THAIS MAZZIOTTI SALOMÃO

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: PROJETOS LUMINOTÉCNICOS EM PLANTAS INDUSTRIAIS

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia

São Paulo
2010

THAIS MAZZIOTTI SALOMÃO

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: PROJETOS LUMINOTÉCNICOS EM PLANTAS INDUSTRIAIS

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Sistemas de Potência

Orientador:
Prof. Dr. Marco Antonio Saidel

São Paulo
2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Salomão, Thais Mazziotti
Eficiência energética: projeto luminotécnicos em plantas industriais / T.M. Salomão. -- São Paulo, 2010. Edição Revisada. 197p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.Eficiência energética 2.Iluminação industrial (Projeto) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 24 de Setembro de 2010.

_____

Assinatura do autor

_____

Assinatura do autor

DEDICATÓRIA

Aos meus incansáveis pais e irmãos pelo amor e apoio incondicional em todos os momentos difíceis da minha vida, principalmente nos momentos em que pensamos em desistir e ao meu noivo Fabrício por toda paciência e dedicação nestes longos três anos e meio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que me deu força e ajuda em todos os momentos.

Ao professor Marco Antônio Saidel, por acreditar nesta pesquisa, pela orientação e pelo privilégio de suas análises e sugestões durante todo o trabalho.

Ao querido amigo André Gimenes, cuja participação foi absolutamente fundamental, pela enorme generosidade que demonstrou, pelos estímulos e motivação em todos os momentos, pelo conhecimento sempre disponível e pelos incansáveis ensinamentos que proporcionaram a realização deste trabalho.

A Neide por estar sempre alegre e confiante e por todo apoio.

Ao amigo Ricardo Luis Gedra pela contribuição, principalmente pelas conversas sempre muito esclarecedoras.

Aos professores Galvão e Racine pelas importantes sugestões dadas pela participação no exame de qualificação e ao professor Francisco por acreditar em meu potencial .

Aos queridos amigos Seiji Abe e César Novaes por todas as informações sempre disponíveis, pela ajuda no desenvolvimento das fotometrias e por estarem sempre dispostos a ajudar.

Às queridas e inseparáveis amigas de todas as horas Claudia, Andrea e Juliana Torres por estarem presentes, me ouvirem e me estimular em todos os momentos, por suas sábias palavras e grande contribuição na conclusão desta pesquisa.

Ao meu noivo Fabrício pelo incentivo, paciência e compreensão, apoiando-me de forma irrefutável em todo o desenvolvimento deste trabalho, com amor, carinho e tolerância.

Finalmente, pela compreensão da minha ausência em inúmeras ocasiões, aos meus pais Roberto e Guaciara e irmãos Roberto e Tacyana.

"…Aprender que o tempo não é algo que possa voltar. Portanto, plante seu jardim e decore sua alma, em vez de esperar que alguém lhe traga flores. E você aprende que realmente pode suportar... que realmente é forte, e que pode ir muito mais longe depois de pensar que não se pode mais."

Willian Shakespeare

RESUMO

Este trabalho apresenta a criação de uma metodologia de análise de projetos luminotécnicos em indústrias, voltados à eficiência energética com o objetivo de avaliar alternativas para sistemas de iluminação em plantas industriais. Visa orientar a escolha do sistema de iluminação mais eficiente, considerando os aspectos técnicos e econômicos, buscando, entre outros aspectos, simplificar a escolha do sistema mais adequado para cada indústria.

A partir de um levantamento de mercado, foram identificados os equipamentos disponíveis para o projeto luminotécnico em ambientes industriais. Foram adotados tanto sistemas já consolidados e com maior aceitação pelos consumidores industriais, assim como sistemas ainda pouco difundidos por serem recentes e apresentarem altos custos, devido à tecnologia aplicada. São propostos sete sistemas para cada um dos três cenários-padrão de layout fabril escolhidos. Os cenários apresentam diferentes alturas de instalação e distância entre pilares modulados, de maneira que podem se repetir inúmeras vezes.

A adoção da referida metodologia, permite que a análise dos sistemas em cada cenário seja feita a partir da figura de mérito do Custo do Ciclo de Vida Anualizado (CCVA). A avaliação do CCVA de cada sistema é seguida por uma análise de sensibilidade dos parâmetros variáveis envolvidos, sendo eles: taxa de remuneração do capital, tempo de utilização do sistema, custo da energia e custo dos equipamentos.

De posse de todos os resultados obtidos através das simulações e dos cálculos, com relevante representatividade no segmento industrial, podemos inferir que há sistemas mais eficientes economicamente que os já consolidados e que, apesar de apresentarem um investimento inicial mais alto, se comparado aos sistemas comuns, se viabilizam pela alta tecnologia aplicada.

Palavra chave: Eficiência Energética, Sistemas de Iluminação, Projetos Luminotécnicos, Galpões Industriais.

“ABSTRACT”

This work presents the creation of a methodology for industry lighting project analysis focused on energy efficient, which aims to evaluate alternative lighting systems for industrial plants. The idea is to help the selection of more efficient lighting systems balancing technical and economic aspects trying, among others , to simplify the selection of the most suitable system for each industry.

After a market overview it was possible to identify the available equipments for industrial lighting, Consolidated systems with wide acceptance by industrial consumers as well as high tech recent systems barely known due to higher costs were adopted. As a result, 7 different systems are proposed for each one of the three standard scenarios of the chosen manufacturing lay outs. These scenarios present different installation heights and distance between modulated pillars, which may be repeated many times.

The adoption of the proposed methodology allows each scenario system analysis to be done by the figure of merit of the Yearly Life Cycle Costing (YLCC). The evaluation of each system’s YLCC is followed by a sensibility analysis of the involved variables parameters, which are: return on investment (ROI), usage time, energy and equipment costs.

With the results attained through simulations and calculations with relevant representation in the industrial segment we can infer that there are more economically efficient systems than those consolidated by the market and though they require higher investments when compared to the usual systems, they are feasible due to the high technology applied.

Key words: Energetic efficiency, lighting systems, lighting projects, industrial plants.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ENTRE 1999 E 2009 19
FIGURA 2 – DESENHO ILUSTRATIVO DO FLUXO LUMINOSO NOMINAL 35
FIGURA 3 – DESENHO ILUSTRATIVO DA ILUMINÂNCIA 35
FIGURA 4 – DESENHO ILUSTRATIVO DE LUMINÂNCIA 36
FIGURA 5 – PARTICIPAÇÃO NO MERCADO DA ILUMINAÇÃO DO SEGMENTO INDUSTRIAL 49
FIGURA 6 – REFLEXÃO DA LUZ COM A REDUÇÃO DO DIÂMETRO DAS LÂMPADAS 55
FIGURA 7 – FATOR DE PERDAS LUMINOSAS 66
FIGURA 8 – MODELO DA PLANTA UTILIZADA 72
FIGURA 9 – CORTE ESQUEMÁTICO PÉ DIREITO 5, 10 E 15 M 72
FIGURA 10 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA PROPOSTA E SUAS VARIÁVEIS. 76
FIGURA 11 – DESENHO TÉCNICO DA LUMINÁRIA 4012 – SISTEMA A 79
FIGURA 12 – DESENHO TÉCNICO DA LUMINÁRIA 4012 – SISTEMA B 79
FIGURA 13 – DESENHO TÉCNICO DA LUMINÁRIA 4012 – SISTEMA C 80
FIGURA 14 – DESENHO TÉCNICO DA LUMINÁRIA 4031 – SISTEMA D 80
FIGURA 15 – DESENHO TÉCNICO DA LUMINÁRIA 4650 – SISTEMA E 81
FIGURA 16 – DESENHO TÉCNICO DA LUMINÁRIA 4811 – SISTEMA F 82
FIGURA 17 – DESENHO TÉCNICO DA LUMINÁRIA 4050 – SISTEMA G 82
FIGURA 18 – DESENHO TÉCNICO DA LUMINÁRIA 4050 – SISTEMA H 83
FIGURA 19 – DESENHO TÉCNICO DA LUMINÁRIA 4050 – SISTEMA I 83
FIGURA 20 – DESENHO TÉCNICO DA LUMINÁRIA IE130 R90 – SISTEMA J 84
FIGURA 21 – GRÁFICO DO CCVA DOS SISTEMAS NO CASO DE REFERÊNCIA 95
FIGURA 22 – CENÁRIO 1.1 – VARIÁVEL 1 – JUROS - COM SISTEMA J 100
FIGURA 23 - CENÁRIO 1.1 – VARIÁVEL 1 – JUROS - SEM SISTEMA J 100
FIGURA 24 – CENÁRIO 2.1 – VARIÁVEL 1 – JUROS - COM SISTEMA J 101
FIGURA 25 – CENÁRIO 2.1 – VARIÁVEL 1 – JUROS - SEM SISTEMA J 101
FIGURA 26 – CENÁRIO 3.1 – VARIÁVEL 1 – JUROS - COM SISTEMA J 101
FIGURA 27 – CENÁRIO 3.1 – VARIÁVEL 1 – JUROS - SEM SISTEMA J 102
FIGURA 28 – MÉDIA DO CCVA DO SISTEMA J E DEMAIS SISTEMAS 104
FIGURA 29 – MÉDIA DA PARTICIPAÇÃO ENERGIA X EQUIPAMENTOS - VARIÁVEL 2 (TODOS OS SISTEMAS EXCETO J) 105
FIGURA 30 – MÉDIA DA PARTICIPAÇÃO ENERGIA X EQUIPAMENTOS - VARIÁVEL 2 (SISTEMA J) 105
FIGURA 31 - VARIÁVEL 3, CENÁRIO 1 - SEM SISTEMA J 109
FIGURA 32 –VARIÁVEL 3, CENÁRIO 2 - SEM SISTEMA J 109

FIGURA 33 –VARIÁVEL 3, CENÁRIO 3 - SEM SISTEMA J.....109
FIGURA 34 – REPRESENTAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA X CCVA EQUIPAMENTOS – SISTEMA J 111
FIGURA 35 – MÉDIA CCVA POR SISTEMA E POR VARIÁVEL 114
FIGURA 36 – POTÊNCIA TOTAL INSTALADA DOS SISTEMAS.....115
FIGURA 37 – CONSUMO TOTAL DOS SISTEMAS.....115
FIGURA 38 – MÉDIA DO CCVA DO SISTEMA J E DEMAIS SISTEMAS (SEM SISTEMA J) 116
FIGURA 39 – DETALHE TÉCNICO SISTEMA A. 127
FIGURA 40 – DETALHE TÉCNICO SISTEMA B. 128
FIGURA 41 – DETALHE TÉCNICO SISTEMA C. 129
FIGURA 42 – DETALHE TÉCNICO SISTEMA D. 130
FIGURA 43 – DETALHE TÉCNICO SISTEMA E. 131
FIGURA 44 – DETALHE TÉCNICO SISTEMA F.....132
FIGURA 45 – DETALHE TÉCNICO SISTEMA G. 133
FIGURA 46 – DETALHE TÉCNICO SISTEMA H. 134
FIGURA 47 – DETALHE TÉCNICO SISTEMA I. 135
FIGURA 48 – DETALHE TÉCNICO SISTEMA J. 136
FIGURA 49 – DADOS TÉCNICOS LÂMPADA 28W 137
FIGURA 50 – DADOS TÉCNICOS LÂMPADA 54W 137
FIGURA 51 – DADOS TÉCNICOS LÂMPADA 58W XXT.....138
FIGURA 52 – DADOS TÉCNICOS LÂMPADA 110W 138
FIGURA 53 – VIDA MEDIANA DAS LÂMPADAS E REATORES ELETRÔNICOS.....139
FIGURA 54 – DADOS TÉCNICOS LÂMPADA 400W 139
FIGURA 55 – DADOS TÉCNICOS REATOR 1X54W 140
FIGURA 56 – DADOS TÉCNICOS REATOR 2X54W 140
FIGURA 57 – DADOS TÉCNICOS REATOR 2X28W 141
FIGURA 58 – DADOS TÉCNICOS REATOR 2X58W 141
FIGURA 59 – DADOS TÉCNICOS REATOR 2X110W 141
FIGURA 60 – DADOS TÉCNICOS REATOR 1X400W 142

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – EVOLUÇÃO DO CRESCIMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ENTRE 1999 E 2009 19
TABELA 2 – ILUMINÂNCIAS POR CLASSE DE TAREFAS VISUAIS 43
TABELA 3 – FATORES DETERMINANTES DA ILUMINAÇÃO ADEQUADA 44
TABELA 4 – GÊNEROS INDUSTRIAIS CONTIDOS NA NBR 5413 44
TABELA 5 – CATEGORIAS DE LUMINÁRIAS INDUSTRIAIS 50
TABELA 6 - TIPOS DE LÂMPADAS 54
TABELA 7 – TABELA DE FATOR DE UTILIZAÇÃO 64
TABELA 8 - VARIANTES FUNDAMENTAIS NO ESTUDO DAS CATEGORIAS DE INVESTIMENTOS EM ATIVOS PERMANENTES DEPRECIÁVEIS. 68
TABELA 9 – DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS CENÁRIOS 73
TABELA 10 – CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS PROPOSTOS 74
TABELA 11 – SISTEMAS PROPOSTOS POR CENÁRIO 74
TABELA 12 – RESULTADO DOS SISTEMAS NO CENÁRIO 1 91
TABELA 13- RESULTADO DOS SISTEMAS NO CENÁRIO 2 92
TABELA 14- RESULTADO DOS SISTEMAS NO CENÁRIO 3 93
TABELA 15 – CCVA DO CASO DE REFERÊNCIA 96
TABELA 16 – NOMENCLATURA DOS CENÁRIOS 97
TABELA 17 - VARIÁVEL 1 – TAXA DE JUROS 98
TABELA 18 – RESULTADO VARIÁVEL 1 - JUROS 99
TABELA 19 – VARIÁVEL 2 – TEMPO DE UTILIZAÇÃO 103
TABELA 20 – RESULTADO VARIÁVEL 2 - TEMPO DE UTILIZAÇÃO 104
TABELA 21 – VARIÁVEL 3 – CUSTO DOS EQUIPAMENTOS 106
TABELA 22 – RESULTADO VARIÁVEL 3 - CUSTO DOS EQUIPAMENTOS 108
TABELA 23 – VARIÁVEL 4 – CUSTO DA ENERGIA 110
TABELA 24 – RESULTADO VARIÁVEL 4 – CUSTO ENERGIA 111
TABELA 25 – POTÊNCIA E CONSUMO DOS SISTEMAS 115
TABELA 26 – CENÁRIO 1,2 E 3 – VARIÁVEL 01- JUROS 8% 143
TABELA 27 – CENÁRIO 1,2 E 3 – VARIÁVEL 01- JUROS 10% 144
TABELA 28 – CENÁRIO 1,2 E 3 – VARIÁVEL 01- JUROS 12% 145
TABELA 29 – CENÁRIO 1,2 E 3 – VARIÁVEL 01- JUROS 14% 146
TABELA 30 – CENÁRIO 1,2 E 3 – VARIÁVEL 2 – TEMPO DE UTILIZAÇÃO 6.000H/ANO 147
TABELA 31 – CENÁRIO 1,2 E 3 – VARIÁVEL 2 – TEMPO DE UTILIZAÇÃO 4.500H/ANO 148

TABELA 32 – CENÁRIO 1,2 E 3 – VARIÁVEL 2 – TEMPO DE UTILIZAÇÃO 2.250H/ANO 149
TABELA 33 – CENÁRIO 1,2 E 3 – VARIÁVEL 3 – CUSTO DOS EQUIPAMENTOS - ATUAL 150
TABELA 34 – CENÁRIO 1,2 E 3 – VARIÁVEL 3 – CUSTO DOS EQUIPAMENTOS – MAJORADO 10% 151
TABELA 35 – CENÁRIO 1,2 E 3 – VARIÁVEL 3 – CUSTO DOS EQUIPAMENTOS – MAJORADO 20% 152
TABELA 36 – CENÁRIO 1,2 E 3 – VARIÁVEL 4 – CUSTO ENERGIA – REFERÊNCIA 153
TABELA 37 – CENÁRIO 1,2 E 3 – VARIÁVEL 4 – CUSTO ENERGIA – REDUÇÃO 10% 154
TABELA 38 – CENÁRIO 1,2 E 3 – VARIÁVEL 4 – CUSTO ENERGIA – MAJORADO 10%.....155
TABELA 39 – CENÁRIO 1,2 E 3 – VARIÁVEL 4 – CUSTO ENERGIA – MAJORADO 20%.....156

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANSI	American National Standards Institute
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers
CCVA	Custo do ciclo de vida anualizado
CIE	Commission Internationale de L'Eclairage
DHT	Distorção Harmônica Total
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IEE	Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo
IESNA	Illuminating Engineering Society of North America
GEPEA	Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
NR	Normas regulamentadoras
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SEADE	Sistema Estadual de Análise de Dados
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
UCIEE	União Certificadora
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

L: Luminância (cd/ m2)

I: Intensidade luminosa (cd)

lum Φ : Fluxo luminoso nominal nominal total da luminária (lm)

E: Iluminância (lux ou lm/m2)

A: Área projetada (m2)

α: Ângulo considerado em graus (plano)

ψ: Ângulo horizontal do sistema de coordenadas polares da luminária

θ: Ângulo vertical do sistema de coordenadas polares da luminária

I (θ,ψ): intensidade luminosa na direção (θ,ψ)

R lum : Rendimento da luminária (%)

Plum: Potência útil total de uma luminária (W)

FU: Fator de utilização

FDL: Fator de depreciação luminosa

n: Número de luminárias

FFL: Fator de fluxo luminoso nominal

FER: Fator de eficácia do reator

IEL: Indicador de eficiência da luminária

Φ *lamp* : Fluxo luminoso nominal nominal da lâmpada ensaiada (lm)

Φ *padrão* : Fluxo luminoso nominal nominal da lâmpada padrão (lm)

d: distância da fonte luminosa ao fotômetro do luxímetro (m)

U_o: Uniformidade global

U_l: Uniformidade longitudinal

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS **11**

LISTA DE TABELAS **13**

LISTA DE ABREVIATURAS **15**

LISTA DE SÍMBOLOS **16**

SUMÁRIO **17**

1. INTRODUÇÃO 19
   1.1. Eficiência energética no setor industrial 21
   1.2. Motivação e objetivos 25
   1.3. Estrutura do trabalho 26
2. REVISÃO DA LITERATURA 28
   2.1. Qualidade da iluminação e bem estar dos funcionários 32
3. CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO RELEVANTES PARA PROJETOS LUMINOTÉCNICOS INDUSTRIAIS 34
   3.1. Conceitos básicos 34
   3.2. Legislações relativas aos sistemas de iluminação pertinentes ao segmento industrial. 40
      3.2.1. Norma Brasileira Regulamentadora NBR 5413 – Iluminância de Interiores 41
      3.2.2. Ministério do trabalho 45
   3.3. Eficiência Energética em sistemas de iluminação industrial 47
   3.4. Tipos de luminárias utilizadas em projetos industriais. 49
      3.4.1. Dados fotométricos 53
   3.5. Tipos de lâmpadas utilizadas em projetos industriais. 53
   3.6. Tipos de equipamentos 60
   3.7. O projeto luminotécnico 63
4. METODOLOGIA 67
   4.1. Metodologia para definição dos cenários 69
   4.2. O projeto modelo 71
      4.2.1. Definição dos cenários 71
   4.3. Estrutura do modelo proposto e suas variáveis 75
      4.3.1. Características dos sistemas selecionados 77
         4.3.1.1. Sistema A 78

4.3.1.2. Sistema B 79
4.3.1.3. Sistema C 79
4.3.1.4. Sistema D 80
4.3.1.5. Sistema E 81
4.3.1.6. Sistema F 81
4.3.1.7. Sistema G 82
4.3.1.8. Sistema H 82
4.3.1.9. Sistema I 83
4.3.1.1. Sistema J 84
4.4. Simulação computacional do modelo proposto 84
4.5. Critérios da análise de viabilidade econômica 85
4.5.1. Parâmetros fixos 85
4.5.2. CCVA – Custo do ciclo de vida anualizado 85
4.5.3. Análise de sensibilidade 87
4.5.3.1. Parâmetros variáveis 88
5. VIABILIDADE DOS CENÁRIOS 90
5.1. Análise técnica - cálculos luminotécnicos do projeto sugerido 90
5.2. Análise econômica e resultados encontrados 94
5.3. Análise de sensibilidade e resultados encontrados 97
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 113
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA 120
ANEXOS 126
ANEXO I – DETALHES TÉCNICOS DAS LUMINÁRIAS PROSPOTAS 127
ANEXO II – DETALHES TÉCNICOS DAS LÂMPADAS PROPOSTAS 137
ANEXO III – DETALHES TÉCNICOS DOS REATORES PROPOSTOS 140
ANEXO IV – DETALHAMENTO DE CÁLCULO DAS VARIÁVEIS 143
ANEXO V – CÁLCULO LUMINOTÉCNICO – DIALUX 157

1. INTRODUÇÃO

As indústrias respondem por aproximadamente metade da energia elétrica consumida no país (PROCEL, 2008). O consumo de energia elétrica no setor industrial representa 45,3% do consumo total de energia elétrica no Brasil, este consumo tem apresentado um crescimento contínuo entre os anos de 2002 a 2008, Figura 1, devendo dobrar em 30 anos, mesmo com a queda apresentada em 2009 (PNE2030). A iluminação é responsável por 5,8% do consumo de energia elétrica neste uso final, no setor industrial. (KOVALESKI et al., 2004).

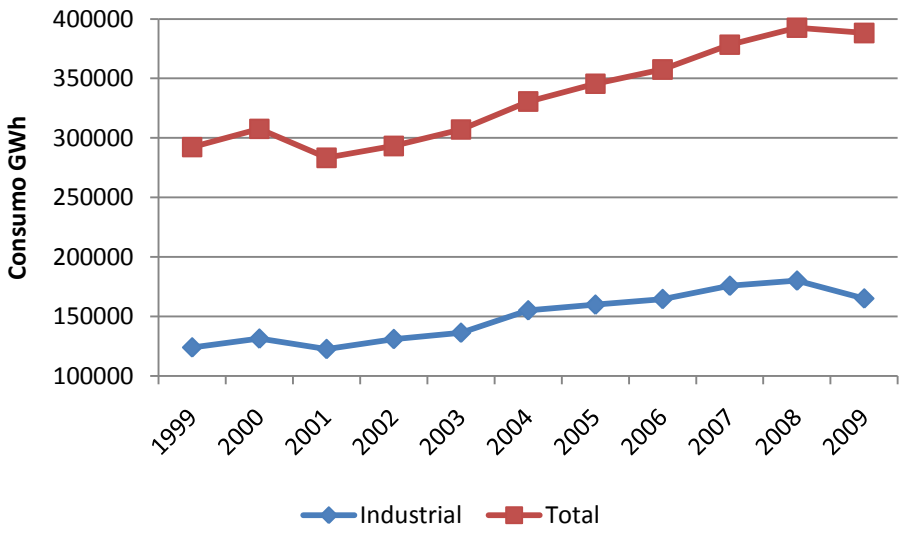


Figura 1 – Consumo de energia elétrica entre 1999 e 2009

Fonte: EPE – Boletim de estatística mensal de energia elétrica 2010

Tabela 1 – Evolução do crescimento do consumo de energia elétrica entre 1999 e 2009

CRESCIMENTO %	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Industrial	1,6	6	-6,7	6,8	4	13,8	3,1	3	6,8	2,5	-8
Total	2,7	5,3	-7,9	3,5	4,7	7,7	4,5	3,5	5,8	3,8	-1,1

Fonte: EPE – Boletim de estatística mensal de energia elétrica 2010

Alguns estudos apontam a existência de espaços para avanços em eficiência energética, pois ainda há indústrias que apresentam equipamentos e processos obsoletos. (RAMOS, 2009).

Este trabalho consiste no desenvolvimento de modelos de projetos eficientes de iluminação para plantas industriais, agrupando a estes, novas tecnologias de lâmpadas, luminárias e equipamentos, considerando o custo do sistema durante toda a sua vida útil.

As novas tecnologias residem na utilização de luminárias com conjunto óptico eficiente, apresentando melhor desempenho e altos índices de aproveitamento desse conjunto, lâmpadas com maior fluxo luminoso nominal, menor consumo de energia, incremento da vida útil, melhor índice de reprodução de cor e por fim reatores com alto fator de potência e baixo índice de distorção harmônica.

Tal abordagem torna-se ainda mais importante, pois recentemente estudo do PROCEL (2008) aponta que os sistemas de iluminação atualmente instalados nas indústrias possuem, em 25,1% dos casos, entre 11 a 20 anos de instalação e apenas 13,9% apresentam menos de cinco anos. Apesar da iluminação, normalmente, não ser o foco de projetos de eficiência energética no setor industrial, ela é significativa e, por vezes, expressiva no consumo final de energia elétrica, principalmente em indústrias com linhas de produção baseadas em trabalhos manuais, que não podem ser substituídos por máquinas, conforme visto através de experiência de campo do autor, na elaboração de projetos de eficiência.

Tendo em vista esses dados, esta pesquisa busca alternativas eficientes de sistemas de iluminação tecnologicamente mais avançados, visando à redução do consumo de energia, a redução dos desperdícios e ainda a melhoria da qualidade da luz e do sistema.

Tão importante quanto à utilização de projetos adequados para o segmento industrial são as mudanças dos hábitos dos usuários, tornando a utilização dos sistemas mais eficientes, reduzindo o desperdício e o consumo, como por exemplo, o desligamento do sistema de iluminação em horários de não funcionamento como períodos de almoço, ou ainda a utilização de dispositivos de acendimento por sensores em áreas comuns com pouco uso.

1.1. Eficiência energética no setor industrial

O conceito básico de eficiência energética é a realização da mesma tarefa, utilizando menos energia, mantendo o mesmo resultado final, ou também, manter o mesmo consumo de energia e melhorar o resultado final, aumentando assim o rendimento da tarefa, portanto, as medidas de uso racional de energia buscam a redução das perdas e desperdícios, sem afetar a qualidade dos serviços energéticos, e sem necessariamente haver a redução dos usos finais. (TOLMASQUIM, 1998).

A eficiência energética transita entre dois conceitos, o técnico e o comportamental, onde:

1. O técnico é a substituição de equipamentos "obsoletos" por equipamentos mais eficientes para executar a mesma tarefa.

2. O comportamental é o uso racional da energia já disponibilizada, com mudança de hábitos dos usuários e padrões, incluindo nestes os padrões comportamentais da organização, como melhoria de processos logísticos, por exemplo.

Entretanto, o mercado de eletricidade brasileiro, até recentemente não considerava normas e leis que garantissem a utilização de tecnologias eficientes e, com o passar dos anos, (em meados da década de setenta até os anos 90) houve períodos de restrição financeira e várias crises de energia, entre elas a crise do petróleo, que desencadeou a introdução de esforços governamentais e incentivos para a substituição do petróleo por outras fontes de energia, principalmente na consolidação do mercado brasileiro de energia elétrica (JANNUZZI, 2001).

Os programas nacionais de conservação de energia elétrica (PROCEL) e de derivados de petróleo (CONPET) surgiram em meados da década de 80. A Lei 9.991 de 24 de Julho de 2000, que dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, apresenta como objetivo principal aplicar anualmente 1% de sua receita operacional líquida em projetos de pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico (0,5%) e em programas de eficiência energética na oferta e no uso final da energia (0,5%).

Após anos em tramitação a Lei 10.925, também conhecida com Lei da Eficiência Energética, foi promulgada em 2001, estabelecendo níveis máximos de consumo específico de energia ou mínimos de eficiência energética, para máquinas e aparelhos consumidores de energia. (JANNUZZI, 2001).

Com a privatização de empresas do setor elétrico, desencadeou-se um caráter mais competitivo neste segmento, onde o principal objetivo é vender energia elétrica, não havendo, de maneira geral, interesse em buscar a redução do consumo em seus clientes. As atividades de P&D, focadas na busca de soluções para redução das perdas e do consumo além do desenvolvimento científico e tecnológico, não chamam a atenção das empresas privadas, por apresentarem alto investimento e um retorno financeiro de longo prazo. (JANNUZZI, 2000).

Nos últimos anos o mercado brasileiro apresentou um aumento do consumo do uso de eletricidade. Nos anos que antecederam 2001, os níveis das capacidades de armazenamento das represas se apresentavam abaixo de 30% do total, contíguo à eminência da secagem completa dos reservatórios, foi implementado em 1° de Junho de 2001 a Março de 2002 o período de racionamento de energia (ARAÚJO, 2009).

Passado o período do racionamento, o consumo interno de energia no Brasil cresceu 5,7% no biênio 2006 a 2007, passando de 390 TWh para 412,1 TWh, a oferta interna de energia cresceu 5,5%, o aumento do consumo de energia elétrica no setor industrial foi de 5% no mesmo período. Houve também, na mesma época, um aumento no PIB de 5,4%, chegando em 1.313,9 x 10^9 US$ em 2007 e um aumento na população brasileira da ordem de 1,4% (BEN2008). Estas informações mostram que o consumo de energia elétrica no Brasil foi, em média, de três a quatro vezes maior que o aumento da população no mesmo período. Pode-se considerar o setor industrial como o grande responsável por este aumento, pois como mencionado anteriormente, esse setor representa quase a metade de todo o consumo de energia elétrica no Brasil (PROCEL, 2008), além de demonstrar um crescimento contínuo no consumo de energia elétrica ao longo dos últimos anos (EPE, 2009).

Verifica-se, entretanto, que esse setor apresenta amplas oportunidades de desenvolvimento de projetos ligados à eficiência energética, segundo o Plano Nacional de Energia (PNE 2030, 2007), a projeção feita até 2030 é de que a eletricidade

conservada, em todos os usos finais, pode variar entre 2,4% a 4,5% do consumo total de energia elétrica no Brasil, sendo o segmento químico e siderúrgico aqueles que apresentam maior potencial de conservação.

Para atingir tais números, os projetos de eficiência energética serão de grande importância e os mesmos devem considerar como fator relevante as instalações prediais e industriais uma vez que estas apresentam um significativo potencial para economia de energia. A especificação de projetos com a utilização de sistemas mais eficientes e modernos em detrimento dos sistemas ineficientes e obsoletos, por exemplo, trará uma grande contribuição para o processo de economia de energia. Hoje é comum encontrar projetos que não levam em consideração a eficiência do conjunto luminária, lâmpada e reator, utilizando equipamentos ineficientes ou até lâmpadas com baixa eficácia luminosa. Tais características possuem causas conhecidas, uma vez que não são levados em consideração os levantamentos técnico-econômicos das soluções propostas. Um exemplo desta afirmação é que sistemas com maior tecnologia agregada, de maneira geral, apresentam maior vida útil, reduzindo os gastos com a manutenção e operação enquanto os sistemas com menores investimentos iniciais apresentam altos custos de manutenção e operação.

Apesar dos benefícios obtidos pelos projetos que visam adotar medidas de eficiência energética, algumas barreiras impedem sua disseminação como, por exemplo, a dificuldade na captação de financiamentos, a falta de informação, conscientização, treinamento, o conhecimento das regras de um contrato de desempenho, altos custos de transação e a falta de confiança nos resultados das medidas, entre outros. Para que estas barreiras sejam mitigadas, há a necessidade de políticas adequadas, inclusive o fortalecimento de agentes promotores como ESCO's (Empresas de Serviços de Eficiência Energética), por exemplo. (PNE 2030).

O foco principal deste trabalho de pesquisa consiste no desenvolvimento de modelos de projetos eficientes de iluminação em plantas industriais uma vez que o consumo de energia desse setor representa 45,3% do consumo total de energia no Brasil e a iluminação representa 5,8% desse consumo, sendo o terceiro maior uso final do setor industrial, ficando atrás somente da força motriz com 68,3% e da eletrotermia com 22,8% (PNE 2030, 2007).

Sendo a iluminação um dos grandes responsáveis pelo consumo de energia elétrica, é importante observar que freqüentemente as ineficiências associadas à utilização dos sistemas se caracterizam a três grupos de causa, sendo:

1. Projetos inadequados: como projetos luminotécnicos superdimensionados, a utilização de lâmpadas ineficientes e a disposição incorreta das luminárias;

2. Operação ineficiente: como a falta de controle individual ou setorizada de acendimento, mantendo áreas acesas desnecessariamente;

3. Manutenção inadequada: acarretando na diminuição dos níveis de iluminância e depreciações excedentes dos equipamentos.

Um projeto bem dimensionado, de maneira geral, deve apresentar redução do consumo de energia em sistemas já existentes ou o menor consumo de energia possível em projetos novos com correção de eventuais falhas no sistema e ajustes nos indicadores que não atendem as normas de iluminação (IWASHITA, 2004).

Segundo o PNE 2030 (2007), algumas medidas podem ser tomadas para a obtenção de maiores níveis de eficiência energética em sistemas de iluminação como:

1. Maior utilização da iluminação natural, uma vez que o Brasil possui uma das abóbodas celestes[1] mais claras do mundo e com baixa nebulosidade em muitos pontos do seu território (na época do racionamento, muitas indústrias implantaram telhas translúcidas nas áreas fabris, porém esta opção deve ser devidamente estudada, pois aumenta também a carga térmica interna);

2. Implantação de controle individual de acendimento, pois em muitas instalações o controle de acendimento de uma grande área é feita por apenas uma chave, e caso apenas uma pequena área esteja sendo utilizada, todas as luminárias ficarão acesas. Para tanto existem sensores de presença, timers, etc.;

---

[1] Abóbada celeste, em astronomia, é o hemisfério celeste visível. Conhecido popularmente como firmamento.

1.2. Motivação e objetivos

Foram encontradas diversas referências na literatura sobre iluminação, constatando que este tema é muito abrangente, porém poucos foram encontrados sobre estudos específicos em projetos luminotécnicos industriais e análises de viabilidade econômica desses sistemas. A busca pela ampliação e o complemento das iniciativas de eficiência energética industrial, agregados à importância que este tema representa para a sociedade e o Meio Ambiente, foi o que motivou a elaboração desta pesquisa.

O Brasil possui alto potencial de eficiência energética, tanto pelos sistemas existentes instalados nas indústrias quanto pelas tecnologias disponíveis a serem aplicadas de maneira a oferecer cada vez mais qualidade aos usuários. Um dimensionamento correto do sistema de iluminação traz benefícios ao bem estar dos usuários, à melhora da produtividade e a saúde visual dos usuários, mas também apresenta um consumo de energia sem perdas para a instalação, evitando desperdícios.

Para tanto é necessário possuir uma visão abrangente do processo, para entender as necessidades de cada indivíduo, a demanda de cada utilização e aplicar as tecnologias disponíveis de maneira correta, proporcionando resultados satisfatórios no que tange a quesitos técnicos, econômicos e energéticos. É importante citar que a iluminação é questão de saúde ocupacional, uma vez que ela afeta a percepção e as sensações do usuário e para isso deve ser seguida conforme a norma existente no Brasil (NBR 5413), que rege sobre os níveis de iluminância dos ambientes.

Atualmente a iluminação vem sendo abordada sob diversos aspectos como, por exemplo, a iluminação estética, iluminação para entretenimento, iluminação automotiva, a iluminação e a saúde, iluminação no setor da agricultura, entre outros, porém, após uma extensa pesquisa bibliográfica apresentou-se pouca referência sobre o assunto de gestão energética da iluminação mais especificamente no setor industrial.

