizando lâmpadas de vapor metálico, sem controle de nível de iluminação. Utilizamos as luminárias industriais Philips modelo SDK472 com refletor de fecho aberto ZDK472 e lâmpadas de vapor metálico de 400W. Esta luminária possui alojamento para os equipamentos auxiliares da lâmpada em chapa de aço com tratamento especial pintado na cor preta e refletor de alumínio anodizado de alto rendimento.

Figura 17 – Lâmpada Vapor metálico



Fonte: Philips, 2014.

- OPÇÃO 02 (Figura 18) – Utilizando lâmpadas de indução, sem controle de nível de iluminação. Utilizamos as luminárias industriais LVD com refletor de fecho aberto e lâmpadas de indução LVD de 120 W (modelo JK GC18d-120) e de 200 W (modelo JK GC18d-200E).

Figura 18 – Lâmpada de Indução



Fonte: LVD, 2014.

- **OPÇÃO 03** (Figura 19) – Utilizando lâmpadas fluorescentes, sem controle de nível de iluminação. Utilizamos as luminárias industriais Philips Prolux TPS550 com refletor de alumínio de alta refletância (95%), próprias para 06 lâmpadas fluorescentes tubulares TL5 de 50W.

Figura 19 – Lâmpada Fluorescente



Fonte: Philips, 2014.

4.2 DIAGRAMAS, TABELAS E GRÁFICOS COM OS CÁLCULOS DOS SISTEMAS ANALISADOS COM BASE NO NÚMERO DE LUMINÁRIAS EXISTENTES

O sistema de iluminação atual é composto de 1722 luminárias com lâmpadas de vapor metálico, que garantem um nível de iluminação médio de 500 Lux.

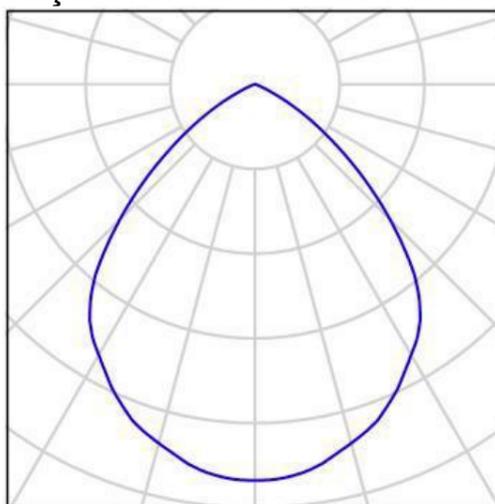
Partindo-se deste argumento, foi realizada primeiramente uma análise mantendo-se o mesmo número de luminárias atual (1722) para as lâmpadas de indução e fluorescente. Com base nos dados que estão demonstrados a seguir, foi possível verificar que apenas a opção em lâmpadas de vapor metálico atinge o nível de iluminação médio igual ou maior que 500 Lux. O fator de perda (Fator de manutenção) utilizado para todos os cálculos foi de 0,67, e a altura do plano de uso foi de 0,76m.

4.2.1 Opção 01 (existente) – lâmpadas de vapor metálico

Os resultados obtidos com a utilização de 1722 luminárias com lâmpadas de vapor metálico estão demonstrados nas Figuras 20, 21 e 22 e na Tabela 01.

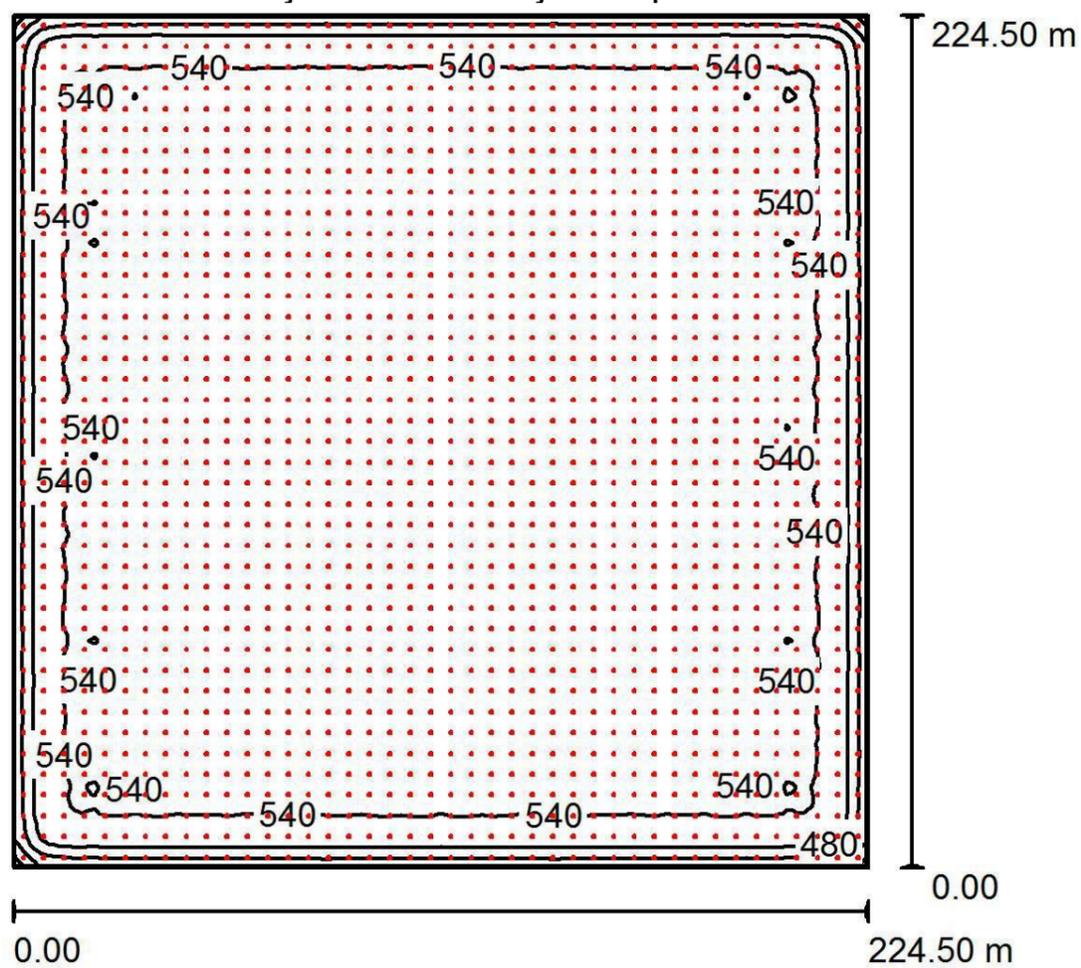
- 1722 Unid. SDK472-400-44 + ZDK472 (Tipo 1)
- Fluxo luminoso (Luminária): 21013 lm
- Fluxo luminoso (Lâmpadas): 31000 lm
- Potência Elétrica: 420.0 W (incluindo as perdas)
- Lâmpada (s): 1 x Definido pelo usuário

Figura 20 – Distribuição da intensidade luminosa Vapor metálico



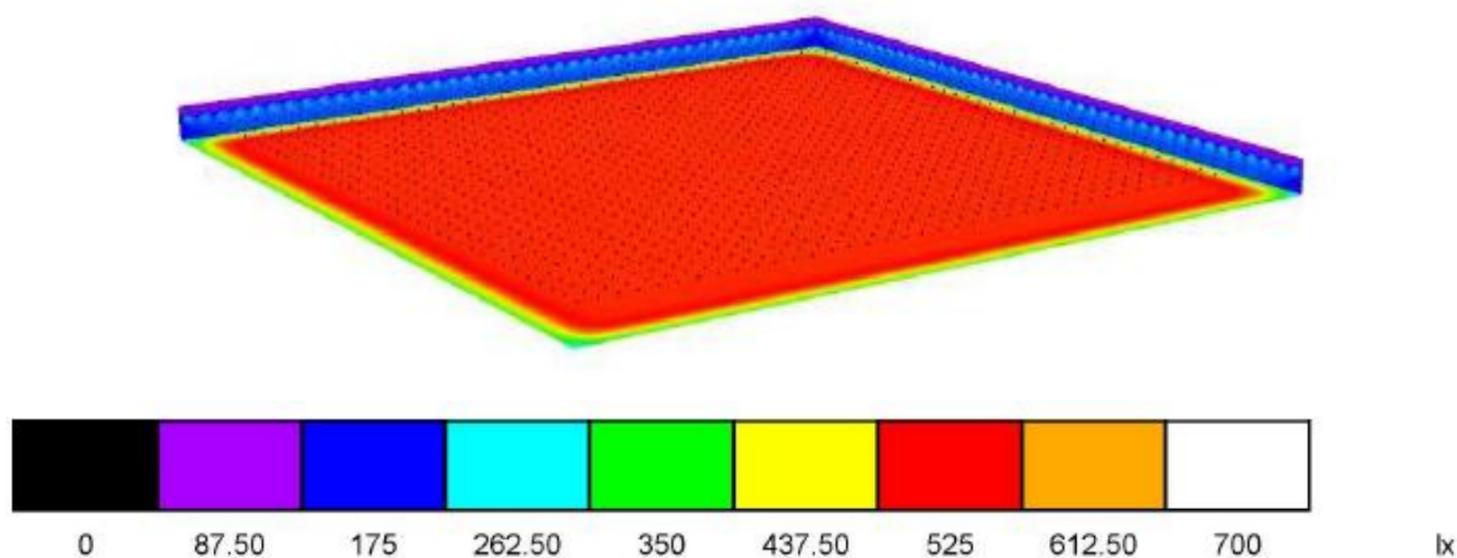
Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Figura 21 – Distribuição da Iluminação Vapor metálico 1722 luminárias



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Figura 22 – Representação das cores falsas Vapor metálico 1722 luminárias



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Tabela 01 – Vapor metálico 1722 luminárias

SDK472-400-44 + ZDK472 / Resumo					
Altura da sala	10 m				
Altura de montagem	10 m				
Fator de manutenção	0.67				
Escala	1:2883				
Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	533	279	560	0.523
Solo	20	530	259	558	0.488
Teto	70	101	67	106	0.671
Paredes	50	176	67	266	/
Plano de uso					
Altura	0.76 m				
Grelha	128 x 128 Pontos				
Zona marginal	0.5 m				
Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.327; Teto / Plano de uso: 0.189					
Lista de luminárias					
N°	Unid.	Denominação (Fator de correção)	ϕ (Luminária) [lm]	ϕ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	1722	SDK472-400-44 + ZDK472 (Tipo 1)*(1.000)	21013	31000	420
Total:			36184626	53382000	723240

Potência específica: $14.35 \text{ W/m}^2 = 2.69 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 50400.25 m^2)

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

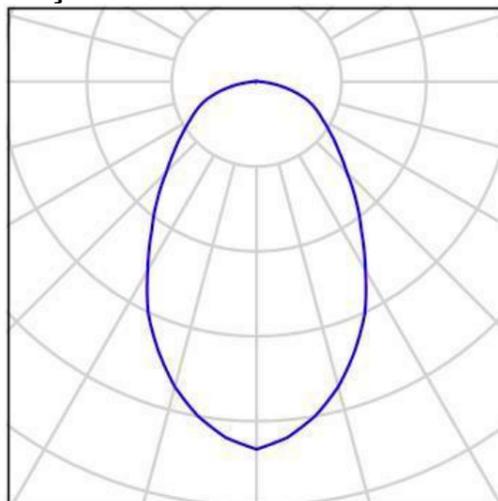
4.2.2 Opção 02 – Lâmpadas de indução de 120 W e 200 W

4.2.2.1 Lâmpadas de indução de 120 W

Os resultados obtidos com a utilização de 1722 luminárias com lâmpadas de indução de 120 W estão demonstrados nas Figuras 23, 24 e 25 e na Tabela 02.