O objetivo do presente trabalho é avaliar alternativas para sistemas de iluminação em plantas industriais, analisando:

Características técnicas buscando resultados satisfatórios, como uniformidade e níveis de iluminância, no que tange o cumprimento das leis e normas (NBR 5413, Lei 5.452 e Lei 10.925);

Características econômicas, avaliando a relação custo x benefício dos sistemas propostos, considerando implantação e manutenção do sistema.

A figura de mérito utilizada para analisar as soluções propostas é o CUSTO DE CICLO DE VIDA ANUALIZADO (CCVA) e para aprofundar este estudo é feito uma análise de sensibilidade considerando alterações nos parâmetros variáveis, como juros, custo do equipamento, custo da energia e tempo de utilização do sistema.

Os cálculos e equações deverão possuir a máxima simplicidade e confiabilidade para que possam ser utilizados na difusão entre os projetistas e indústrias.

1.3. Estrutura do trabalho

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos:

O **primeiro capítulo** apresenta a introdução da pesquisa com motivação e objetivos.

O **segundo capítulo** é dedicado à revisão da literatura, abrangendo também o cenário atual no Brasil e a qualidade da iluminação e o bem estar do usuário.

O **terceiro capítulo** relata os conceitos de iluminação pertinentes aos projetos industriais, as legislações relativas ao sistema de iluminação, pertinentes ao segmento industrial, eficiência energética em sistemas de iluminação e as tipologias de luminárias e equipamentos usualmente utilizados em projetos de iluminação, voltados à eficiência energética.

O **quarto capítulo** trata da metodologia utilizada para a elaboração dos cálculos e das modelagens onde primeiramente são demonstrados os conceitos, a definição dos cenários, a definição das luminárias, lâmpadas e equipamentos a serem consideradas nos cálculos, e posteriormente são apresentados os cálculos, a distribuição em planta e resultados parciais dos cenários propostos.

O **quinto capítulo** apresenta os estudos de viabilidade técnica e econômica dos cenários propostos analisados através da figura de mérito do CCVA e do estudo de sensibilidade das variáveis em todos os sistemas propostos, apresentando os resultados e os benefícios alcançados.

O **sexto capítulo** refere-se às conclusões.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Os diversos estudos já realizados sobre o tema iluminação abrangem muitas áreas, como ciências biológicas na pesquisa por ambientes ideais para desenvolvimento de plantas e animais, ergonomia na execução de tarefas e o ambiente a fim de torná-las compatíveis com as necessidades, habilidades e limitações das pessoas, iluminação específica, como iluminação cênica, iluminação residencial, iluminação comercial, entre outras, porém pouca literatura foi encontrada sobre iluminação eficiente em plantas industriais.

Uma questão a ser inicialmente considerada nesse capítulo é o acordo que nasceu em dezembro de 1997 com a assinatura do Protocolo de Kyoto. Este protocolo determina que os países desenvolvidos e signatários (chamados também de Partes do Anexo I[2]) reduzam suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 5,2 %, em média, tendo como base o ano de 1990. Essa redução deve acontecer entre os anos de 2008 e 2012. Para não comprometer as economias desses países, o protocolo estabeleceu que parte desta redução pudesse ser feita através de negociações de créditos de carbono[3] junto aos países em desenvolvimento. Entretanto, alguns destes países, que atualmente não têm obrigações de reduzir suas emissões de gases de efeito estufa, apresentam vigoroso crescimento econômico, dentre esses países podemos citar a China e a Índia que serão os responsáveis por mais da metade do incremento mundial da demanda de energia primária entre 2006 e 2030 (REIS, 2009).

Conforme Saidel (2005), o autor questiona como atender as necessidades energéticas dos países em desenvolvimento sem que as reservas de recursos naturais sejam comprometidas. Neste contexto, a eficiência energética se apresenta como um dos

---

[2] As partes do anexo 1são aquelas que têm metas de redução em relação ao protocolo de Kyoto. Os países são: Alemanha, Austrália, Áustria, Bielorrússia, Bélgica, Bulgária, Canadá, Croácia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos, Estônia, Rússia, Islândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Japão, Letônia, Liechtenstein, Lituânia, Luxemburgo, Mônaco, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Romênia, Suécia, Suíça Turquia, Ucrânia, União Européia.

[3] Créditos de carbono ou Redução Certificada de Emissões (RCE) são certificados emitidos para um agente que reduziu a sua emissão de gases do efeito estufa (GEE). Por convenção, uma tonelada de dióxido de carbono (CO2) corresponde a um crédito de carbono.

principais agentes na busca da sustentabilidade. Ainda segundo o autor a eficiência energética permite a utilização de inovações tecnológicas e sensíveis alterações nas estruturas econômico-político-sociais de diversas nações mundiais.

Segundo Costa (2006), “conservar energia é preservar o meio ambiente” e agrupa as ações de economia de energia para sistemas de iluminação em quatro ações:

1. Medidas zeladoras, ligadas essencialmente à operação e manutenção do equipamento, podendo ser: apagar as luzes quando não há necessidade e ligá-las no caso contrário; a utilização da iluminação natural sempre que possível; limpeza periódica do sistema;

2. Modificações em equipamentos, como a substituição de equipamentos e processos obsoletos;

3. Melhor atuação do equipamento, este item pode ser alcançado com a divisão dos circuitos de iluminação; utilização de interruptores individualizados; utilização de sistemas de automação;

4. Redução das perdas implica em melhorias que contribuem para o melhor desempenho do sistema como a redução da altura da instalação do sistema de iluminação, ou ainda a utilização de iluminação localizada e a utilização de acessórios tecnologicamente mais evoluídos.

Para a implantação de todos estes itens na prática, é necessária a elaboração de um programa de eficiência energética, onde todos os usuários diretos e indiretos se envolvam, interajam e compreendam a importância da ação conjunta buscando a otimização dos recursos.

Ainda conforme Costa (2006), economia em iluminação não significa não ter iluminação ou que esta seja deficiente, é apenas a utilização correta das tecnologias disponíveis produzindo mais luz com menor consumo de energia. A luminotecnia é uma ciência multidisciplinar, onde é necessário avaliar uma série de fatores que serão os definidores no processo visual, com o objetivo de aumentar a produtividade dos usuários,

atendendo não somente aspectos técnicos mas também fatores comportamentais. Os envolvidos nesta análise são os projetistas, os fabricantes e os usuários.

Concorda também com esta afirmação Porto et al. (2009), onde a adoção de um projeto adequado às condições climáticas locais e as necessidades inerentes da atividade exercida pelo operário, visam a otimização dos elementos que compõem a envoltória da edificação e que participam diretamente na melhoria da qualidade de vida do usuário no espaço.

Acrescenta Vieira (2008), quando descreve que uma das funções da arquitetura é oferecer no interior dos edifícios condições térmicas e de iluminação compatíveis aos níveis de conforto necessários para o ser humano, independente das condições externas e, para tanto, a associação do partido arquitetônico, às características térmicas dos materiais e a iluminação devem atender às exigências de conforto ambiental do ser humano não esquecendo as variáveis ambientais, como temperatura, umidade relativa, entre outros.

Outro aspecto a ser considerado é a luz natural, que quase sempre está associada a uma ligação visual dos ambientes internos com o exterior. Os ritmos biológicos e psicológicos são marcados através da variação da luz natural nas diferentes horas do dia, condições climáticas e estações do ano. (BERTOLOTTI, 2007 apud ROBBINS, 1986).

Contextualizando a iluminação natural em projetos de iluminação industrial, Porto (2009) acrescenta que a utilização de sistemas de iluminação natural lateral ou zenital, de suas orientações e complementos de sombreamento e o redirecionamento do fluxo luminoso nominal é um passo determinante na iluminação ambiental, onde as proporções do ambiente, os materiais de revestimento e o posicionamento das células de trabalho em relação à abertura da iluminação natural definem a quantidade de luz que atinge os planos de operações, devendo esta ser complementada por fontes artificiais.

A complementação desta informação é apresentada em Lamberts et al. (1997), onde o objetivo do projeto de iluminação é a busca do uso integrado da luz natural e artificial, formando assim um único sistema de iluminação, tornando o sistema energeticamente mais eficiente.

Concordam Costa (2006) e Porto et. al. (2009) que o projeto de iluminação industrial deve apresentar um dimensionamento do sistema buscando atender todas as necessidades dos usuários, considerando o tipo de atividade desenvolvida no ambiente estudado, utilizando como bases norteadoras:

1. A Norma Brasileira Regulamentadora NBR5413 – Iluminância de Interiores;
2. O fator de depreciação em função dos processos industriais desenvolvidos no local uma vez que este índice acarreta na queda do rendimento do sistema proposto, em virtude do acúmulo das partículas suspensas no ar se depositarem nas luminárias e nas lâmpadas;
3. A altura de instalação das luminárias;
4. A escolha da lâmpada, do reator e da luminária a ser utilizada, como por exemplo, a utilização de luminárias com refletores em alumínio e aletas para controle de ofuscamento nas áreas administrativas;
5. A utilização de reatores que operam em alta freqüência evitando assim o efeito estroboscópico já que este fenômeno consiste em visualizar objetos parados quando estes se encontram em movimento rotativo ou alternativo quando a freqüência coincida com múltiplos da freqüência da rede elétrica, evitando acidentes graves.

Para um estudo aprofundado da eficiência energética das instalações, se faz necessária a elaboração de um diagnóstico energético da planta existente, apontando os potenciais de conservação dos usos finais considerados. Através desta análise será possível identificar alternativas para a redução dos custos com a energia, seja por redução das perdas no processo, alterações no contrato de fornecimento de energia ou ainda a substituição das fontes energéticas (QUIRINO, 2003).

Outra questão importante a ser considerada é que para a implantação de programas de eficiência energética em plantas industriais é preciso ter ciência do prazo de retorno deste investimento, e neste ponto algumas barreiras são levantadas, como a dificuldade de acesso a financiamentos, quando as empresas não possuem recursos próprios ou quando a empresa não atende aos requisitos mínimos solicitados para a obtenção do financiamento bancário (MARTINS, 1999).

Segundo o PROCEL (2008), o tempo esperado do retorno do investimento para projetos de eficiência energética, está previsto, em sua maioria, em um ano.

2.1. Qualidade da iluminação e bem estar dos funcionários

A iluminação determina o que vemos e como vemos e exatamente por este motivo ela altera o humor, a percepção do espaço e influencia no bem estar do indivíduo, de maneira diferente em cada um. Os níveis de iluminância determinam a quantidade ideal de iluminação para a execução de cada tarefa e para isso existem as normas. (BERTOLOTTI, 2007).

A iluminação influencia o desempenho das tarefas e no poder de concentração do ser humano. Altos índices de iluminância no período da manhã aumentam os níveis de cortisol, hormônio corticosteróide produzido pela glândula supra-renal, alguns de seus efeitos são aumento da pressão arterial e aumento dos níveis de açúcar no sangue (energia), além de suprimir o sistema imune ou imunológico, tornando o indivíduo mais ativo, porém a exposição excessiva apresenta efeitos de cansaço e esgotamento. Outro hormônio também é atingido pela iluminação, a melatonina, ou hormônio do sono, reduz seus níveis pela manhã, e sobe novamente quando o ambiente escurece (fim da tarde), permitindo um sono saudável. (BOMMEL, 2004).

A distribuição espacial do sistema de iluminação, o nível de iluminamento, a quantidade de luz natural aproveitada e a tecnologia implantada são alguns agentes causadores de desconforto aos usuários.

Como a percepção e a ambientação da luz é algo individual, deve-se promover a individualização dos sistemas, onde os usuários têm a possibilidade de adequação dos níveis conforme seu melhor bem estar, deve-se prever níveis conforme sugeridos pela norma e sempre considerar os anseios dos usuários finais. (JUSLÉN, 2009).

Segundo Alvarez (1998), o fluxo luminoso nominal de uma fonte luz não é constante quando alimentada em tensão alternada, causando o fenômeno de modulação. Este fenômeno tem origem na baixa freqüência da rede elétrica e diminui a intensidade da luz irradiada nos instantes em que a corrente passa por zero. Este fenômeno é intenso nas tecnologias das lâmpadas de descarga de alta pressão e lâmpadas fluorescentes

quando utilizadas com reatores convencionais e não ocorre quando utilizadas com reatores eletrônicos.

A temperatura de cor da luz também deve ser motivo de estudos aprofundados, uma vez que as tecnologias disponíveis hoje possuem grande variedade de cores, índices de reprodução de cor e temperatura de cor. A utilização de lâmpadas com uma temperatura de cor muito alta (mais azuladas) remete à sensação de ambientes de escritório, enquanto temperaturas de cor mais baixas remetem a ambientes mais aconchegantes. (BOMMEL, 2004).

Outro dado relevante a ser considerado é que os indivíduos são afetados psicologicamente quando submetidos ao efeito de cores, uma vez que objetos verdes e azuis parecem maiores que os vermelhos e amarelos. Superfícies verdes e azuis parecem mais afastadas enquanto as vermelhas e amarelas parecem mais próximas. Este fenômeno se dá por uma questão do foco do cristalino (COSTA, 2006). Portanto, ao profissional de iluminação compete à escolha da cor da luz a ser implantada de tal forma que esta se enquadre na finalidade do ambiente.

O planejamento adequado da luz no ambiente de trabalho pode diminuir os acidentes ocorridos devido à fadiga visual. Criar um ambiente agradável para o trabalho significa dar ao homem uma melhor qualidade de vida.

O próximo capítulo apresenta alguns conceitos de iluminação relevantes para a elaboração do projeto luminotécnico.

3. CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO RELEVANTES PARA PROJETOS LUMINOTÉCNICOS INDUSTRIAIS

Este capítulo tem por objetivo apresentar noções básicas sobre os conceitos utilizados em projetos luminotécnicos. Para o correto entendimento destes projetos é importante esta compreensão, permitindo a aplicação mais adequada em cada contexto.

Alguns conceitos são mais utilizados do que outros, principalmente quando tratamos de eficiência energética, como por exemplo, o rendimento e a eficácia do sistema são mais utilizados que a temperatura de cor, uma vez que este já deve ter sido considerado através da escolha da lâmpada utilizada, porém todos apresentam igual importância no que tange à satisfação e bem estar do usuário.

O segmento industrial se divide em muitos setores e por este motivo, os projetos de iluminação industrial apresentam características bem distintas uns dos outros. Em cada setor da indústria percebe-se uma necessidade diferente onde, é função do projetista agregar as novas tecnologias para o melhor conforto do usuário.

3.1. Conceitos básicos

Os projetos luminotécnicos industriais possuem algumas peculiaridades quando se trata de conceitos, o universo dos cálculos luminotécnicos é extenso e complexo, porém a intenção neste estudo é criar modelos de fácil utilização para os diversos cenários de layout fabril.

O primeiro a ser abordado neste estudo é o **fluxo luminoso nominal** da lâmpada cujo significado, segundo Costa (2006), nada mais é do que a quantidade total de luz emitida pela lâmpada em sua tensão nominal de funcionamento, ou ainda é a energia emitida ou refletida, por segundo, em todas as direções sob a forma de luz, conforme Figura 2; este é um conceito importante para a definição da escolha da lâmpada, uma vez que comparadas lâmpadas com características distintas, em geral opta-se pela lâmpada com maior fluxo luminoso nominal. Sua unidade de medida é lm (lúmen).

Figura 2 – Desenho ilustrativo do fluxo luminoso nominal

O segundo conceito é o **nível de iluminação**, ou **iluminância**, que é a densidade de luz necessária para uma determinada tarefa visual ou ainda o fluxo luminoso nominal incidente por unidade de área iluminada, conforme Figura 3 (COSTA, 2006). Este índice, no Brasil é determinado pela NBR 5413 – Iluminância de interiores. Este conceito é erroneamente confundido com luminância que é a intensidade luminosa produzida ou refletida por uma superfície aparente. Os níveis de iluminância devem ser criteriosamente definidos, seguindo as necessidades dos usuários e o nível de acuidade visual da tarefa a ser desenvolvida. Sua unidade é lux.

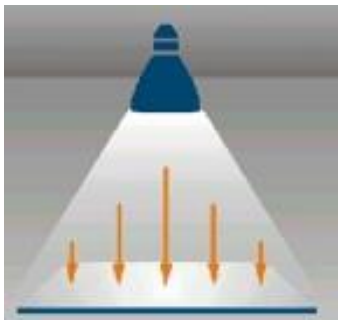


Figura 3 – Desenho ilustrativo da iluminância

Ainda segundo Costa (2006) a **luminância** é a intensidade luminosa emitida ou refletida por uma superfície iluminada em direção ao olho humano, conforme Figura 4, ou ainda a intensidade luminosa de uma fonte de luz produzida ou refletida por uma superfície iluminada, sendo função da iluminância e das características de reflexão das superfícies. Sua unidade é cd/m^2.

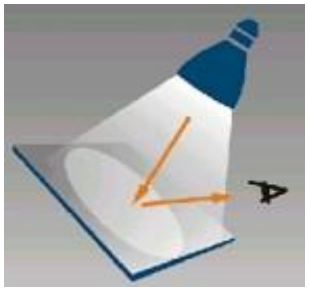


Figura 4 – Desenho ilustrativo de luminância

As lâmpadas apresentam características importantes a serem consideradas nesta pesquisa, como a **eficácia luminosa**, que auxiliará na definição dos sistemas mais eficientes. Este conceito conforme Costa (2006) consiste basicamente na relação entre a potência de saída versus potência de entrada, em outras palavras, é a divisão entre o fluxo luminoso nominal obtido pelas lâmpadas e a potência consumida por elas, dentro do sistema. Com este índice pode-se analisar e comparar os sistemas propostos, quanto maior este número, melhor é a eficiência do sistema.

Vale lembrar que o projeto luminotécnico deve buscar atender todos os conceitos apresentados anteriormente, porém alguns conceitos se deparam com conflitos de interesses. Um exemplo disto é a lâmpada de sódio, que apesar de ser considerada de alta eficácia luminosa, (117,5 lm/watt[4]), conforme catálogo do fabricante OSRAM (2009/2010), apresenta um índice de reprodução de cor muito baixo, não sendo possível a utilização deste tipo de lâmpada em indústrias que necessitam um índice de reprodução de cor alto, como tecelagens por exemplo. As indústrias pesadas de mineração e ferro gusa podem optar por este tipo de lâmpada nas áreas fabris, uma vez que estas não precisam de tão boa reprodução de cor para operar. Portanto a determinação da melhor opção do sistema a ser utilizado deve agregar todas as atenuantes dos usuários e das tecnologias oferecidas.

Alguns conceitos somente são obtidos após uma análise detalhada do ambiente e das normas locais de manutenção, como por exemplo, o fator de manutenção, o fator de

---

[4] Dentro da família das lâmpadas de sódio, a elipsoidal (SON-E) é a que apresenta menor fluxo luminoso nominal. A elipsoidal (NAV-E 400W SUPER 4Y) apresenta 55500 lm, o que corresponde a uma eficácia luminosa de 138 lm/W e a lâmpada tubular (NAV-T 400W SUPER 4Y) apresenta 56500 lm o que corresponde a 141lm/W.

reflexão e a depreciação do fluxo luminoso nominal proveniente das partículas suspensas no ar e acumuladas nas lâmpadas e nos refletores.

A **depreciação do fluxo luminoso nominal** é a própria depreciação do fluxo da lâmpada durante sua vida útil, o que proporciona a diminuição do fluxo luminoso nominal que sai da luminária e também devido ao acúmulo de poeira sobre a superfície da lâmpada e do refletor (ITAIM, 2008). As lâmpadas fluorescentes T5 são um exemplo disso se comparadas com as lâmpadas T8. Segundo o fabricante OSRAM (CATÁLOGO OSRAM, 2009/10), a depreciação do fluxo luminoso nominal das lâmpadas T5 se inicia na hora da instalação, reduzindo no máximo 10% no período de 12.000 horas de uso e estabilizam sem maiores depreciações até o final de sua vida útil que é de 16.000 horas com até três acendimentos diários, enquanto a lâmpada T8 reduz em até 30% no mesmo período, por este motivo quando esta lâmpada atingir 25% de depreciação ela deverá estar com aproximadamente 7.500 horas, ou seja, o fluxo luminoso nominal não se estabiliza, ao longo de sua vida útil.

Estes conceitos são relevantes para que haja sempre um planejamento na manutenção dos sistemas, não esperando que as lâmpadas se depreciem em seu limite para serem trocadas.

Outros dois conceitos relevantes em projetos luminotécnicos industriais são o índice de reprodução de cor e a temperatura de cor. Apesar de serem muito confundidos são bem distintos, o **índice de reprodução de cor** é a correspondência entre a cor real do objeto e sua aparência quando submetida à fonte de luz (COSTA, 2006). As lâmpadas com maior índice de reprodução de cor chegam a até 100% de fidelidade se comparar à luz do sol, quanto maior o IRC, menor a distorção das cores dos objetos. Um IRC maior que 75 já é considerado excelente, entretanto nem todos os ambientes exigem o nível mais alto de reprodução de cor, como por exemplo, os estacionamentos da indústria, ou ainda galpões fabris que não necessitem de diferenciação de cores podem utilizar IRC entre 55 e 65.

Já a **temperatura de cor correlata** é a aparência de cor da fonte luminosa que pode ser branca azulada quando possui uma elevada temperatura (6.100K) ou amareladas quando apresentam baixa temperatura (2.700K) (CATÁLOGO OSRAM, 2009/2010). Apesar das lâmpadas da mesma família, mas com temperaturas de cores diferentes

darem a impressão de iluminâncias distintas, isso não necessariamente se faz real. Por exemplo, as lâmpadas fluorescentes T5 FH (Lumilux T5 HE) de 14 W, possuem o mesmo índice de reprodução de cor e diferentes temperaturas de cor[5] (CATÁLOGO OSRAM, 2009/2010). Como na natureza, o amanhecer e o entardecer requerem uma temperatura de cor mais quente, pois o ritmo biológico ainda é lento e remete à sensação de aconchego, durante o dia as temperaturas de cor são mais frias, os níveis de iluminância são maiores, ativando assim um ritmo biológico mais ativo.

Ainda para as lâmpadas, existem outros dois conceitos que serão considerados neste estudo, uma vez que será feito a análise de rentabilidade dos sistemas: a **vida útil** e a **vida mediana,** onde o primeiro indica o tempo em horas em que há perda de aproximadamente 30% do fluxo luminoso nominal inicial enquanto o segundo corresponde à vida atingida em horas no instante em que 50% das lâmpadas ensaiadas se mantém acesas (OSRAM, 2009/2010). Para este estudo usaremos a vida útil nas comparações a serem feitas.

Os dados fotométricos da luminária influenciam de maneira direta na escolha dos sistemas, a **curva de distribuição luminosa** que é a forma da distribuição de luz dada pela luminária (ITAIM, 2008). Em um ambiente fabril é necessária a avaliação das características do mesmo para a correta escolha das luminárias, como por exemplo, em ambientes com pé direito muito alto a curva de distribuição deve ser a mais concentrada possível para que o sistema seja eficaz.

Já o **fator de utilização** está diretamente ligado ao fator de reflexão do ambiente, ao rendimento da luminária e às dimensões do ambiente. Ele é a razão entre o fluxo luminoso nominal que atinge uma superfície e a soma dos fluxos luminosos das lâmpadas fora da luminária (ITAIM, 2008). Este índice é apresentado em forma de tabela, fornecida pelos fabricantes de luminárias e para encontrá-lo é necessária a interpolação entre o índice do local e as refletâncias das superfícies estudadas.

---

[5] A família das lâmpadas de 14 W - LUMILUX T5 HE é composta de:
FH 14W/ 865 HE - 1100 lm / 6500 (temperatura de cor) / 80-89 IRC
FH 14W/ 840 HE – 1200 lm / 4000 (temperatura de cor) / 80-89 IRC
FH 14W/ 830 HE – 1200 lm / 3000 (temperatura de cor) / 80-89 IRC

Neste estudo a escolha da luminária levará em consideração seu **rendimento,** que é o fluxo luminoso nominal total emitido pela luminária dividido pela soma do fluxo luminoso nominal das lâmpadas fora dela (ITAIM, 2008). Este índice é fornecido pelos fabricantes de luminárias e está diretamente ligado ao sistema óptico utilizado (refletor, aletas e o material utilizado na construção da mesma, se alumínio ou chapa de aço pintada). Quanto maior o rendimento da luminária menor é a probabilidade de conforto visual, já que o excesso de luz emitido pode causar desconforto.

Outro conceito a ser considerado é o **ofuscamento** que segundo Costa (2006) acarreta no desconforto visual e na redução da capacidade de ver objetos, proporcionado pelo excesso de luminância na direção da visão. Este pode ser direto, quando ocorre através da luminária e da lâmpada ou indireto, quando a luz refletida em determinadas superfícies retorna aos olhos dos usuários.

Já o **fator de manutenção**, conforme o mesmo autor, é a razão entre a iluminância média após dado período de uso dividido pela iluminância média obtida sob as mesmas condições da instalação nova. Este fator está diretamente ligado à periodicidade de limpeza do ambiente, quanto mais limpo o ambiente e o sistema, maior será este índice.

O **fator de reflexão** é a razão entre o fluxo luminoso nominal refletido e o fluxo luminoso nominal incidente. Este índice está diretamente relacionado às cores e acabamentos da superfície iluminada, quanto mais escuro o ambiente e quanto mais absorvente for o material das paredes, do piso e do teto, menor será o índice de reflexão. Ambientes muito escuros necessitam de um número maior de luminárias se comparadas a salas claras, pois a cor escura absorve muito mais luz, refletindo assim muito menos.

A **acuidade visual** também é um tópico importante a ser levado em consideração quando se trata de projetos luminotécnicos, ela está diretamente ligada à visão dos detalhes. Segundo Costa (2006) este conceito se separa em sentido qualitativo, que é a capacidade de ver distintamente detalhes finos que têm separação angular muito pequena e no sentido quantitativo, que é a capacidade de discernimento, por exemplo, como não confundir a letra C com a letra G. Este tópico não depende apenas de uma boa iluminação, mas ele também diminui na medida em que a idade avança, principalmente após os 50 anos.

Para a elaboração de um projeto luminotécnico bem dimensionado, deve-se considerar a **uniformidade** da iluminação, que é a relação entre a iluminância mínima e a média, obtida na área iluminada. Este conceito é indispensável a fim de se impedir áreas de sombra acentuadas, assegurando assim o conforto e a segurança para a atividade exercida. Para evitar a falta de uniformidade, a distribuição entre as luminárias no ambiente deve ser criteriosamente estudada, levando em consideração a fotometria da luminária escolhida, a altura de instalação e o fluxo luminoso nominal emitido pela lâmpada.

3.2. Legislações relativas aos sistemas de iluminação pertinentes ao segmento industrial.

Existem muitas normas nacionais e internacionais que organizam e padronizam os projetos luminotécnicos. A principal organização internacional para estudos da iluminação foi criada em 1913 na cidade de Viena na Áustria. Ela é a Comissão Internacional de Iluminação (CIE – Commission Internationale de L'Eclairage), seu objetivo é a cooperação e o intercâmbio de informações entre seus países membros, sobre questões relacionadas à ciência da luz e do estudo dos grandes problemas técnicos e científicos da iluminação. Hoje ela é representada por 38 países que colaboram na elaboração das normas, relatórios técnicos e recomendações científicas, esta organização é representada no Brasil pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO), Diretoria de Metrologia Científica e Industrial (DIMCI) e Divisão de Metrologia Óptica (DIOPT) (JAGLBAUER, 2007).

Outras entidades possuem acordos de cooperação técnica com a CIE, que são:
A *International Santadardization Organization* (ISO), que determina padrões comerciais e industriais mundiais;
A European Committee for Sandardization (CEN), que trabalha com normas e padrões do European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) na área da engenharia elétrica.
A *International Electrotechnical Commission* (IEC), cujo objetivo é o desenvolvimento de padronização de equipamentos elétricos.

Além da CIE, cada país possui sua própria sociedade, como a *Illuminating Engineering Society of North America* (IESNA) nos Estados Unidos da América, a *British Illuminating Engineering Society* (BIES) na Inglaterra e a *Associação Brasileira de Normas Técnicas*

(ABNT) é o órgão responsável pela normalização técnica dos níveis de iluminância em projetos luminotécnicos no Brasil (JAGLBAUER, 2007).

3.2.1. Norma Brasileira Regulamentadora NBR 5413 – Iluminância de Interiores

Os projetos de iluminação devem ser desenvolvidos baseados na NBR 5413, referente aos Níveis Mínimos de Iluminação; NBR 5382, referente à Verificação de Iluminância de Interiores e a NBR 5461 que trata da terminologia para Iluminação, estas normas datam de 1992. Existem também outras normas que citam a NBR 5413, como a NR 10 e a NBR 5410, porém estas não são responsáveis por determinar os níveis de iluminância dos ambientes, segundo suas características. As normas de iluminação não serão comentadas integralmente haja vista que são muito abrangentes e este trabalho se concentra apenas no segmento industrial. Este trabalho será focado na NBR 5413, mais especificamente em itens relevantes às plantas industriais.

A NBR 5410 – Instalações Elétricas de baixa tensão (válida a partir de 31.05.2005, p. 22), no item 4.2.1.2.2 referencia:
“4.2.1.2.2 Iluminação:
a) as cargas de iluminação devem ser determinadas como resultado da aplicação da ABNT NBR 5413;
b) para os aparelhos fixos de iluminação a descarga, a potência nominal a ser considerada deve incluir a potência das lâmpadas, as perdas e o fator de potência dos equipamentos auxiliares.
NOTA Em 9.5.2.1 são fixados critérios mínimos para pontos de iluminação em locais de habitação.”

E no item 9.5.2.1 (p. 192):
“9.5.2.1.2 Na determinação das cargas de iluminação, como alternativa à aplicação da ABNT NBR 5413, conforme prescrito na alínea a) de 4.2.1.2.2, pode ser adotado o seguinte critério:
a) em cômodos ou dependências com área igual ou inferior a 6 m^2, deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA;
b) em cômodo ou dependências com área superior a 6 m^2, deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA para os primeiros 6 m^2, acrescida de 60 VA para cada aumento de 4 m^2 inteiros.

NOTA: “os valores apurados correspondem à potência destinada à iluminação para efeito de dimensionamento dos circuitos e, não necessariamente à potência nominal das lâmpadas.”

Outra norma relevante para o segmento industrial é a NR10, uma vez que esta sistematiza a segurança das instalações. Ela referencia os equipamentos de iluminação “que devem ser especificados e mantidos durante sua vida útil, de forma a garantir os níveis de iluminamento e posicionados de forma a garantir a condições seguras de manutenção” (NR10 p.2). Outra questão importante citada nesta norma é que os ambientes devem possuir equipamentos de iluminação adequados e possuir proteção externa apropriada, caso a especificação não garanta a segurança necessária para o usuário, este sistema pode trazer riscos e se tornar um ambiente insalubre.

A NBR 5413 não rege sobre os modelos de luminárias adequadas a cada tipo de projeto, esta regula apenas sobre os níveis de iluminância adequados para cada tipo de trabalho.

Os projetos luminotécnicos industriais podem possuir diferentes níveis de iluminância para a mesma área. Isto depende de vários fatores, já que a iluminância dos ambientes está diretamente relacionada às exigências de requisitos visuais dos trabalhadores como:

- Velocidade;
- Precisão;
- Manutenção dos sistemas de iluminação;
- Idade média dos colaboradores;
- Tempo de permanência do colaborador na atividade requerida;
- Disposição do layout da fábrica.

A Tabela 2 indica os níveis de iluminância conforme cada tipo de atividade, enquanto a Fonte: NBR 5413

Tabela 3 apresenta qual dos três níveis de iluminância apresentados na Tabela 2, no tópico Iluminância, deverá ser utilizado no projeto.

Tabela 2 – Iluminâncias por classe de tarefas visuais

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas ininterruptamente ou com tarefas visuais simples	20 – 30 – 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 -75 – 100	Orientação simples para permanência curta
	100 – 150 – 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200 – 300 – 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios.
B Iluminação geral para área de trabalho	500 – 750 – 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 – 1500 – 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 – 3000 – 5000	Tarefas visuais exatas, e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 – 7500 – 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 – 15000 – 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: NBR 5413

Tabela 3 – Fatores determinantes da iluminação adequada

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Sup. a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Fonte: NBR 5413

A última versão da NBR 5413 foi em Abril de 1992 e por já terem se passado dezoito anos desta revisão, a norma não abrange todos os gêneros de fábricas existentes. Os tipos de indústrias incluídos nesta versão estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Gêneros industriais contidos na NBR 5413

Tópico norma	Gênero industrial
5.3.31	Indústrias alimentícias
5.3.32	Indústrias de artigos de ourivesaria e joalheria
5.3.33	Indústrias de automóvel
5.3.34	Indústrias de aviões
5.3.35	Indústrias de borrachas
5.3.36	Indústrias de calçados
5.3.37	Indústrias de cerâmicas
5.3.38	Indústrias de chapéus
5.3.39	Indústrias de cimentos
5.3.40	Indústrias de confeitos
5.3.41	Indústrias de conservas de carnes
5.3.42	Indústrias de couro
5.3.43	Indústrias de fumos
5.3.44	Indústrias de gelo
5.3.45	Indústrias de gravação de desenhos de dizeres
5.3.46	Indústrias de luvas

5.3.47	Indústrias de materiais elétricos e telecomunicações
5.3.48	Indústrias metalúrgicas
5.3.49	Indústrias de papéis
5.3.50	Indústrias químicas
5.3.51	Indústrias têxteis
5.3.52	Indústrias de tintas
5.3.53	Indústrias de vestuário
5.3.54	Indústrias de vidros

Fonte: NBR 5413

Algumas fábricas, como indústrias de embalagens, indústria de envase de bebidas, entre outras, não são contempladas nesta norma, e neste caso deve-se utilizar a tipologia que mais se assemelhar a esta produção.

Algumas indústrias, normalmente as multinacionais, possuem requisitos e níveis de iluminância definidos internamente pela empresa, neste caso deve-se considerar que a implantação desta unidade será feita em um país que possui normas de regulamentação, e que esta deve sempre ser levada em consideração e devidamente adequada às normas internas.

3.2.2. Ministério do trabalho

O ministério do trabalho, quando se trata da saúde e segurança no trabalho, se baseia na Lei 5.452 de 1° de Maio de 1943 e a Portaria 3.214 /78, onde no capítulo V, secção II, higiene do trabalho, Art. 157, esta determinando que “todos os locais de trabalho deverão ter iluminação suficiente para que o trabalho possa ser executado sem perigo de acidente para o trabalhador e sem que haja prejuízo para o seu organismo”. Esta lei aborda também sobre os níveis de iluminamento, no Art. 158, que estes devem “ser fixados de acordo com o gênero de trabalho executado e levando em conta a luminosidade exterior habitual da região”.

Os demais artigos informam sobre o nível de iluminamento mínimo para cada tipo de trabalho, sobre a uniformidade na distribuição da iluminação, de maneira a evitar o ofuscamento e sobre a iluminação natural, conforme descrito a seguir.

“Art. 159. De uma maneira geral serão fixados os seguintes iluminamentos mínimos:
I - Para trabalhos delicados (tais como gravura, tipografia fina, desenho, relojoaria, lapidação de pedras preciosas, revisão de impressão e revistamento de tecidos) 150 a 400 lux.
II - Para trabalhos que exigem menos riqueza de detalhes (tais como trabalhos mecânicos comuns) , 50 a 150 lux
III - Para trabalhos rústicos (tais como matadouros, embalagens simples) 20 a 30 lux.
Parágrafo único. Esses mínimos se referem, quer à iluminação natural, quer à artificial.
Art. 160. A iluminação deve ser distribuída de modo uniforme, difuso e geral, de maneira a evitar ofuscamentos (provenientes de superfícies ou unidades iluminantes que fiquem na linha de visão do trabalhador), reflexos fortes (sobretudo originados em superfícies metálicas, sendo esses reflexos mais a evitar caso venham de baixo para cima), sombra e contrastes excessivos.
Art. 161. A iluminação deverá, tanto quanto possível, vir de direção tal que os movimentos realizados pelo trabalhador não provoquem sombras sobre os locais que devam ficar iluminados.
Art. 162. As janelas, clarabóias ou coberturas iluminantes (horizontais ou em dente de serra) deverão ser dispostas em situação tal que não permitam venha o sol bater sobre os locais de trabalho, possuindo, quando for necessário, dispositivos de proteção (toldos, venezianas, cortinas, etc.), que impeçam a entrada do sol.
Parágrafo único. No caso da existência dos dispositivos de proteção a que este artigo se refere, não deverá a diminuição ser tal que faça o iluminamento cair abaixo dos mínimos prescritos no art. 159.”[6]

Em situações onde duas ou mais legislações entram em conflito sobre um mesmo assunto, como é o caso da NBR 5413 e da Lei 5.452 é necessário que se utilize aquela mais restritiva, ou que se argumente a não utilização do critério. Quando se atendem os fatores mais restritivos automaticamente se atendem os demais, porém em algumas situações os valores mais restritivos podem ser considerados elevados demais para a tarefa a ser exercida, neste caso deve-se argumentar comprovando que a tarefa não necessita de tal nível indicado em norma.

---

[6] Texto extraído diretamente da Lei 5.452 de 1° de Maio de 1943.

3.3. Eficiência Energética em sistemas de iluminação industrial

A eficiência energética em sistemas de iluminação é a capacidade de utilização da menor quantidade de energia possível para a geração da maior quantidade de luz necessária. Porém este princípio, não deve, em hipótese alguma, prejudicar o conforto e a satisfação do usuário, assim como o desenvolvimento da tarefa visual exigida.

É importante destacar que os equipamentos de climatização são responsáveis por parte do consumo de energia e que a utilização de iluminação e ventilação natural em galpões, com o emprego adequado dos materiais, apresenta uma contribuição significativa na redução do consumo da energia elétrica, além da melhoria do conforto ambiental e bem estar dos usuários (VIEIRA, 2008).

Um sistema de iluminação energeticamente eficiente pode ser obtido através das variáveis já mencionadas anteriormente, como a análise adequada das características da atividade e a escolha correta dos equipamentos (luminárias, lâmpadas e reatores) para cada fim. Levando-se em consideração que as tarefas visuais se diferenciam nos seguintes parâmetros:

- Pequenas ou grandes
- Escuras ou claras
- Opacas, transparentes ou translúcidas
- Posicionadas em planos horizontais, verticais ou inclinadas
- Superfícies planas ou arredondadas

E somente após a análise criteriosa pode-se dar início ao processo da elaboração do projeto (JAGLBAUER, 2007).

O projeto de iluminação deve contemplar em suas premissas não só o bem estar do usuário relacionado à tarefa exercida, mas deve também considerar e indicar áreas de perigo eminente e garantir que não haja nenhum tipo de desconforto, como ofuscamentos e sombras, sempre na busca pela mitigação de acidentes.
Outra maneira para se obter uma iluminação eficiente minimizando os desperdícios, pode ser conseguida através do uso de sensores de presença e dispositivos de controle

que limitam o acionamento e a duração de funcionamento do sistema de iluminação. Os mecanismos mais comumente utilizados em sistemas de iluminação são os sensores de presença, minuterias, *dimmers* e comutadores fotoelétricos.

Os sensores de presença podem ser de dois tipos, os sensíveis a radiação infravermelha (mais comum no mercado) e os sensíveis ao ultra-som. Este dispositivo eletrônico aciona o sistema de iluminação após detectar movimentação no ambiente e é desligado após tempo programável, quando não houver mais movimentação.

Segundo Alvarez (1998), o potencial de conservação de energia com o uso de sensores de presença em áreas de depósito está entre 50 a 75%, porém vale observar que quanto maior a freqüência de acionamentos da lâmpada, menor a sua vida útil, devendo ser analisado caso a caso sua implantação. Em locais com muita movimentação, por exemplo, o desligamento do sistema apresenta um tempo muito reduzido inviabilizando assim sua utilização.

As minuterias são equipamentos que desligam as lâmpadas sob seu comando após um tempo determinado e estas podem ser do tipo eletrônico ou individual. A minuteria individual é utilizada para comandar a iluminação de áreas que não necessitam de luminosidade constante, como hall e escadas. Elas mantêm as lâmpadas acesas por um período de tempo de aproximadamente um minuto e trinta segundos. Já a minuteria eletrônica apresenta uma regulagem para seu funcionamento que pode ser permanente ou temporizada entre quinze segundos a cinco minutos e possui um pré aviso de extinção de luz com a redução da luminosidade durante dez segundos.

O *dimmer* é um variador de tensão, permitindo que a luminosidade da lâmpada varie entre zero e seu máximo. Eles dispensam a passagem da corrente através de resistência para a dissipação da energia elétrica em calor. Sua utilização é importante em locais onde há a presença da iluminação natural e artificial, podendo a artificial ser *dimerizada* (manualmente) quando a natural suprir as necessidades. Usualmente utilizado nas linhas de luminárias próximas às janelas.

E por fim os comutadores fotoelétricos também chamados de relés fotoelétricos são sistemas que promovem a integração entre iluminação artificial e natural. Ele funciona através de uma fotocélula, que envia um sinal elétrico em função da iluminância

detectada, se este nível de iluminação natural for suficiente para iluminar o ambiente, não é necessário ativar a iluminação artificial e caso o nível seja menor do que o programado, o sistema de iluminação artificial é ativado. A utilização deste sistema é bastante recomendado para iluminação pública, pátios industriais e em ambientes com iluminação natural. Em galpões fabris também podem ser utilizados este tipo de relés uma vez que programados para atender o nível de iluminamento geral do galpão.

3.4. Tipos de luminárias utilizadas em projetos industriais.

A luminária tem como principal função distribuir a luz emitida pelas lâmpadas de maneira adequada sobre a superfície de trabalho (ALVAREZ, 1998).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABILUX, 2009), 13% das indústrias de iluminação têm o segmento industrial como sua principal participação no mercado nacional, conforme Figura 5.

Figura 5 – Participação no mercado da iluminação do segmento industrial

Fonte: Abilux, 2009

De maneira abrangente as luminárias utilizadas em projetos luminotécnicos industriais se dividem em três categorias conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Categorias de luminárias industriais

Categoria	Corpo	Refletor	Lâmpada	Foto
Série descarga	Corpo em chapa de aço tratado, com pintura eletrostática	Refletor em alumínio anodizado	Lâmpadas de descarga 250W ou 400W (vapor de sódio / vapor metálico)	
		Refletor em acrílico prismático transparente.		
Série fluorescente	Corpo em chapa de aço tratado, com pintura eletrostática epóxi branca	Refletor em alumínio anodizado	Fluorescente tubular 28W -Fluorescente tubular 32W -Fluorescente tubular 54W -Fluorescente tubular 58W -Fluorescente tubular 110W	
		Refletor em chapa de aço tratado, com pintura eletrostática epóxi branca		
		Sem refletor		
Série especial	Corpo em chapa de aço tratado, com	Refletor em alumínio anodizado	Fluorescente tubular 28W -Fluorescente	

	pintura eletrostática branca	Refletor em chapa de aço tratado, com pintura eletrostática epóxi branca	tubular 32W -Fluorescente tubular 54W -Fluorescente tubular 58W	
	Corpo em policarbonato na cor cinza	Refletor em alumínio anodizado	Fluorescente tubular 28W -Fluorescente tubular 32W -Fluorescente tubular 54W -Fluorescente tubular 58W	
		Refletor em chapa de aço tratado, com pintura eletrostática epóxi branca		

Fonte: próprio autor.

Segundo Iwashita (2004) a distribuição da luz varia de acordo com os componentes nela existentes, como:

- Refletores – utilizados geralmente em alumínio ou plástico metalizado e possuem a função de redirecionar a luz emitida pela lâmpada por reflexão.
- Aletas – utilizados geralmente em alumínio, chapa de aço pintada de branco ou plástico metalizado e possuem a função de reduzir a visão direta da lâmpada sob determinados ângulos.
- Refratores – utilizados geralmente em vidro ou plástico e são dispositivos de controle que tiram proveito da mudança de direção da luz quando esta atravessa materiais de diferentes transmitâncias ópticas.
- Difusores – utilizados em policarbonato, vidro ou plástico e são elementos de controle que redirecionam a luz em várias direções.

Estes componentes também influenciam o desempenho da luminária, como por exemplo, uma luminária sem refletor e sem aletas da marca Itaim, modelo 4010

apresenta um rendimento de 89%, enquanto uma luminária da mesma marca modelo 2001, com refletor e aletas em alumínio apresentam um rendimento de 73%, conforme catálogo do fabricante Itaim (2008). Esta diferença de rendimento se dá pelo acréscimo de componentes agregados ao corpo da luminária. Apesar do rendimento do modelo 2001 ser inferior ao do modelo 4010, esta luminária apresenta benefícios como um controle maior de ofuscamento (aletas) e melhor direcionamento da luz emitida pela lâmpada com a utilização dos refletores.

A utilização destes componentes depende exclusivamente das características de cada ambiente do projeto. Luminárias com aletas, em projetos industriais, devem ser utilizadas, preferencialmente, nas áreas administrativas ou em laboratórios, cuja necessidade se exige redução no nível de ofuscamento. Já os difusores em vidro, acrílico ou policarbonato alteram a distribuição do fluxo luminoso nominal utilizando o fenômeno da refração[7], mas podem ser utilizados também para a segurança dos usuários em caso de quebra das lâmpadas ou em áreas que necessitem de um controle de acúmulo de poeira, poluição, impactos e fácil limpeza.

Já os refletores estão diretamente relacionados às características do ambiente e à característica fotométrica da luminária. Em ambientes com pé direito muito alto recomenda-se a utilização de luminárias com refletores de facho concentrado, já que a curva de distribuição luminosa é mais fechada, atingindo o plano de trabalho com maiores índices, se comparados com refletores de facho aberto.

Segundo Alvarez (1998) a substituição de uma luminária convencional de quatro lâmpadas sem refletor, por uma luminária com duas lâmpadas e refletor que as separa, pode proporcionar um aumento de rendimento entre 20 a 50%.

---

[7] Refração é a fração da luz incidente com um comprimento de onda específico, que atravessa uma amostra de matéria.

3.4.1. Dados fotométricos

O levantamento fotométrico de uma luminária permite a medição do rendimento do sistema (da lâmpada e da luminária), a determinação dos índices de ofuscamento, o fator de utilização e a curva de distribuição luminosa.

O rendimento óptico representa o fluxo luminoso nominal total emitido pela luminária dividido pela soma do fluxo luminoso nominal das lâmpadas fora dela. A luz emitida pela luminária depende da óptica da luminária (absorção, reflexão, transmissão e temperatura de operação).

Os dados fotométricos possibilitam a avaliação do grau de controle de ofuscamento da luminária, através das curvas no plano longitudinal e transversal da luminária e das curvas de limitação de ofuscamento nos ângulos de 45° e 85°, que são ângulos críticos de visualização. Em projetos industriais as curvas de ofuscamento são utilizadas nas luminárias de ambientes com pés diretos mais baixos como administrativo e laboratórios.

O fator de utilização é apresentado em forma de tabela e é a razão entre o fluxo luminoso nominal que atinge uma superfície e a soma dos fluxos luminosos das lâmpadas fora da luminária. Para a utilização da tabela é necessário o rendimento da luminária, os coeficientes de reflexão das superfícies (piso, parede e teto) do ambiente e das dimensões do local.

E por fim, a curva de distribuição luminosa indica a forma de distribuição da luz dada pela luminária. Ela apresenta também a intensidade luminosa em um plano que passa através da luminária em função do ângulo medido a partir de uma determinada direção. A intensidade luminosa é dada na forma de um diagrama polar, em candela por 1000 lumens do fluxo nominal da lâmpada.

3.5. Tipos de lâmpadas utilizadas em projetos industriais

A lâmpada é um dos componentes fundamentais para os sistemas de iluminação e podem ser classificadas como incandescentes, de descarga e leds.

As incandescentes necessitam de um condutor sólido para irradiar luz, enquanto as de descarga emitem luz a partir da passagem de corrente elétrica por um gás, e estão classificadas conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Tipos de lâmpadas

Incandescentes		Convencional Halógena
Descarga	Baixa pressão	Fluorescente Sódio
	Alta pressão	Mercúrio Sódio Vapor metálico
Enxofre		
Indução		Fluorescentes
LED		

Fonte: Dias, 2004

Em projetos industriais, de maneira geral, pouco se utilizam as lâmpadas do tipo incandescente, uma vez que conforme catálogo do fabricante OSRAM (2009/10) elas apresentam, vida útil média de 750h (incandescente c*lassic A*) a 5000h (halógenas dicróicas *energy saver*) e baixa eficácia luminosa com 9,2 lm/W para a lâmpada incandescente *classic A* de 25 W. Se comparada com as lâmpadas de descarga de baixa pressão que chegam a durar, conforme mesmo fabricante, 7500h e apresentam uma eficácia luminosa de 90,2 lm/W, o que representa uma eficácia luminosa dez vezes maior do que as lâmpadas incandescentes e uma vida útil maior.

Nos próximos parágrafos serão apresentadas as tipologias mais utilizadas em projetos industriais. São elas: as lâmpadas de descarga de baixa pressão (fluorescentes), as lâmpadas de descarga de alta pressão (vapor de sódio e metálicas) e LED.

- Lâmpadas de descarga de baixa pressão.

As lâmpadas de descarga de baixa pressão são as **lâmpadas fluorescentes.** São bastante utilizadas em áreas administrativas das plantas industriais. Os avanços

tecnológicos deste sistema têm aumentado, entre outros fatores, em sua eficácia luminosa, através da evolução do pó fluorescente presente no interior do bulbo, permitindo assim a utilização dentro das áreas fabris, com pés direitos mais altos.

Elas se apresentam em três formatos, as tubulares, as compactas e as circulares e ainda possuem diâmetros e dimensões distintas dependendo de suas características. O foco deste trabalho serão as lâmpadas fluorescentes tubulares, já que a utilização dos outros dois formatos se concentra basicamente em áreas menores, como banheiros, copas, recepção, entre outros.

As lâmpadas florescentes tubulares podem apresentar diâmetros distintos, sendo os mais atuais:

- T5 com 16mm de diâmetro;
- T8 com 26mm de diâmetro[8].

As principais diferenças entre os dois diâmetros (T5 e T8) estão relacionados a seguir.

- Quanto menor o bulbo das lâmpadas fluorescentes, maior será o rendimento das luminárias, uma vez que bulbos com menores diâmetros possibilitam maior reflexão do fluxo luminoso nominal emitido, conforme .

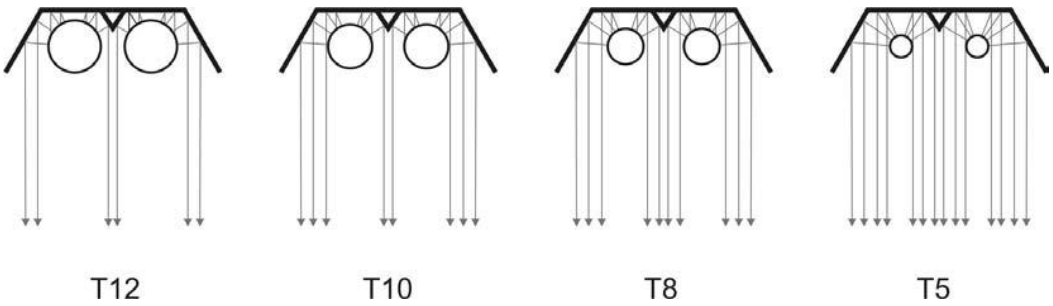


Figura 6 – Reflexão da luz com a redução do diâmetro das lâmpadas

Fonte: Iwashita, 2004.

[8] Existe no mercado as lâmpadas T12 e T10, cujos diâmetros são 38mm e 32mm respectivamente, porém neste estudo estão sendo levadas em consideração apenas as mais atuais, as T8 e as T5.

- A eficácia luminosa da lâmpada T5 é 12% maior do que o da lâmpada T8. Enquanto a lâmpada de T5 de 14W apresenta 85,7 lm/W a lâmpada T8 de 16W apresenta 75 lm/W.

- As lâmpadas T5 não permitem a utilização de reatores eletromagnéticos, afastando o risco de efeitos estroboscópicos[9]. Estes reatores não são comumente utilizados em instalações novas, visto que existem tecnologias mais atuais.

- A vida mediana[10] da lâmpada T5 é 16% maior do que a lâmpada T8, durando a T5 24.000 horas enquanto a T8 dura 20.000 horas.

- As lâmpadas T5 apresentam seu melhor desempenho a 35°C, que segundo Iwashita (2004) é a temperatura interna das luminárias, enquanto as lâmpadas T8 apresentam seu melhor rendimento a 25°C.

- Ambas apresentam bom IRC, entre 80 a 89 e possuem tonalidades de cor entre 2700 e 6100 K para a utilização de áreas que necessitam de uma reprodução de cor mais fiel. (OSRAM, 2010)

- Outra característica das lâmpadas fluorescentes (todos os modelos e diâmetros) é que a energia térmica dissipada por este sistema é baixa se comparado com o sistema incandescente, o que favorece sua utilização em ambientes climatizados (ALVAREZ, 1998).

---

[9] A utilização de reatores eletromagnéticos produz na lâmpada uma cintilação ou efeito estroboscópico. A freqüência de cintilação das lâmpadas coincide com a freqüência de rotação das máquinas. Este efeito pode transmitir a sensação que um movimento rotativo tem uma velocidade inferior àquela que realmente tem, que a sua direção é contrária ou que inclusive o mecanismo está parado, apresentando elevado grau de periculosidade acarretando em acidentes de trabalho em processos industriais.

[10] A diferença entre vida mediana e vida média é: vida mediana: é o número de horas resultantes, em que 50% das lâmpadas ensaiadas ainda permanecem acesas.
Vida Média: É a média aritmética do tempo de duração de cada lâmpada ensaiada.
Vida Útil: É a média de horas que um dado número de lâmpadas ensaidas atingem a depreciação de 75% de seu fluxo luminoso nominal, podendo comprometer a acuidade visual das pessoas. Apesar da maioria das lâmpadas continuarem acesas após atingir este valor, é recomendável providenciar a troca por novas lâmpadas (OSRAM 2006).

Além das diferenças técnicas entre as lâmpadas T5 e T8, há vantagens ao meio ambiente, pois as lâmpadas T8 atualmente apresentam 3,0 mg de mercúrio[11], enquanto as lâmpadas T5 são compostas de 2,5mg de mercúrio (OSRAM, 2009).

Além das lâmpadas T5 e T8 já apresentadas, há atualmente no mercado uma lâmpada com duração 3,75 vezes maior do que as T8 convencionais, sendo sua vida mediana 75000 horas, com a utilização de reator eletrônico. Estas lâmpadas apresentam filamento triplo e um diferencial na dopagem da pasta emissiva, sendo este um dos responsáveis pela durabilidade do filamento, além da otimização do gás interno e uma pintura especial do pó-fluorescente garantindo o fluxo luminoso nominal da lâmpada, segundo informações cedidas pelo fabricante OSRAM por email. Sua nomenclatura no fabricante Osram é Lumilux XXT T8 e o fabricante Philips também possui uma lâmpada similar. Esta lâmpada é ideal para áreas onde a troca das lâmpadas é de difícil acesso e apresentem custos adicionais devido à interrupção da operação. Elas estão disponíveis em três potências diferentes, sendo 18W, 36W e 58W, sendo a última opção a utilizada nesta pesquisa. A comparação entre o fluxo luminoso nominal da lâmpada de 58W XXT é de 1% menor do que o fluxo luminoso nominal da lâmpada de 58W T8 convencional.

- Lâmpadas de descarga de alta pressão.

As lâmpadas de descarga de alta pressão mais utilizadas em plantas industriais, por sua eficiência, são as lâmpadas de sódio e vapor metálico cujas principais características são:

Sódio de alta pressão: são bastante utilizadas em áreas externas das instalações fabris como estacionamentos e docas, porém há também a utilização dentro de galpões que não necessitem de boa reprodução de cor.

Seu índice de reprodução de cor, conforme fabricante Osram (2010) é ≤ 25 e sua eficácia luminosa chega a 150 lm/W com a lâmpada de 600W. Outro fator importante

---

[11] As lâmpadas T8 antigamente utilizavam 15mg de mercúrio para seu funcionamento.

desta é a vida mediana que chega a 32.000 horas para lâmpadas com potência superior a 150W e 28.000 horas para potência inferior a 150W.

Em projetos de retrofiting as lâmpadas de sódio substituem diretamente as lâmpadas de mercúrio de 250W e 400W sem que haja a necessidade de troca do reator o que segundo Alvarez (1998) representa uma economia de energia da ordem de 12% a 15%, sem considerar o ganho do fluxo luminoso nominal da lâmpada de sódio.

Estas lâmpadas possuem tonalidades de cor de 2000 K, o que caracterizam a tonalidade amarelada e esta tecnologia não permite o reacendimento imediato, precisando de 2 a 15 minutos para que ocorra seu resfriamento.

Vapor Metálico: são bastante utilizadas em áreas internas e externas nas plantas fabris. Apresentam temperatura de cor constante ao longo de toda a vida útil, apresentam boa eficácia luminosa e boa reprodução de cor. Para esta família de lâmpadas recomenda-se a utilização de luminárias fechadas com vidro frontal, para segurança.

Seu índice de reprodução de cor é ótimo, conforme fabricante Osram (2010) é 90 e sua eficácia luminosa chega a 88 lm/W com a lâmpada de 400W e apresenta uma vida mediana que chega a 15.000 horas.

Estas lâmpadas possuem tonalidades de cor entre 3.000 K e 7.250K e sua tecnologia não permite o reacendimento imediato, precisando de 2 a 15 minutos para que ocorra seu resfriamento.

Com todas estas características esta é a lâmpada usualmente utilizada na iluminação de fábricas. Para alturas de até 10 metros as lâmpadas fluorescentes podem ser viabilizadas, porém para pés direitos mais altos, somente a utilização das lâmpadas metálica ou sódio, agregadas a uma luminária específica proporcionará o resultado desejado.

Lâmpadas de enxofre: estas lâmpadas apresentam um princípio de funcionamento de indução eletromagnética produzida por um magnetron[12], onde uma pequena esfera de vidro especial é montada na antena do magnetron e quando acionado esse dispositivo provoca a excitação do enxofre dentro da esfera. Um dos seus benefícios é a utilização da radiofreqüência na produção da luz.

Lâmpadas fluorescentes de indução: lâmpadas cujo princípio de funcionamento baseia-se na excitação do mercúrio e dos gases nobres em seu interior através da aplicação de um campo magnético oscilante de altíssima freqüência, atualmente são utilizadas em túneis (túnel 9 de Julho em São Paulo) pela longa vida útil que pode chegar a 60.000 horas.

LED: é um componente semicondutor que converte corrente elétrica em luz visível, também conhecido como diodo emissor de luz ou em inglês **L**ight **E**mitting **D**iode, bastante utilizado em produtos de microeletrônica como sinalizador de avisos, em painéis e lanternas de carros, modernos semáforos, entre outros. Com o desenvolvimento científico e tecnológico os LED's melhoraram seu desempenho significativamente, deixando de ser apenas uma luz de balizamento, para serem utilizados em projetos de iluminação geral e de destaque.

Suas principais características são o baixo consumo individual e a prolongada vida útil, porém ainda apresenta um mercado restrito no Brasil pelo alto custo do investimento. (FREITAS, 2010).

Algumas vantagens da utilização desta tecnologia, segundo Freitas (2010) são:

1. Emissão de luz direcional, reduzindo o desperdício da luz emitida na parte superior da lâmpada;
2. Grande resistência mecânica já que não possui vidro nem filamentos delicados em sua composição;
3. Acionamento imediato;

---

[12] O magnetron é o mesmo dispositivo que permite o funcionamento dos fornos de microondas.

4. Resistente a acionamentos cíclicos, ou seja, a vida útil não é afetada pelos números de acionamentos diários;
5. Controle versátil de intensidade e cor;
6. Não emite radiação ultravioleta e infravermelha;
7. Vida útil em torno de 50.000 horas;
8. Não contem mercúrio;
9. Irradia menos calor.

As desvantagens desta tecnologia ainda segundo Freitas (2010) são:

1. Alto custo de investimento se comparado com uma lâmpada de mesmo fluxo luminoso nominal;
2. Dependência da temperatura de operação. Em temperatura elevada ou superaquecimento do dispositivo pode levar a sua falha e redução sensível da vida útil, principalmente em LEDs de baixa qualidade, o que diferencia dos de boa qualidade. É necessário garantir a dissipação térmica adequada para o ambiente;
3. Sensibilidade à tensão de alimentação;
4. Variação na percepção de cores, IRC, pois o espectro do LED branco se difere significativamente da luz do sol;
5. Preocupação que os LEDs azuis e brancos ultrapassem os limites de segurança do perigo da luz azul. O uso indiscriminado do LED acaba gerando uma concentração maior de luz azul.

3.6. Tipos de equipamentos

Os reatores fazem parte dos componentes elétricos das luminárias e apresentam grande importância no desempenho elétrico do conjunto. Conforme ABNT (1991), eles têm a finalidade de limitar a corrente da lâmpada, tanto na partida como durante seu funcionamento, utilizando valores preestabelecidos. Podem ser classificados como eletromagnéticos e eletrônicos.

As lâmpadas de descarga necessitam de dois dispositivos auxiliares para operar: o reator e o ignitor, diferente das lâmpadas incandescentes que são ligadas diretamente na rede. O reator tem, basicamente, a função de fornecer a tensão inicial necessária para acender a lâmpada, limitar e regular a corrente durante sua operação para níveis

adequados à operação do conjunto. O ignitor fornece a tensão impulsiva necessária para o acendimento da lâmpada, em algumas lâmpadas o reator fornece este impulso de tensão, dispensando o uso do ignitor separado.

Outro fator importante do reator é o fator de fluxo luminoso nominal (FFL), pois ele é quem determina o fluxo luminoso nominal emitido pela lâmpada, ou seja, a mesma lâmpada pode emitir diferentes fluxos luminosos dependendo apenas do FFL do reator utilizado. Fatores de luxo luminoso maiores do que um (1) aumentam o fluxo luminoso nominal emitido pela lâmpada e menores do que um (1) reduzem o fluxo luminoso nominal emitido pela lâmpada. Esta pesquisa utilizou, para todos os cálculos FFL igual a 1.

O fator de eficácia (FE) indica a eficiência do reator, obtido através da razão entre o fluxo luminoso nominal das lâmpadas pela potência total do sistema (lâmpada + reator).

Já o Fator de Potência (FP) é definido pela razão entre a potência ativa ou real (W) pela potência aparente ou total (VA). O fator de potência é um número adimensional entre 0 e 1. Fator de potência igual a 1 indica que toda energia fornecida pela fonte é consumida pela carga. Para fatores de potência baixos (<0,92) é necessário transferir uma quantidade maior de potência aparente para se obter a mesma potência ativa ou corrigir o fator de potência através do uso de um capacitor.

Os reatores eletromagnéticos podem ter partida rápida ou partida convencional e os eletrônicos podem ter partida rápida, instantânea ou ainda programada.

Os reatores eletromagnéticos são constituídos por um núcleo de aço silício e bobinas de fio de cobre esmaltado, impregnados com resina de poliéster e com carga mineral. Eles apresentam grande poder de isolamento e dissipação térmica. Estes reatores apresentam baixo fator de potência (cerca de 0,60 indutivo) e considerável perda de energia.

Partida convencional necessita de um "*starter*" para dar a partida na lâmpada, que tem a função de pré aquecer os eletrodos das lâmpadas fluorescentes. Indicados para locais úmidos, de baixa temperatura ou sem condições de aterramento.

Partida rápida fornece uma tensão elétrica elevada entre os filamentos da lâmpada mantendo-os incandescentes durante todo o tempo de operação da lâmpada. Este sistema permite o acendimento da lâmpada em curto espaço de tempo. Indicado para ambientes agressivos como galvanoplastia.

Os reatores eletrônicos são constituídos por componentes eletrônicos (capacitores, resistores, circuitos integrados e outros) operando como chave, abrindo e fechando a alimentação da lâmpada com freqüência entre 25 e 40 kHz. São mais compactos do que os eletromagnéticos, mais leves, eliminam o efeito estroboscópico, aumentam a vida útil das lâmpadas, apresentam uma luz mais estável, possuem ausência de ruído audível, permitem dimerizar o fluxo luminoso nominal da lâmpada e consomem menos energia, porém em reatores eletrônicos de baixa qualidade (sem filtros), a distorção harmônica total (DHT) pode chegar a 25%, enquanto nos reatores magnéticos convencionais está entre 12 e 20%. Um reator eletrônico de boa qualidade, com filtros, pode apresentar uma DHT inferior a 5% e fator de potência de conjunto (lâmpada + reator) 0,95 capacitivo (ALVAREZ, 1998).

A vida útil dos reatores influencia a avaliação econômica dos sistemas já que o reator representa uma parcela significativa do investimento em iluminação. Segundo Iwashita (2004) apesar dos fabricantes não fornecerem em catálogo, a vida útil dos reatores, ao serem consultados, informaram que sua vida média está em torno de 30.000 horas.

Estes reatores possuem os acendimentos:

- Partida rápida ou programada cujo acendimento controla eletronicamente o sistema de preaquecimento dos filamentos da lâmpada. Este tipo de acendimento possibilita um maior número de acendimentos durante o dia, uma vez que estes reatores protegem os filamentos das lâmpadas fluorescentes.

- Partida instantânea é o sistema onde não há pré aquecimento dos filamentos, pois o reator gera diretamente a tensão de circuito aberto para o acendimento instantâneo das lâmpadas fluorescentes.

Os reatores utilizados na pesquisa são os reatores eletrônicos, alto fator de potência.

3.7. O projeto luminotécnico

O projeto de iluminação industrial tem como principal objetivo o conforto visual dos usuários, garantir a segurança durante a execução do trabalho e manter ou aumentar a produtividade humana.

Além da escolha correta do sistema a ser utilizada, a distribuição no ambiente também é fator relevante no desenvolvimento do projeto, minimizando efeitos indesejáveis.

A distribuição das luminárias deve garantir uma uniformidade da luz no plano de trabalho, evitando que o olho humano perceba diferenças de índices de luminância, evitando fadiga visual do usuário. Deve garantir também que não haja sombras formadas a partir de máquinas ou do próprio corpo do funcionário, devendo ser localizadas da melhor maneira em cada projeto.

As refletâncias do piso, parede e teto devem ser consideradas no cálculo de modo que ambientes mais claros apresentem maior índice de iluminância se comparados com o mesmo ambiente com pinturas escuras.

O cálculo da quantidade de luminárias pode ser apresentado em quatro etapas sendo a primeira a definição do índice do local (K), onde para a iluminação direta consideramos a Equação 1:

Equação 1 – Índice do local

Onde:
c – comprimento do ambiente
l - largura do ambiente
h – altura de montagem da luminária (pé direito menos a altura do plano de trabalho)

Após a determinação do índice do local (K), com a tabela de fator de utilização da luminária a ser utilizada, é necessário cruzar os dados com as refletâncias do ambiente, conforme exemplo da Tabela 7, sendo esta a segunda etapa. A tabela de fator de

utilização deve estar disponível no catálogo dos fabricantes de luminárias e cada luminária deverá apresentar sua tabela.

Tabela 7 – Tabela de fator de utilização

TETO (%)		70		50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)		10		10			10		0
KR	FATOR DE UTILIZAÇÃO (X 0,01)								
0.60	32	28	26	31	28	26	28	26	25
0.80	38	34	31	37	34	31	33	31	30
1.00	42	39	36	41	38	36	38	36	35
1.25	46	43	40	45	42	40	42	40	39
1.50	48	46	44	48	45	43	45	43	42
2.00	52	50	48	51	49	48	49	47	46
2.50	54	53	51	53	52	50	51	50	49
3.00	56	54	53	55	53	52	53	52	50
4.00	57	56	55	56	55	54	54	54	52
5.00	58	57	56	57	56	55	55	55	53

Fonte – Catálogo 2008 Itaim Iluminação

O terceiro passo é determinar o fator de perdas luminosas (FPL), definido como a iluminância média no plano de trabalho após certo período de uso. Este fator incorpora perdas como acúmulo de poeira, freqüência de limpeza do sistema, fator de manutenção da luminária e fator de manutenção das superfícies da sala e deve ser definido conforme Figura 7.

O dimensionamento do sistema pode ser feito através do método dos lumens ou do método ponto a ponto. Esta pesquisa será baseada no método dos lumens, e para a determinação do número de luminárias utiliza-se a Equação 2.

Equação 2 - Fórmula método dos lumens

Onde:

N – número necessário de luminárias

E_{med} – nível médio de iluminância

A – área do ambiente (m^2)

n – número de lâmpadas por luminária

Φ_n – fluxo nominal da lâmpada (em lumens)

U – fator de utilização

FPL – fator de perdas luminosas

FFL – fator de fluxo luminoso nominal do reator

Atualmente para a elaboração de cálculos luminotécnicos, utilizam-se softwares específicos para iluminação. Esta pesquisa está baseada em simulação computacional, considerando os dados acima descritos.

HALÓGENA					
AMBIENTE		MUITO LIMPO	LIMPO	NORMAL	SUJO
LUMINÁRIA	CLASSIFICAÇÃO				
A	Fluxo direto e indireto	0,87	0,80	0,70	0,59
B	Fluxo direto e indireto	0,86	0,78	0,68	0,59
C	Fluxo direto	0,87	0,79	0,69	0,59
D	Fluxo direto	0,87	0,79	0,70	0,63
E	Fluxo direto	0,88	0,84	0,77	0,70
F	Fluxo indireto	0,81	0,69	0,55	0,39
G	Fluxo direto	0,92	0,88	0,82	0,76

*Fator de manutenção para 2.000h de uso da lâmpada.

FLUORESCENTE TRIFÓSFORO**					
AMBIENTE		MUITO LIMPO	LIMPO	NORMAL	SUJO
LUMINÁRIA	CLASSIFICAÇÃO				
A	Fluxo direto e indireto	0,82	0,76	0,66	0,56
B	Fluxo direto e indireto	0,81	0,74	0,64	0,56
C	Fluxo direto	0,82	0,75	0,66	0,56
D	Fluxo direto	0,82	0,74	0,66	0,60
E	Fluxo direto	0,84	0,80	0,73	0,67
F	Fluxo indireto	0,77	0,65	0,52	0,37
G	Fluxo direto	0,87	0,84	0,78	0,72

*Fator de manutenção para 15.000h de uso da lâmpada.
**Com reator eletrônico. Tipo de partida do reator: partida rápida com pré-aquecimento.