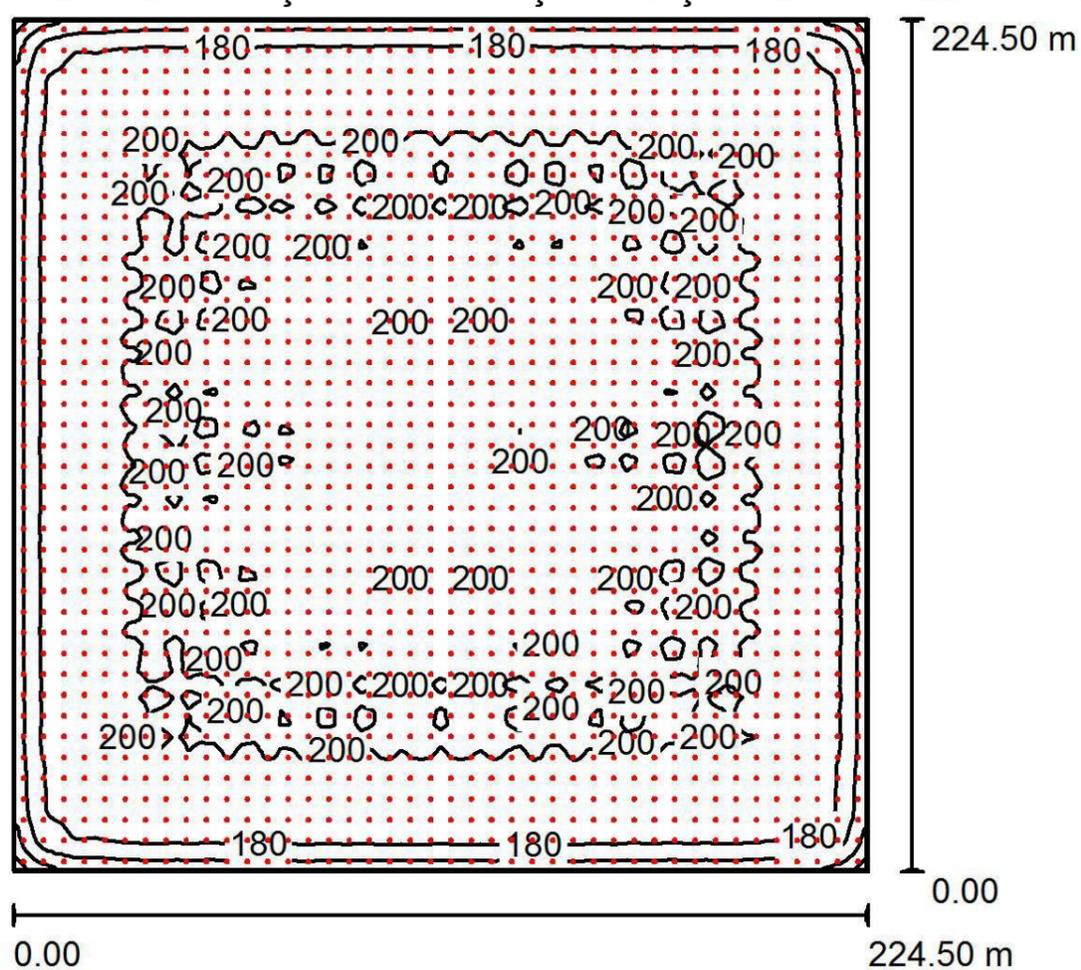
- 1722 Unid. JK GC18d-120E
- Fluxo luminoso (Luminária): 7780 lm
- Fluxo luminoso (Lâmpadas): 10080 lm
- Potência elétrica: 126.0 W (incluindo as perdas)
- Lâmpada (s): 1 x RT120 W

Figura 23 – Distribuição da intensidade luminosa Indução 120 W



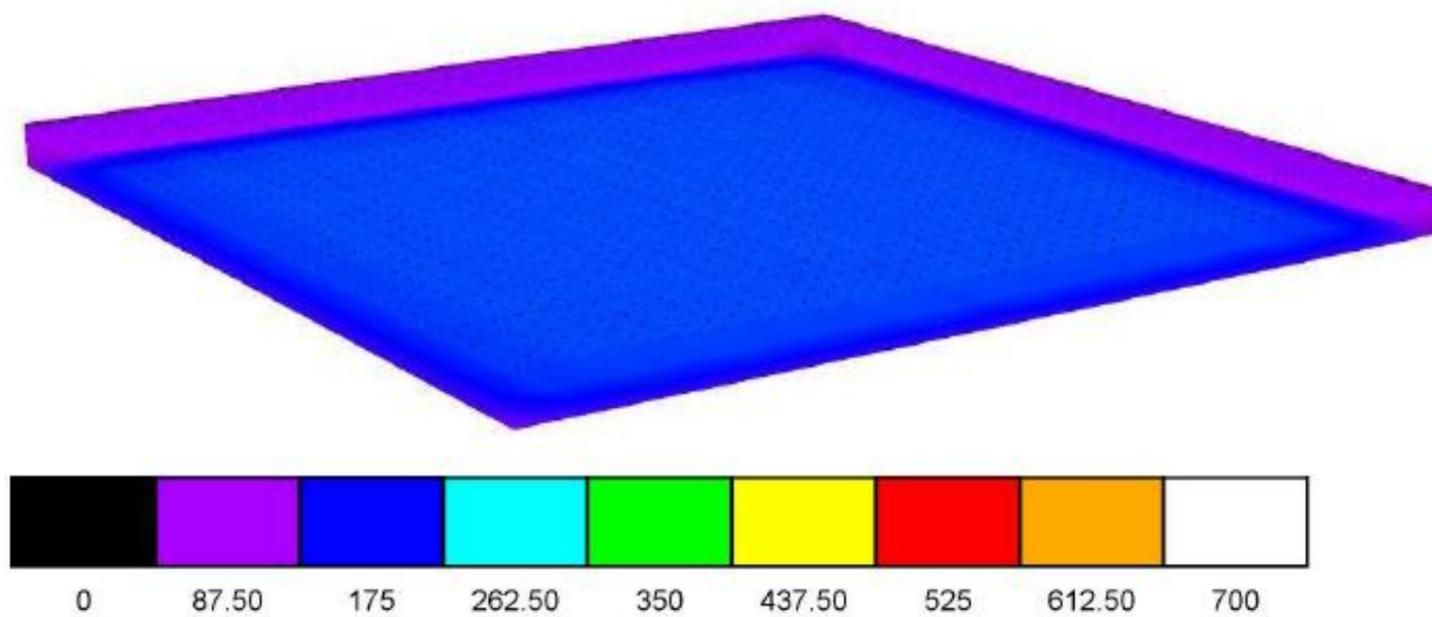
Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Figura 24 – Distribuição da Iluminação Indução 120 W 1722 luminárias



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Figura 25 – Representação das cores falsas Indução 120 W 1722 luminárias



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Tabela 02 – Indução 120 W 1722 luminárias

Indução 120W JK GC18d-120E / Resumo					
Altura da sala	10 m				
Altura de montagem	10 m				
Fator de manutenção	0.67				
Escala	1:2883				
Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	194	109	206	0.560
Solo	20	192	106	206	0.550
Teto	70	39	32	140	0.830
Paredes	50	91	46	118	/
Plano de uso					
Altura	0.76 m				
Grelha	128 x 128 Pontos				
Zona marginal	0.5 m				
Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.470; Teto / Plano de uso: 0.200					
Lista de luminárias					
N°	Unid.	Denominação (Fator de correção)	ϕ (Luminária) [lm]	ϕ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	1722	JK GC18d-120E (1.000)	7780	10080	126
Total:			13397098	17357760	216972
Potência específica: $4.30 \text{ W/m}^2 = 2.22 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 50400.25 m^2)					

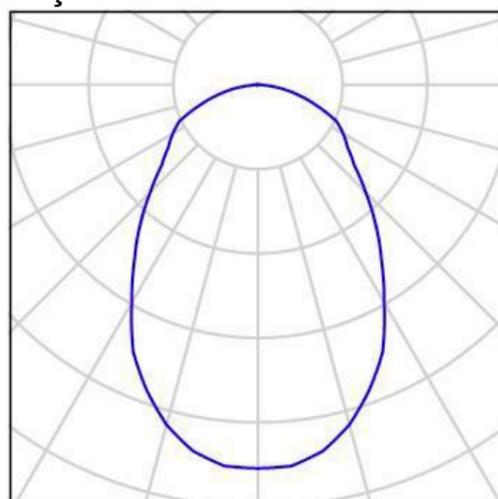
Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

4.2.2.2 Lâmpadas de indução de 200 W

Os resultados obtidos com a utilização de 1722 luminárias com lâmpadas de indução de 200 W estão demonstrados nas Figuras 26, 27 e 28 e na Tabela 03.

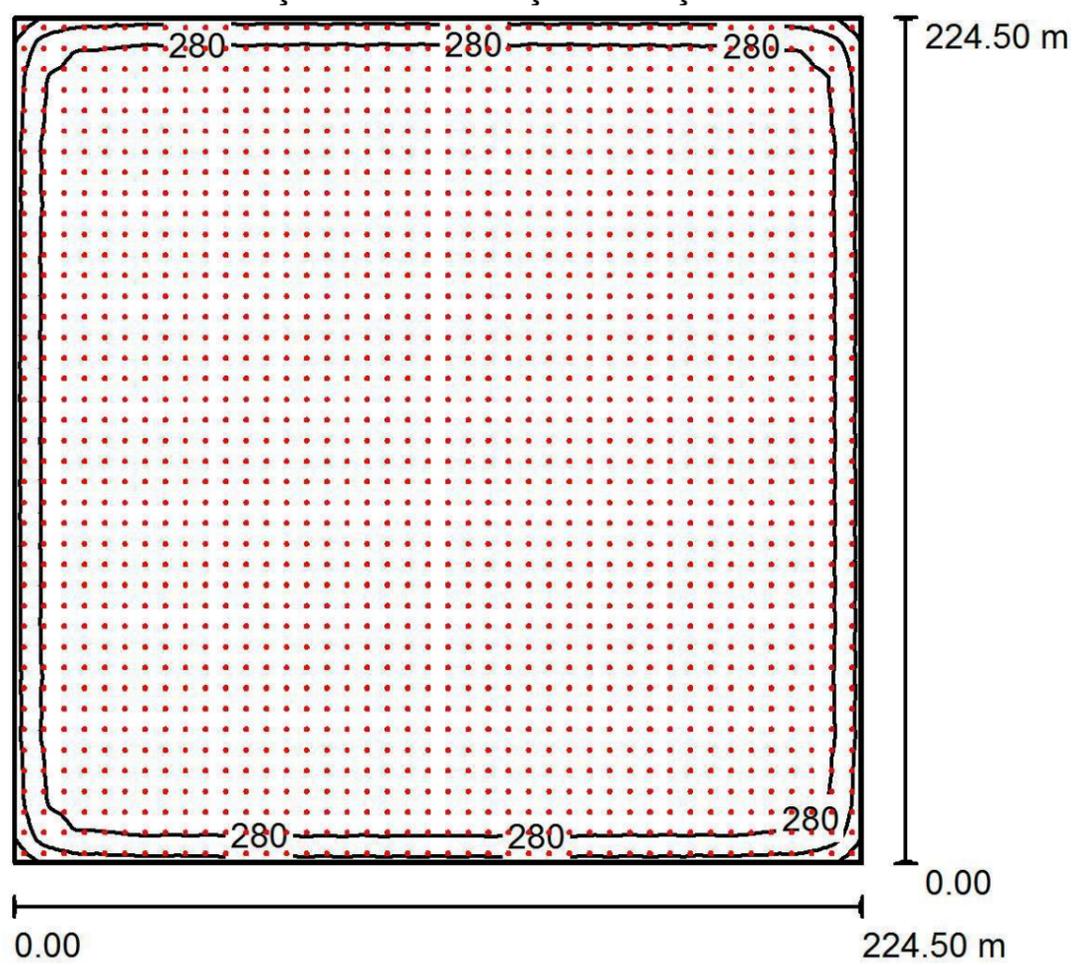
- 1722 Unid. JK GC18d-200E
- Fluxo luminoso (Luminária): 12146 lm
- Fluxo luminoso (Lâmpadas): 16800 lm
- Potência elétrica: 210.0 W (incluindo as perdas)
- Lâmpada (s): 1 x RT200 W

Figura 26 – Distribuição da intensidade luminosa Indução 200 W



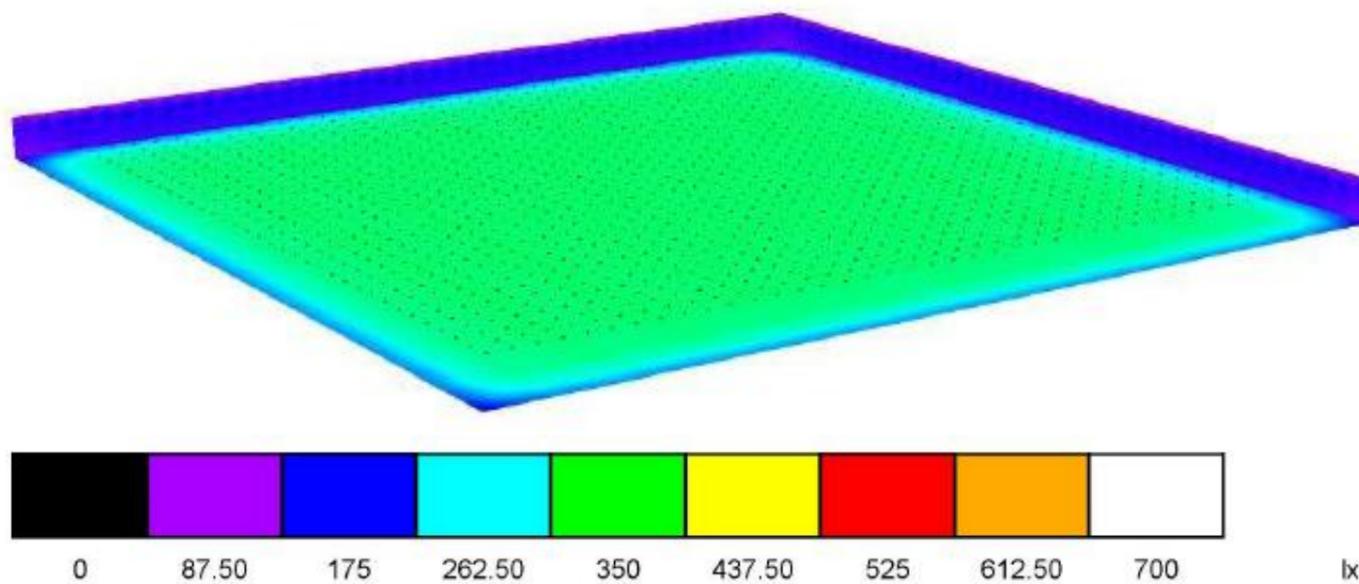
Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Figura 27 – Distribuição da Iluminação Indução 200 W 1722 luminárias



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Figura 28 – Representação das cores falsas Indução 200 W 1722 luminárias



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Tabela 03 – Indução 200 W 1722 luminárias

Indução 200W JK GC18d-200E / Resumo					
Altura da sala	10 m				
Altura de montagem	10 m				
Fator de manutenção	0.67				
Escala	1:2883				
Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	302	169	322	0.560
Solo	20	300	163	322	0.544
Teto	70	60	49	159	0.821
Paredes	50	141	65	186	/
Plano de uso					
Altura	0.76 m				
Grelha	128 x 128 Pontos				
Zona marginal	0.5 m				
Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.462; Teto / Plano de uso: 0.198					
Lista de luminárias					
N°	Unid.	Denominação (Fator de correção)	ϕ (Luminária) [lm]	ϕ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	1722	JK GC18d-200E (1.000)	12146	16800	210
Total:			20914738	28929600	361620
Potência específica: $7.17 \text{ W/m}^2 = 2.37 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 50400.25 m^2)					

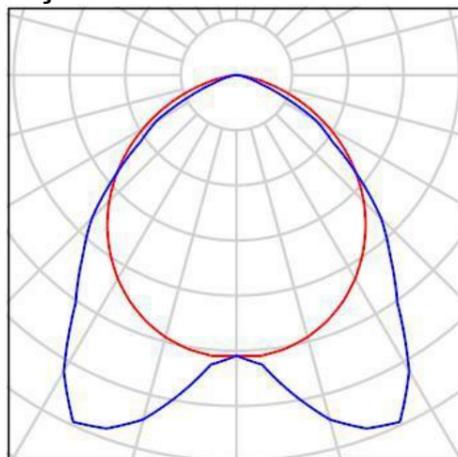
Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

4.2.3 Opção 03 – lâmpadas fluorescentes

Os resultados obtidos com a utilização de 1722 luminárias com lâmpadas fluorescentes estão demonstrados nas Figuras 29, 30 e 31 e na Tabela 04.

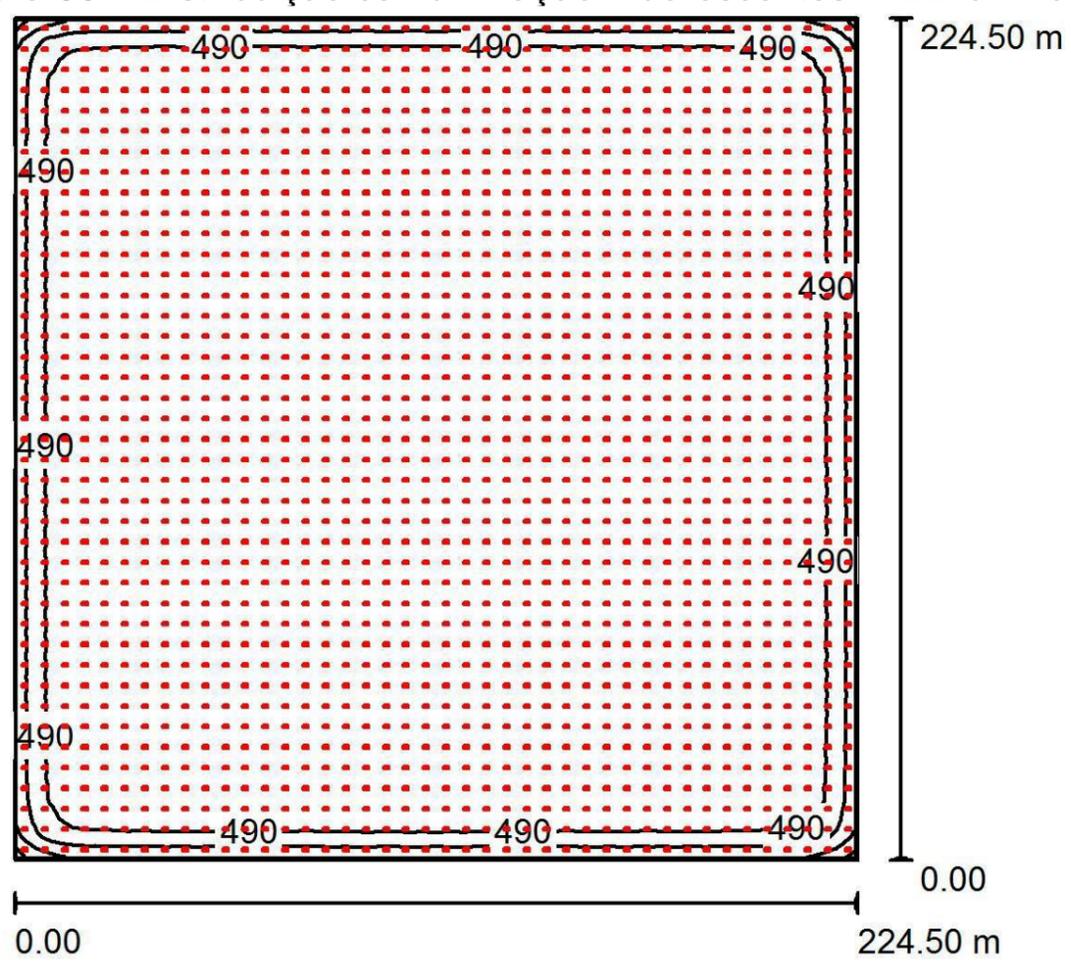
- 1722 Unid. Philips TPS550 6x54W WB PC (Tipo 1)
- Fluxo luminoso (Luminária): 20884 lm
- Fluxo luminoso (Lâmpadas): 26700 lm
- Potência elétrica: 354.0 W (incluindo as perdas)
- Lâmpada (s): 1 x Definido pelo usuário

Figura 29 – Distribuição da intensidade luminosa Fluorescentes



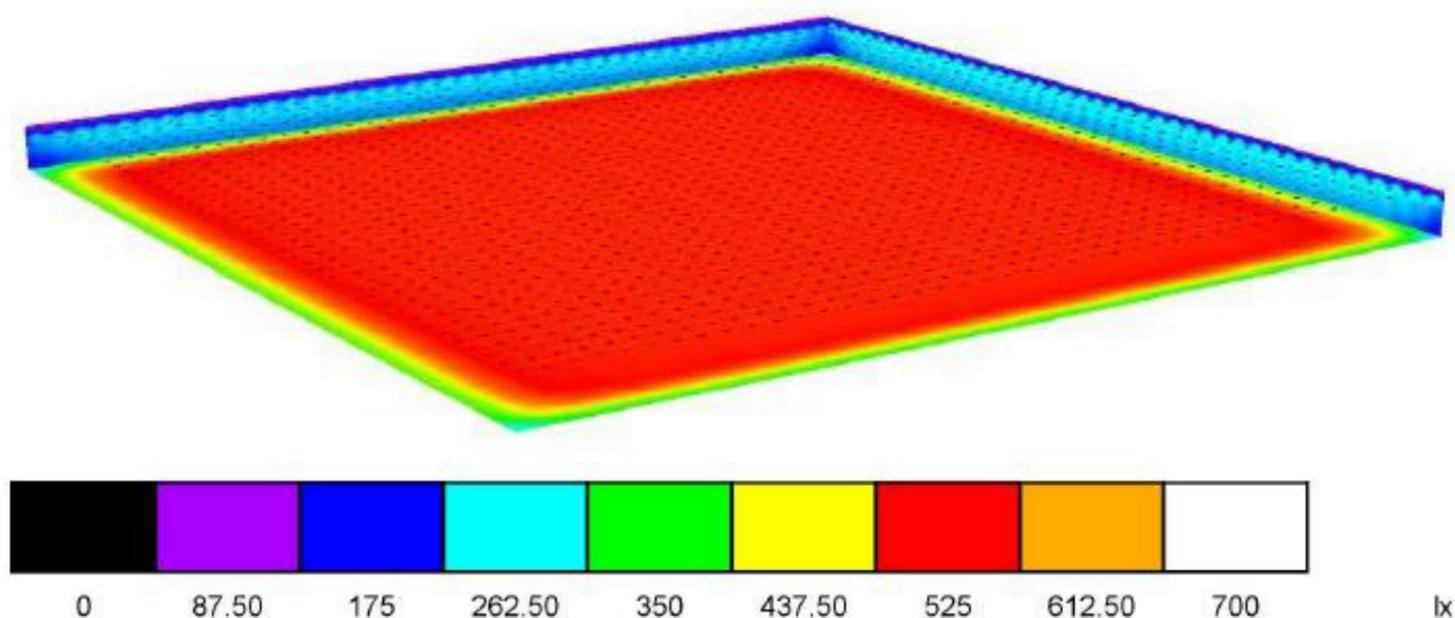
Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Figura 30 – Distribuição da Iluminação Fluorescentes 1722 luminárias