FLUORESCENTE HALOFOSFATO**					
AMBIENTE		MUITO LIMPO	LIMPO	NORMAL	SUJO
LUMINÁRIA	CLASSIFICAÇÃO				
A	Fluxo direto e indireto	0,77	0,71	0,62	0,52
B	Fluxo direto e indireto	0,76	0,69	0,60	0,52
C	Fluxo direto	0,77	0,70	0,61	0,52
D	Fluxo direto	0,77	0,69	0,62	0,56
E	Fluxo direto	0,78	0,74	0,68	0,62
F	Fluxo indireto	0,72	0,61	0,49	0,34
G	Fluxo direto	0,81	0,78	0,73	0,67

*Fator de manutenção para 6.000h de uso da lâmpada.
**Com reator convencional.

FLUORESCENTE COMPACTA**					
AMBIENTE		MUITO LIMPO	LIMPO	NORMAL	SUJO
LUMINÁRIA	CLASSIFICAÇÃO				
A	Fluxo direto e indireto	0,81	0,75	0,66	0,55
B	Fluxo direto e indireto	0,80	0,73	0,64	0,55
C	Fluxo direto	0,81	0,74	0,65	0,55
D	Fluxo direto	0,81	0,74	0,66	0,59
E	Fluxo direto	0,83	0,79	0,72	0,66
F	Fluxo indireto	0,76	0,64	0,52	0,36
G	Fluxo direto	0,86	0,83	0,77	0,71

*Fator de manutenção para 6.000h de uso da lâmpada.
**Com reator eletrônico.

VAPOR METÁLICO					
AMBIENTE		MUITO LIMPO	LIMPO	NORMAL	SUJO
LUMINÁRIA	CLASSIFICAÇÃO				
A	Fluxo direto e indireto	0,79	0,74	0,64	0,54
B	Fluxo direto e indireto	0,79	0,71	0,62	0,54
C	Fluxo direto	0,79	0,73	0,63	0,54
D	Fluxo direto	0,79	0,72	0,64	0,58
E	Fluxo direto	0,81	0,77	0,70	0,64
F	Fluxo indireto	0,74	0,63	0,51	0,35
G	Fluxo direto	0,84	0,81	0,75	0,70

*Fator de manutenção para 4.000h de uso da lâmpada.

VAPOR DE SÓDIO					
AMBIENTE		MUITO LIMPO	LIMPO	NORMAL	SUJO
LUMINÁRIA	CLASSIFICAÇÃO				
A	Fluxo direto e indireto	0,86	0,80	0,69	0,59
B	Fluxo direto e indireto	0,85	0,77	0,67	0,59
C	Fluxo direto	0,86	0,79	0,69	0,58
D	Fluxo direto	0,86	0,78	0,69	0,62
E	Fluxo direto	0,88	0,83	0,76	0,70
F	Fluxo indireto	0,80	0,68	0,55	0,38
G	Fluxo direto	0,91	0,87	0,81	0,75

*Fator de manutenção para 20.000h de uso da lâmpada.

AMBIENTE	ATIVIDADE
Muito limpo	Salas limpas, Áreas de exames clínicos de hospitais, Centros de processamento de dados.
Limpo	Escritórios, Escolas, Hospitais
Normal	Lojas, Laboratórios, Restaurantes, Depósitos
Sujo	Indústrias químicas, Áreas para trabalhos com madeira, Áreas para polimento

TIPOS DE LUMINÁRIAS	CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO	EXEMPLO
A	Fluxo direto e indireto	Luminárias abertas	
B	Fluxo direto e indireto	Pendentes (fluxo direto e indireto).	
C	Fluxo direto	Luminárias de sobrepor fechadas (não permitem a passagem de fluxo de ar sobre as lâmpadas). Luminárias de embutir com aletas.	
D	Fluxo direto	Luminárias fechadas IP2X	
E	Fluxo direto	Luminárias vedadas a prova de poeira IP5X	
F	Fluxo indireto	Luminárias de fluxo indireto	
G	Fluxo direto	Luminárias com abertura para ar de retorno (sistemas de ar condicionado).	

Figura 7 – Fator de perdas luminosas

Fonte – Itaim Iluminação (Catálogo 2008)

4. METODOLOGIA

As indústrias implantadas hoje no Brasil abrangem uma diversificada gama de tarefas, onde podemos encontrar todos os tipos de produção, das mais leves às mais pesadas e por este motivo, cada indústria, exige uma acuidade visual absolutamente distinta umas das outras. Além disto, é importante salientar que, como cada indústria possui uma dinâmica diferente, os projetos luminotécnicos devem vir ao encontro das necessidades específicas de cada segmento.

As indústrias podem possuir diferentes tamanhos de ambientes, com necessidades distintas de níveis de iluminação (claras ou escuras), com boa ou não tão boa reprodução de cor. A posição das superfícies de trabalho (horizontal, vertical ou inclinada), assim como as características desta superfície também são quesitos importantes, tanto quanto as características da linha da produção, caso o objeto esteja em movimento, ou o indivíduo, ou até ambos, neste caso o projeto deve atender também às necessidades de forma que permita o cumprimento final do processo com o êxito desejado.

A construção das plantas industriais, de modo geral, são concebidas por modulações econômicas em estruturas pré-moldadas de concreto ou estrutura metálica, para viabilizar sua implantação, reduzindo o tempo de montagem e obtendo o menor custo possível por área.

Apresenta-se neste capítulo a metodologia de cálculo elaborada para um modelo de planta industrial padrão composto de uma modulação estrutural econômica, comumente utilizada pelo mercado. Esta modulação busca o maior número de possibilidades para um galpão modelo. O modelo prevê também a variação do pé direito de instalação do sistema de iluminação, em três alturas usualmente adotadas pelo mercado, 5m, 10m e 15m. A partir destes cenários são elaborados cálculos luminotécnicos para diferentes sistemas de luminárias, lâmpadas e equipamentos, obtendo valores necessários para a análise do sistema com melhor eficiência para determinar a opção com melhor desempenho técnico e mais viável economicamente, em cada cenário.

Por suas características e operacionalidade, o modelo, simulado em software especializado DIALUX e em planilhas comparativas, permite colher informações como uniformidade no ambiente, consumo anual de energia elétrica, tempo de manutenção dos sistemas propostos e o valor total do investimento, parâmetros necessários para analisar a viabilidade dos sistemas.

Este estudo se enquadra na classe de projetos de aquisição, conforme Vey et al., 2004 appud De Rocchi 1987, quando o autor classifica as categorias de investimentos em ativos permanentes depreciáveis e destaca as variáveis fundamentais em cada tipo de problema.

Tabela 8 - Variantes fundamentais no estudo das categorias de investimentos em ativos permanentes depreciáveis.

CLASSES DE PROJETOS		Principais características e possíveis variantes
Projetos de Aquisição	Caso Geral	Em se tratando de casos em que existe uma única alternativa para o investimento, o problema se resume em analisar a conveniência ou não de realizar o projeto.
	Projetos sem fins lucrativos Projetos com crédito não mensurável	Quando estão disponíveis duas ou mais opções, a principal preocupação será determinar qual delas conduzirá a menores custos, ou qual delas oferece o menor prazo de recuperação dos investimentos.
	Projetos com fins lucrativos	Estando disponíveis duas ou mais opções, busca-se aquela que oferece o maior crédito total (acumulado durante toda a vida útil econômica). Em igualdade de condições quanto ao crédito total, opta-se pela de menor prazo de recuperação.
Projetos de Reposição	Projetos com fins lucrativos	Em qualquer caso, o cerne do problema reside em determinar o momento ideal (idade ótima) para proceder à substituição. Isto significa determinar a idade na qual a troca da máquina ou equipamento propiciará a otimização dos investimentos, a maximização dos créditos totais (acumulados durante toda a vida útil econômica) e/ou os retornos sobre os investimentos.

Outros casos	Busca-se determinar a idade em que se conseguirá a otimização dos Custos Totais, acumulados durante toda a vida econômica do bem.
Projetos de Expansão	Problemas e soluções semelhantes aos encontrados nos projetos de aquisição inicial.
Projetos de Retratação	A principal preocupação é identificar quais as máquinas e equipamentos que, se forem desativados, conduzirão à minimização do prejuízo e/ou menor redução nos lucros futuros.

Fonte: Vey et al. (2004)

Para adequar o modelo proposto às necessidades da pesquisa os dados encontrados após a simulação computacional foram complementados por valores econômicos de cada sistema e comparados entre si na análise do custo do ciclo de vida anualizado (CCVA).

4.1. Metodologia para definição dos cenários

O modelo proposto tem como objetivo central apresentar o sistema de iluminação com o menor custo de operação ao longo de sua vida útil, respeitando as seguintes premissas:

1. Nível de iluminância conforme NBR 5413, para a atividade sugerida, apresentando variação[13] em 5% a mais ou a menos da média solicitada. Esta variação é aceitável quando se trata de nível médio, já que para obter o nível exato, seria necessária a utilização de luminárias fora da distribuição, ou do grid proposto, o que pode acarretar em pontos com concentração de luz acima do solicitado. A variação de 5% não é percebida pelo olho humano.

[13] Esta variação é considerada já que a distribuição das luminárias deve ser conforme “grid” proposto não podendo ser colocadas luminárias “soltas” na malha sugerida.

2. O nível de iluminância apresentado nas simulações computacionais representa o sistema instalado já em sua vida média, ou seja, no momento da instalação os níveis serão em torno de 10% acima da média solicitada.

3. Em galpões industriais é de extrema importância a utilização de sistemas de iluminação natural, como telhas translúcidas, sistemas com lentes prismáticas, sistemas em policarbonato alveolar, sendo usualmente considerado, para um nível médio de 250 lux, entre 3% a 7% da área da cobertura com estes sistemas, porém o foco desta pesquisa é a iluminação artificial e para a elaboração da simulação computacional e das planilhas não foi considerada nenhuma interferência da iluminação natural. Os cálculos devem considerar a pior situação do dia, cabendo aos sistemas de gerenciamento de iluminação[14] controlar de forma mais eficiente e econômica os ambientes.

4. Os valores considerados para a elaboração dos cálculos de viabilidade técnica e econômica foram cedidos pelo fabricante ITAIM Iluminação, porém qualquer fabricante que apresente luminárias com as mesmas características podem ser substituídos e caso apresentem características diferentes, o cálculo deve ser refeito, com as informações do fabricante em questão. Estes valores são adotados como valores de venda pelo fabricante, mas servem apenas como referência de valores praticados no mercado, podendo haver divergência de valores entre fabricantes e podendo ser reajustados em qualquer tempo. Os reatores utilizados não apresentam nenhum tipo de gerenciamento de iluminação.

5. O modelo considerou o ramo atividade uma indústria metalúrgica, e para permitir uma comparação entre todos os modelos propostos, com diferentes pés direitos, foi analisada apenas a iluminação geral do galpão em questão, não sendo consideradas as luminárias pontuais que se façam necessárias, como luminárias em bancadas de trabalho ou ainda luminárias integradas às máquinas do processo produtivo.

---

[14] Os sistemas de gerenciamento de iluminação são as tecnologias de controle dos equipamentos instalados, como sensores de luz, sensores de presença, sistemas dimerizáveis, entre outros.

O modelo adotado permitiu a criação de três cenários, com pés direitos diferentes onde em cada cenário são propostos vários sistemas diferentes de equipamentos, como quantidade de lâmpadas por luminária, consumo da lâmpada, consumo total dos sistemas propostos, tipos de lâmpadas sugeridas, diferença de fotometrias entre luminárias, como rendimento da luminária e abertura de fachos, diferente vida útil entre os sistemas, entre outros.

Os valores de mão de obra para manutenção dos sistemas não foram considerados nesta pesquisa uma vez que estes podem variar muito de um caso para outro e que cada planta pode ou não absorver estes valores com mão de obra própria. Em caso de manutenção preventiva, onde todas as lâmpadas são substituídas de uma só vez, após certo período, o trabalho deve ser programado de maneira a não interferir no processo produtivo, reduzindo os custos com a paralisação das máquinas.

4.2. O projeto modelo

Os projetos industriais atualmente optam por utilizar modulações econômicas e repetitivas, reduzindo o tempo de montagem e o custo de instalação. O projeto proposto nesta pesquisa é uma modulação usualmente utilizada pelo mercado e o objetivo desta escolha foi generalizar esta implantação, podendo esta ser segmentada ou multiplicada conforme cada caso.

4.2.1. Definição dos cenários

O modelo proposto apresenta um galpão fabril com comprimento e largura igual a 50 metros e área de 2.500 m², composto por uma modulação de pilares pré moldados de concreto a cada 10 metros, conforme Figura 8.

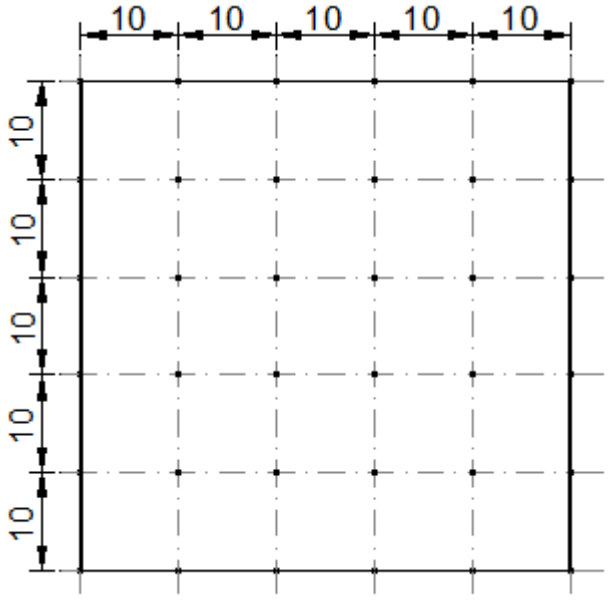


Figura 8 – Modelo da planta utilizada

Fonte: próprio autor

Para a análise dos cenários usualmente utilizados em galpões industriais, o galpão modelo é base de implantação de três alturas diferentes para a instalação das luminárias, sendo o cenário 1 com pé direito de 5 m, o cenário 2 com pé direito de 10 m e o cenário 3 com pé direito de 15 m. Para a definição dessas alturas tomou-se como base as necessidades das indústrias brasileiras, com o objetivo de definir o melhor sistema em cada altura, analisando quesitos técnicos e econômicos. Os cortes esquemáticos do modelo proposto estão representados conforme a Figura 9.

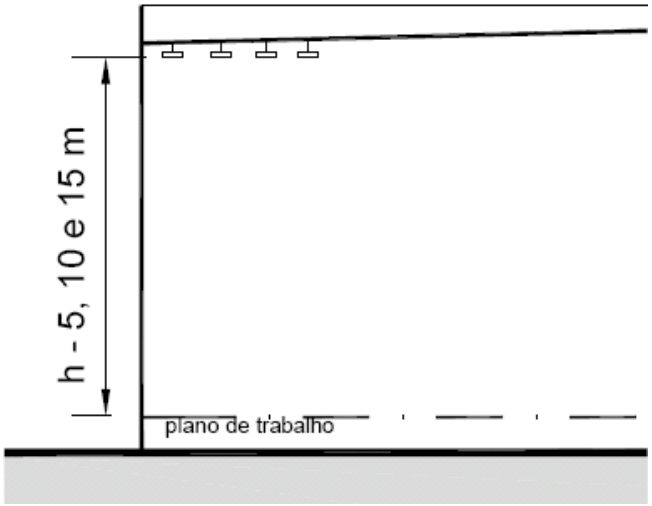


Figura 9 – Corte esquemático pé direito 5, 10 e 15 m

Fonte: próprio autor

Os cálculos consideraram a área total, pois a elaboração de cálculos parciais pode levar ao erro, uma vez que a multiplicação da quantidade das luminárias em função do aumento do ambiente não considera a interferência das luminárias entre si, podendo o nível de iluminância instalado ficar acima do desejado.

Para a correta análise entre os cenários, todas as características do ambiente foram consideradas iguais, não devendo sofrer nenhuma alteração. A Tabela 9 apresenta as premissas adotadas.

Tabela 9 – Definição das características dos cenários

CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE	CENÁRIOS 01, 02 E 03
Dimensão	50 m x 50m
Tipo de atividade desenvolvida	Indústria metalúrgica E_m – 300 lux
Características do ambiente	Limpo, porém com pouca manutenção (somente poeira do tempo)
Refletância piso	50%
Refletância parede	30%
Refletância teto	20%
Altura do plano de trabalho	0,75 m
Intervalo de manutenção do sistema	3 anos – 0,67
Iluminação natural	Não considerada para cálculo luminotécnico
Especificação da instalação elétrica	220V

Fonte: próprio autor

Após a definição das características dos ambientes, para cada cenário definiu-se a utilização de sete sistemas de iluminação para serem analisados entre si. A escolha se baseou na utilização de sistemas instalados em indústrias metalúrgicas, de tecelagem e automobilísticas do sul do Estado de Minas Gerais, após vivência do autor em projetos neste segmento.

Cada cenário apresenta sete sistemas de iluminação diferentes. Para melhor entendimento, os cálculos estão dispostos conforme Tabela 10 e Tabela 11.

Tabela 10 – Características dos sistemas propostos

SISTEMAS PROPOSTO	LUMINÁRIA	QUANTIDADE E POTÊNCIA DAS LÂMPADAS (W)	FLUXO LUMINOSO NOMINAL (lm)	POTÊNCIA INDIVIDUAL DO SISTEMA (W)	VIDA ÚTIL LUMINÁRIA (horas)	VIDA ÚTIL LÂMPADA (horas)	VIDA ÚTIL REATOR (horas)
A	4012	1x54	4450	61	110000	24000	30000
B	4012	2x54	8900	119	110000	24000	30000
C	4012	2x28	5200	62	110000	24000	30000
D	4031	2x58	10300	110	110000	75000	50000
E	4650	2x110	18700	205	110000	24000	30000
F	4811	1x400	34000	443	110000	15000	30000
G	4050	1x54	4450	61	110000	24000	30000
H	4050	2x54	8900	119	110000	24000	30000
I	4050	2x28	5200	62	110000	24000	30000
J	LED	1x130	Não informado	130	50000	50000	50000

Fonte: próprio autor

Tabela 11 – Sistemas propostos por cenário

CENÁRIOS	SISTEMAS PROPOSTO
CENÁRIO 1	A B C D E F J
CENÁRIO 2	A B C D E F J
CENÁRIO 3	G H I D E F J

Fonte: próprio autor

Os cenários são compostos pelos mesmos equipamentos de lâmpadas e reatores em todos os sistemas. Foram alterados apenas os sistemas A e B, nos cenários 1 e 2 para os sistemas G e H no cenário 3, pois os sistemas A e B apresentam um refletor com facho aberto, enquanto os sistemas G e H possuem o refletor com facho concentrado, mais indicado para pé direitos mais altos.

4.3. Estrutura do modelo proposto e suas variáveis

O modelo proposto foi composto de uma modulação estrutural padrão, comumente utilizada em plantas industriais. Esta modulação busca o maior número de possibilidades para um galpão modelo. O modelo prevê também a variação do pé direito de instalação do sistema de iluminação, em três alturas usualmente adotadas pelo mercado. Através destas variações são obtidos valores necessários para a análise do sistema mais adequado em cada variável. A Figura 10 mostra o fluxograma adotado nesta metodologia.

As simulações computacionais de cada cenário apresentam as mesmas características do ambiente para todos os cálculos, características usualmente adotadas pelo mercado. Em termos operacionais as análises econômicas foram feitas em planilhas do Excel utilizando fórmulas padrão para cada cenário proposto.

Uma vez que os detalhes específicos devem ser estudados caso a caso, esta proposta busca atender às necessidades de maneira abrangente, sem se ater a detalhes específicos. Os cálculos e equações deverão possuir a máxima simplicidade e confiabilidade para que possam ser utilizados na difusão entre os projetistas e indústrias.

Para cada cenário foram propostas sete opções de sistemas (luminárias + lâmpadas + reator) diferentes. A seguir serão relacionados os sistemas utilizados em cada um dos cenários propostos. Os sistemas estudados foram criteriosamente selecionados buscando analisar sistemas utilizados pelo mercado e sistemas ainda pouco difundidos.

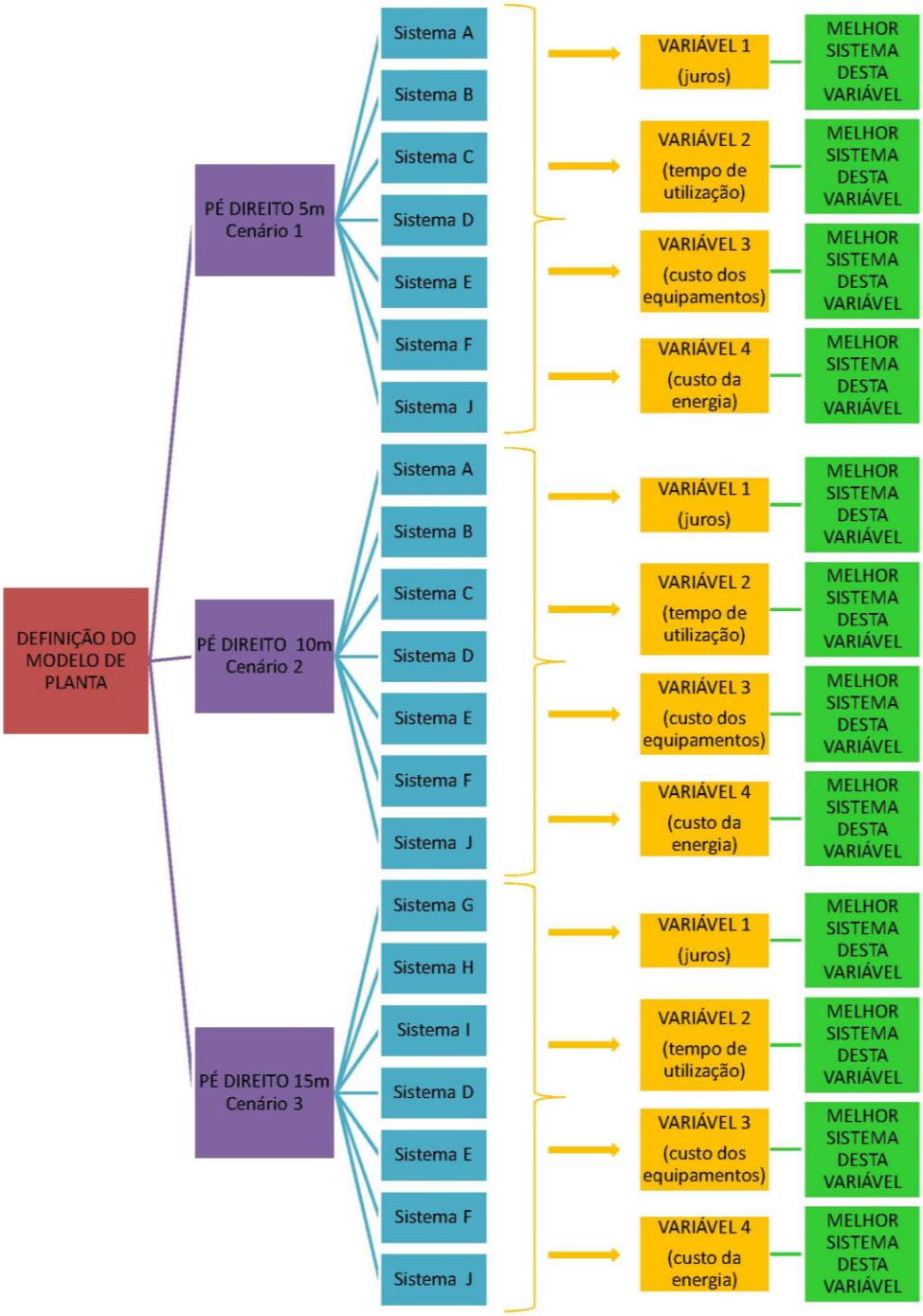


Figura 10 – Fluxograma da metodologia proposta e suas variáveis.

Fonte: próprio autor.

4.3.1. Características dos sistemas selecionados

As luminárias por si só não produzem diretamente economia de energia, elas contribuem para que a lâmpada e o reator, de uma maneira geral, aperfeiçoem seu desempenho, melhorando seus refletores e difusores de maneira que o rendimento do sistema (lâmpada + reator) aumente (IWASHITA, 2004).

O critério de escolha das luminárias se baseou no perfil da utilização industrial, buscando:

- Baixo custo;
- Refletores em alumínio anodizado quando utilizando lâmpadas fluorescentes;
- Sem grau de proteção;
- Sem difusores;
- Sem aletas.

O rendimento das luminárias também foi um critério utilizado, não se adotando em luminárias para lâmpadas fluorescentes o rendimento abaixo de 80% e para luminárias para lâmpada vapor metálico abaixo de 70%. Para o cenário três, onde o pé direito é de quinze metros, para as lâmpadas T5, adotou-se a luminária com refletor de facho concentrado, para melhorar a eficácia do sistema.

A escolha das lâmpadas buscou utilizar novas tecnologias ainda não utilizadas em grande escala pelo mercado, que apresentem potencial de conservação e maior vida útil comparada aos sistemas usualmente utilizados, sendo elas as lâmpadas fluorescentes T5 de 28W, T5 de 54W e T8 de 58W. A opção pelas tecnologias mais atuais em detrimento às consagradas pelo mercado, como as lâmpadas de 32W e 40W, se deu por suas características técnicas e por estes sistemas já apresentarem custos de investimento mais acessíveis. Um dos objetivos deste trabalho é demonstrar que as novas tecnologias apresentam grande potencial de utilização pelo mercado, ainda que o valor do investimento inicial seja maior.

Para melhor comparação entre os sistemas, além da escolha das novas tecnologias, os cálculos apresentam também sistemas já vastamente utilizados em plantas industriais, as lâmpadas fluorescentes T12 de 110W e as vapores metálicos de 400W. Com o passar dos anos e a descoberta de novas técnicas de fabricação, estas tecnologias

ainda permanecem no mercado, pois apresentam características como baixo custo no investimento inicial.

A última opção inserida na presente pesquisa são os LED's. A fotometria utilizada nos cálculos foi cedida pela área de eficiência energética do grupo UNICOBA. Estas luminárias são fabricadas na China, importadas pela empresa e comercializadas no Brasil.

As demais fotometrias e informações das luminárias utilizadas foram fornecidas pela indústria brasileira de luminárias ITAIM Iluminação.

4.3.1.1. Sistema A

Luminária modelo **4012**[15] de sobrepor, para uma lâmpada fluorescente tubular de 54W, com temperatura de cor de 4000K, fluxo luminoso nominal de 4450lm e IRC entre 80-89 e reator eletrônico FP 0,98. Descrição da luminária: corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca, refletor em chapa especular de alto brilho e rendimento de 89%.

Esta luminária é indicada para ambientes amplos, com pés direitos de até 10 metros, pois seu refletor possui uma curva de distribuição aberta e pode ser utilizada no projeto em diversas formas, como a distribuição de várias luminárias dispostas alinhadas e juntas umas das outras, chamada de distribuição "em linha". Desenho técnico conforme Figura 11.

---

[15] Nomenclatura definida pelo fabricante utilizada somente para referenciar os modelos utilizados. Descrição técnica no anexo.

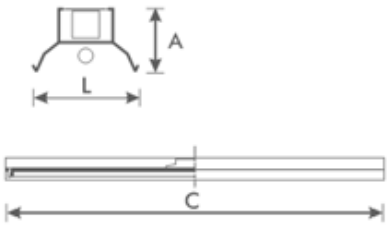


Figura 11 – Desenho técnico da luminária 4012 – Sistema A

Fonte: Itaim Iluminação

4.3.1.2. Sistema B

Luminária modelo **4012**[16] de sobrepor, para duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 54W, com temperatura de cor de 4000K, fluxo luminoso nominal de 4450lm cada lâmpada, o sistema total com 8900lm e IRC entre 80-89 e reator eletrônico FP 0,98. Descrição da luminária: corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca, refletor em chapa especular de alto brilho e rendimento de 85%. Desenho técnico conforme Figura 12.

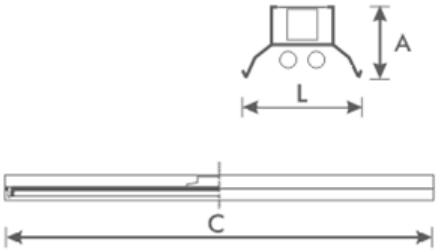


Figura 12 – Desenho técnico da luminária 4012 – Sistema B

Fonte: Itaim Iluminação

4.3.1.3. Sistema C

Luminária modelo **4012**[17] de sobrepor, para duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 28W, com temperatura de cor de 4000K, fluxo luminoso nominal de 2600 lm cada lâmpada, o sistema total com 5200 lm e IRC entre 80-89 e reator eletrônico FP 0,98. A

---

[16] Nomenclatura definida pelo fabricante utilizada somente para referenciar os modelos utilizados. Descrição técnica no anexo.

[17] Nomenclatura definida pelo fabricante utilizada somente para referenciar os modelos utilizados. Descrição técnica no anexo.

descrição da luminária é: corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca, refletor em chapa especular de alto brilho e rendimento de 85%. Desenho técnico conforme Figura 13.

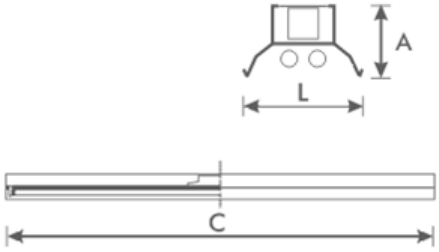


Figura 13 – Desenho técnico da luminária 4012 – Sistema C

Fonte: Itaim Iluminação

4.3.1.4. Sistema D

Luminária modelo **4031**[18] de sobrepor para duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 58W, modelo Lumilux XXT T8 (OSRAM, 2010) com temperatura de cor de 4000K, fluxo luminoso nominal de 5150 lm cada lâmpada, o sistema total com 10300 lm e IRC entre 80-89 e reator eletrônico FP 0,98. A descrição da luminária é: corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca, refletor em alumínio anodizado de alto brilho. Rendimento de 86%, conforme Figura 14.

Figura 14 – Desenho técnico da luminária 4031 – Sistema D

Fonte: Itaim Iluminação

[18] Nomenclatura definida pelo fabricante utilizada somente para referenciar os modelos utilizados. Descrição técnica no anexo.

4.3.1.5. Sistema E

Luminária modelo **4650**[19] de sobrepor para duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 110W, modelo T12 L110W (OSRAM, 2010) com temperatura de cor de 4000K, fluxo luminoso nominal de 9350 lm cada lâmpada, o sistema total com 18700 lm e IRC entre 80-89 e reator eletrônico FP 0,98. A descrição da luminária é: corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca, refletor em alumínio anodizado de alto brilho e rendimento de 81%, conforme Figura 15.

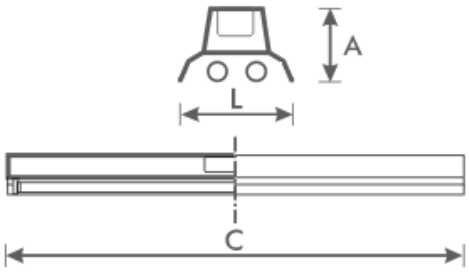


Figura 15 – Desenho técnico da luminária 4650 – Sistema E

Fonte: Itaim Iluminação

4.3.1.6. Sistema F

Luminária modelo **4811**[20] pendente para uma lâmpada vapor metálico elipsoidal de 400W, modelo Powerstar HQI-E 400W/D (OSRAM, 2010) com fluxo luminoso nominal de 34000 lm e reator eletromagnético FP 0,95. A descrição da luminária é: corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca, refletor em alumínio anodizado para facho aberto. Recomenda-se o uso de difusor em vidro temperado para lâmpadas de multi-vapores metálicos para potências maiores ou iguais a 250W. A fotometria utilizada para os cálculos desta pesquisa considera difusor em vidro temperado transparente, para segurança. O rendimento dessa luminária é de 72%, conforme Figura 16.

---

[19] Nomenclatura definida pelo fabricante utilizada somente para referenciar os modelos utilizados. Descrição técnica no anexo.

[20] Nomenclatura definida pelo fabricante utilizada somente para referenciar os modelos utilizados. Descrição técnica no anexo.

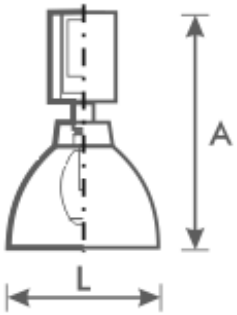


Figura 16 – Desenho técnico da luminária 4811 – Sistema F

Fonte: Itaim Iluminação

4.3.1.7. Sistema G

Luminária modelo **4050**[21] de sobrepor para uma lâmpada fluorescente tubular de 54W, com temperatura de cor de 4000K, fluxo luminoso nominal de 4450lm e IRC entre 80-89 e reator eletrônico FP 0,98. A descrição da luminária é: corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca, refletor em alumínio anodizado de alto brilho e rendimento de 86%, conforme Figura 17.

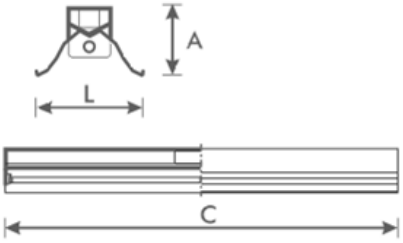


Figura 17 – Desenho técnico da luminária 4050 – Sistema G

Fonte: Itaim Iluminação

4.3.1.8. Sistema H

Luminária modelo **4050**[22] de sobrepor para duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 54W, com temperatura de cor de 4000K, fluxo luminoso nominal nominal de 4450lm

---

[21] Nomenclatura definida pelo fabricante utilizada somente para referenciar os modelos utilizados. Descrição técnica no anexo.

[22] Nomenclatura definida pelo fabricante utilizada somente para referenciar os modelos utilizados. Descrição técnica no anexo.

cada lâmpada, o sistema total com 8900lm e IRC entre 80-89 e reator eletrônico FP 0,98. A descrição da luminária é: corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca, refletor em alumínio anodizado de alto brilho e rendimento de 81%, conforme Figura 18.

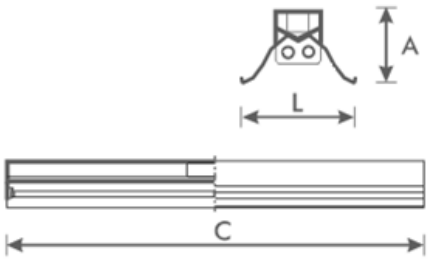


Figura 18 – Desenho técnico da luminária 4050 – Sistema H

Fonte: Itaim Iluminação

4.3.1.9. Sistema I

Luminária modelo **4050**[23] de sobrepor para duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 28W, com temperatura de cor de 4000K, fluxo luminoso nominal nominal de 2600 lm cada lâmpada, o sistema total com 5200 lm e IRC entre 80-89 e reator eletrônico FP 0,98. A descrição da luminária é: corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca, refletor em alumínio anodizado de alto brilho e rendimento de 81%, conforme Figura 19.

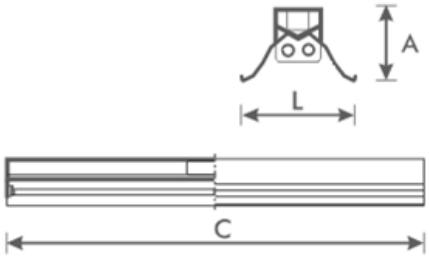


Figura 19 – Desenho técnico da luminária 4050 – Sistema I

Fonte: Itaim Iluminação

[23] Nomenclatura definida pelo fabricante utilizada somente para referenciar os modelos utilizados. Descrição técnica no anexo.