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Figura 31 – Representação das cores falsas Fluorescentes 1722 luminárias



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Tabela 04 – Fluorescentes 1722 luminárias

Philips TPS550 6x54W WB PC / Resumo					
Altura da sala	10 m				
Altura de montagem	10 m				
Fator de manutenção	0.67				
Escala	1:2883				
Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	524	261	563	0.499
Solo	20	521	257	557	0.493
Teto	70	100	76	116	0.756
Paredes	50	222	80	314	/
Plano de uso					
Altura	0.76 m				
Grelha	128 x 128 Pontos				
Zona marginal	0.5 m				
Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.419; Teto / Plano de uso: 0.192					
Lista de luminárias					
N°	Unid.	Denominação (Fator de correção)	ϕ (Luminária) [lm]	ϕ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	1722	Philips TPS550 6x54W WB PC (Tipo 1)* (1.000)	20884	26700	354
Total:			35961437	45977400	609588
Potência específica: 12.09 W/m ² = 2.31 W/m ² /100 lx (Superfície básica: 50400.25 m ²)					

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

4.3 DIAGRAMAS, TABELAS E GRÁFICOS COM OS CÁLCULOS DOS SISTEMAS ANALISADOS, VISANDO ALCANÇAR O NÍVEL DE ILUMINAÇÃO MÉDIO DE 500 LUX

Conforme já mencionado, o nível de iluminação médio requerido para áreas Fabris onde há a realização de atividades de precisão média, que é o caso da John Deere, é de 500 Lux. O atual sistema garante este nível de iluminação médio em toda a área fabril, conforme já demonstrado.

Partindo-se desta premissa, foi realizada também uma análise visando manter-se este nível de iluminação médio, utilizando-se as lâmpadas de indução e fluorescente.

4.3.1 Opção 01 (existente) – lâmpadas de vapor metálico

Já demonstrados no item 4.2.1. Os dados permanecem os mesmos.

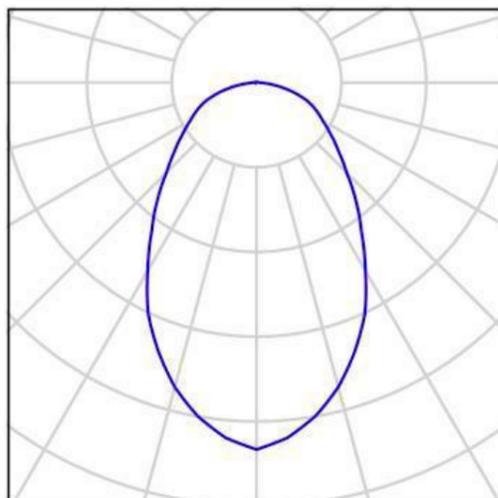
4.3.2 Opção 02 – lâmpadas de indução de 120 W e 200 W

4.3.2.1 Lâmpadas de indução de 120 W

Os resultados obtidos com a utilização de luminárias com lâmpadas de indução de 120 W para se adequar ao nível de iluminação médio requerido de 500 Lux estão demonstrados nas Figuras 32 e 33 e na Tabela 05.

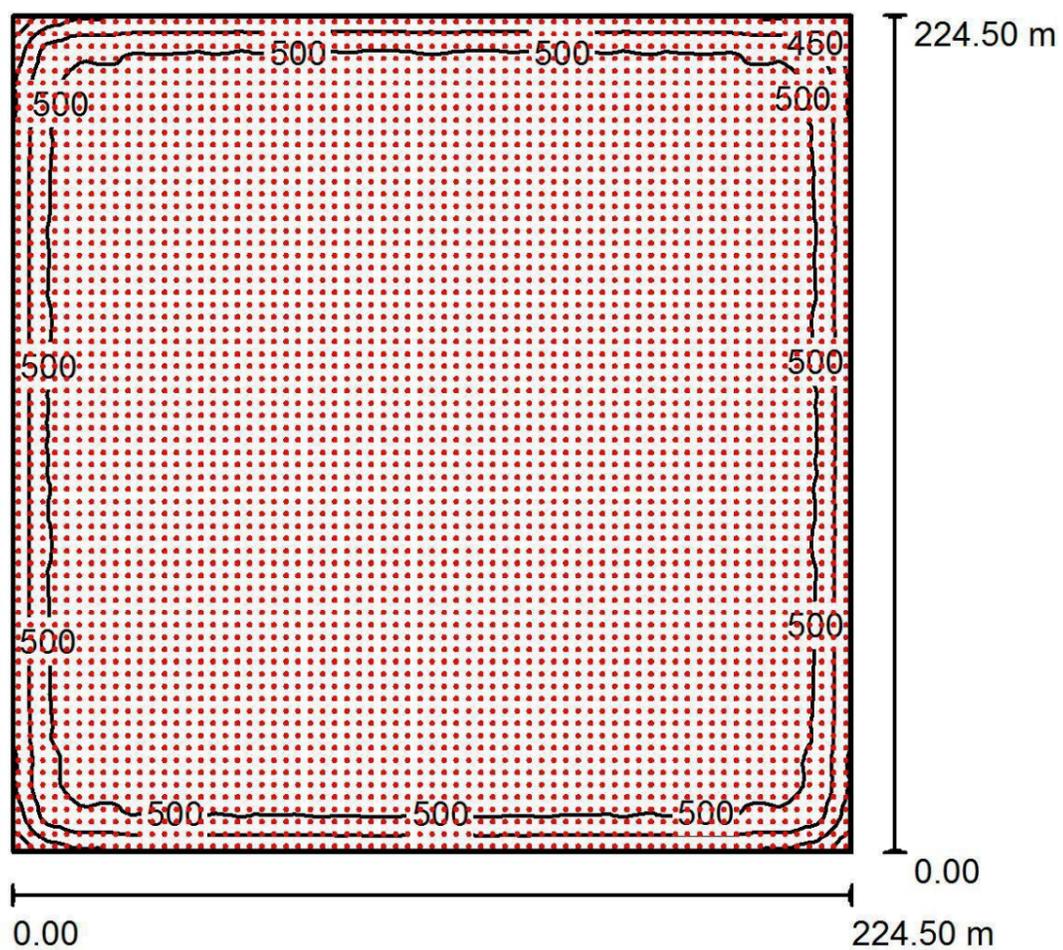
- 4692 Unid. JK GC18d-120E
- Fluxo luminoso (Luminária): 7780 lm
- Fluxo luminoso (Lâmpadas): 10080 lm
- Potência elétrica: 126.0 W (incluindo as perdas)
- Lâmpada (s): 1 x RT120 W

Figura 32 - Distribuição da intensidade luminosa Indução 120 W



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Figura 33 – Distribuição da Iluminação Indução 120 W 4692 Luminárias



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Tabela 05 – Indução 120 W 4692 Luminárias

Indução 120W JK GC18d-120E / Resumo					
Altura da sala	10 m				
Altura de montagem	10 m				
Fator de manutenção	0.67				
Escala	1:2883				
Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	520	316	553	0.608
Solo	20	513	297	546	0.578
Teto	70	100	81	202	0.808
Paredes	50	239	132	324	/
Plano de uso					
Altura	0.76 m				
Grelha	128 x 128 Pontos				
Zona marginal	0.5 m				
Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.469; Teto / Plano de uso: 0.192					
Lista de luminárias					
N°	Unid.	Denominação (Fator de correção)	ϕ (Luminária) [lm]	ϕ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	4692	JK GC18d-120E (1.000)	7780	10080	126
Total:			36503590	47295360	591192
Potência específica: $11.73 \text{ W/m}^2 = 2.25 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 50400.25 m^2)					

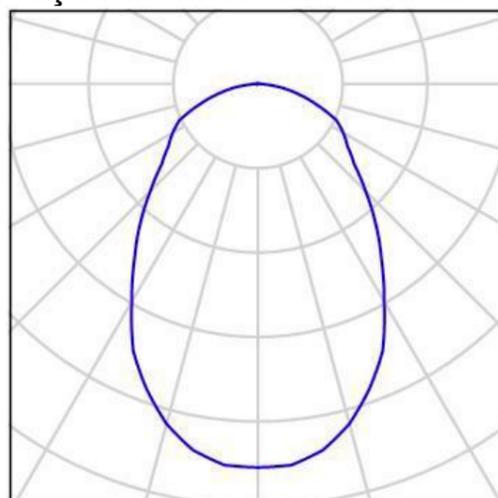
Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

4.3.2.2 Lâmpadas de indução de 200 W

Os resultados obtidos com a utilização de luminárias com lâmpadas de indução de 200 W para se adequar ao nível de iluminação médio requerido de 500 Lux estão demonstrados nas Figuras 34 e 35 e na Tabela 06.

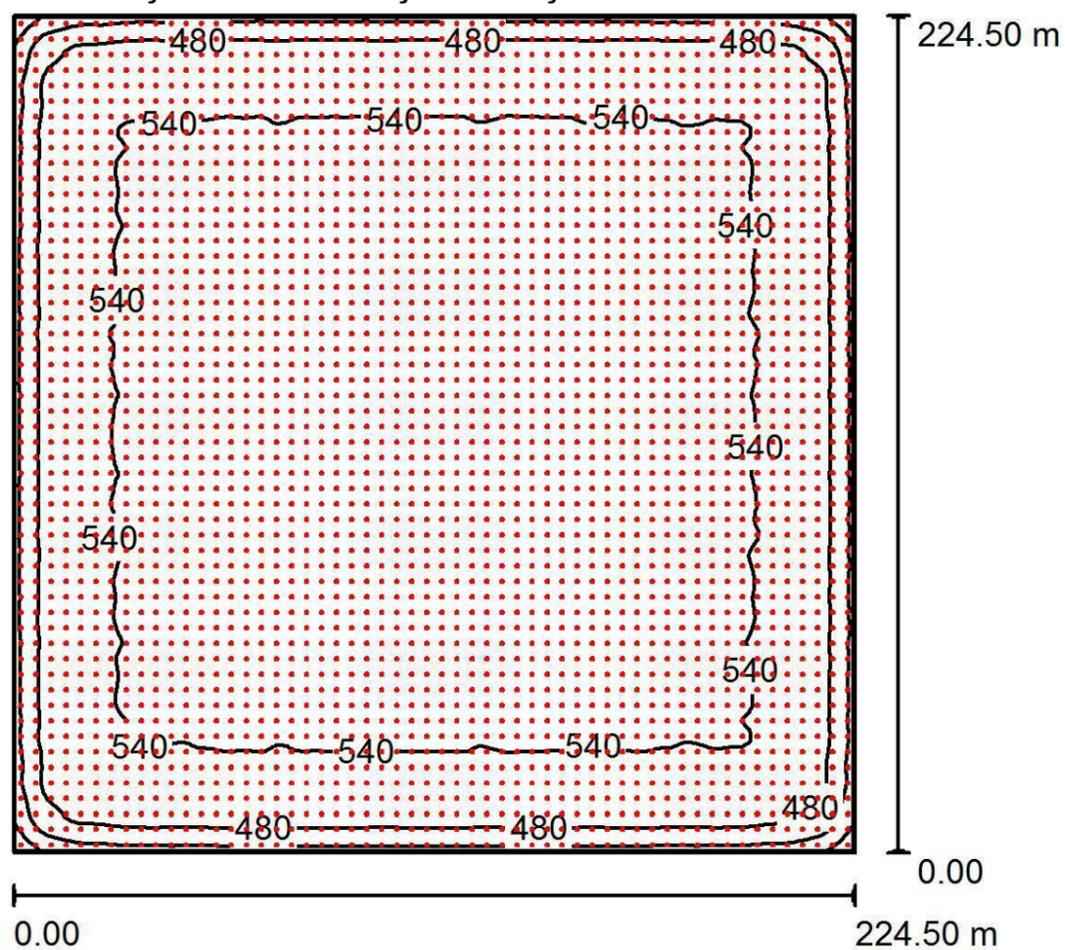
- 3024 Unid. JK GC18d-200E
- Fluxo luminoso (Luminária): 12146 lm
- Fluxo luminoso (Lâmpadas): 16800 lm
- Potência elétrica: 210.0 W (incluindo as perdas)
- Lâmpada (s): 1 x RT200 W

Figura 34 – Distribuição da intensidade luminosa Indução 200 W



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Figura 35 – Distribuição da Iluminação Indução 200 W 3024 Luminárias



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Tabela 06 – Indução 200 W 3024 Luminárias

Indução 200W JK GC18d-200E / Resumo					
Altura da sala	10 m				
Altura de montagem	10 m				
Fator de manutenção	0.67				
Escala	1:2883				
Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	527	307	558	0.583
Solo	20	522	292	558	0.559
Teto	70	102	83	197	0.812
Paredes	50	243	122	321	/
Plano de uso					
Altura	0.76 m				
Grelha	128 x 128 Pontos				
Zona marginal	0.5 m				
Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.467; Teto / Plano de uso: 0.194					
Lista de luminárias					
N°	Unid.	Denominação (Fator de correção)	ϕ (Luminária) [lm]	ϕ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	3024	JK GC18d-200E (1.000)	12146	16800	210
Total:			36728320	50803200	635040
Potência específica: $12.60 \text{ W/m}^2 = 2.39 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 50400.25 m^2)					

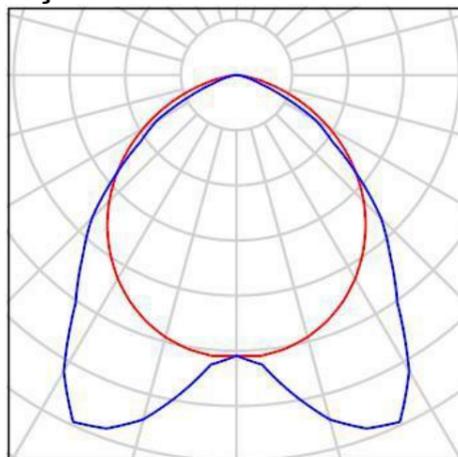
Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

4.3.3 Opção 03 – lâmpadas fluorescentes

Os resultados obtidos com a utilização de luminárias com lâmpadas fluorescentes para se adequar ao nível de iluminação médio requerido de 500 Lux estão demonstrados nas Figuras 36 e 37 e na Tabela 07.

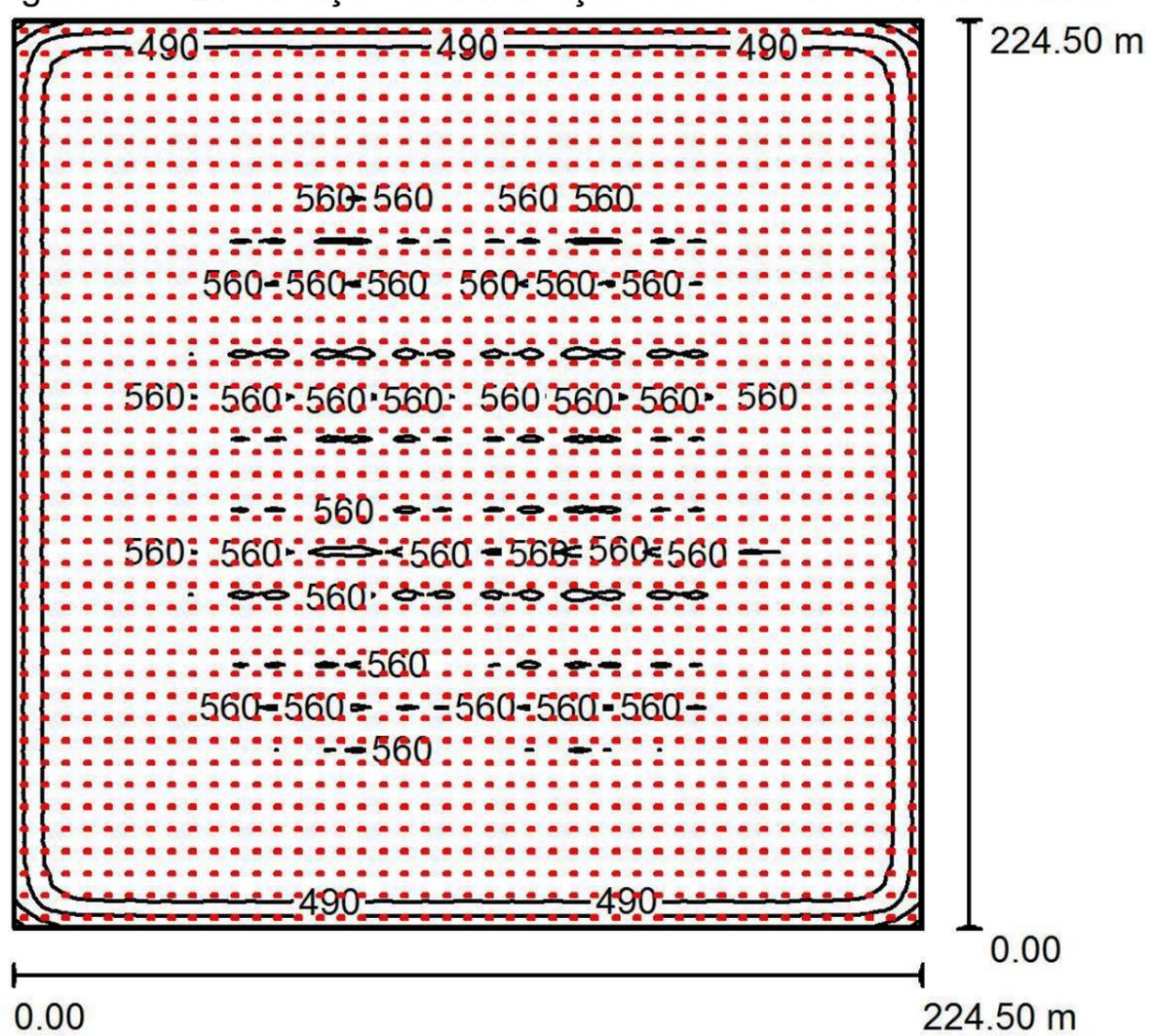
- 1763 Unid. Philips TPS550 6x54W WB PC (Tipo 1)
- Fluxo luminoso (Luminária): 20884 lm
- Fluxo luminoso (Lâmpadas): 26700 lm
- Potência elétrica: 354.0 W (incluindo as perdas)
- Lâmpada (s): 1 x Definido pelo usuário

Figura 36 – Distribuição da intensidade luminosa Fluorescentes



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Figura 37 – Distribuição da Iluminação Fluorescentes 1763 luminárias



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Tabela 07 – Fluorescentes 1763 luminárias

Philips TPS550 6x54W WB PC / Resumo					
Altura da sala	10 m				
Altura de montagem	10 m				
Fator de manutenção	0.67				
Escala	1:2883				
Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	536	268	574	0.501
Solo	20	533	264	571	0.495
Teto	70	102	78	120	0.761
Paredes	50	228	84	325	/
Plano de uso					
Altura	0.76 m				
Grelha	128 x 128 Pontos				
Zona marginal	0.5 m				
Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.419; Teto / Plano de uso: 0.191					
Lista de luminárias					
N°	Unid.	Denominação (Fator de correção)	ϕ (Luminária) [lm]	ϕ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	1763	Philips TPS550 6x54W WB PC (Tipo 1)* (1.000)	20884	26700	354
Total:			36817661	47072100	624102
Potência específica: 12.38 W/m ² = 2.31 W/m ² /100 lx (Superfície básica: 50400.25 m ²)					

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

4.4 CÁLCULOS DOS INVESTIMENTOS PARA AQUISIÇÃO, MANUTENÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA DOS SISTEMAS ANALISADOS

Os cálculos dos investimentos para aquisição, manutenção e consumo de energia foram realizados com base nas informações obtidas junto aos fabricantes LVD e Philips e seus revendedores, que nos informaram os custos para aquisição e manutenção destes sistemas de iluminação.

Os cálculos foram realizados com base em 396 horas trabalhadas por mês, que correspondem a 22 dias trabalhados, num regime de 18 horas diárias, ou três turnos, e considerando um valor de R\$ 0,26/KWh, que é o valor atualmente pago pela John Deere. O prazo considerado para cálculo dos investimentos no primeiro cenário foi de 5 anos. No segundo cenário, foi analisado um período de 20 anos, o qual será demonstrado apenas através de gráfico. Na Tabela 8 consta um resumo com os recursos envolvidos nas análises.

Destaca-se, que não foram considerados os custos de mão de obra e equipamentos para substituição das lâmpadas e reatores, pois ambos seriam os

mesmos para todas as opções analisadas, portanto não influenciariam na análise de viabilidade econômica comparativa.

Tabela 08 – Recursos Envolvidos

Recursos envolvidos				
Tipos de lâmpadas	Vapor Metálico	Indução 120 W	Indução 200 W	Fluorescente
Potência (Watts)	420	126	210	354
Quantidade (unidades)	1722	4692	3024	1763
Custo do produto (R\$)	R\$ 379,00	R\$ 759,00	R\$ 946,00	R\$ 870,00
Custo inicial do sistema (R\$)	R\$ 652.638,00	R\$ 3.561.228,00	R\$ 2.860.704,00	R\$ 1.533.810,00
Vida média (horas)	7.000	60.000	60.000	9.500
Custo manutenção (Lâmpada + Reator) (R\$)	R\$ 120,90	R\$ 480,00	R\$ 620,00	R\$ 242,40
Regime de horas trabalhadas (mês)	396	396	396	396
Potência Total (KW)	723,24	591,19	635,04	624,10
Custo R\$/(KW/h)	R\$ 0,26	R\$ 0,26	R\$ 0,26	R\$ 0,26
Consumo de energia mensal KW/h	286403,04	234112,03	251475,84	247144,39
Custo de energia mensal (R\$)	R\$ 74.464,79	R\$ 60.869,13	R\$ 65.383,72	R\$ 64.257,54

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

4.4.1 Cálculo do investimento total no período de 5 anos

São demonstrados a seguir, nas Tabelas 9 a 12, os cálculos do investimento total para aquisição, manutenção e consumo de energia dos sistemas analisados, num período de cinco anos.