4.3.1.1. Sistema J

Luminária modelo **IE 130 R90**[24] de sobrepor para LED, com temperatura de cor de 4500K, IRC maior que 70, consumo nominal 130W, ângulo de abertura 90°, corpo em alumínio anodizado e acabamento em policarbonato transparente, conforme Figura 20.

Figura 20 – Desenho técnico da luminária IE130 R90 – Sistema J
Fonte: Unicoba

4.4. Simulação computacional do modelo proposto

O software utilizado para a elaboração dos cálculos foi o DIALUX, versão 4.7.0.0. Este software foi desenvolvido em 1994, por German Applied Light Technique Institute, para a elaboração de cálculos luminotécnicos básicos e avançados.

Ele apresenta grande aceitação no mercado e atualmente é utilizado por mais de 330.000 profissionais em todo mundo, conforme informações cedidas pelo fabricante após contato por email. O software está disponível gratuitamente no site da empresa que disponibiliza também atualizações gratuitas a cada dois anos aproximadamente.

As fotometrias podem ser inseridas no software conforme a necessidade. Esta pesquisa adotou fotometrias cedidas pela empresa Itaim Iluminação e Unicoba. De posse dessas simulações, torna-se possível quantificar a demanda instalada no modelo proposto para posterior comparação às propostas de mudança no sistema de iluminação.

---

[24] Nomenclatura definida pelo fabricante utilizada somente para referenciar os modelos utilizados. Descrição técnica no anexo.

4.5. Critérios da análise de viabilidade econômica

"Planejar não significa prever o futuro, pois ele é incerto" (COSTA, 2006). É necessário acompanhar as tendências e verificar qual o andamento da economia global a fim de estimar as medidas que devem ser propostas no momento da ação.

A análise econômica dos cenários propostos tem como objetivo avaliar o valor do dinheiro no tempo, considerando as variáveis do sistema como o valor de substituição dos equipamentos e custo com energia, avaliando assim o melhor sistema a ser implantado. Para esta análise, foram seguidas as condições abaixo descritas.

4.5.1. Parâmetros fixos

Os parâmetros fixos são aqueles invariáveis, que não alteram seus valores com o passar do tempo. São eles:

- Nível de iluminância do galpão – 300 lux;
- Tempo de limpeza do sistema – aproximadamente três anos;
- Vida útil dos equipamentos;
- Dimensão do projeto modelo – 50m x 50m;
- Altura de instalação em cada cenário – 5m, 10 e 15m;
- Altura do plano de trabalho – 0,75m.
- Inflação no período

Por não poder prever com exatidão as condições futuras dos fluxos de caixa, sob a influência da inflação, este estudo não considera esta influência com a expectativa de que a inflação está embutida na taxa de juros.

Estes parâmetros são mantidos para que a análise de sensibilidade possa apresentar apenas as variáveis sentidas pelo mercado.

4.5.2. CCVA – Custo do ciclo de vida anualizado

O custo de ciclo de vida anualizado corresponde ao valor presente de uma série de pagamentos uniformes necessários para cobrir todos os custos de investimento, manutenção e operação ao longo da vida útil do projeto. O valor do CCVA apresentado

em cada cenário é o valor anual a ser desembolsado duranto toda a vida do sistema (ade eterno), até seu descarte, já que os equipamentos apresentam vidas diferentes.

O CCVA avalia projetos com vidas desiguais e o custo do capital durante seu ciclo de vida. O CCVA é dado pelo valor equivalente do investimento inicial e o custo da energia em base anual. Ele é decorrente da utilização do Fator de Recuperação do Capital e é através dele que podem ser comparadas duas ou mais oportunidades de investimento.

O custo do ciclo de vida anualizado neste estudo é obtido a partir do custo do investimento e do custo do consumo de energia de cada sistema, multiplicado pelo fator de recuperação de capital (FRC) de cada equipamento com vida útil diferente. O FRC aplicado sobre o custo do investimento separadamente, transforma-se em uma série de pagamentos iguais ao longo de um ano e a somatória dos custos anualizados de cada equipamento representa o custo do ciclo de vida anualizado de cada sistema.

O fator de recuperação de capital (FRC) calcula o custo uniforme anual referente ao investimento unitário realizado, utilizando os juros anuais e o tempo de análise.

Sua fórmula é:

Equação 3 – Ciclo de vida anualizada

Onde:
FRC – fator de recuperação de capitais;
I – taxa de juros anuais;
N – vida útil.

Conforme Ehrlich (1986), apenas as diferenças entre alternativas são relevantes, onde uma serve de referência para a outra no processo de seleção. A análise de alternativas que competem entre si busca o objetivo de escolher o projeto que apresente o melhor retorno do capital investido.

Sua expressão é:

Equação 4 – Custo do ciclo de vida anualizado

Onde:

CCVA – custo do ciclo de vida anualizado;

– custo do equipamento 1 (luminárias);

– custo do equipamento 2 (lâmpadas);

– custo do equipamento 3 (reatores);

_ custo anual com energia consumida pelo sistema;

I – taxa de juros;

N – vida útil (razão entre a vida útil e o tempo de utilização de cada equipamento;).

4.5.3. Análise de sensibilidade

Após a análise dos sistemas de referência nos cenários propostos, pela figura de mérito do CCVA, foi elaborada a análise de sensibilidade que tem como objetivo medir a sensibilidade dos indicadores de viabilidade a determinadas variáveis fundamentais da análise e assim medir o próprio grau de incerteza e de risco das conclusões obtidas. Para que as conclusões desta pesquisa apresentem uma margem de segurança maior, foram estabelecidas algumas variáveis para os cenários anteriormente determinados.

Caso os indicadores se tornem muito desfavoráveis depois de pequenas variações, o sistema apresentará um elevado grau de risco e a decisão se torna sensível. Pode-se também analisar o custo máximo e o mínimo para confrontar o sistema mais viável ou o menos viável.

Para isso, foram simuladas as variações separadamente, porém estas podem ocorrer simultaneamente. Este estudo prevê um cenário de referência como base para a elaboração dos cálculos das variáveis.

4.5.3.1. Parâmetros variáveis

Os parâmetros variáveis são aqueles que se alteram com o passar do tempo ou pela política de cada indústria, por vários fatores, como oscilações de mercado, alteração da economia mundial, aumento nos custos da matéria prima do produto, entre outros. Para a análise de sensibilidade desta pesquisa, foram considerados quatro parâmetros variáveis. São eles:

- Taxa de juros.

Considerou-se uma variação na taxa de juros de 8%, 10%, 12% e 14%.

- Período de utilização do sistema.

Para a análise desta variável, considerou-se a variação do funcionamento do sistema de iluminação em três opções diferentes, sendo apenas um turno com 2.250 horas/ano, dois turnos com 4.500 horas/ano e três turnos com 6.000 horas/ano[25].

- Custo dos equipamentos.

Esta variável considera uma variação de 10% e 20% a mais no custo dos equipamentos. Esta variação pode ser dada pela compra de equipamentos de outras marcas ou ainda por questões como aumento do valor da matéria prima na fabricação, entre outros.

- Custo da energia.

O custo da energia pode variar conforme a revisão tarifária, alteração de encargos, impostos, entre outras variáveis. Neste estudo foi considerado uma tarifa de referência de R$ 0,355 por kWh com variação de 10% abaixo e 10% e 20% acima do valor de referência.

O critério para a tomada de decisão entre o melhor sistema de cada cenário levou em consideração os fatores econômicos, uma vez que o CCVA apresente o menor valor gasto anualmente.

---

[25] Considerando que uma fábrica trabalha cinqüenta semanas por ano de segunda a sexta, e que as demais semanas do ano a indústria se encontra em férias coletivas, utilizando portanto 250 dias por ano.

Os próximos capítulos apresentarão o projeto, os cálculos, a análise técnica e a econômica.

5. VIABILIDADE DOS CENÁRIOS

A análise comparativa entre as diversas tecnologias apresentadas deve ser balizada em dois critérios: satisfação do usuário e atratividade econômica. Valendo-se de que a satisfação do usuário foi estimado e fixado a partir dos parâmetros fixos já determinados anteriormente e já considerados nos cálculos elaborados, como premissas para cada sistema, então a atratividade econômica deverá ser o fator preponderante na escolha do sistema mais viável em cada variável.

Apesar dos parâmetros fixos já terem sido levados em consideração, os cálculos dos sistemas em cada cenário apresentam características relevantes, em cada um dos cenários, apresentadas na análise técnica.

5.1. Análise técnica - cálculos luminotécnicos do projeto sugerido

Os cálculos luminotécnicos foram desenvolvidos com base nos dados apresentados anteriormente para o projeto modelo. Estes cálculos se encontram integralmente no anexo V do texto.

Todos os sistemas propostos são válidos e o critério para a tomada de decisão entre o melhor sistema de cada cenário foi o que apresentou o menor valor gasto anualmente, segundo a figura de mérito do CCVA, porém os cálculos apresentaram algumas características em função do pé direito de instalação, da curva da luminária e do fluxo das lâmpadas, como a uniformidade do plano de trabalho.

Após a elaboração dos mesmos, os dados mais relevantes foram inseridos na tabela da composição de cada cenário. A Tabela 12 apresenta os resultados de quantidade de luminárias propostas, a potência total e o nível de iluminância em cada sistema no cenário 1.

Tabela 12 – Resultado dos sistemas no cenário 1

CENÁRIOS		SISTEMAS PROPOSTO	LUMINÁRIA	LÂMPADA (W)	FLUXO LUMINOSO NOMINAL DO SISTEMA (lm)	POTÊNCIA INDIVIDUAL (W)	NÚMERO DE LUMINÁRIAS	NÍVEL DE ILUMINÂNCIA (lux)	POTÊNCIA TOTAL DO SISTEMA (W)	DENSIDADE DE POTÊNCIA (W/m^2)
CENÁRIO 1	50m x 50m altura 5m	A	4012	1x54	4.450	61	306	311	18.666	7,47
		B	4012	2x54	8.900	119	144	294	17.136	6,85
		C	4012	2x28	5.200	62	256	305	15.872	6,35
		D	4031	2x58	10.300	110	121	297	13.310	5,32
		E	4650	2x110	18.700	205	81	315	16.605	6,64
		F	4811	1x400	34.000	443	42	287	18.606	7,44
		J	LED	1x130	Não infor.	130	144	314	18.720	6,69

Fonte: próprio autor

Em todos os cenários, os sistemas D e E apresentam a potência total do sistema, inferior à somatória da potência individual das lâmpadas que segundo o fabricante OSRAM, em esclarecimento por email, informou que alguns reatores proporcionam uma redução no consumo devido sua alta tecnologia, pois o equipamento reduz a potência da lâmpada de 58W para 50W por lâmpada, sem alterar seu fluxo luminoso nominal, apresentando a potência total de 100W referente ao consumo das lâmpadas e mais 10W referente às perdas do reator proporcionando, no geral, uma redução na potência total do sistema.

A partir dos cálculos constata-se que o sistema J apresenta a maior potência total enquanto o sistema D apresenta a menor potência total. A distribuição da luz que apresentou melhor uniformidade foram a dos sistemas A e J onde a razão entre a iluminância mínima pela iluminância máxima foi 0,466 e 0,451 respectivamente. Os demais sistemas apresentaram um índice de uniformidade menor, chegando o pior caso a 0,133 no sistema F, o que dificulta a utilização desse sistema neste cenário (pé direito 5m).

A uniformidade adequada de luminância é importante para o desenvolvimento visual e conforto visual do usuário. O critério de uniformidade, segundo Gloeilampenfabrieken (1975), é a razão entre E_{min} /E_{med} chamado de Uniformidade Global (U_0), que não deverá ser inferior a 0,4 em qualquer ponto do ambiente. Porém mesmo que o U_0 apresente um

valor superior a 0,4 ainda poderá dar a impressão de iluminação desuniforme, portanto mais um critério deverá ser utilizado, sendo este expresso pela razão entre E_{min} / E_{max} que é chamado de razão de uniformidade longitudinal U_l. Este critério também não deverá ser inferior a 0,4.

Apesar dos sistemas A e J apresentarem boa uniformidade, a potência total final dos sistemas de iluminação da planta é alto quando comparado com os demais sistemas. Já o sistema D apresentou a menor potência e a relação entre a iluminância mínima e máxima foi de 0,395, o que o torna a opção mais indicada tecnicamente.

Os cálculos do cenário 2 são apresentados na Tabela 13 e apresentam os resultados de quantidade de luminárias propostas, a potência total e o nível de iluminância em cada sistema presente no cenário 2, cujo pé direito é de dez (10) metros.

Tabela 13- Resultado dos sistemas no cenário 2

CENÁRIOS	SISTEMAS PROPOSTO	LUMINÁRIA	LÂMPADA (W)	FLUXO LUMINOSO NOMINAL DO SISTEMA (lm)	POTÊNCIA INDIVIDUAL (W)	NÚMERO DE LUMINÁRIAS	NÍVEL DE ILUMINÂNCIA (lux)	POTÊNCIA TOTAL DO SISTEMA (W)	DENSIDADE DE POTÊNCIA (W/m^2)
CENÁRIO 2 50m x 50m altura 10m	A	4012	1x54	4.450	61	342	299	20.862	8,34
	B	4012	2x54	8.900	119	169	297	20.111	8,04
	C	4012	2x28	5.200	62	306	313	18.972	7,58
	D	4031	2x58	10.300	110	132	292	14.520	5,80
	E	4650	2x110	18.700	205	90	295	18.450	7,38
	F	4811	1x400	34.000	443	49	291	21.707	8,68
	J	LED	1x130	Não inf.	130	169	313	21.970	8,78

Fonte: próprio autor

Conforme a Tabela 13 o sistema J apresenta a maior potência total, enquanto o sistema D apresenta a menor potência, correspondente a 34% de diferença. Neste cenário, todos os sistemas apresentaram boa uniformidade, e a menor relação entre a iluminância mínima e a máxima foi encontrada no sistema F com 0.347, portanto, neste cenário todos os sistemas são viáveis tecnicamente.

Os cálculos do cenário 3 são apresentados na Tabela 14 e apresentam os resultados de quantidade de luminárias propostas, a potência total e o nível de iluminância em cada sistema presente no cenário 3, cujo pé direito é de quinze (15) metros.

Tabela 14- Resultado dos sistemas no cenário 3

CENÁRIOS		SISTEMAS PROPOSTO	LUMINÁRIA	LÂMPADA (W)	FLUXO LUMINOSO NOMINAL DO SISTEMA (lm)	POTÊNCIA INDIVIDUAL (W)	NÚMERO DE LUMINÁRIAS	NÍVEL DE ILUMINÂNCIA (lux)	POTÊNCIA TOTAL DO SISTEMA (W)	DENSIDADE DE POTÊNCIA (W/m^2)
CENÁRIO 3	50m x 50m altura 15m	G	4050	1x54	4.450	61	400	301	24.400	9,76
		H	4050	2x54	8.900	119	196	297	23.324	9,32
		I	4050	2x28	5.200	62	342	302	21.204	8,48
		D	4031	2x58	10.300	110	156	314	17.160	6,86
		E	4650	2x110	18.700	205	110	307	22.550	9,02
		F	4811	1x400	34.000	443	56	301	24.808	9,92
		J	LED	1x130	Não inf.	130	182	306	23.660	9,46

Fonte: próprio autor

Conforme a Tabela 14 a diferença de potência total entre o sistema F que apresenta a maior potência instalada e o sistema D que apresenta a menor potência é de 30%. Assim como no cenário 2 a uniformidade dos sistemas propostos para o cenário 3 não apresenta nenhuma divergência acentuada, onde o pior sistema apresentado foi o sistema F com 0.354 na relação entre as iluminâncias mínima e máxima, não inviabilizando portanto a utilização deste sistema.

A análise técnica tem como objetivo apresentar o melhor sistema de cada cenário e para tanto se conclui que o sistema D apresenta os melhores índices de potência total instalada e melhor uniformidade no plano de trabalho em todos os cenários propostos. A densidade de potência (W/m^2) do sistema D também é a melhor em todos os cenários propostos, validando assim a conclusão de que o sistema D é o que apresenta melhores índices.

5.2. Análise econômica e resultados encontrados

A análise econômica dos sistemas tem como objetivo apresentar o sistema mais viável economicamente em cada cenário, considerando o caso de referência e suas variáveis. A memória de cálculo completa se encontra no anexo deste trabalho.

Conforme dados já apresentados a vida útil dos equipamentos é também um parâmetro fixo e está apresentado na Tabela 10. A vida útil de todos os equipamentos (luminárias, lâmpadas e reatores) está definida conforme informações dos fabricantes, podendo haver diferenças de fabricante para fabricante, e neste caso há necessidade de reavaliar os cálculos de viabilidade econômica.

O caso de referência adotado apresenta a taxa anual de juros de 12%, o período de utilização de 6.000 horas/ano, sendo três turnos de cinco dias por semana, o custo de energia de 0,355 R$ /kWh e o custo unitário dos equipamentos adotados, conforme a Tabela 15. Este caso de referência é o ponto de partida para todas as variáveis da análise de sensibilidade, ou seja, quando algum parâmetro é variado os demais são mantidos nos valores de referência.

O caso de referência apresentou o sistema D, para duas lâmpadas de 58W XXT como o melhor CCVA nos três cenários propostos, com uma diferença média 4,14 vezes menor do que o CCVA do sistema J para LEDS. O segundo sistema com maior CCVA, também em todos os cenários propostos, foi o A para uma lâmpada de 54W, que apresentou um CCVA 29% maior do que o sistema D no cenário 1, 33% maior do que o sistema D no cenário 2 e 32% maior do que o sistema D no cenário 3, conforme mostra a Figura 21 .

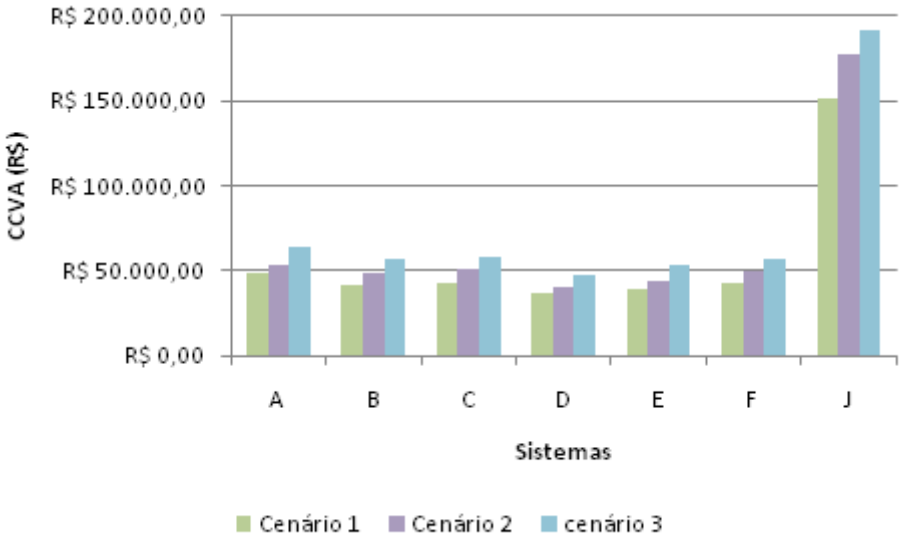


Figura 21 – Gráfico do CCVA dos sistemas no caso de referência

Fonte: próprio autor

Portanto, o sistema D, para duas lâmpadas de 58W XXT é o mais indicado, conforme estas variáveis para os três cenários propostos.

Tabela 15 – CCVA do caso de referência

CENÁRIOS	SISTEMAS	HOR. DE UTILIZ. 3 TUR. / 5 DIAS/SEM.	TAXA ANUAL DE JUROS (%)	CUSTO DA ENERGIA (R$/kWh)	CUSTO UNITÁRIO LUMINÁRIA (R$)	CUSTO UNITÁRIO LÂMPADA (R$)	CUSTO UNITÁRIO REATOR (R$)	CONSUMO ANUAL DO SISTEMA (kWh/ano)	CUSTO ANUAL COM ENERGIA (R$ / kWh)	FRC LUMINÁRIA	FRC LÂMPADA	FRC REATOR	CCVA LUMINÁRIA (R$)	CCVA LÂMPADA (R$)	CCVA REATOR (R$)	CUSTO COM ENERGIA (R$)	**CCVA**
CENÁRIO 1	A				34,33	19,99	58,91	111.996	39.758,58	0,1372	0,3292	0,2774	1.441,04	2.013,91	5.000,72	39.758,58	R$ 48.214,25
	B				35,06	39,98	71,69	102.816	36.499,68	0,1372	0,3292	0,2774	692,56	1.895,44	2.863,80	36.499,68	R$ 41.951,48
	C				35,06	31,92	71,69	95.232	33.807,36	0,1372	0,3292	0,2774	1.231,21	2.690,35	5.091,20	33.807,36	R$ 42.820,12
	D	6.000	12%	0,355	223,30	131,24	107,84	79.860	28.350,30	0,1372	0,1584	0,1964	3.706,43	2.515,77	2.562,37	28.350,30	R$ 37.134,87
	E				104,70	41,06	70,65	99.630	35.368,65	0,1372	0,3292	0,2774	1.163,36	1.094,99	1.587,52	35.368,65	R$ 39.214,51
	F				170,41	65,08	72,89	111.636	39.630,78	0,1372	0,4864	0,2774	981,81	1.329,44	849,26	39.630,78	R$ 42.791,29
	J				0,00	3.946,00	0,00	112.320	39.873,60	0,1964	0,1964	0,1964	0,00	111.582,50	0,00	39.873,60	R$ 151.456,10
CENÁRIO 2	A				34,33	19,99	58,91	125.172	44.436,06	0,1372	0,3292	0,2774	1.610,58	2.250,84	5.589,03	44.436,06	R$ 53.886,51
	B				35,06	39,98	71,69	120.666	42.836,43	0,1372	0,3292	0,2774	812,79	2.224,51	3.360,99	42.836,43	R$ 49.234,72
	C				35,06	31,92	71,69	113.832	40.410,36	0,1372	0,3292	0,2774	1.471,69	3.215,80	6.085,58	40.410,36	R$ 51.183,43
	D	6.000	12%	0,355	223,30	131,24	107,84	87.120	30.927,60	0,1372	0,1584	0,1964	4.043,38	2.744,47	2.795,31	30.927,60	R$ 40.510,76
	E				104,70	41,06	70,65	110.700	39.298,50	0,1372	0,3292	0,2774	1.292,62	1.216,65	1.763,91	39.298,50	R$ 43.571,68
	F				170,41	65,08	72,89	130.242	46.235,91	0,1372	0,4864	0,2774	1.145,44	1.551,01	990,80	46.235,91	R$ 49.923,17
	J				0,00	3.946,00	0,00	131.820	46.796,10	0,1964	0,1964	0,1964	0,00	130.954,46	0,00	46.796,10	R$ 177.750,56
CENÁRIO 3	G				44,24	19,99	58,91	146.400	51.972,00	0,1372	0,3292	0,2774	2.427,49	2.632,56	6.536,88	51.972,00	R$ 63.568,93
	H				47,67	39,98	71,69	139.944	49.680,12	0,1372	0,3292	0,2774	1.281,69	2.579,91	3.897,95	49.680,12	R$ 57.439,67
	I				47,67	31,92	71,69	127.224	45.164,52	0,1372	0,3292	0,2774	2.236,42	3.594,13	6.801,53	45.164,52	R$ 57.796,60
	D	6.000	12%	0,355	223,30	131,24	107,84	102.960	36.550,80	0,1372	0,1584	0,1964	4.778,54	3.243,47	3.303,55	36.550,80	R$ 47.876,36
	E				104,70	41,06	70,65	135.300	48.031,50	0,1372	0,3292	0,2774	1.579,87	1.487,02	2.155,89	48.031,50	R$ 53.254,28
	F				170,41	65,08	72,89	148.848	52.841,04	0,1372	0,4864	0,2774	1.309,08	1.772,59	1.132,34	52.841,04	R$ 57.055,05
	J				0,00	3.946,00	0,00	141.960	50.395,80	0,1964	0,1964	0,1964	0,00	141.027,88	0,00	50.395,80	R$ 191.423,68

Fonte: próprio autor

5.3. Análise de sensibilidade e resultados encontrados

A análise de sensibilidade é feita através de simulações possíveis para diferentes variáveis, que podem apresentar maior incerteza no futuro. É importante ressaltar que esta análise não visa apenas variações otimistas de futuro como queda de custo ou queda de juros, ao contrário, este estudo visa analisar cenários mais pessimistas onde os juros podem subir até 14%, já que no caso de referência estamos considerando 8%, os custos podem aumentar até 20% e o custo da energia pode variar entre -10% e +20%.

Os cálculos apresentados alteram apenas uma variável por vez, mantendo os demais parâmetros constantes e sua nomenclatura está representada na Tabela 16.

Tabela 16 – Nomenclatura dos cenários

Variável 1 - juros	Cenário 1.1 Cenário 2.1 Cenário 3.1
Variável 2 - tempo de utilização dos sistemas	Cenário 1.2 Cenário 2.2 Cenário 3.2
Variável 3 - custo equipamentos	Cenário 1.3 Cenário 2.3 Cenário 3.3
Variável 4 - custo energia	Cenário 1.4 Cenário 2.4 Cenário 3.4

Fonte: próprio autor

A variável 1 alterna a taxa anual de juros, que varia entre 8%, 10%, 12% e 14%, conforme Tabela 17. Considerando o FRC para cada vida útil dos equipamentos e considerando os CCVA individualmente, que se obtém multiplicando o número de

equipamentos utilizados em cada sistema proposto pelo seu custo unitário e pelo FRC respectivo. A somatória desses custos apresenta o CCVA do sistema completo.

Tabela 17 - Variável 1 – taxa de juros

CENÁRIOS	SISTEMAS	HORAS UTILIZAÇÃO	TAXA ANUAL DE JUROS VARIÁVEL 01	CUSTO ENERGIA R$/kWh	CUSTO LUMINÁRIA (R$)	CUSTO LÂMPADA (R$)	CUSTO REATOR (R$)
CENÁRIO 1.1	A	6.000	8% 10% 12% 14%	0,355	34,33	19,99	58,91
	B				35,06	39,98	71,69
	C				35,06	31,92	71,69
	D				223,30	131,24	107,84
	E				104,70	41,06	70,65
	F				170,41	65,08	72,89
	J				0,00	3.946,00	0,00
CENÁRIO 2.1	A	6.000	8% 10% 12% 14%	0,355	34,33	19,99	58,91
	B				35,06	39,98	71,69
	C				35,06	31,92	71,69
	D				223,30	131,24	107,84
	E				104,70	41,06	70,65
	F				170,41	65,08	72,89
	J				0,00	3.946,00	0,00
CENÁRIO 3.1	G	6.000	8% 10% 12% 14%	0,355	44,24	19,99	58,91
	H				47,67	39,98	71,69
	I				47,67	31,92	71,69
	D				223,30	131,24	107,84
	E				104,70	41,06	70,65
	F				170,41	65,08	72,89
	J				0,00	3.946,00	0,00

Fonte: próprio autor

Apesar da variação do parâmetro em 75% (de 8 a 14) o CCVA dos sistemas apresentou até 15% de diferença no mesmo intervalo. A maior porcentagem foi encontrada no sistema J, onde o CCVA dos equipamentos representa em média 72,89% e o custo do consumo de energia representa em média 27,11%, enquanto os demais sistemas apresentam em média 84,92% do custo do consumo de energia e 15,08% do CCVA dos demais equipamentos. Esta diferença reflete diretamente no CCVA, quando aplicada à variação de juros, já que o FRC está aplicado no custo dos equipamentos e não no custo da energia, conforme Tabela 26, Tabela 27, Tabela 28 e Tabela 29 do anexo IV.

A menor variação foi encontrada no sistema F, com 1% pois 92,82% representam o custo do consumo de energia e 7,18% o CCVA dos equipamentos, portanto a variação de juros interfere de maneira suave neste sistema.

Tabela 18 – Resultado variável 1 - Juros

RESULTADOS VARIÁVEL 1 - JUROS						
CENÁRIOS	SISTEMAS	CCVA 8%	CCVA 10%	CCVA 12%	CCVA 14%	VARIAÇÃO CCVA ENTRE 8% e 14%
CENÁRIO 1.1	A	R$ 47.231,76	R$ 47.715,78	R$ 48.214,25	R$ 48.725,83	3%
	B	R$ 41.357,61	R$ 41.650,55	R$ 41.951,48	R$ 42.259,73	2%
	C	R$ 41.820,71	R$ 42.313,53	R$ 42.820,12	R$ 43.339,30	4%
	D	R$ 35.470,25	R$ 36.284,09	R$ 37.134,87	R$ 38.018,64	7%
	E	R$ 38.703,39	R$ 38.954,49	R$ 39.214,51	R$ 39.482,48	2%
	F	R$ 42.404,17	R$ 42.594,34	R$ 42.791,29	R$ 42.994,22	1%
	J	R$ 135.894,95	R$ 143.548,86	R$ 151.456,10	R$ 159.603,69	15%
CENÁRIO 2.1	A	R$ 52.788,44	R$ 53.329,40	R$ 53.886,51	R$ 54.458,28	3%
	B	R$ 48.537,75	R$ 48.881,55	R$ 49.234,72	R$ 49.596,49	2%
	C	R$ 49.988,82	R$ 50.577,89	R$ 51.183,43	R$ 51.804,01	4%
	D	R$ 38.694,82	R$ 39.582,64	R$ 40.510,76	R$ 41.474,88	7%
	E	R$ 43.003,77	R$ 43.282,77	R$ 43.571,68	R$ 43.869,43	2%
	F	R$ 49.471,53	R$ 49.693,39	R$ 49.923,17	R$ 50.159,92	1%
	J	R$ 159.487,82	R$ 168.470,53	R$ 177.750,56	R$ 187.312,67	15%
CENÁRIO 3.1	G	R$ 62.160,29	R$ 62.853,61	R$ 63.568,93	R$ 64.304,09	3%
	H	R$ 56.553,81	R$ 56.990,33	R$ 57.439,67	R$ 57.900,65	2%
	I	R$ 56.326,16	R$ 57.050,49	R$ 57.796,60	R$ 58.562,46	4%
	D	R$ 45.730,24	R$ 46.779,48	R$ 47.876,36	R$ 49.015,77	7%
	E	R$ 52.560,16	R$ 52.901,16	R$ 53.254,28	R$ 53.618,19	2%
	F	R$ 56.538,89	R$ 56.792,45	R$ 57.055,05	R$ 57.325,63	1%
	J	R$ 171.756,11	R$ 181.429,81	R$ 191.423,68	R$ 201.721,33	15%

Fonte: próprio autor

O sistema J apresentou grande diferença de valores se comparado aos demais sistemas, a Figura 22, Figura 24 e Figura 26 representam os gráficos lineares de todas as variáveis de juros nos cenário 1, 2 e 3, porém a análise fica prejudicada já que esta disparidade não permite uma boa visualização dos demais sistemas. A Figura 23, Figura 25 e Figura 27 apresentam outro gráfico, desta vez sem o sistema J.