Base de cálculo dos itens demonstrados nas Tabelas:

- Inicial = *Quantidade (unidades) x Custo do produto (R\$)*
- Energia = *Potência Total (KW) x Custo R\$ (KWh) x Regime de horas trabalhadas (mês)*
- Manutenção = *Custo unitário lâmpada + reator x Número de lâmpadas*

4.4.1.1 Opção 01 (existente) – lâmpadas de vapor metálico

Tabela 09 – Vapor metálico (Investimento total no período de 5 anos)

SDK472-400-44 + ZDK472								
Período (Meses)	Investimento Inicial	Energia	Manutenção	Total	Período (Meses)	Energia	Manutenção	Total
1	R\$ 652.638,00	R\$ 74.464,79	-	R\$ 727.102,79	31	R\$ 74.464,79	-	R\$ 3.169.236,30
2		R\$ 74.464,79	-	R\$ 801.567,58	32	R\$ 74.464,79	-	R\$ 3.243.701,09
3		R\$ 74.464,79	-	R\$ 876.032,37	33	R\$ 74.464,79	-	R\$ 3.318.165,88
4		R\$ 74.464,79	-	R\$ 950.497,16	34	R\$ 74.464,79	-	R\$ 3.392.630,67
5		R\$ 74.464,79	-	R\$ 1.024.961,95	35	R\$ 74.464,79	-	R\$ 3.467.095,46
6		R\$ 74.464,79	-	R\$ 1.099.426,74	36	R\$ 74.464,79	R\$ 208.189,80	R\$ 3.749.750,05
7		R\$ 74.464,79	-	R\$ 1.173.891,53	37	R\$ 74.464,79	-	R\$ 3.824.214,84
8		R\$ 74.464,79	-	R\$ 1.248.356,32	38	R\$ 74.464,79	-	R\$ 3.898.679,64
9		R\$ 74.464,79	-	R\$ 1.322.821,11	39	R\$ 74.464,79	-	R\$ 3.973.144,43
10		R\$ 74.464,79	-	R\$ 1.397.285,90	40	R\$ 74.464,79	-	R\$ 4.047.609,22
11		R\$ 74.464,79	-	R\$ 1.471.750,69	41	R\$ 74.464,79	-	R\$ 4.122.074,01
12		R\$ 74.464,79	-	R\$ 1.546.215,48	42	R\$ 74.464,79	-	R\$ 4.196.538,80
13		R\$ 74.464,79	-	R\$ 1.620.680,28	43	R\$ 74.464,79	-	R\$ 4.271.003,59
14		R\$ 74.464,79	-	R\$ 1.695.145,07	44	R\$ 74.464,79	-	R\$ 4.345.468,38
15		R\$ 74.464,79	-	R\$ 1.769.609,86	45	R\$ 74.464,79	-	R\$ 4.419.933,17
16		R\$ 74.464,79	-	R\$ 1.844.074,65	46	R\$ 74.464,79	-	R\$ 4.494.397,96
17		R\$ 74.464,79	-	R\$ 1.918.539,44	47	R\$ 74.464,79	-	R\$ 4.568.862,75
18		R\$ 74.464,79	R\$ 208.189,80	R\$ 2.201.194,03	48	R\$ 74.464,79	-	R\$ 4.643.327,54
19		R\$ 74.464,79	-	R\$ 2.275.658,82	49	R\$ 74.464,79	-	R\$ 4.717.792,33
20		R\$ 74.464,79	-	R\$ 2.350.123,61	50	R\$ 74.464,79	-	R\$ 4.792.257,12
21		R\$ 74.464,79	-	R\$ 2.424.588,40	51	R\$ 74.464,79	-	R\$ 4.866.721,91
22		R\$ 74.464,79	-	R\$ 2.499.053,19	52	R\$ 74.464,79	-	R\$ 4.941.186,70
23		R\$ 74.464,79	-	R\$ 2.573.517,98	53	R\$ 74.464,79	-	R\$ 5.015.651,49
24		R\$ 74.464,79	-	R\$ 2.647.982,77	54	R\$ 74.464,79	R\$ 208.189,80	R\$ 5.298.306,08
25		R\$ 74.464,79	-	R\$ 2.722.447,56	55	R\$ 74.464,79	-	R\$ 5.372.770,87
26		R\$ 74.464,79	-	R\$ 2.796.912,35	56	R\$ 74.464,79	-	R\$ 5.447.235,66
27		R\$ 74.464,79	-	R\$ 2.871.377,14	57	R\$ 74.464,79	-	R\$ 5.521.700,45
28		R\$ 74.464,79	-	R\$ 2.945.841,93	58	R\$ 74.464,79	-	R\$ 5.596.165,24
29		R\$ 74.464,79	-	R\$ 3.020.306,72	59	R\$ 74.464,79	-	R\$ 5.670.630,03
30		R\$ 74.464,79	-	R\$ 3.094.771,51	60	R\$ 74.464,79	-	R\$ 5.745.094,82

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Investimento total no período de 5 anos = R\$ 5.745.094,82.

4.4.1.2 Opção 02 – lâmpadas de indução de 120 W e 200 W

4.4.1.2.1 Lâmpadas de indução de 120 W

Tabela 10 – Indução 120 W (Investimento total no período de 5 anos)

Indução 120W JK GC18d-120E								
Sem custo de manutenção no período analisado								
Período (Meses)	Investimento Inicial	Energia	Manutenção	Total	Período (Meses)	Energia	Manutenção	Total
1	R\$ 3.561.228,00	R\$ 60.869,13	-	R\$ 3.622.097,13	31	R\$ 60.869,13	-	R\$ 5.448.170,98
2		R\$ 60.869,13	-	R\$ 3.682.966,26	32	R\$ 60.869,13	-	R\$ 5.509.040,11
3		R\$ 60.869,13	-	R\$ 3.743.835,38	33	R\$ 60.869,13	-	R\$ 5.569.909,23
4		R\$ 60.869,13	-	R\$ 3.804.704,51	34	R\$ 60.869,13	-	R\$ 5.630.778,36
5		R\$ 60.869,13	-	R\$ 3.865.573,64	35	R\$ 60.869,13	-	R\$ 5.691.647,49
6		R\$ 60.869,13	-	R\$ 3.926.442,77	36	R\$ 60.869,13	-	R\$ 5.752.516,62
7		R\$ 60.869,13	-	R\$ 3.987.311,90	37	R\$ 60.869,13	-	R\$ 5.813.385,75
8		R\$ 60.869,13	-	R\$ 4.048.181,03	38	R\$ 60.869,13	-	R\$ 5.874.254,88
9		R\$ 60.869,13	-	R\$ 4.109.050,15	39	R\$ 60.869,13	-	R\$ 5.935.124,00
10		R\$ 60.869,13	-	R\$ 4.169.919,28	40	R\$ 60.869,13	-	R\$ 5.995.993,13
11		R\$ 60.869,13	-	R\$ 4.230.788,41	41	R\$ 60.869,13	-	R\$ 6.056.862,26
12		R\$ 60.869,13	-	R\$ 4.291.657,54	42	R\$ 60.869,13	-	R\$ 6.117.731,39
13		R\$ 60.869,13	-	R\$ 4.352.526,67	43	R\$ 60.869,13	-	R\$ 6.178.600,52
14		R\$ 60.869,13	-	R\$ 4.413.395,80	44	R\$ 60.869,13	-	R\$ 6.239.469,65
15		R\$ 60.869,13	-	R\$ 4.474.264,92	45	R\$ 60.869,13	-	R\$ 6.300.338,77
16		R\$ 60.869,13	-	R\$ 4.535.134,05	46	R\$ 60.869,13	-	R\$ 6.361.207,90
17		R\$ 60.869,13	-	R\$ 4.596.003,18	47	R\$ 60.869,13	-	R\$ 6.422.077,03
18		R\$ 60.869,13	-	R\$ 4.656.872,31	48	R\$ 60.869,13	-	R\$ 6.482.946,16
19		R\$ 60.869,13	-	R\$ 4.717.741,44	49	R\$ 60.869,13	-	R\$ 6.543.815,29
20		R\$ 60.869,13	-	R\$ 4.778.610,57	50	R\$ 60.869,13	-	R\$ 6.604.684,42
21		R\$ 60.869,13	-	R\$ 4.839.479,69	51	R\$ 60.869,13	-	R\$ 6.665.553,54
22		R\$ 60.869,13	-	R\$ 4.900.348,82	52	R\$ 60.869,13	-	R\$ 6.726.422,67
23		R\$ 60.869,13	-	R\$ 4.961.217,95	53	R\$ 60.869,13	-	R\$ 6.787.291,80
24		R\$ 60.869,13	-	R\$ 5.022.087,08	54	R\$ 60.869,13	-	R\$ 6.848.160,93
25		R\$ 60.869,13	-	R\$ 5.082.956,21	55	R\$ 60.869,13	-	R\$ 6.909.030,06
26		R\$ 60.869,13	-	R\$ 5.143.825,34	56	R\$ 60.869,13	-	R\$ 6.969.899,19
27		R\$ 60.869,13	-	R\$ 5.204.694,46	57	R\$ 60.869,13	-	R\$ 7.030.768,31
28		R\$ 60.869,13	-	R\$ 5.265.563,59	58	R\$ 60.869,13	-	R\$ 7.091.637,44
29		R\$ 60.869,13	-	R\$ 5.326.432,72	59	R\$ 60.869,13	-	R\$ 7.152.506,57
30		R\$ 60.869,13	-	R\$ 5.387.301,85	60	R\$ 60.869,13	-	R\$ 7.213.375,70

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Investimento total no período de 5 anos = R\$ 7.213.375,70.

4.4.1.3 Lâmpadas de indução de 200 W

Tabela 11 – Indução 200 W (Investimento total no período de 5 anos)

Indução 200W JK GC18d-200E								
Sem custo de manutenção no período analisado								
Período (Meses)	Investimento Inicial	Energia	Manutenção	Total	Período (Meses)	Energia	Manutenção	Total
1	R\$ 2.860.704,00	R\$ 65.383,72	-	R\$ 2.926.087,72	31	R\$ 65.383,72	-	R\$ 4.887.599,27
2		R\$ 65.383,72	-	R\$ 2.991.471,44	32	R\$ 65.383,72	-	R\$ 4.952.982,99
3		R\$ 65.383,72	-	R\$ 3.056.855,16	33	R\$ 65.383,72	-	R\$ 5.018.366,71
4		R\$ 65.383,72	-	R\$ 3.122.238,87	34	R\$ 65.383,72	-	R\$ 5.083.750,43
5		R\$ 65.383,72	-	R\$ 3.187.622,59	35	R\$ 65.383,72	-	R\$ 5.149.134,14
6		R\$ 65.383,72	-	R\$ 3.253.006,31	36	R\$ 65.383,72	-	R\$ 5.214.517,86
7		R\$ 65.383,72	-	R\$ 3.318.390,03	37	R\$ 65.383,72	-	R\$ 5.279.901,58
8		R\$ 65.383,72	-	R\$ 3.383.773,75	38	R\$ 65.383,72	-	R\$ 5.345.285,30
9		R\$ 65.383,72	-	R\$ 3.449.157,47	39	R\$ 65.383,72	-	R\$ 5.410.669,02
10		R\$ 65.383,72	-	R\$ 3.514.541,18	40	R\$ 65.383,72	-	R\$ 5.476.052,74
11		R\$ 65.383,72	-	R\$ 3.579.924,90	41	R\$ 65.383,72	-	R\$ 5.541.436,45
12		R\$ 65.383,72	-	R\$ 3.645.308,62	42	R\$ 65.383,72	-	R\$ 5.606.820,17
13		R\$ 65.383,72	-	R\$ 3.710.692,34	43	R\$ 65.383,72	-	R\$ 5.672.203,89
14		R\$ 65.383,72	-	R\$ 3.776.076,06	44	R\$ 65.383,72	-	R\$ 5.737.587,61
15		R\$ 65.383,72	-	R\$ 3.841.459,78	45	R\$ 65.383,72	-	R\$ 5.802.971,33
16		R\$ 65.383,72	-	R\$ 3.906.843,49	46	R\$ 65.383,72	-	R\$ 5.868.355,05
17		R\$ 65.383,72	-	R\$ 3.972.227,21	47	R\$ 65.383,72	-	R\$ 5.933.738,76
18		R\$ 65.383,72	-	R\$ 4.037.610,93	48	R\$ 65.383,72	-	R\$ 5.999.122,48
19		R\$ 65.383,72	-	R\$ 4.102.994,65	49	R\$ 65.383,72	-	R\$ 6.064.506,20
20		R\$ 65.383,72	-	R\$ 4.168.378,37	50	R\$ 65.383,72	-	R\$ 6.129.889,92
21		R\$ 65.383,72	-	R\$ 4.233.762,09	51	R\$ 65.383,72	-	R\$ 6.195.273,64
22		R\$ 65.383,72	-	R\$ 4.299.145,80	52	R\$ 65.383,72	-	R\$ 6.260.657,36
23		R\$ 65.383,72	-	R\$ 4.364.529,52	53	R\$ 65.383,72	-	R\$ 6.326.041,08
24		R\$ 65.383,72	-	R\$ 4.429.913,24	54	R\$ 65.383,72	-	R\$ 6.391.424,79
25		R\$ 65.383,72	-	R\$ 4.495.296,96	55	R\$ 65.383,72	-	R\$ 6.456.808,51
26		R\$ 65.383,72	-	R\$ 4.560.680,68	56	R\$ 65.383,72	-	R\$ 6.522.192,23
27		R\$ 65.383,72	-	R\$ 4.626.064,40	57	R\$ 65.383,72	-	R\$ 6.587.575,95
28		R\$ 65.383,72	-	R\$ 4.691.448,12	58	R\$ 65.383,72	-	R\$ 6.652.959,67
29		R\$ 65.383,72	-	R\$ 4.756.831,83	59	R\$ 65.383,72	-	R\$ 6.718.343,39
30		R\$ 65.383,72	-	R\$ 4.822.215,55	60	R\$ 65.383,72	-	R\$ 6.783.727,10