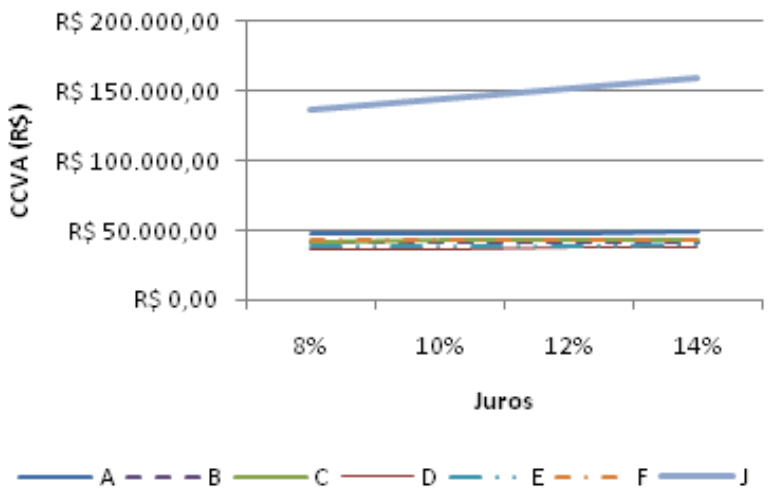


Figura 22 – Cenário 1.1 – variável 1 – juros - com sistema J

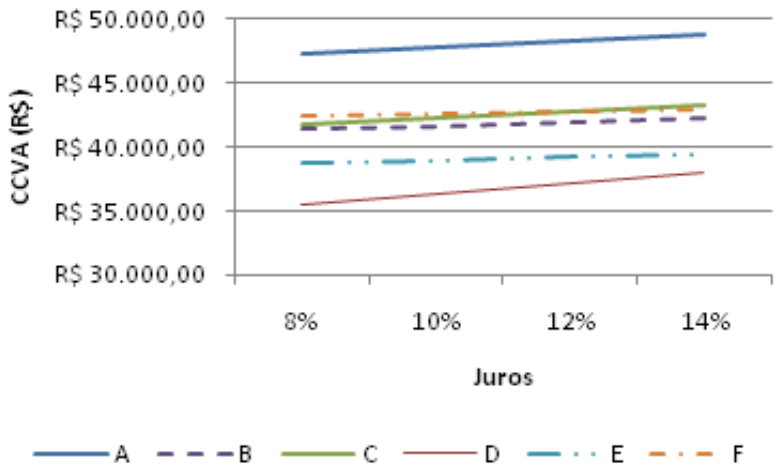


Figura 23 - Cenário 1.1 – variável 1 – juros - sem sistema J

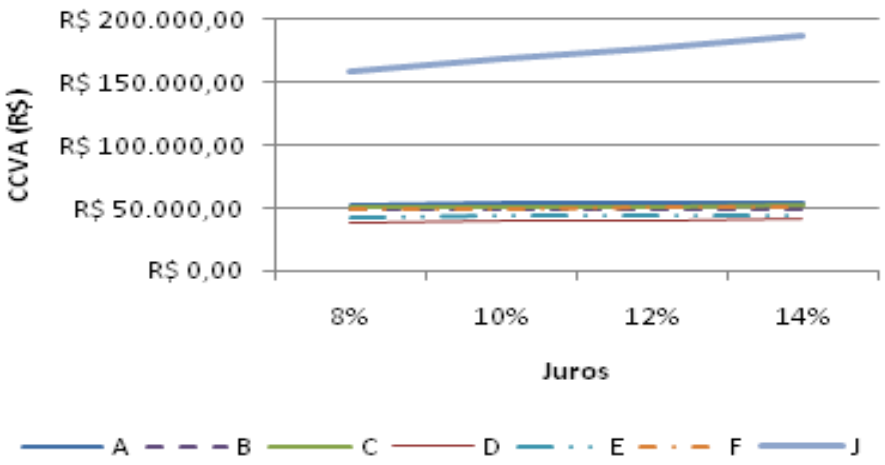


Figura 24 – Cenário 2.1 – variável 1 – juros - com sistema J

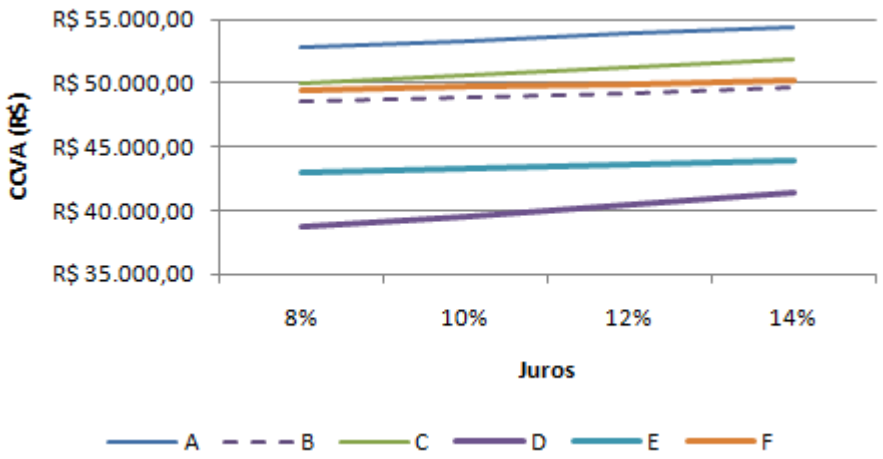


Figura 25 – Cenário 2.1 – variável 1 – juros - sem sistema J

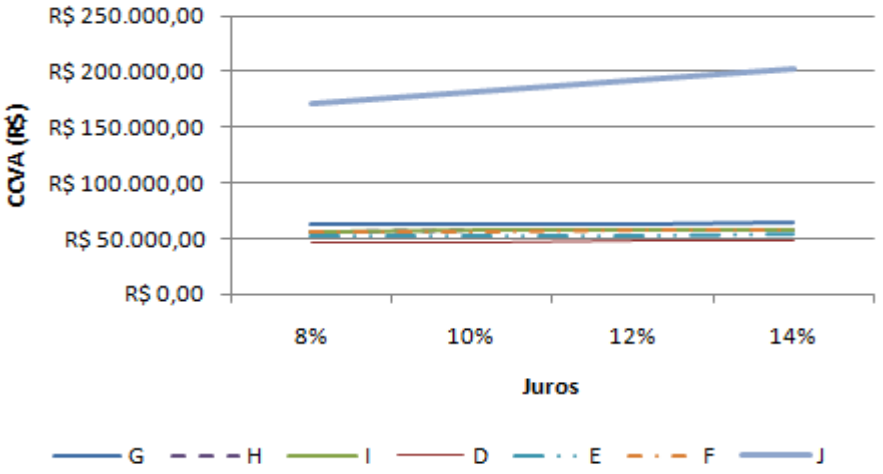


Figura 26 – Cenário 3.1 – variável 1 – juros - com sistema J

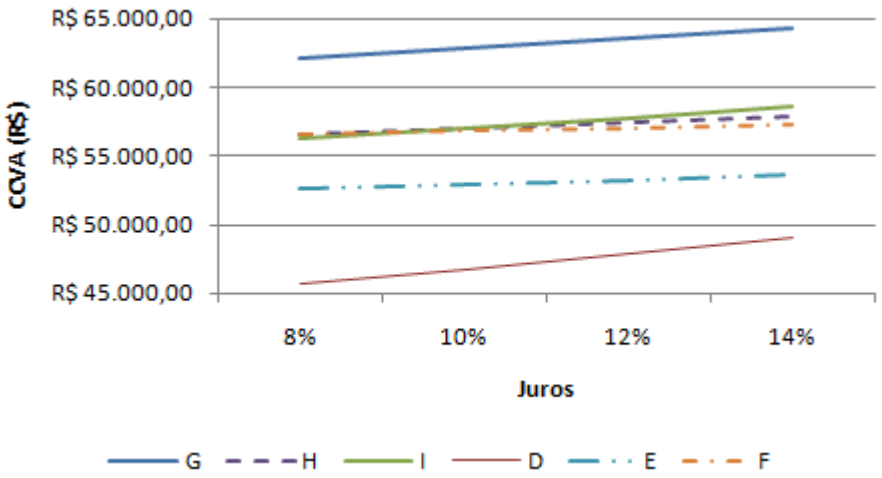


Figura 27 – Cenário 3.1 – variável 1 – juros - sem sistema J

Apesar do sistema D apresentar uma variação de 7% no CCVA entre 8% e 14% de juros, sendo a segunda maior variação, ficando atrás somente do sistema J (LED), não é sensível o bastante para se tornar inviável. A variação entre 8% e 14% é significativa, o que se conclui que a flutuação nesse parâmetro não altera significativamente no valor do CCVA. Nesta variável a tomada de decisão é clara tornando o sistema D o mais indicado, conforme Tabela 18.

A segunda variável é o período de utilização do sistema, considerando a variação do funcionamento do sistema de iluminação em três opções diferentes[26], conforme Tabela 19 e mantendo as demais variáveis com valores de referência.

[26] Considerando que uma fábrica trabalha cinqüenta semanas por ano de segunda a sexta, e que as demais semanas do ano a indústria se encontra em férias coletivas, utilizando portanto 250 dias por ano. Três turnos equivalem a 24 horas de funcionamento, dois turnos equivalem a 18 horas de funcionamento e um turno equivale a 9 horas de funcionamento.

Tabela 19 – Variável 2 – tempo de utilização

CENÁRIOS	SISTEMAS	HORAS UTILIZAÇÃO VARIÁVEL 02	TAXA ANUAL DE JUROS	CUSTO ENERGIA (R$/kWh)	CUSTO LUMINÁRIA (R$)	CUSTO LÂMPADA (R$)	CUSTO REATOR (R$)
CENÁRIO 1.2	A	6.000 4.500 2.250	12%	0,355	34,33	19,99	58,91
	B				35,06	39,98	71,69
	C				35,06	31,92	71,69
	D				223,30	131,24	107,84
	E				104,70	41,06	70,65
	F				170,41	65,08	72,89
	J				0,00	3.946,00	0,00
CENÁRIO 2.2	A	6.000 4.500 2.250	12%	0,355	34,33	19,99	58,91
	B				35,06	39,98	71,69
	C				35,06	31,92	71,69
	D				223,30	31,24	107,84
	E				104,70	41,06	70,65
	F				170,41	65,08	72,89
	J				0,00	3.946,00	0,00
CENÁRIO 3.2	G	6.000 4.500 2.250	12%	0,355	44,24	19,99	58,91
	H				47,67	39,98	71,69
	I				47,67	31,92	71,69
	D				223,30	131,24	107,84
	E				104,70	41,06	70,65
	F				170,41	65,08	72,89
	J				0,00	3.946,00	0,00

Fonte: próprio autor

Esta variável mostrou que o tempo de utilização interfere na definição do melhor sistema a ser implantado. Quanto maior o tempo de uso, mais viáveis se tornam os sistemas com maior investimento inicial. A variável 2 apresentou como melhor sistema o D, para duas lâmpadas de 58W XXT, em duas das três variáveis de tempo, sendo em dois e três turnos nos três cenários, porém para a utilização de 2.250 horas/ano, um turno, o melhor sistema foi o E para duas lâmpadas de 110W, conforme Tabela 20.

O fato do sistema D apresentar equipamentos com alto investimento inicial quando comparado aos demais sistemas, exceto sistema J (LED) e apesar de apresentar menor consumo total de energia por ano, este investimento demora mais tempo para retornar, precisando de um tempo de utilização maior do que 2.250 horas/ano, conforme Tabela 30, Tabela 31, Tabela 32 do anexo IV.

Tabela 20 – Resultado variável 2 - tempo de utilização

RESULTADOS VARIÁVEL 2 – TEMPO DE UTILIZAÇÃO					
CENÁRIOS	SISTEMAS	CCVA 3 TURNOS - 6000h	CCVA 2 TURNOS - 4500h	CCVA 1 TURNO - 2250h	VARIAÇÃO DO CCVA ENTRE 1 TURNO E 3 TURNOS
CENÁRIO 1.2	A	R$ 48.214,25	R$ 36.861,64	R$ 19.997,19	59%
	B	R$ 41.951,48	R$ 31.880,43	R$ 16.870,08	60%
	C	R$ 42.820,12	R$ 32.819,75	R$ 17.982,91	58%
	D	R$ 37.134,87	R$ 29.153,48	R$ 17.539,76	53%
	E	R$ 39.214,51	R$ 29.787,14	R$ 15.735,08	60%
	F	R$ 42.791,29	R$ 32.374,77	R$ 16.813,78	61%
	J	R$ 151.456,10	R$ 125.122,17	R$ 89.116,11	41%
CENÁRIO 2.2	A	R$ 53.886,51	R$ 41.198,30	R$ 22.349,80	59%
	B	R$ 49.234,72	R$ 37.415,23	R$ 19.798,91	60%
	C	R$ 51.183,43	R$ 39.229,86	R$ 21.495,20	58%
	D	R$ 40.510,76	R$ 31.803,80	R$ 19.134,28	53%
	E	R$ 43.571,68	R$ 33.096,83	R$ 17.483,42	60%
	F	R$ 49.923,17	R$ 37.770,56	R$ 19.616,08	61%
	J	R$ 177.750,56	R$ 146.844,76	R$ 104.587,66	41%
CENÁRIO 3.2	G	R$ 63.568,93	R$ 48.692,62	R$ 26.617,67	58%
	H	R$ 57.439,67	R$ 43.709,22	R$ 23.259,81	60%
	I	R$ 57.796,60	R$ 44.397,23	R$ 24.543,60	58%
	D	R$ 47.876,36	R$ 37.586,31	R$ 22.613,24	53%
	E	R$ 53.254,28	R$ 40.451,68	R$ 21.368,62	60%
	F	R$ 57.055,05	R$ 43.166,36	R$ 22.418,38	61%
	J	R$ 191.423,68	R$ 158.140,51	R$ 112.632,86	41%

Fonte: próprio autor

Em todas variáveis, conforme Figura 28, o sistema J apresenta CCVA acima dos demais sistemas estudados, dificultando a visualização nos gráficos e apresenta também um consumo de energia abaixo apenas do sistema F no cenário 3.

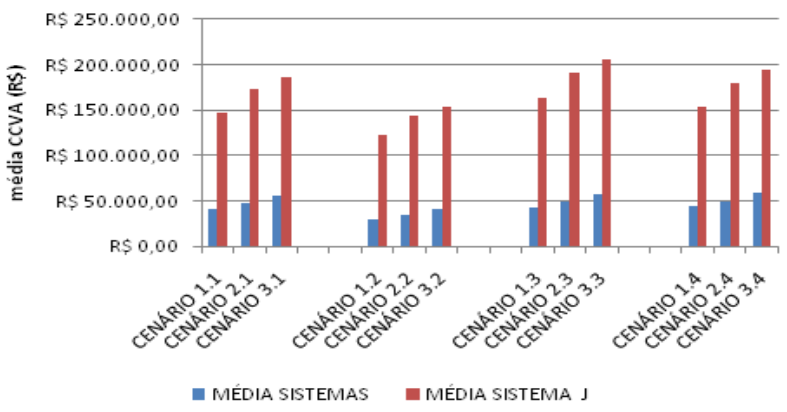


Figura 28 – Média do CCVA do sistema J e demais sistemas

Ao analisarmos a média dos CCVA de cada equipamento em todos os sistemas e cenários pelo custo do consumo de energia, na representação percentual desses custos o sistema J apresenta um percentual maior de custos com equipamentos e menor de custos com energia, diferente dos demais sistemas que são inversamente proporcionais, conforme Figura 29,Figura 30.

Figura 29 – Média da participação energia x equipamentos - variável 2 (todos os sistemas exceto J)

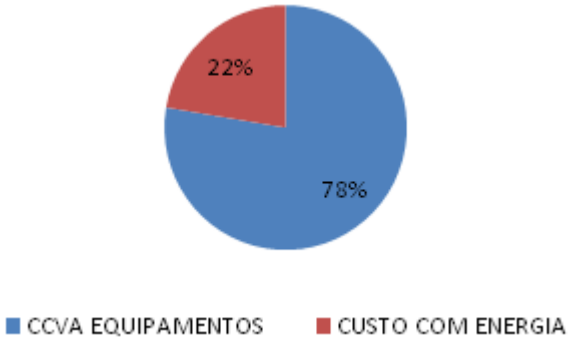


Figura 30 – Média da participação energia x equipamentos - variável 2 (sistema J)

A terceira variável é o custo dos equipamentos considerando uma variação de 10% e 20% a mais nos custos adotados, conforme Tabela 21, mantendo as demais variáveis conforme caso de referência. O valor considerado foi o valor de mercado, porém este valor pode se alterar de acordo com cada fabricante, representante ou ainda com o passar dos anos.

Tabela 21 – Variável 3 – custo dos equipamentos

CENÁRIOS	SISTEMAS	HOR. DE UTILIZ. 3 TUR. / 5 DIAS/SEM.	TAXA ANUAL DE JUROS (%)	CUSTO DA ENERGIA (R$/kWh)		CUSTO UNITÁRIO LUMINÁRIA (R$) VARIÁVEL 03	CUSTO UNITÁRIO LÂMPADA (R$) VARIÁVEL 03	CUSTO UNITÁRIO REATOR (R$) VARIÁVEL 03
CENÁRIO 1.3	A				adotado	34,33	19,99	58,91
					10%	37,76	21,99	64,80
					20%	41,20	23,99	70,69
	B				adotado	35,06	39,98	71,69
					10%	38,57	43,98	78,86
					20%	42,07	47,98	86,03
	C				adotado	35,06	31,92	71,69
					10%	38,57	35,11	78,86
					20%	42,07	38,30	86,03
	D				adotado	223,30	131,24	107,84
		6.000	12%	0,355	10%	245,63	144,36	118,62
					20%	267,96	157,49	129,41
	E				adotado	104,70	41,06	70,65
					10%	115,17	45,17	77,72
					20%	125,64	49,27	84,78
	F				adotado	170,41	65,08	72,89
					10%	187,45	71,59	80,18
					20%	204,49	78,10	87,47
	J				adotado	0,00	3.946,00	0,00
					10%	0,00	4.340,60	0,00
					20%	0,00	4.735,20	0,00
CENÁRIO 2.3	A				adotado	34,33	19,99	58,91
					10%	37,76	21,99	64,80
					20%	41,20	23,99	70,69
	B				adotado	35,06	39,98	71,69
					10%	38,57	43,98	78,86
					20%	42,07	47,98	86,03
	C				adotado	35,06	31,92	71,69
					10%	38,57	35,11	78,86
		6.000	12%	0,355	20%	42,07	38,30	86,03
	D				adotado	223,30	131,24	107,84
					10%	245,63	144,36	118,62
					20%	267,96	157,49	129,41
	E				adotado	104,70	41,06	70,65
					10%	115,17	45,17	77,72
					20%	125,64	49,27	84,78
	F				adotado	170,41	65,08	72,89
					10%	187,45	71,59	80,18

					20%	204,49	78,10	87,47
	J				adotado	0,00	3.946,00	0,00
					10%	0,00	4.340,60	0,00
					20%	0,00	4.735,20	0,00
CENÁRIO 3.3	G				adotado	44,24	19,99	58,91
					10%	48,66	21,99	64,80
					20%	53,09	23,99	70,69
	H				adotado	47,67	39,98	71,69
					10%	52,44	43,98	78,86
					20%	57,20	47,98	86,03
	I				adotado	47,67	31,92	71,69
					10%	52,44	35,11	78,86
					20%	57,20	38,30	86,03
	D				adotado	223,30	131,24	107,84
		6.000	12%	0,355	10%	245,63	144,36	118,62
					20%	267,96	157,49	129,41
	E				adotado	104,70	41,06	70,65
					10%	115,17	45,17	77,72
					20%	125,64	49,27	84,78
	F				adotado	170,41	65,08	72,89
					10%	187,45	71,59	80,18
					20%	204,49	78,10	87,47
	J				adotado	0,00	3.946,00	0,00
					10%	0,00	4.340,60	0,00
					20%	0,00	4.735,20	0,00

Fonte: próprio autor

Este parâmetro apresentou variação de 13% no sistema J em todos os três cenários, já que o investimento inicial deste sistema está acima dos demais, novamente se inviabiliza a utilização de LED’s. Os demais sistemas apresentaram variação entre 1% e 5%. O sistema D, para duas lâmpadas de 58W XXT, representa o mais viável economicamente em todos os cenários, apesar de apresentar a maior variação de CCVA entre os custos adotados e os majorados em 20%, conforme Tabela 21, que apresenta os resultados obtidos através dos cálculos da variável 3.

Tabela 22 – Resultado variável 3 - custo dos equipamentos

RESULTADOS VARIÁVEL 3 – TEMPO DE UTILIZAÇÃO					
CENÁRIOS	SISTEMAS	CCVA VALOR ADOTADO	CCVA MAJORADO 10%	CCVA MAJORADO 20%	VARIAÇÃO DO CCVA ENTRE VALOR ADOTADO E MAJORADO EM 20%
CENÁRIO 1.3	A	R$ 48.214,25	R$ 49.059,81	R$ 49.905,38	3%
	B	R$ 41.951,48	R$ 42.496,66	R$ 43.041,84	3%
	C	R$ 42.820,12	R$ 43.721,40	R$ 44.622,67	4%
	D	R$ 37.134,87	R$ 38.013,32	R$ 38.891,78	5%
	E	R$ 39.214,51	R$ 39.599,10	R$ 39.983,69	2%
	F	R$ 42.791,29	R$ 43.107,34	R$ 43.423,39	1%
	J	R$ 151.456,10	R$ 162.614,35	R$ 173.772,60	13%
CENÁRIO 2.3	A	R$ 53.886,51	R$ 54.831,56	R$ 55.776,60	3%
	B	R$ 49.234,72	R$ 49.874,55	R$ 50.514,38	3%
	C	R$ 51.183,43	R$ 52.260,73	R$ 53.338,04	4%
	D	R$ 40.510,76	R$ 41.469,08	R$ 42.427,40	5%
	E	R$ 43.571,68	R$ 43.999,00	R$ 44.426,32	2%
	F	R$ 49.923,17	R$ 50.291,89	R$ 50.660,62	1%
	J	R$ 177.750,56	R$ 190.846,01	R$ 203.941,45	13%
CENÁRIO 3.3	G	R$ 63.568,93	R$ 64.728,62	R$ 65.888,31	4%
	H	R$ 57.439,67	R$ 58.215,62	R$ 58.991,58	3%
	I	R$ 57.796,60	R$ 59.059,81	R$ 60.323,01	4%
	D	R$ 47.876,36	R$ 49.008,91	R$ 50.141,47	5%
	E	R$ 53.254,28	R$ 53.776,56	R$ 54.298,84	2%
	F	R$ 57.055,05	R$ 57.476,45	R$ 57.897,85	1%
	J	R$ 191.423,68	R$ 205.526,47	R$ 219.629,26	13%

Fonte: próprio autor

A Figura 31, Figura 32, Figura 33 apresentam a evolução de cada sistema nos três cenários analisados. A partir deles, podemos concluir que o sistema D para duas lâmpadas de 58W XXT, dentro da variação proposta é o mais viável economicamente, porém caso este aumento ultrapasse 50% do valor atual, no cenário 1, para pé direito de 5m, o melhor sistema será o E enquanto o cenário 2 somente se apresentará alteração para o sistema E com majoração de 60% e somente com aumento de 90% do valor adotado o sistema D deixa de ser viável do cenário 3.

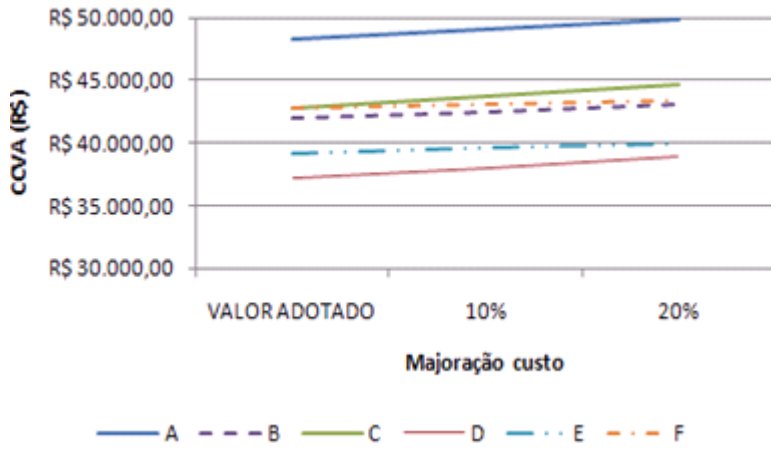


Figura 31 - Variável 3, cenário 1 - sem sistema J

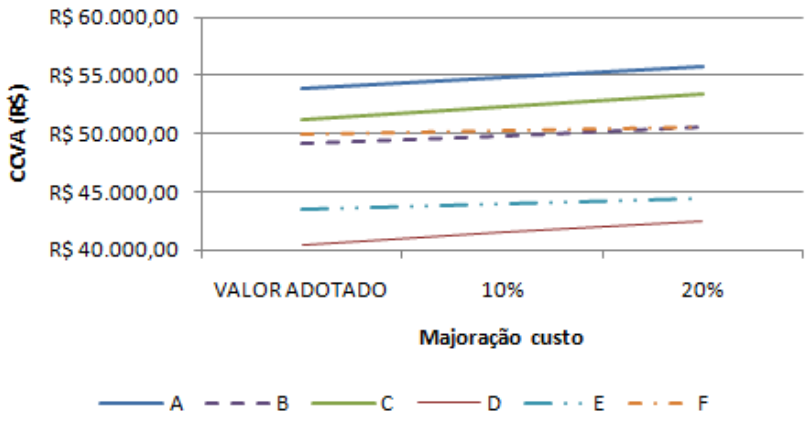


Figura 32 –Variável 3, cenário 2 - sem sistema J

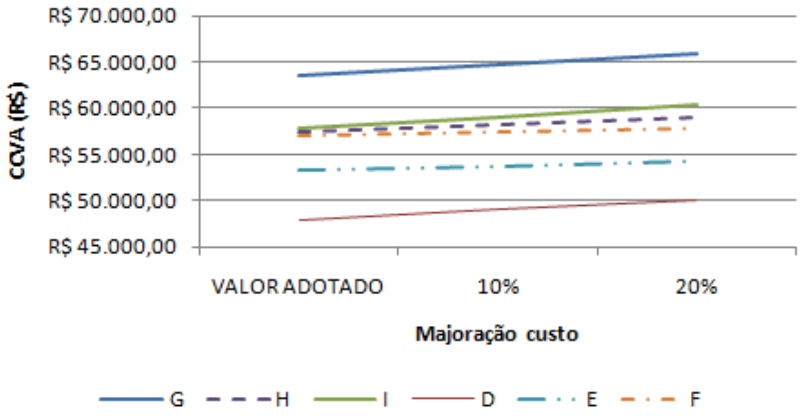


Figura 33 –Variável 3, cenário 3 - sem sistema J

Conclui-se então que na variação 3, alteração dos custos, o sistema D além de ser o mais viável economicamente nas variáveis propostas, ele se mantém como o melhor sistema após intensa alteração em pés direitos mais altos.

O quarto parâmetro variável é o custo da energia onde foi considerada uma tarifa de referência de 0,355 R$/kWh com variação de 10% abaixo e 10% e 20% acima do valor de referência, conforme Tabela 23.

Tabela 23 – Variável 4 – custo da energia

CENÁRIOS	SISTEMAS	HORAS UTILIZAÇÃO	TAXA DE JUROS	CUSTO ENERGIA (R$/kWh) VARIÁVEL 04	CUSTO LUMINÁRIA (R$)	CUSTO LÂMPADA (R$)	CUSTO REATOR (R$)
CENÁRIO 1.2	A	6.000	12%	0,355 0,3195 0,3905 0,4260	34,33	19,99	58,91
	B				35,06	39,98	71,69
	C				35,06	31,92	71,69
	D				223,30	131,24	107,84
	E				104,70	41,06	70,65
	F				170,41	65,08	72,89
	J				0,00	3.946,00	0,00
CENÁRIO 2.2	A	6.000	12%	0,355 0,3195 0,3905 0,4260	34,33	19,99	58,91
	B				35,06	39,98	71,69
	C				35,06	31,92	71,69
	D				223,30	131,24	107,84
	E				104,70	41,06	70,65
	F				170,41	65,08	72,89
	J				0,00	3.946,00	0,00
CENÁRIO 3.2	G	6.000	12%	0,355 0,3195 0,3905 0,4260	44,24	19,99	58,91
	H				47,67	39,98	71,69
	I				47,67	31,92	71,69
	D				223,30	131,24	107,84
	E				104,70	41,06	70,65
	F				170,41	65,08	72,89
	J				0,00	3.946,00	0,00

Fonte: próprio autor

Esta variável demonstra que, conforme a Tabela 24, o sistema D para duas lâmpadas de 58W XXT é melhor em todos os cenários propostos. Esta variável, diferente das demais estudadas apresenta uma variação do CCVA entre os custos de energia de

R$0,3196 e R$ 0,426 entre 5% e 15%, sendo o sistema J representante da menor variação, ou seja, este sistema apresenta pequena porcentagem de consumo total de energia se comparado com CCVA dos equipamentos, conforme Figura 34.

Tabela 24 – Resultado variável 4 – custo energia

RESULTADOS VARIÁVEL 4 – CUSTO ENERGIA						
CENÁRIOS	SISTEMAS	CCVA REFERENCIA 0,355 R$/kWh	CCVA -10% R$ 0,3195	CCVA +10% R$ 0,3905	CCVA +20% R$ 0,4260	VARIAÇÃO CCVA ENTRE R$ 0,355 E R$ 0,4260
CENÁRIO 1.4	A	R$ 48.214,25	R$ 44.238,39	R$ 52.190,10	R$ 56.165,96	14%
	B	R$ 41.951,48	R$ 38.301,51	R$ 45.601,45	R$ 49.251,42	15%
	C	R$ 42.820,12	R$ 39.439,39	R$ 46.200,86	R$ 49.581,59	14%
	D	R$ 37.134,87	R$ 34.299,84	R$ 39.969,90	R$ 42.804,93	13%
	E	R$ 39.214,51	R$ 35.677,65	R$ 42.751,38	R$ 46.288,24	15%
	F	R$ 42.791,29	R$ 38.828,21	R$ 46.754,36	R$ 50.717,44	16%
	J	R$ 151.456,10	R$ 147.468,74	R$ 155.443,46	R$ 159.430,82	5%
CENÁRIO 2.4	A	R$ 53.886,51	R$ 49.442,90	R$ 58.330,12	R$ 62.773,72	14%
	B	R$ 49.234,72	R$ 44.951,08	R$ 53.518,37	R$ 57.802,01	15%
	C	R$ 51.183,43	R$ 47.142,39	R$ 55.224,46	R$ 59.265,50	14%
	D	R$ 40.510,76	R$ 37.418,00	R$ 43.603,52	R$ 46.696,28	13%
	E	R$ 43.571,68	R$ 39.641,83	R$ 47.501,53	R$ 51.431,38	15%
	F	R$ 49.923,17	R$ 45.299,57	R$ 54.546,76	R$ 59.170,35	16%
	J	R$ 177.750,56	R$ 173.070,95	R$ 182.430,17	R$ 187.109,78	5%
CENÁRIO 3.4	G	R$ 63.568,93	R$ 58.371,73	R$ 68.766,13	R$ 73.963,33	14%
	H	R$ 57.439,67	R$ 52.471,66	R$ 62.407,68	R$ 67.375,69	15%
	I	R$ 57.796,60	R$ 53.280,15	R$ 62.313,05	R$ 66.829,50	14%
	D	R$ 47.876,36	R$ 44.221,28	R$ 51.531,44	R$ 55.186,52	13%
	E	R$ 53.254,28	R$ 48.451,13	R$ 58.057,43	R$ 62.860,58	15%
	F	R$ 57.055,05	R$ 51.770,94	R$ 62.339,15	R$ 67.623,25	16%
	J	R$ 191.423,68	R$ 186.384,10	R$ 196.463,26	R$ 201.502,84	5%

Fonte: próprio autor

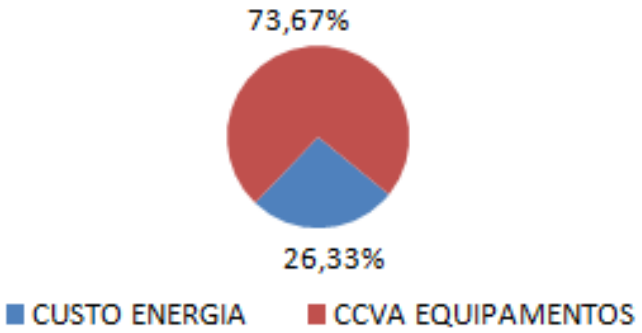


Figura 34 – Representação do consumo de energia x CCVA equipamentos – sistema J

Novamente o sistema D apresenta ser o mais viável em todos os cenários.

Com base nos cálculos, o sistema D, para duas lâmpadas de 58W XXT, se apresentou como o melhor sistema em 93% dos casos, o que o torna a melhor opção para plantas fabris dentro dos cenários propostos. Estas considerações são válidas apenas para a lâmpada de 58W com a característica de vida útil de 75.000h e não para a lâmpada de 58W T8 comum.

No capítulo a seguir são colocadas as conclusões de cada sistema.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma proposta de metodologia de análise de projetos luminotécnicos em indústrias com foco na eficiência energética. Tal proposta visa à orientação da escolha do sistema de iluminação mais eficiente considerando os aspectos técnicos e econômicos buscando simplificar a escolha do sistema mais adequado para cada indústria, utilizando como premissas as normas regulamentadoras como, por exemplo, a NBR 5413 que estabelece requisitos mínimos de iluminância, assim como as práticas de cada indústria.

Os sistemas A e G para uma lâmpada T5 de 54W (potência total do sistema - 61W), por apresentarem um fluxo luminoso nominal total do sistema inferior aos demais e a potência total instalada do sistema apenas 1 W abaixo do sistema C e I para duas lâmpadas T5 de 28W (potência total do sistema - 62W), sempre aparece como uma alternativa pouco viável, conforme Figura 35. A utilização deste sistema apresenta uma boa uniformidade no plano de trabalho e é comumente utilizado em lojas de hipermercado, quando as luminárias ficam dispostas em linha, ou seja, sem que haja espaçamento entre elas na longitudinal.

Os sistemas B e H e C e I, para duas lâmpadas T5 de 54W e 28W respectivamente, apresentam resultados semelhantes entre si na análise do CCVA apesar dos sistemas B/H apresentarem o fluxo luminoso nominal total do sistema 71% maior e a potência total (W) 91% maior do que os sistemas C/I. Esta relação diminui quando se trata de quantidade de luminárias nos cenários que chega a no máximo 57% no cenário 3, com pé direito de 15m.

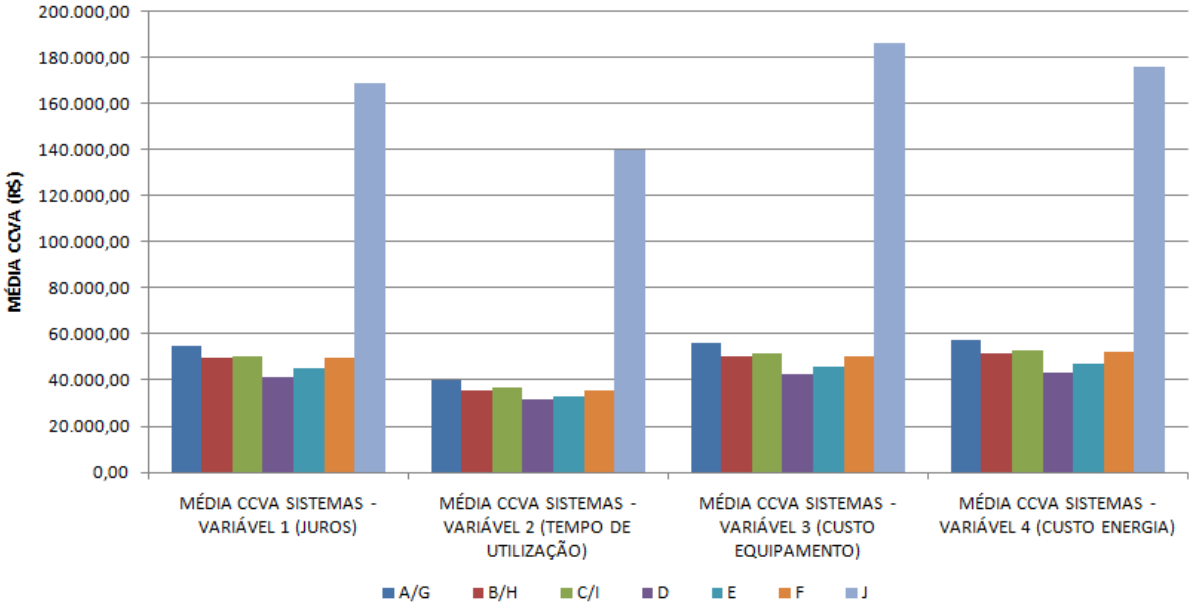


Figura 35 – Média CCVA por sistema e por variável

Os sistemas B e H e C e I se assemelham muito aos resultados apresentados do CCVA do sistema F, para uma lâmpada vapor metálico de 400W, o que significa que apesar deste ser um sistema antigo, ele apresenta boas condições de se manter no mercado. Porém nesta pesquisa, os sistemas para uma lâmpada de 54W, duas lâmpadas de 54W e 28W e para uma lâmpada vapor metálico de 400W, foram os sistemas que se mostraram mais eficientes apenas do que o sistema J (LED), conforme apresenta a Figura 35.

Em 93% dos casos estudados, o sistema D, para duas lâmpadas fluorescentes de 58W XXT, foi o que apresentou o melhor desempenho para os cenários propostos. Este sistema apresentou menor potência total instalada e menor consumo total por ano em todos os cenários na variável de referência, conforme Figura 36, Figura 37 e Tabela 25, enquanto o sistema J, baseado na tecnologia LED, apresentou a maior potência total instalada e o maior consumo total por ano nos cenários 1 e 2 com cinco e dez metros de pé direito respectivamente, porém no cenário 3 com pé direito de quinze metros o sistema F, para uma lâmpada vapor metálico de 400W foi o que apresentou maior potência e maior consumo.