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Investimento total no período de 5 anos = R\$ 6.783.727,10.

4.4.1.4 Opção 03 – lâmpadas fluorescentes

Tabela 12 – Fluorescentes (Investimento total no período de 5 anos)

Philips TPS550 6x54W WB PC								
Período (Meses)	Investimento Inicial	Energia	Manutenção	Total	Período (Meses)	Energia	Manutenção	Total
1	R\$ 1.533.810,00	R\$ 64.257,54	-	R\$ 1.598.067,54	31	R\$ 64.257,54	-	R\$ 3.953.145,00
2		R\$ 64.257,54	-	R\$ 1.662.325,08	32	R\$ 64.257,54	-	R\$ 4.017.402,54
3		R\$ 64.257,54	-	R\$ 1.726.582,63	33	R\$ 64.257,54	-	R\$ 4.081.660,08
4		R\$ 64.257,54	-	R\$ 1.790.840,17	34	R\$ 64.257,54	-	R\$ 4.145.917,63
5		R\$ 64.257,54	-	R\$ 1.855.097,71	35	R\$ 64.257,54	-	R\$ 4.210.175,17
6		R\$ 64.257,54	-	R\$ 1.919.355,25	36	R\$ 64.257,54	-	R\$ 4.274.432,71
7		R\$ 64.257,54	-	R\$ 1.983.612,79	37	R\$ 64.257,54	-	R\$ 4.338.690,25
8		R\$ 64.257,54	-	R\$ 2.047.870,34	38	R\$ 64.257,54	-	R\$ 4.402.947,79
9		R\$ 64.257,54	-	R\$ 2.112.127,88	39	R\$ 64.257,54	-	R\$ 4.467.205,33
10		R\$ 64.257,54	-	R\$ 2.176.385,42	40	R\$ 64.257,54	-	R\$ 4.531.462,88
11		R\$ 64.257,54	-	R\$ 2.240.642,96	41	R\$ 64.257,54	-	R\$ 4.595.720,42
12		R\$ 64.257,54	-	R\$ 2.304.900,50	42	R\$ 64.257,54	-	R\$ 4.659.977,96
13		R\$ 64.257,54	-	R\$ 2.369.158,04	43	R\$ 64.257,54	-	R\$ 4.724.235,50
14		R\$ 64.257,54	-	R\$ 2.433.415,59	44	R\$ 64.257,54	-	R\$ 4.788.493,04
15		R\$ 64.257,54	-	R\$ 2.497.673,13	45	R\$ 64.257,54	-	R\$ 4.852.750,59
16		R\$ 64.257,54	-	R\$ 2.561.930,67	46	R\$ 64.257,54	-	R\$ 4.917.008,13
17		R\$ 64.257,54	-	R\$ 2.626.188,21	47	R\$ 64.257,54	-	R\$ 4.981.265,67
18		R\$ 64.257,54	-	R\$ 2.690.445,75	48	R\$ 64.257,54	R\$ 427.351,20	R\$ 5.472.874,41
19		R\$ 64.257,54	-	R\$ 2.754.703,30	49	R\$ 64.257,54	-	R\$ 5.537.131,95
20		R\$ 64.257,54	-	R\$ 2.818.960,84	50	R\$ 64.257,54	-	R\$ 5.601.389,50
21		R\$ 64.257,54	-	R\$ 2.883.218,38	51	R\$ 64.257,54	-	R\$ 5.665.647,04
22		R\$ 64.257,54	-	R\$ 2.947.475,92	52	R\$ 64.257,54	-	R\$ 5.729.904,58
23		R\$ 64.257,54	-	R\$ 3.011.733,46	53	R\$ 64.257,54	-	R\$ 5.794.162,12
24		R\$ 64.257,54	R\$ 427.351,20	R\$ 3.503.342,21	54	R\$ 64.257,54	-	R\$ 5.858.419,66
25		R\$ 64.257,54	-	R\$ 3.567.599,75	55	R\$ 64.257,54	-	R\$ 5.922.677,21
26		R\$ 64.257,54	-	R\$ 3.631.857,29	56	R\$ 64.257,54	-	R\$ 5.986.934,75
27		R\$ 64.257,54	-	R\$ 3.696.114,83	57	R\$ 64.257,54	-	R\$ 6.051.192,29
28		R\$ 64.257,54	-	R\$ 3.760.372,37	58	R\$ 64.257,54	-	R\$ 6.115.449,83
29		R\$ 64.257,54	-	R\$ 3.824.629,92	59	R\$ 64.257,54	-	R\$ 6.179.707,37
30		R\$ 64.257,54	-	R\$ 3.888.887,46	60	R\$ 64.257,54	-	R\$ 6.243.964,92

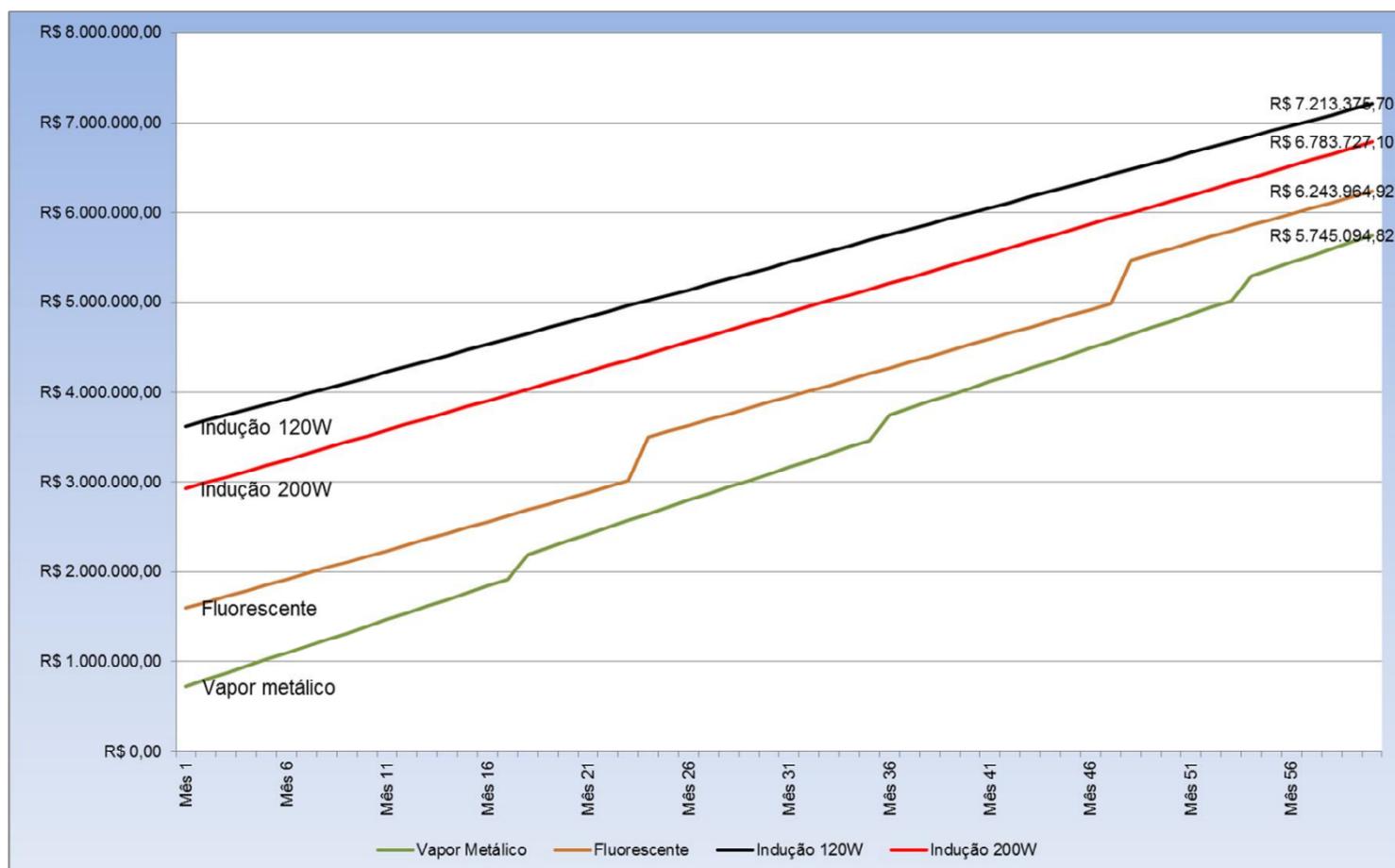
Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Investimento total no período de 5 anos = R\$ 6.243.964,92.

4.4.2 Gráficos demonstrativos dos cálculos dos sistemas analisados

Na figura 38 são demonstrados em gráfico os valores de investimento total para aquisição, manutenção e consumo de energia dos sistemas analisados, no período de cinco anos. Neste gráfico é possível visualizar a evolução dos valores dentro deste período, sendo possível também identificar que apenas as lâmpadas de vapor metálico e fluorescentes terão custos com manutenção, que justificam os incrementos de valores, diferentemente das lâmpadas de indução, que não agregam estes custos.