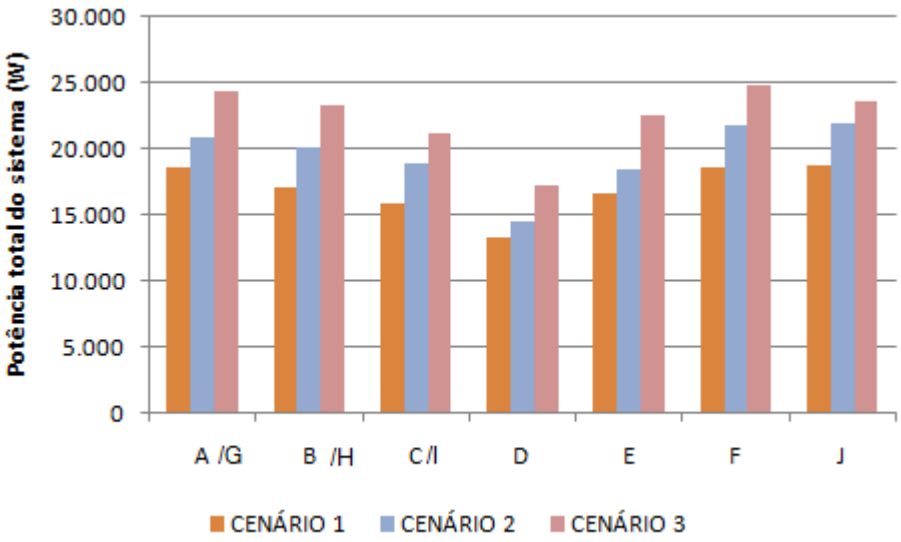


Figura 36 – Potência total instalada dos sistemas

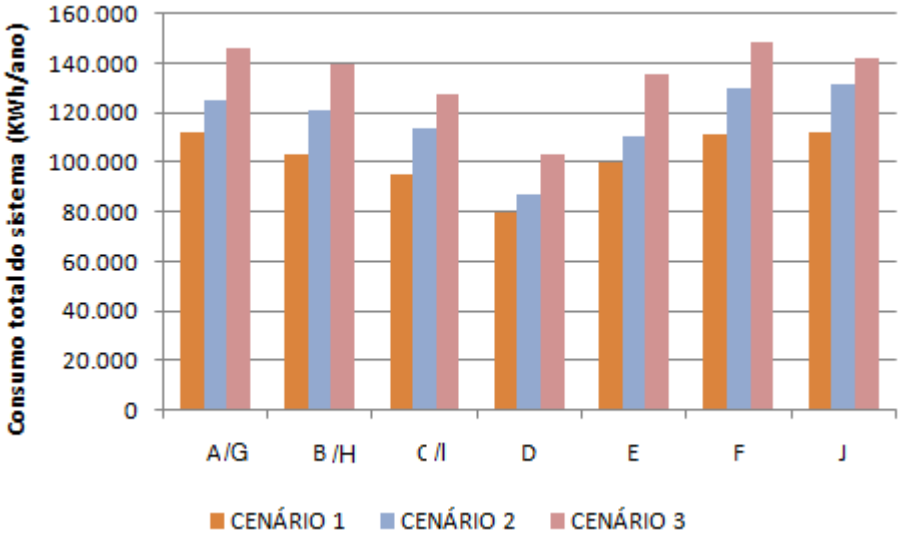


Figura 37 – Consumo total dos sistemas

Tabela 25 – Potência e consumo dos sistemas

	SISTEMA	POTÊNCIA TOTAL DO SISTEMA (W)	CONSUMO ANUAL DO SISTEMA (kWh/ano)
CENÁRIO 1	A	18.666	111.996
	B	17.136	102.816
	C	15.872	95.232
	D	13.310	79.860
	E	16.605	99.630
	F	18.606	111.636
	J	18.720	112.320

CENÁRIO 2	A	20.862	125.172
	B	20.111	120.666
	C	18.972	113.832
	D	14.520	87.120
	E	18.450	110.700
	F	21.707	130.242
	J	21.970	131.820
CENÁRIO 3	G	24.400	146.400
	H	23.324	139.944
	I	21.204	127.224
	D	17.160	102.960
	E	22.550	135.300
	F	24.808	148.848
	J	23.660	141.960

O sistema E para duas lâmpadas de 110W, apresentou o melhor desempenho em 7% dos casos estudados e em 93% deles, ficou em segundo lugar.

O sistema J, baseado na tecnologia LED, foi que apresentou os maiores CCVA, conforme Figura 38, o que representa, para esta análise, o pior desempenho financeiro dentre as tecnologias analisadas, porém esta tecnologia está em franco desenvolvimento, segundo Freitas (2010), devendo em pouco tempo apresentar melhores retornos de investimento, custos mais acessíveis e maior eficácia do sistema. A tecnologia LED deve ser motivo de futuros estudos e pesquisas.

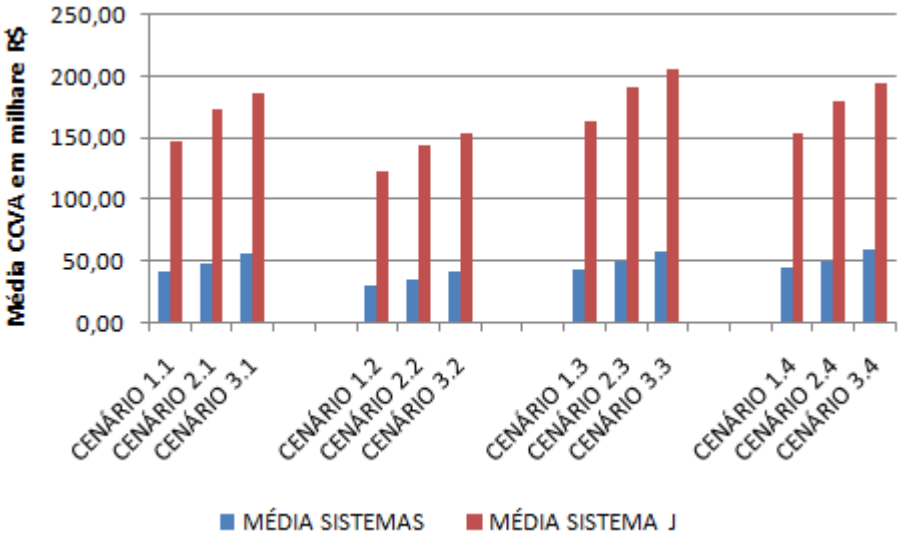


Figura 38 – Média do CCVA do sistema J e demais sistemas (sem sistema J)

Atualmente os equipamentos a LED disponíveis no mercado ainda variam de fabricante a fabricante sem que haja padronização entre os equipamentos e, portanto entre as informações técnicas disponíveis, sendo necessária a consolidação desta tecnologia no mercado.

Tendo como base os cálculos do CCVA e os estudos de sensibilidade se pode concluir que para variações de juros de até 18% o sistema D, para duas lâmpadas de 58W XXT é o mais indicado, porém a partir de 19% de juros em pé direito de cinco metros (cenário 1), a partir de 21% de juros em pé direito de dez metros (cenário 2) e a partir de 25% de juros em pé direito de quinze metros (cenário 3) o sistema com menor CCVA é o E, para duas lâmpadas de 110W.

Para sistemas com alto índice de utilização o sistema mais indicado é o sistema D, para duas lâmpadas de 58W XXT, porém este sistema se viabiliza a partir de 4.000 horas/ano para pé direito de cinco metros (cenário 1), a partir de 3.500 horas/ano para pé direito de dez metros (cenário 2) e a partir de 3.000 horas/ano para pé direito de quinze metros (cenário3). Para índices de utilização inferiores ao acima mencionados, o sistema mais indicado é o E, para duas lâmpadas de 110W.

Podemos concluir também que o sistema D para duas lâmpadas de 58W XXT, é o mais indicado para variações de até 49% a mais no custo adotado dos equipamentos, porém, a partir da majoração de 50% dos custos, o sistema E se torna o mais viável em pés direitos de cinco metros (cenário 1), a partir de 60% em pés direitos de dez metros (cenário 2) e a partir de 90% em pés direitos de quinze metros (cenário 3).

Já a variação do custo da energia, se positiva, o sistema mais atrativo será o D, independente da elevação, porém se negativa, caso atinja 30% de queda do valor adotado (R$ 0,355) então o sistema E passa a ser o mais atrativo para pés direitos de cinco metros, 40% para pé direitos de dez metros e 50% para pés direitos de quinze metros.

Face ao exposto, pode ser concluído que o sistema D, para duas lâmpadas de 58W XXT, se apresentou em 93% dos casos o melhor CCVA e a partir de 35% de variação nos parâmetros variáveis em alguns casos o sistema E passa a ser o mais indicado.

Outra questão levantada é a elevada vida útil da lâmpada de 58W XXT. Foi então elaborada a simulação com a vida útil reduzida em 50%, de 75000h para 37500h. Para estes cálculos se conclui que, ainda com essa redução, o sistema D se apresentou como o melhor sistema em 88% dos casos e o sistema E em 12%. Ficando o sistema D em segunda opção quando o período de utilização for inferior a 4500 horas no cenário 1 e a 2500 horas nos três cenários e ainda quando o custo dos equipamentos for maior do que 20% no cenário 1.

O mercado nacional apresenta muitas opções de equipamentos eficientes, porém a utilização destes depende não somente dos projetistas de iluminação, mas da disponibilidade e aceite do cliente final. Os fabricantes devem desenvolver material de venda que divulguem a eficiência energética e dar aos projetistas todas as informações necessárias para as análises, disponíveis em catálogos.

Recomendações para próximas pesquisas

Para trabalhos futuros sugere-se que sejam elaborados estudos mais aprofundados sobre a tecnologia LED, principalmente em instalações industriais (áreas internas e externas), já que esta tecnologia tem apresentado avanços, não foi encontrada bibliografia aprofundada sobre o tema.

Desenvolver metodologias de análise de projetos industriais, assim como a análise de plantas existentes para a melhoria dos sistemas e redução do desperdício. Os sistemas atuais, segundo PROCEL (2008), apresentam em 25% dos casos entre 11 e 20 anos de instalação havendo grandes possibilidades de melhoria.

Aos fabricantes de luminárias, lâmpadas e reatores, que desenvolvam metodologia de apresentação de indicadores de eficiência energética em catálogos, assim como todas as informações necessárias para a análise dos projetos, pois esses dados facilitam a escolha dos projetistas e a utilização de equipamentos mais adequados.

Criar indicadores de eficiência energética para cada tarefa e ambiente em projetos luminotécnicos, como densidades de potência máxima.

Desenvolver estudo de produtividade de usuários quando submetidos à iluminação aquém ou alem do solicitado pelas normas locais já que o bem estar dos usuários é o principal objetivo dos projetos luminotécnicos e sua produtividade está diretamente relacionada ao ambiente de trabalho.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução N° 242 de 24 de julho de 1998**. Brasília, 1998.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução N° 261 de 3 de setembro de 1999**. Brasília, 1999.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução N° 264 de 13 de agosto de 1998**. Brasília, 1998.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução N° 271 de 19 de julho de 2000**. Brasília, 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução N° 492 de 3 de setembro de 2002**. Brasília, 2002.

ALVAREZ, A. L. M .. **Uso racional e eficiente de energia elétrica: metodologia para a determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares.** Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ANDRADE, M. T. O.; LANDINI, L. A. R.; PRADO JR, F. A. A.. **Ressarcimento de consumidores relativos a danos decorrentes da prestação dos serviços concedidos – uniformização de procedimentos**. II Reunion international de distribuicion y comercializacion de energia electrica. Lima - Peru, 2001.

ARAÚJO, G. A.M.. **Avaliação dos ganhos em eficiência energética em iluminação adotando a regulamentação de etiquetagem em edificações.** Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade São Paulo. São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO. (ABILUX, 2009) – São Paulo, 2009. Disponível em: http://www.abilux.com.br/ Acesso em: Julho de 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Intercâmbio de Informações para sistemas de medição de energia elétrica** – Padronização – NBR 14522. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410 – Instalações Elétricas de baixa tensão** – Rio de Janeiro, 2004, válida a partir de 31.05.2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5461 – Iluminação - Terminologia** – Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413 – Iluminância de interiores** – Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NR 10 - **Instalações e Serviços em Eletricidade (110.000-9)** – Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NR 15 - **Atividades e operações insalubres (115.000-6)** – Rio de Janeiro, 2004.

BEN – **Balanço Energético Nacional 2008 –** Sumário Executivo Ano Base 2007 / Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro 2008.

BERTOLOTTI, Dimas. **Iluminação natural em projetos de escolas: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar a energia.** Dissertação apresentado à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade São Paulo – FAUUSP. São Paulo, 2007.

BOMMEL, W.J.M.; BELD, G.J. **Lighting for work: visual and biological effects.** Trabalho apresentado Philips Lighting. Netherlands, 2004.

BOMMEL, W.J.M.; BELD, G.J.; OOYEN, M.H.F. **Industrial lighting and productivity.** Trabalho apresentado Philips Lighting. Netherlands, 2002.

BONATES, Mariana Fialho; BRITO, Elisa Lobo; SILVA, Luiz Bueno, **Avaliação da eficiência energética do sistema de iluminação artificial de um ambiente de trabalho – estudo de casos.** Florianópolis, 2004.

BRASIL. **Lei N° 9.074, de 7 de Julho de 1995**. Brasília, 1995.

BRASIL. **Lei N° 9.991, de 24 de Julho de 2000**. Brasília, 2000.

BRASIL. **Lei N° 5.452, de 1° de Maio de 1943.** Brasília, 2000.

CARDOSO, Robson Rebouças. **Análise do desempenho energético de sistemas baseados em iluminação híbrida integrada na automação predial em edifícios comerciais utilizando a neurocomputação.** Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade São Paulo. São Paulo, 2008.

COSTA, G.J.C. **Iluminação econômica – Cálculo e avaliação.** 4° Edição – Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006.

DIAS, Charles Correa. **As lâmpadas e a física – um pouco da história e do funcionamento básico das lâmpadas.** Trabalho de FAP. Joinville, 2004.

Disponível em: http://www.mundofisico.joinville.udesc.br/index.php?idSecao=1&idSubSecao=&idTexto=2 com acesso em Junho de 2010.

EHRLICH, Pierre Jacques. **Engenharia econômica: avaliação e seleção de projetos de investimento.** 4° Edição. São Paulo: Atlas, 1986.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**. São Paulo, 2009. Disponível em http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/20091023_1.pdf com Acesso em Outubro de 2009.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**. São Paulo, 2010. Disponível em http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Consumo%20nacional%20de%20energia%20el%C3%A9trica%20por%20classe%20-%201995-2009.pdf com Acesso em Junho de 2010.

FREITAS, Luciana. **A era dos leds.** Artigo publicado na Revista Lumiére Electric - Instalações e materiais elétricos, edição 143, p. 72 a 79, março de 2010.

GELATTI, Rogério. **Readequação e eficientização do sistema elétrico de um ponto comercial.** Trabalho de graduação apresentado à Faculdade de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande de Sul, 2005.

GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Influência das características reflexivas da luminária e da refletância das paredes na potência instalada em sistemas de iluminação.** Artigo publicado no ENTAC 98. Florianópolis, 1998.

GLOEILAMOENFABRIEKEN, N.V. Philips. **Manual de iluminação.** 2° Edição. Holanda: NV Philips, 1975.

IWASHITA, Juliana. **Eficiência energética em sistemas de iluminação de interiores: análise de luminárias comerciais.** Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2004.

JAGLBAUER, Vivien. **Contribuição a melhora das condições ambientais de trabalho através do aprimoramento da iluminação em galpões e pátios cobertos na indústria mineral.** Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. USP, 2007.

JANNUZZI, G. de M. **Aumentando a eficiência nos usos finais de energia no Brasil.** Trabalho apresentado no evento de Sustentabilidade na geração e no uso de energia. Departamento de Energia, Faculdade de Engenharia Mecânica. UNICAMP, 2001.

JANNUZZI, G. de M. **Políticas públicas para eficiência energética e energia**

renovável no novo contexto de mercado: uma análise da experiência recente dos EUA e do Brasil. Autores Associados 1° Edição. Campinas, 2000.

JUSLÉN, H. **The effects of light on well-being.** Netherlands, 2009. Disponível em: <http://www.lighting.philips.com/microsite/dynamic_lighting/pt_menb_4_1.swf >. Acesso em: Agosto de 2009.

KOVALESKI, J. L; SOLA, A. V. H. **Eficiência energética nas indústrias: cenários & oportunidades.** Florianópolis. XXIV Encontro nacional de Engenharia de Produção, 2004.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo: PW Editores, 1997.

LEI 5.452 de 1° de Maio de 1943. Disponível em: http://www6.senado.gov.br/legislacao/ListaTextoIntegral.action?id=75526 Acesso em: Julho de 2009.

MARTAU, Betina Tschiedel. **A luz alem da visão: iluminação e sua relação com a saúde e bem estar de funcionárias de lojas de rua e de shopping centers em Porto Alegre.** Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Campinas Campinas –SP, 2009.

MARTINS, Maria Paula de Souza. **Inovação tecnológica e eficiência energética.** Trabalho de pós graduação MBA em energia elétrica apresentado à Universidade Federal do Rio de Janeiro Instituto de Economia. Rio de Janeiro, 1999.

PHILIPS. **Cálculo através do método dos lumens.** São Paulo, 2009. Disponível em: < http://www.luz.philips.com/latam/archives/metodo_lumens.htm>. Acesso em: Julho de 2009.

PINTO, Sandra Regina. **Análise das condições de iluminação das bibliotecas públicas municipais na cidade de São Paulo: diretrizes para um melhor aproveitamento da luz natural e redução do uso da iluminação artificial.** Dissertação apresentada Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade São Paulo. FAUUSP. São Paulo, 2008.

PNE 2030, Plano Nacional de Energia, Ministério de Minas e Energia. Colaboração empresa de pesquisa energética. Brasília 2007.

PORTO, Maria Maia; SILVERIO, Cátia Siciliano; SILVA, Ana Paula Ferreira. **O projeto de iluminação na análise ergonômica do trabalho.** Disponível em: < http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/interiores/ilumina%E7%E3o%20industrial/o_projeto_de_iluminacao_na_analise_ergonomica_do_trabalho.pdf >. Acesso em: Novembro de 2009.

PROCEL. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso** – ano base 2005. São Paulo, Março 2008.

QUIRINO, José Luiz Chagas. **Usos da energia elétrica nas micro e pequenas indústrias do vestuário de São Paulo e os principais impactos do racionamento de energia: estudo de caso.** Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

RAMOS, Mario César do Espírito Santo. **Metodologia para avaliação e otimização de motores elétricos de indução trifásicos visando à conservação de energia em aplicações industriais.** Tese apresentada ao programa de pós graduação em energia – IEE - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

REIS, Tereza Virginia Mousinho. **Metodologia para estimar a linha de base de projeto MDL conectado a sistema elétrico: uma abordagem prospectiva.** Tese apresentada Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

SAIDEL, Marco Antônio. **A gestão da energia elétrica na USP: o programa permanente para o uso eficiente de energia elétrica.** Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Livre Docente. Área de concentração: Energia Elétrica. São Paulo, 2005.

SANTOS, Afonso Henrique M.; BORTOLONI, Edson da Costa; GUARDIA, Eduardo Crestana, NOGUEIRA, Fábio F. H.; HADDAD, Jamil; NOGUEIRA, Luiz A. H.; PIRANI, Marcelo José; DIAS, Marcos V. X.; VENTURINI, Osvaldo; CARVALHO, Ricardo D. M.; YAMACHITA, Roberto Akira. **Eficiência energética, teoria e prática**. Itajubá: FUPAI, 2007.

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno; ROSA, Luiz Piguelli; SZKLO, Alexandre Salem; SCHULER, Marcio Edgar; DELGADO, Marco Antonio de Paiva. **Tendências de eficiência elétrica no Brasil – Indicadores de eficiência energética.** ENERGE / COPPE / UFRJ / PROCEL / ELETROBROBRÁS 1998.

VEY, Ivan Henrique; ROSA, Robson Machado da. **Substituição de frota em empresa de transporte municipal de passageiros: um estudo de caso.** Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

VIEIRA, Cintia Cristina. **Conforto térmico e iluminação natural em edifício administrativo da Escola de Engenharia de São Carlos – USP.** Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos 2008.

CATÁLOGOS CONSULTADOS

ITAIM. Catálogo geral de produtos 2008. São Paulo, 2009. Disponível em http://www.itaim.ind.br Acesso em: Julho de 2009.

OSRAM. Catálogo Geral 2009/20101. São Paulo, 2009. Disponível em http://www.osram.com.br Acesso em: Julho de 2009.

PHILIPS. Catálogo Geral 2009/2010. São Paulo, 2009. Disponível em http://www.luz.philips.com/portalHomeProject.do?par=358:2:358 Acesso em: Janeiro de 2010.

ANEXOS

ANEXO I – DETALHES TÉCNICOS DAS LUMINÁRIAS PROSPOTAS

ITAIM ILUMINAÇÃO

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

4012 1XT16 54W

4012.128.300_54W.ies

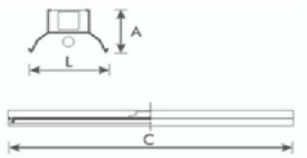
Especificação: Luminária pendente para 1 lâmpada fluorescente tubular de 54W. Corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca. Refletor com acabamento especular de alto brilho. Alojamento do reator no próprio corpo. Equipada com porta-lâmpada antivibratório em policarbonato, com trava de segurança e proteção contra aquecimento nos contatos.

Aplicação: Uso geral, onde exerçam tarefas com requisitos visuais normais como loja de serviço, hospital, refeitório, sala de aula, banco, escritório, almoxarifado, etc.

Rendimento: 89%

Dimensões: A= 70 x L= 120 x C= 1200 mm.

DESENHO



FATOR DE UTILIZAÇÃO

TETO (%)	70			50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)	10			10			10		0
Kr	FATOR DE UTILIZACAO (X 0.01)								
0.60	41	35	30	40	34	30	34	30	28
0.80	49	43	38	48	42	38	42	38	36
1.00	56	50	45	55	49	44	48	44	42
1.25	62	56	51	60	55	51	54	51	49
1.50	67	61	56	65	60	56	59	55	53
2.00	73	69	65	71	67	64	66	63	61
2.50	77	73	70	76	72	69	71	68	66
3.00	80	77	74	78	75	73	74	72	70
4.00	84	81	78	82	80	77	78	76	74
5.00	86	84	82	84	82	80	80	79	77

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA

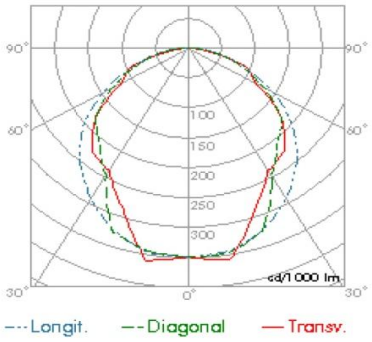


DIAGRAMA DE LUMINÂNCIA

CLASSE	ILUMINÂNCIA EM SERVICO (lx)							
A	2000	1000	500	≤300				
B		2000	1000	500	≤300			
C			2000	1000	500	≤300		
D				2000	1000	500	≤300	
E					2000	1000	500	≤300
	a	b	c	d	e	f	g	h

Devido à constante busca de aperfeiçoamento, os produtos ITAIM estão sujeitos a alterações sem prévia comunicação.

Figura 39 – Detalhe técnico sistema A.

Fonte – Itaim Iluminação.

ITAIM ILUMINAÇÃO

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

4012 2XT16 54W

4012.228.300_54.ies

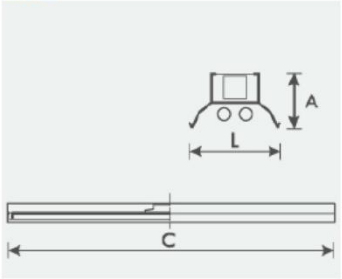
Especificação: Luminária pendente para 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 54W. Corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca. Refletor com acabamento especular de alto brilho. Alojamento do reator no próprio corpo. Equipada com porta-lâmpada antivibratório em policarbonato, com trava de segurança e proteção contra aquecimento nos contatos.

Aplicação: Utilização em recintos amplos, com pé-direito alto, como indústria, supermercado, loja, galpões de depósito, etc.

Rendimento: 85%

Dimensões: A= 70 x L= 120 x C= 1200 mm.

DESENHO



FATOR DE UTILIZAÇÃO

TETO (%)	70			50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)	10			10			10		0
Kr	FATOR DE UTILIZACAO (X 0.01)								
0.60	40	34	29	39	33	29	33	29	27
0.80	48	41	37	47	41	37	40	36	35
1.00	54	48	43	53	47	43	47	43	41
1.25	60	54	50	58	53	49	52	49	47
1.50	64	59	55	63	58	54	57	54	52
2.00	71	66	62	69	65	62	64	61	59
2.50	75	71	67	73	69	67	68	66	64
3.00	78	74	71	76	73	70	71	69	67
4.00	81	78	76	79	77	75	75	73	71
5.00	83	81	79	81	79	77	78	76	74

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA

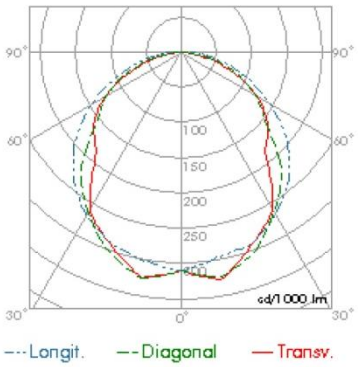
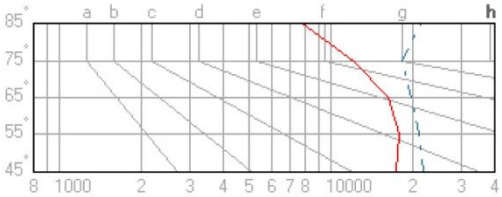


DIAGRAMA DE LUMINÂNCIA

CLASSE	ILUMINÂNCIA EM SERVICO (lx)							
A	2000	1000	500	≤300				
B		2000	1000	500	≤300			
C			2000	1000	500	≤300		
D				2000	1000	500	≤300	
E					2000	1000	500	≤300
	a	b	c	d	e	f	g	h



Devido à constante busca de aperfeiçoamento, os produtos ITAIM estão sujeitos a alterações sem prévia comunicação.

Figura 40 – Detalhe técnico sistema B.

Fonte – Itaim Iluminação.

ITAIM ILUMINAÇÃO

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

4012 2XT16 28W

4012.228.300.ies

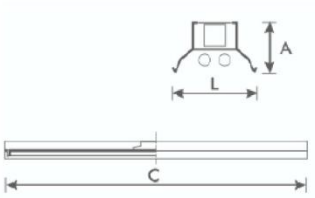
Especificação: Luminária pendente para 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 28W. Corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca. Refletor em chapa especular de alto brilho. Alojamento do reator no corpo e instalação em perfilado através de duas suspensões tipo gancho I-45 (não inclusos). Equipada com porta-lâmpada antivibratório em policarbonato, com trava de segurança e proteção contra aquecimento nos contatos.

Aplicação: Utilização em recintos amplos, com pé-direito alto, como indústria, supermercado, loja, galpões de depósito, etc.

Rendimento: 85%

Dimensões: A= 68 x L= 120 x C= 1200 mm.

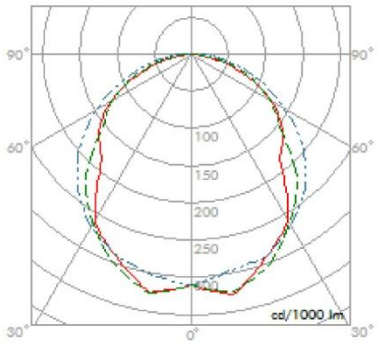
DESENHO



FATOR DE UTILIZAÇÃO

TETO (%)	70			50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)	10			10			10		0
K_r	FATOR DE UTILIZACAO (X 0.01)								
0.60	40	34	29	39	33	29	33	29	27
0.80	48	41	37	47	41	37	40	36	35
1.00	54	48	43	53	47	43	47	43	41
1.25	60	54	50	58	53	49	52	49	47
1.50	64	59	55	63	58	54	57	54	52
2.00	71	66	62	69	65	62	64	61	59
2.50	75	71	67	73	69	67	68	66	64
3.00	78	74	71	76	73	70	71	69	67
4.00	81	78	76	79	77	75	75	73	71
5.00	83	81	79	81	79	77	78	76	74

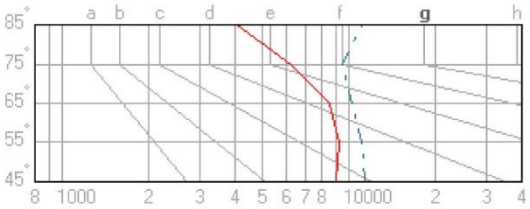
CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA



--- Longit. -- Diagonal — Transv.

DIAGRAMA DE LUMINÂNCIA

CLASSE	ILUMINÂNCIA EM SERVIÇO (lx)							
A	2000	1000	500	≤300				
B		2000	1000	500	≤300			
C			2000	1000	500	≤300		
D				2000	1000	500	≤300	
E					2000	1000	500	≤300
	a	b	c	d	e	f	g	h



Devido a constante busca de aperfeiçoamento, os produtos ITAIM estão sujeitos a alterações sem prévia comunicação.SET/2008

Figura 41 – Detalhe técnico sistema C.

Fonte – Itaim Iluminação.

ITAIM ILUMINAÇÃO

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

4031 2XT26 58W

1267_P.ies

Especificação: Luminária pendente para 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 58W. Corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca. Refletor em alumínio anodizado de alto brilho. Alojamento do reator no corpo e instalação em perfilado através de duas suspensões tipo gancho I-45 (não inclusos). Equipada com porta-lâmpada antivibratório em policarbonato, com trava de segurança e proteção contra aquecimento nos contatos.

Aplicação: Utilização em recintos com pé-direito elevado, como indústrias.

Rendimento: 86%

Dimensões: A= 144 x L= 364 x C= 1540 mm.

DESENHO

FATOR DE UTILIZAÇÃO

TETO (%)	70			50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)	10			10			10		0
Kr	FATOR DE UTILIZACAO (X 0.01)								
0.60	48	43	39	47	43	39	42	39	38
0.80	56	51	47	55	50	47	50	46	45
1.00	62	57	53	61	56	53	56	53	51
1.25	68	63	59	66	62	59	62	59	57
1.50	71	67	64	70	66	63	65	63	61
2.00	77	74	71	76	73	70	71	69	68
2.50	80	78	75	79	76	74	75	73	71
3.00	83	80	78	81	79	77	78	76	74
4.00	85	83	82	83	82	80	80	79	77
5.00	87	85	84	85	84	82	82	81	79

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA

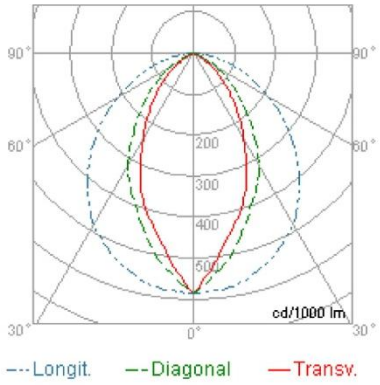
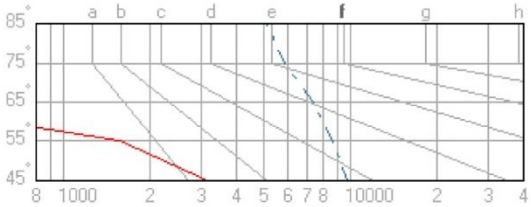


DIAGRAMA DE LUMINÂNCIA

CLASSE	ILUMINÂNCIA EM SERVIÇO (lx)								
A	2000	1000	500	≤300					
B		2000	1000	500	≤300				
C			2000	1000	500	≤300			
D				2000	1000	500	≤300		
E					2000	1000	500	≤300	
	a	b	c	d	e	f	g	h	



Devido à constante busca de aperfeiçoamento, os produtos ITAIM estão sujeitos a alterações sem prévia comunicação.

Figura 42 – Detalhe técnico sistema D.

Fonte – Itaim Iluminação.

ITAIM ILUMINAÇÃO

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

4650 2XT38 110W

4650.21A.300.ies

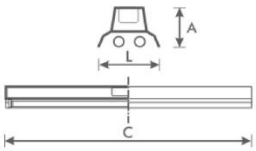
Especificação: Luminária pendente para 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 110W. Corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca. Refletor em alumínio anodizado de alto brilho. Alojamento do reator no corpo e instalação em perfilado através de duas suspensões tipo gancho I-45 (não inclusos). Equipada com porta-lâmpada antivibratório em policarbonato, com trava de segurança e proteção contra aquecimento nos contatos.

Aplicação: Utilização em recintos simples ou amplos para iluminação geral, áreas de curta permanência e sem grandes requisitos visuais, como indústria, supermercado, oficina, estacionamento, depósito, almoxarifado, pátio, etc.

Rendimento: 81%

Dimensões: A= 112 x L= 189 x C= 2461 mm.

DESENHO



FATOR DE UTILIZAÇÃO

TETO (%)	70			50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)	10			10			10		0
Kr	FATOR DE UTILIZACAO (X 0.01)								
0.60	35	29	25	34	29	24	28	24	23
0.80	43	37	32	42	36	32	35	31	30
1.00	49	43	38	48	42	38	41	38	36
1.25	55	49	44	53	48	44	47	44	42
1.50	59	54	49	57	53	49	52	48	46
2.00	65	61	57	64	60	56	58	55	53
2.50	69	65	62	68	64	61	63	60	58
3.00	72	69	66	70	67	65	66	64	62
4.00	76	73	70	74	71	69	70	68	66
5.00	78	75	73	76	74	72	72	71	69

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA

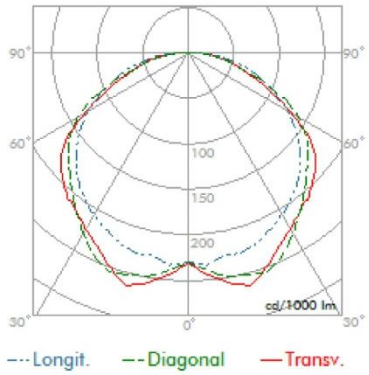
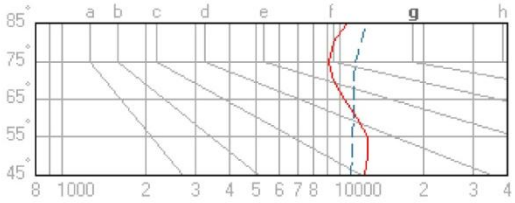


DIAGRAMA DE LUMINÂNCIA

CLASSE	ILUMINÂNCIA EM SERVIÇO (lx)							
A	2000	1000	500	≤300				
B		2000	1000	500	≤300			
C			2000	1000	500	≤300		
D				2000	1000	500	≤300	
E					2000	1000	500	≤300
	a	b	c	d	e	f	g	h



Devido à constante busca de aperfeiçoamento, as produtos ITAIM estão sujeitos a alterações sem prévia comunicação.SET/2008

Figura 43 – Detalhe técnico sistema E.

Fonte – Itaim Iluminação.

ITAIM ILUMINAÇÃO

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

4811 1XHIE 400W

0826_C.ies

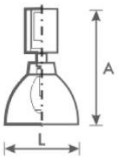
Especificação: Luminária pendente ou de sobrepor para 1 lâmpada vapor metálico elipsoidal de 400W. Corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca. Refletor em alumínio anodizado para facho aberto. Equipada com porta-lâmpada cerâmico. Recomenda-se o uso de difusor em vidro temperado para lâmpadas de multi-vapores metálicos para potências maiores ou iguais a 250W.

Aplicação: Utilização em recintos amplos, com pé-direito alto, como indústria, supermercado, loja, galpões de depósito, etc.

Rendimento: 72%

Dimensões: A= 629 x L= Ø 418 mm.