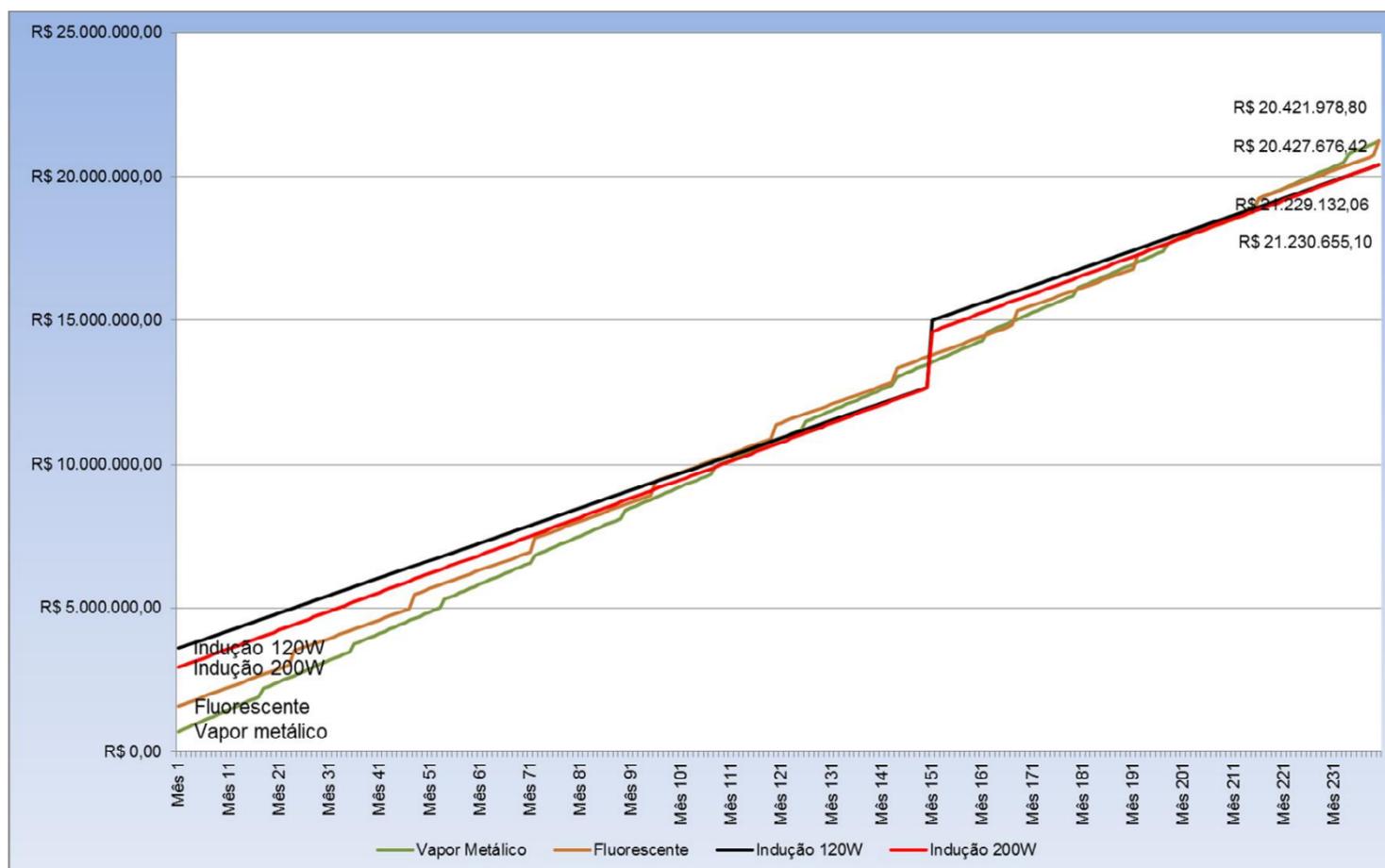
Figura 38 – Gráfico Investimentos totais em 5 anos



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Na figura 39 são explanados em gráfico os valores de investimento total para aquisição, manutenção e consumo de energia dos sistemas analisados, no período de vinte anos. Neste gráfico é possível visualizar a evolução dos valores dentro deste período, sendo possível também identificar que todas as lâmpadas terão custos com manutenção, que justificam os incrementos de valores, não apresentando nenhum valor linear, diferentemente da Figura 38.

Figura 39 – Gráfico Investimentos totais em 20 anos



Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Analisando os resultados obtidos, pode-se observar que a utilização de lâmpadas de indução de 120 W demanda que 4692 luminárias com uma lâmpada desse tipo sejam instaladas na área considerada nas análises, ou 3024 luminárias com lâmpadas de indução de 200 W, ou ainda 1763 luminárias com 6 lâmpadas fluorescentes de 54W cada, enquanto que, para proporcionar o mesmo nível de iluminação médio de 500 Lux, são necessárias 1722 luminárias com lâmpadas de vapor metálico de 400 W.

Considerando um regime de utilização diário do sistema de iluminação de 18 horas, um ciclo mensal de 22 dias, e ainda a tarifa de energia elétrica de R\$ 0,26 / kWh, pôde-se calcular o custo de energia mensal de ambas as opções. De acordo com a análise das tabelas 9, 10, 11 e 12, é possível verificar que o custo de energia mensal do sistema utilizando lâmpadas de vapor metálico é 12,2%, maior quando comparado as lâmpadas de indução de 120 W, 13,7% quando comparado as lâmpadas de indução de 200 W, e 18,2% quando comparado as lâmpadas fluorescentes.

Nas tabelas 9, 10, 11 e 12, pode-se verificar também que os custos iniciais para implantação dos sistemas são muito diferentes, variando entre R\$ 652.638,00 (vapor metálico) e R\$ 3.561.228,00 (indução 120 W). Nas tabelas podem-se verificar ainda os custos de manutenção, que correspondem à troca das lâmpadas e reatores de cada sistema, onde, para fins de cálculo, foi considerada a vida média em horas de cada sistema, conforme consta na tabela 8.

Analisando todos os dados levantados, é possível concluir que neste momento não é viável a substituição do sistema de iluminação atual de lâmpadas de vapor metálico por lâmpadas de indução ou fluorescentes, por seus custos ainda serem muito superiores, inviabilizando então a substituição. Esta conclusão leva em consideração ambos os cenários apresentados, que são de 5 e 20 anos.

No cenário de 5 anos, pode-se verificar que a diferença do valor de investimento total no período é bastante considerável, conforme pode ser verificado na Figura 38, o que inviabiliza a substituição do sistema de vapor metálico.

No cenário de 20 anos, pode-se verificar que os custos de lâmpadas de indução são inferiores, o que ocorre devido aos custos de manutenção, porém, não são suficientes para justificar a substituição do sistema, já que ao final deste período a diferença dos valores de investimento total, no melhor caso, comparando ao vapor metálico com indução de 120 W, é inferior a 4%.

Foram realizadas ainda simulações para um período maior do que vinte anos, apenas a título de informação, já que não é objetivo deste trabalho analisar um período tão longo, e verificou-se que a partir do 25º ano a implantação do sistema de iluminação de lâmpadas de indução começa a se tornar mais atrativa, pois seus valores de investimento totais começam a se mostrar inferiores aos da lâmpada de vapor metálico e fluorescentes, aumentando gradativamente após este período.

5 CONCLUSÕES

Atualmente o maior desafio das empresas está em definir o processo produtivo que melhor atenda as suas demandas, com equipamentos que tragam o melhor desempenho possível, e, ofereçam um menor custo de manutenção e consumo de energia, otimizando os gastos da empresa e as tornando mais competitivas.

O propósito deste trabalho foi realizar um estudo visando a substituição das lâmpadas de vapor metálico, atualmente utilizadas pela John Deere, unidade de Horizontina, por lâmpadas de indução ou fluorescentes, com a finalidade de reduzir os custos de aquisição, manutenção e consumo de energia.

Primeiramente, iniciou-se o trabalho com uma pesquisa bibliográfica, buscando informações que foram extraídas de livros, artigos e sites dos fabricantes de lâmpadas, e também subsídios sobre os diversos sistemas de iluminação e suas aplicações, bem como, o histórico do surgimento dessas tecnologias.

Em seguida, realizou-se o levantamento das informações referentes ao sistema de iluminação existente na John Deere Unidade de Horizontina, que englobou os projetos, custos de aquisição, manutenção e consumos de energia, bem como as informações sobre as lâmpadas de indução e fluorescentes, que são os sistemas de iluminação propostos para substituição.

Após os levantamentos das informações, foram realizados também os comparativos entre os três sistemas de iluminação, buscando demonstrar todos os custos envolvidos, que serviram como base para tomada de decisão.

A realização desse trabalho foi de grande importância, pois possibilitou um grande aprendizado sobre os conceitos e sistemas de iluminação. Também, foi possível compreender as principais dificuldades encontradas pelas empresas, na escolha do melhor sistema de iluminação, seja, nos investimentos em melhorias, expansões ou novos empreendimentos, e finalmente obter conhecimento sobre a importância que isso tem em termos de custos.

Considera-se, que após análise de todos os dados levantados, foi possível concluir que neste momento não é viável a substituição do sistema de iluminação atual, composto por lâmpadas de vapor metálico, por lâmpadas de indução ou fluorescentes, por seus custos ainda serem muito superiores, inviabilizando então o

objeto deste estudo. A inviabilização da substituição do sistema atual é causada basicamente pelo valor do investimento inicial dos sistemas de indução e fluorescentes, que ainda são muito superiores quando comparado ao sistema de vapor metálico.

Como recomendação para trabalhos futuros, tornar-se-ia importante continuar acompanhando a evolução dos valores destes sistemas de iluminação, que no ponto de vista do autor deste trabalho devem sofrer alteração nos próximos anos e se tornar mais equilibrados, o que por ventura pode viabilizar a sua substituição, levando em conta ainda que as lâmpadas de indução são muito superiores do ponto de vista ambiental, já que oferecem uma maior vida útil, o que reduz a necessidade de descarte e conseqüentemente danos ao meio ambiente. Conclui-se, que seja realizado este tipo de estudo com mais frequência, a fim de acompanhar o mercado e analisar a viabilidade da substituição.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 – Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

COTRIM, A. A. M. B. **Instalações elétricas**. 5.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

CREDER, H. **Instalações elétricas**. 15.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

DIALux. São Paulo: E-CiViL, 2010. Disponível em: <http://www.ecivilnet.com/software/dialux_calculo_de_iluminacao.htm>. Acesso em: 13 Out. 2014.

FERREIRA, R. A. F. **Manual de luminotécnica**. UFJF, 2010. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/ramoieeee/files/2010/08/Manual-Luminotecnica.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2014.

IWASHITA, J. **Lâmpadas de indução magnética: vantagens e desvantagens**. Portal O Setor Elétrico, São Paulo, n. 73, fev. 2012. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/colunistas/juliana-iwashita/807-lampadas-de-inducao-magnetica-vantagens-e-desvantagens.html>>. Acesso em: 13 out. 2014.

KALAHE, N.; MOREIRA, S. G.; OLIVEIRA B. H. D. de; FELIX, S. da S.; PRADO, T. P. do . **Análise Comparativa de Sistemas de Iluminação – Viabilidade Econômica da Aplicação de LED** . Trabalho apresentado no IX EMEPRO - ENCONTRO MINEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Juiz de Fora, 2013. Disponível em: <<http://www.eng-prod.ufms.br/wp-content/uploads/2013/11/EMEPRO-Iluminação.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2014.

LVD. **Lâmpadas de Indução**. Disponível em: <http://www.lvd.cc/pro_1.html>. Acesso em: 07 out. 2014.

NAKAMURA, J. **Entre o claro e o escuro**. PINI Revistas, São Paulo, n. 128, nov. 2004. Disponível em: <<http://au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/128/entre-o-claro-e-o-escuro-23232-1.aspx>>. Acesso em: 10 out. 2014.

PHILIPS. HDK472/473/474. Disponível em: <<http://www.ecat.lighting.philips.com/l/indoor-luminaires/high-bay-and-low-bay/high-bay/hdk472-473-474/61855/cat/>>. Acesso em: 07 out. 2014.

PHILIPS. TPS550 6xTL5-50W/840 HFD MB. Disponível em: <http://www.ecat.lighting.philips.com.br/l/luminarias-interiores/luminarias-suspensas/prolux/919106032511_eu/>. Acesso em: 07 out. 2014.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico** 2.ed. Novo Hamburgo: EDITORA FEEVALE. 2013.

SILVA, M. **Luz, lâmpadas & iluminação**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2004.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman. 2001.