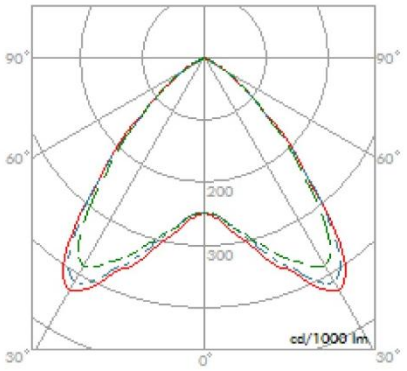
DESENHO



FATOR DE UTILIZAÇÃO

TETO (%)	70			50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)	10			10			10		0
Kr	FATOR DE UTILIZACAO (X 0.01)								
0.60	44	41	38	44	40	38	40	38	36
0.80	51	47	44	50	47	44	46	44	43
1.00	56	52	49	55	52	49	51	49	48
1.25	60	57	54	59	56	54	56	54	52
1.50	63	60	58	62	59	57	59	57	55
2.00	67	65	63	66	64	62	63	62	60
2.50	69	68	66	68	66	65	66	64	63
3.00	71	69	68	70	68	67	67	66	65
4.00	73	71	70	71	70	69	69	68	67
5.00	74	72	72	72	71	70	70	69	68

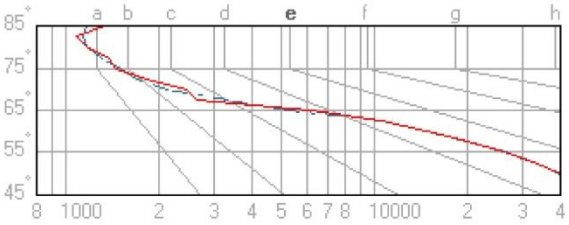
CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA



--- Longit. -- Diagonal — Transv.

DIAGRAMA DE LUMINÂNCIA

CLASSE	ILUMINÂNCIA EM SERVIÇO (lx)							
A	2000	1000	500	≤300				
B		2000	1000	500	≤300			
C			2000	1000	500	≤300		
D				2000	1000	500	≤300	
E					2000	1000	500	≤300
	a	b	c	d	e	f	g	h



Devido a constante busca de aperfeiçoamento, os produtos ITAIM estão sujeitos a alterações sem prévia comunicação.SET/2008

Figura 44 – Detalhe técnico sistema F.

Fonte – Itaim Iluminação.

ITAIM ILUMINAÇÃO

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

4050 1XT16 54W

4050.154.300.ies

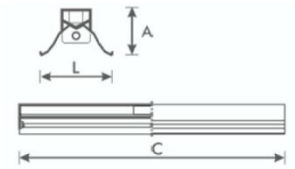
Especificação: Luminária pendente para 1 lâmpada fluorescente tubular de 54W. Corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca. Refletor em alumínio anodizado de alto brilho. Alojamento do reator no próprio corpo. Equipada com porta-lâmpada antivibratório em policarbonato, com trava de segurança e proteção contra aquecimento nos contatos.

Aplicação: Utilização em recintos simples ou amplos para iluminação geral, áreas de curta permanência e sem grandes requisitos visuais, como indústria, supermercado, oficina, estacionamento, depósito, almoxarifado, pátio, etc.

Rendimento: 86%

Dimensões: A= 99 x L= 156 x C= 1190 mm.

DESENHO



FATOR DE UTILIZAÇÃO

TETO (%)	70			50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)	10			10			10		0
Kr	FATOR DE UTILIZACAO (X 0.01)								
0.60	41	35	31	40	35	31	35	31	29
0.80	50	44	39	49	43	39	43	39	37
1.00	57	51	47	55	50	46	50	46	44
1.25	63	58	53	61	57	53	56	53	51
1.50	67	62	58	66	61	58	61	57	55
2.00	74	70	66	72	68	65	67	65	63
2.50	78	74	71	76	73	70	72	69	67
3.00	80	77	75	78	76	74	75	73	71
4.00	83	81	79	81	79	78	78	76	74
5.00	85	83	81	83	81	80	80	79	76

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA

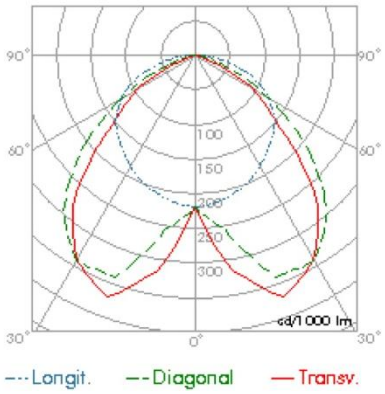
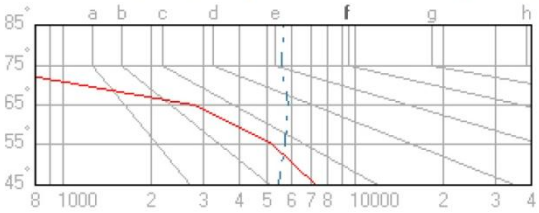


DIAGRAMA DE LUMINÂNCIA

CLASSE	ILUMINÂNCIA EM SERVICO (lx)							
A	2000	1000	500	≤300				
B		2000	1000	500	≤300			
C			2000	1000	500	≤300		
D				2000	1000	500	≤300	
E					2000	1000	500	≤300
	a	b	c	d	e	f	g	h



Devido à constante busca de aperfeiçoamento, os produtos ITAIM estão sujeitos a alterações sem prévio comunicação.

Figura 45 – Detalhe técnico sistema G.

Fonte – Itaim Iluminação.

ITAIM ILUMINAÇÃO

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

4050 2XT16 54W

4050.254.300.ies

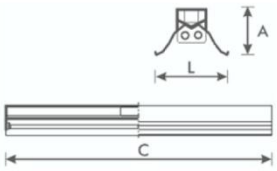
Especificação: Luminária pendente para 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 54W. Corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca. Refletor em alumínio anodizado de alto brilho. Alojamento do reator no próprio corpo. Equipada com porta-lâmpada antivibratório em policarbonato, com trava de segurança e proteção contra aquecimento nos contatos.

Aplicação: Utilização em recintos simples ou amplos para iluminação geral, áreas de curta permanência e sem grandes requisitos visuais, como indústria, supermercado, oficina, estacionamento, depósito, almoxarifado, pátio, etc.

Rendimento: 81%

Dimensões: A= 99 x L= 156 x C= 1190 mm.

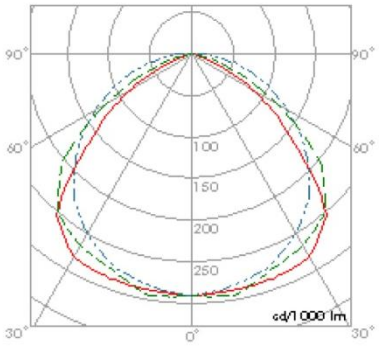
DESENHO



FATOR DE UTILIZAÇÃO

TETO (%)	70			50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)	10			10			10		0
Kr	FATOR DE UTILIZACAO (X 0.01)								
0.60	38	33	28	37	32	28	32	28	27
0.80	46	41	36	45	40	36	40	36	34
1.00	53	47	43	51	46	43	46	42	41
1.25	58	53	49	57	53	49	52	49	47
1.50	63	58	54	61	57	54	56	53	51
2.00	69	65	61	67	64	61	63	60	58
2.50	72	69	66	71	68	65	67	65	63
3.00	75	72	69	73	71	69	70	68	66
4.00	78	76	73	76	74	72	73	71	69
5.00	80	78	76	78	76	75	75	74	71

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA



--- Longit. -- Diagonal — Transv.

DIAGRAMA DE LUMINÂNCIA

CLASSE	ILUMINÂNCIA EM SERVICO (lx)							
A	2000	1000	500	≤300				
B		2000	1000	500	≤300			
C			2000	1000	500	≤300		
D				2000	1000	500	≤300	
E					2000	1000	500	≤300
	a	b	c	d	e	f	g	h

Devido à constante busca de aperfeiçoamento, os produtos ITAIM estão sujeitos a alterações sem prévia comunicação.

Figura 46 – Detalhe técnico sistema H.

Fonte – Itaim Iluminação.

ITAIM ILUMINAÇÃO

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

4050 2XT16 28W

4050.228.300.ies

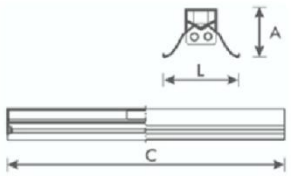
Especificação: Luminária pendente para 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 28W. Corpo em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca. Refletor em chapa especular de alto brilho. Alojamento do reator no corpo e instalação em perfilado através de duas suspensões tipo gancho I-45 (não inclusos). Equipada com porta-lâmpada antivibratório em policarbonato, com trava de segurança e proteção contra aquecimento nos contatos.

Aplicação: Utilização em recintos simples ou amplos para iluminação geral, áreas de curta permanência e sem grandes requisitos visuais, como indústria, supermercado, oficina, estacionamento, depósito, almoxarifado, pátio, etc.

Rendimento: 81%

Dimensões: A= 99 x L= 156 x C= 1190 mm.

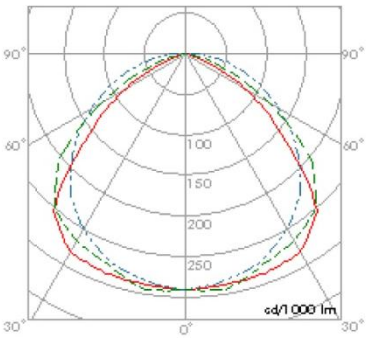
DESENHO



FATOR DE UTILIZAÇÃO

TETO (%)	70			50			30		0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)	10			10			10		0
Kr	FATOR DE UTILIZACAO (X 0.01)								
0.60	38	33	28	37	32	28	32	28	27
0.80	46	41	36	45	40	36	40	36	34
1.00	53	47	43	51	46	43	46	42	41
1.25	58	53	49	57	53	49	52	49	47
1.50	63	58	54	61	57	54	56	53	51
2.00	69	65	61	67	64	61	63	60	58
2.50	72	69	66	71	68	65	67	65	63
3.00	75	72	69	73	71	69	70	68	66
4.00	78	76	73	76	74	72	73	71	69
5.00	80	78	76	78	76	75	75	74	71

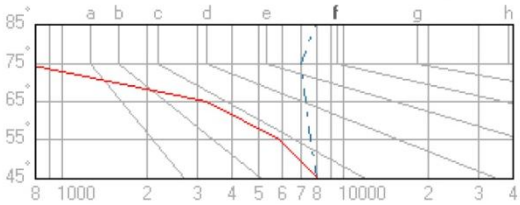
CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA



--- Longit. -- Diagonal — Transv.

DIAGRAMA DE LUMINÂNCIA

CLASSE	ILUMINÂNCIA EM SERVICO (lx)							
A	2000	1000	500	≤300				
B		2000	1000	500	≤300			
C			2000	1000	500	≤300		
D				2000	1000	500	≤300	
E					2000	1000	500	≤300
	a	b	c	d	e	f	g	h



Devido à constante busca de aperfeiçoamento, os produtos ITAIM estão sujeitos a alterações sem prévia comunicação.

Figura 47 – Detalhe técnico sistema I.

Fonte – Itaim Iluminação.

130W

Ledstar > Produtos > Linha E-light > 130W

Iluminância: 196 Lux (5M)
Tamanho: 470mm(L)x335mm(C)x130mm(A)

Módulo de Iluminação: LED (Light Emitting Diode)

Consumo: 130W (Nominal)

Voltagem/Frequencia: AC 80V~140V, 180V~270V - 12VDC

Tamanho: 470mm(L)x335mm(C)x130mm(A)

Iluminância: 196 Lux (5M)

Ângulo de abertura do Feixe: 90° e 120°

Material externo: Alumínio Anodizado

Acabamento: Policarbonato Transparente

Peso: 9,5 Kg

IRC (Índice de Reprodução de Cor): >70Temperatura: -25°C +85°C

Proteção: IP 66 - Totalmente Protegido contra Poeira, proteção contra submersão temporária em água

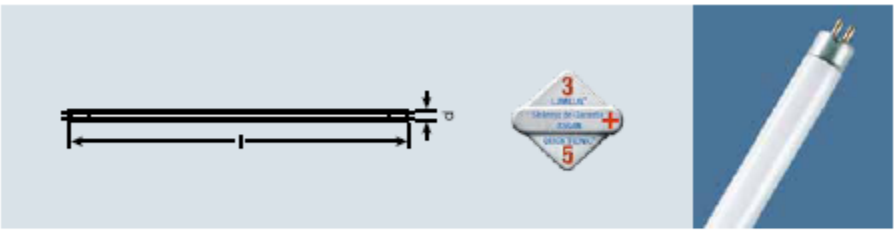
Características do LED: Tipo Flash LED

Temperatura de cores: 3200K/ 4500K/5300K

Figura 48 – Detalhe técnico sistema J.

Fonte – UNICOBA.

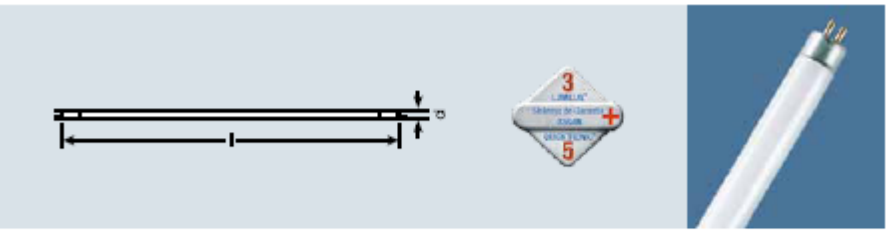
ANEXO II – DETALHES TÉCNICOS DAS LÂMPADAS PROPOSTAS



	W Potência	lm Fluxo Luminoso	Temp. de Cor	IRC Índice de Reprodução	d [mm] Diâmetro	l max. [mm] Comprimento	Base
LUMILUX® T5 HE - Fluorescente tubular T5 de alta eficiência (base G5)							
FH 14W/865 HE	14	1100	6500	80-89	16	549	G5
FH 14W/840 HE	14	1200	4000	80-89	16	549	G5
FH 14W/830 HE	14	1200	3000	80-89	16	549	G5
FH 21W/865 HE	21	1750	6500	80-89	16	849	G5
FH 21W/840 HE	21	1900	4000	80-89	16	849	G5
FH 21W/830 HE	21	1900	3000	80-89	16	849	G5
FH 28W/865 HE	28	2400	6500	80-89	16	1149	G5
FH 28W/840 HE	28	2600	4000	80-89	16	1149	G5
FH 28W/830 HE	28	2600	3000	80-89	16	1149	G5
FH 35W/865 HE	35	3050	6500	80-89	16	1449	G5
FH 35W/840 HE	35	3300	4000	80-89	16	1449	G5
FH 35W/830 HE	35	3300	3000	80-89	16	1449	G5
LUMILUX® T5 HE - Fluorescente tubular T5 colorida (base G5)							
FH 14W/60 HE	14	930	vermelho	-	16	549	G5
FH 14W/66 HE	14	1550	verde	-	16	549	G5
FH 14W/67 HE	14	300	azul	-	16	549	G5
FH 28W/60 HE	28	2100	vermelho	-	16	1149	G5
FH 28W/66 HE	28	3500	verde	-	16	1149	G5
FH 28W/67 HE	28	700	azul	-	16	1149	G5

Figura 49 – Dados técnicos lâmpada 28W

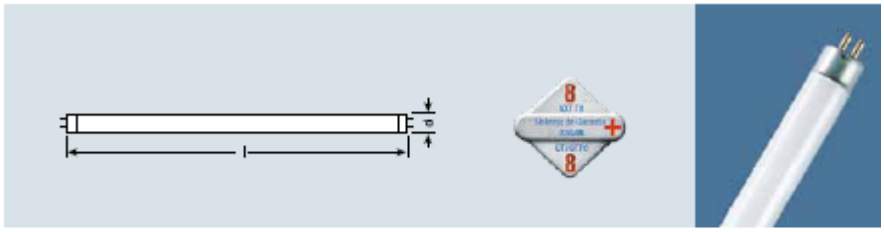
Fonte: OSRAM, 2009



	W Potência	lm Fluxo Luminoso	Temp. de Cor	IRC Índice de Reprodução	d [mm] Diâmetro	l max. [mm] Comprimento	Base
LUMILUX® T5 HO - Fluorescente tubular T5 de elevado pacote de luz (base G5)							
FQ 24W/865 HO	24	1600	6500	80-89	16	549	G5
FQ 24W/840 HO	24	1750	4000	80-89	16	549	G5
FQ 24W/830 HO	24	1750	3000	80-89	16	549	G5
FQ 54W/865 HO	54	4100	6500	80-89	16	1149	G5
FQ 54W/840 HO	54	4450	4000	80-89	16	1149	G5
FQ 54W/830 HO	54	4450	3000	80-89	16	1149	G5
FQ 80W/865 HO	80	5700	6500	80-89	16	1449	G5
FQ 80W/840 HO	80	6150	4000	80-89	16	1449	G5
FQ 80W/830 HO	80	6150	3000	80-89	16	1449	G5
LUMILUX® T5 HO – Fluorescente tubular T5 colorida de elevado pacote de luz (base G5)							
FQ 24 W/60 HO	24	1500	vermelho	-	16	549	G5
FQ 24 W/66 HO	24	2500	verde	-	16	549	G5
FQ 24 W/67 HO	24	525	azul	-	16	549	G5
FQ 54 W/60 HO	54	3450	vermelho	-	16	1149	G5
FQ 54 W/66 HO	54	6300	verde	-	16	1149	G5
FQ 54 W/67 HO	54	1200	azul	-	16	1149	G5

Figura 50 – Dados técnicos lâmpada 54W

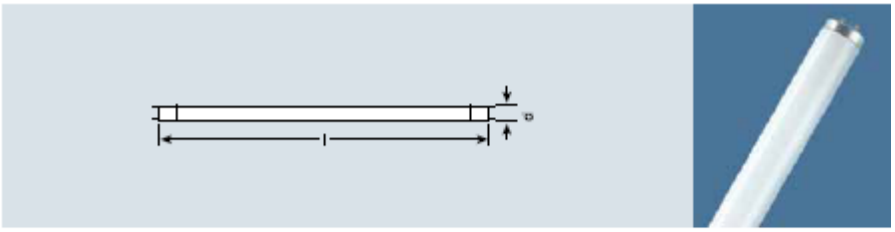
Fonte: OSRAM, 2009



LUMILUX® XXT T8	W Potência	lm Fluxo Luminoso	Temp. de Cor	IRC Índice de Reprodução	Diâmetro	Comprimento
L 18W/840 XXT	18	1350	4000	80-89	26	590
L 36W/840 XXT	36	3250	4000	80-89	26	1200
L 58W/840 XXT	58	5150	4000	80-89	26	1500

Figura 51 – Dados técnicos lâmpada 58W XXT

Fonte: OSRAM, 2009



FLUORESCENTE TUBULAR T10/T12	W Potência	lm Fluxo Luminoso	Temp. de Cor	IRC Índice de Reprodução	Diâmetro	Comprimento	Base
L20 W LDE	20	1080	5250	70-79	33	590	G13
L20 W 765	20	1000	6100	70-79	33	590	G13
L40 W LDE	40	2700	5250	70-79	33	1200	G13
L40 W 765	40	2500	6100	70-79	33	1200	G13
L110 W LDE	110	7550	5250	70-79	38	2371	*
L110 W 765	110	8300	6100	70-79	38	2371	*
L110 W 840	110	9350	4000	80-89	38	2371	*

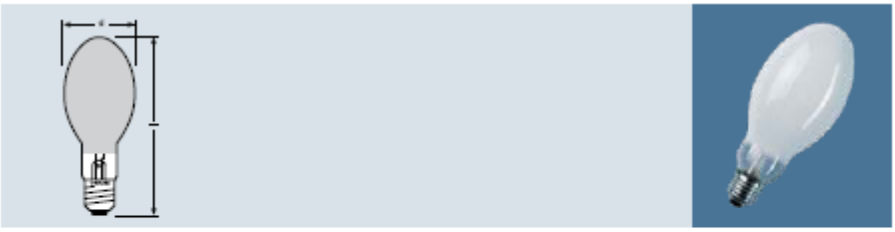
Figura 52 – Dados técnicos lâmpada 110W

Fonte: OSRAM, 2009

VIDA MEDIANA		
	BASIC	LUMILUX®
LUMILUX® T5 HE	-	20.000
LUMILUX® T5 HO	-	24.000
LUMILUX® T5 HO CONSTANT	-	24.000
LUMILUX® T5 HO SKYWHITE	-	24.000
LUMILUX® T5 FC	-	16.000
T8 L15W / L30W	13.000	-
T8 FO 16W / FO 32W	13.000	20.000
T8 L18W / L36W / L58W	13.000	20.000
LUMILUX® XXT T8	-	80.000

Figura 53 – Vida mediana das lâmpadas **e** reatores eletrônicos

Fonte: OSRAM, 2009



	W	lm	d [mm]	l max. [mm]	
	Potência	Fluxo luminoso	Diâmetro	Comp. l máx.	Base
POWERSTAR® HQI®-E - Bulbo elipsoidal, base de rosca					
Silica					
HQI-E 250W/D	250	19000	90	226	E40
HQI-E 400W/D	400	34000	120	290	E40

Figura 54 – Dados técnicos lâmpada 400W

Fonte: OSRAM, 2009

ANEXO III – DETALHES TÉCNICOS DOS REATORES PROPOSTOS

QUICKTRONIC® PROFISSIONAL para T5 HO versão para 1 lâmpada	Modelo da Lâmpada	V min.-max. 1) Variação de tensão AC	V min.-max. Variação de tensão DC	kHz EVG Frequência no secundário	A Corrente de entrada
QTP5 1x54	1xHO 54	198…264	154…276	40…50	0,27
QTP5 1x80	1xHO 80	198…264	154…276	40…50	0,39

	λ Fator de Potência	W SYSTEM Consumo total	lm 2) Fluxo Lumin. nominal lamp	°C min.-max. Temperatura ambiente	l [mm] Comprimento em mm	b [mm] Largura em mm	h [mm] Altura em mm	a mm Distância entre os furos de fixação	Quantidade por caixa	Peso
QTP5 1x54	0,98	61	1x4450	–20…+50	360	30	21	350	20	280
QTP5 1x80	0,98	88	1x6150	–20…+50	360	30	21	350	20	280

Figura 55 – Dados técnicos reator 1x54W

Fonte: OSRAM, 2009

QUICKTRONIC® PROFISSIONAL para T5 HO versão para 2 lâmpadas	Modelo da Lâmpada	V min.-max. 1) Variação de tensão AC	V min.-max. Variação de tensão DC	kHz EVG Frequência no secundário	A Corrente de entrada
QTP5 2x54	2xHO 54	198…264	154…276	40…50	0,53
QT-FQ 2x80	2xHO 80	198…264	–	70…75	0,76
	2xDL 80				0,76
	2xDL 55				0,59

	λ Fator de Potência	W SYSTEM Consumo total	lm 2) Fluxo Lumin. nominal lamp	°C min.-max. Temperatura ambiente	l [mm] Comprimento em mm	b [mm] Largura em mm	h [mm] Altura em mm	a mm Distância entre os furos de fixação	Quantidade por caixa	Peso
QTP5 2x54	0,98	119	2x4450	–20…+50	423	30	21	415	20	415
QT-FQ 2x80	0,98	175	2x6150	–20…+50	423	30	21	415	20	400
	0,98	175	2x6150							
	0,98	122	2x4800							

Figura 56 – Dados técnicos reator 2x54W

Fonte: OSRAM, 2009

QUICKTRONIC® PROFISSIONAL para T5 HE versão para 2 lâmpadas	Modelo da Lâmpada	V min.-max. [1]	V min.-max.	kHz EVG	A
QTP5 2x14-35	2xHE 14	198…264	154…276	40…50	0,15
	2xHE 21				0,21
	2xHE 28				0,28
	2xHE 35				0,35

	λ Fator de Potência	W SYSTEM Consumo total	lm [2] Fluxo Lumin. nominal lamp	°C min.-max. Temperatura ambiente	l [mm] Comprimento em mm	b [mm] Largura em mm	h [mm] Altura em mm	a mm Distância entre os furos de fixação	Quantidade por caixa	Peso
QTP5 2x14-35	0,98	32	2x1200	-20...+50	423	30	21	350	20	280
	0,98	46	2x1900							
	0,98	62	2x2600							
	0,99	78	2x3000							

Figura 57 – Dados técnicos reator 2x28W

Fonte: OSRAM, 2009

QUICKTRONIC® PROFISSIONAL para T8 versão para 2 lâmpadas	Modelo da Lâmpada	V min.-max. [1]	V min.-max.	kHz EVG	A
QTP8 2x18	2xL 18	198…264	154…276	50	0,17
QTP8 2x36	2xL 36 (L 38)	198…264	154…276	30	0,31
QTP8 2x58	2xL 58	198…264	154…276	30	0,45

	λ Fator de Potência	W SYSTEM Consumo total	W LAMPS Potência total	lm [2] Fluxo Lumin. nominal lamp	°C min.-max. Temperatura ambiente	l [mm] Comprimento em mm	b [mm] Largura em mm	h [mm] Altura em mm	a mm Distância entre os furos de fixação	Quantidade por caixa	Peso
QTP8 2x18	0,97	35	32	2x1300	–25…+50	423	30	30	415	20	415
QTP8 2x36	0,98	71(70)	64(64)	2x3200	–25…+50	423	30	30	415	20	415
QTP8 2x58	0,98	110	100	2x5000	–25…+50	423	30	30	415	20	415

Figura 58 – Dados técnicos reator 2x58W

Fonte: OSRAM, 2009

Ecotronic Plus TL / TLD

Reatores Eletrônicos para Lâmpadas Fluorescentes Tubulares e Compactas

Código Comercial	Partida	Lâmpada	Tensão (V)	Frequência (Hz)	Corrente da Rede (A)	Potência Total (W)	Fator de Potência	Fator de Fluxo Luminoso	Distorção Harmônica (THD)
ES (TL / TLD) - Alto Fator de Potência									
ES58A26 P	Instantânea	1 x 55W*	220	50/60	0,29	61	0,97	1,10	20%
ES58A26 P	Instantânea	1 x 58W	220	50/60	0,28	60	0,97	1,00	20%
ES58A26 P	Instantânea	1 x 65W	220	50/60	0,29	61	0,97	0,95	20%
ES110A26 P	Instantânea	1 x 85W	220	50/60	0,43	92	0,98	1,00	15%
ES110A26 P	Instantânea	1 x 110W	220	50/60	0,49	104	0,98	0,93	15%
ED (TL / TLD) - Alto Fator de Potência									
ED58A26 P	Instantânea	2 x 55W*	220	50/60	0,56	118	0,96	1,10	15%
ED58A26 P	Instantânea	2 x 58W	220	50/60	0,56	119	0,96	1,00	15%
ED58A26 P	Instantânea	2 x 65W	220	50/60	0,58	122	0,96	0,95	15%
ED110A26 P	Instantânea	2 x 85W	220	50/60	0,84	176	0,95	1,00	25%
ED110A26 P	Instantânea	2 x 110W	220	50/60	0,98	205	0,95	0,93	25%

* para lâmpada fluorescente compacta PL-L

Figura 59 – Dados técnicos reator 2x110W

Fonte: PHILIPS, 2009

VMTI / E
VSTI / E

Metálico								
VTI35A26IG P	35W	IGN35-P	220	0,22	0,95	10	6 x 250	–
VSTI70B26 IG P*	70W	IGN70-P	220	0,98	0,40	14	10 x 250	0,40
VTI70B26IG-OS P	70W	IGN40-P	220	0,98	0,38	14	10 x 250	0,40
VSTI70A26IG P*	70W	IGN70-P	220	0,40	0,95	14	10 x 250	–
VTI70A26IG-40 P	70W	IGN40-P	220	0,40	0,95	14	10 x 250	–
VSTE70A26IG P*	70W	Incorp.	220	0,40	0,95	14	Incorp.	–
VTE70A26IG-OS P	70W	Incorp.	220	0,40	0,92	14	Incorp.	–
VTI100A26IG-40 P	100W	IGN40-P	220	0,54	0,95	17	12 x 250	–
VSTI150B26IG P*	150W	IGN50-P	220	1,80	0,50	25	18 x 250	0,85
VTI150B26IG-OS P	150W	IGN40-P	220	1,80	0,43	22	18 x 250	0,85
VSTI150A26IG P*	150W	IGN50-P	220	0,80	0,95	25	18 x 250	–
VTI150A26IG-OS P	150W	IGN40-P	220	0,85	0,95	22	18 x 250	–
VSTE150A26IG P*	150W	Incorp.	220	0,80	0,95	25	Incorp.	–
VMTI250B26IG**	250W	IGN51-P	220	2,15	0,58	24	15 x 250	1,30
VMTI250A26IG P**	250W	IGN51-P	220	1,30	0,95	24	15 x 250	–
VMTE250A26IG P**	250 W	Incorp.	220	1,30	0,95	24	Incorp.	–
VSTI250B26IGOS P***	250 W	IGN50-P	220	3,00	0,42	35	32 x 250	1,30
VSTI250A26IGOS P***	250 W	IGN50-P	220	1,30	0,95	35	32 x 250	–
VSTE250A26IGOS P***	250 W	Incorp.	220	1,30	0,95	35	Incorp.	–
VMTI400B26IG**	400 W	IGN51-P	220	3,25	0,60	33	22 x 250	2,10
VMTI400A26IG P**	400 W	IGN51-P	220	2,10	0,95	33	22 x 250	–
VMTE400A26IG P**	400 W	Incorp.	220	2,10	0,95	33	Incorp.	–
VSTI400B26IGOS P***	400 W	IGN50-P	220	4,60	0,40	43	45 x 250	2,00
VSTI400A26IGOS P***	400 W	IGN50-P	220	2,10	0,95	43	45 x 250	–
VSTE400A26IGOS P***	400 W	Incorp.	220	2,10	0,95	43	Incorp.	–
VMTE1000A26IG P**	1000 W	Incorp.	220	5,00	0,95	70	Incorp.	–
VSTE1000A26IGOS P***	1000 W	Incorp.	220	5,00	0,95	100	Incorp.	–
VTE2000A26IG P**	2000 W (H)	Incorp.	220	9,50	0,95	100	Incorp.	–
VTE2000A36IG P**	2000 W (H)	Incorp.	380	5,30	0,95	100	Incorp.	–
VTE2000A26IGE P**	2000 W (U)	Incorp.	220	9,50	0,95	100	Incorp.	–
VTE2000A26-OS P***	2000 W	Incorp.	220	9,80	0,95	100	Incorp.	–
VTE2000A36-OS P***	2000 W	Incorp.	380	5,30	0,95	100	Incorp.	–

Os reatores com sufixo (-40) operam com lâmpadas CDM/HQI ou similar
* Para lâmpadas MHN/MHW-TD
** Para lâmpadas Vapor Metálico padrão Philips
*** Para lâmpadas Vapor Metálico padrão Osram

Figura 60 – Dados técnicos reator 1x400W

Fonte: PHILIPS, 2009

ANEXO IV – DETALHAMENTO DE CÁLCULO DAS VARIÁVEIS

Tabela 26 – Cenário 1,2 e 3 – Variável 01- juros 8%

CENÁRIOS	SISTEMAS	CONSUMO ANUAL DO SISTEMA kWh/ano	CUSTO ANUAL COM ENERGIA R$ / kWh	FRC LUMINÁRIA	FRC LÂMPADA	FRC REATOR	FRC ENERGIA	CCVA LUMINÁRIA (R$)	CCVA LÂMPADA (R$)	CCVA REATOR (R$)	CCVA ENERGIA (R$)	CVA
CENÁRIO 1.1	A	111.996	39.758,58	0,1058	0,3019	0,2505	-	1.111,51	1.846,83	4.514,84	39.758,58	R$ 47.231,76
	B	102.816	36.499,68	0,1058	0,3019	0,2505	-	534,18	1.738,19	2.585,55	36.499,68	R$ 41.357,61
	C	95.232	33.807,36	0,1058	0,3019	0,2505	-	949,66	2.467,15	4.596,54	33.807,36	R$ 41.820,71
	D	79.860	28.350,30	0,1058	0,1295	0,1690	-	2.858,85	2.056,08	2.205,02	28.350,30	**R$ 35.470,25**
	E	99.630	35.368,65	0,1058	0,3019	0,2505	-	897,32	1.004,15	1.433,27	35.368,65	R$ 38.703,39
	F	111.636	39.630,78	0,1058	0,4571	0,2505	-	757,29	1.249,36	766,74	39.630,78	R$ 42.404,17
	J	112.320	39.873,60	0,1690	0,1690	0,1690	-	0,00	96.021,35	0,00	39.873,60	R$ 135.894,95
CENÁRIO 2.1	A	125.172	44.436,06	0,1058	0,3019	0,2505	-	1.242,27	2.064,11	5.046,00	44.436,06	R$ 52.788,44
	B	120.666	42.836,43	0,1058	0,3019	0,2505	-	626,93	2.039,96	3.034,43	42.836,43	R$ 48.537,75
	C	113.832	40.410,36	0,1058	0,3019	0,2505	-	1.135,14	2.949,02	5.494,30	40.410,36	R$ 49.988,82
	D	87.120	30.927,60	0,1058	0,1295	0,1690	-	3.118,74	2.242,99	2.405,48	30.927,60	**R$ 38.694,82**
	E	110.700	39.298,50	0,1058	0,3019	0,2505	-	997,03	1.115,72	1.592,53	39.298,50	R$ 43.003,77
	F	130.242	46.235,91	0,1058	0,4571	0,2505	-	883,50	1.457,58	894,53	46.235,91	R$ 49.471,53
	J	131.820	46.796,10	0,1690	0,1690	0,1690	-	0,00	112.691,72	0,00	46.796,10	R$ 159.487,82
CENÁRIO 3.1	G	146.400	51.972,00	0,1058	0,3019	0,2505	-	1.872,37	2.414,16	5.901,76	51.972,00	R$ 62.160,29
	H	139.944	49.680,12	0,1058	0,3019	0,2505	-	988,59	2.365,88	3.519,22	49.680,12	R$ 56.553,81
	I	127.224	45.164,52	0,1058	0,3019	0,2505	-	1.725,00	3.295,96	6.140,69	45.164,52	R$ 56.326,16
	D	102.960	36.550,80	0,1058	0,1295	0,1690	-	3.685,79	2.650,81	2.842,84	36.550,80	**R$ 45.730,24**
	E	135.300	48.031,50	0,1058	0,3019	0,2505	-	1.218,59	1.363,66	1.946,42	48.031,50	R$ 52.560,16
	F	148.848	52.841,04	0,1058	0,4571	0,2505	-	1.009,72	1.665,81	1.022,32	52.841,04	R$ 56.538,89
	J	141.960	50.395,80	0,1690	0,1690	0,1690	-	0,00	121.360,31	0,00	50.395,80	R$ 171.756,11

Fonte: próprio autor

Tabela 27 – Cenário 1,2 e 3 – Variável 01- juros 10%

CENÁRIOS	SISTEMAS	CONSUMO ANUAL DO SISTEMA kWh/ano	CUSTO ANUAL COM ENERGIA R$ / kWh	FRC LUMINÁRIA	FRC LÂMPADA	FRC REATOR	FRC ENERGIA	CCVA LUMINÁRIA (R$)	CCVA LÂMPADA (R$)	CCVA REATOR (R$)	CCVA ENERGIA (R$)	CVA
CENÁRIO 1.1	A	111.996	39.758,58	0,1211	0,3155	0,2638	-	1.272,15	1.929,72	4.755,33	39.758,58	R$ 47.715,78
	B	102.816	36.499,68	0,1211	0,3155	0,2638	-	611,39	1.816,20	2.723,28	36.499,68	R$ 41.650,55
	C	95.232	33.807,36	0,1211	0,3155	0,2638	-	1.086,91	2.577,88	4.841,38	33.807,36	R$ 42.313,53
	D	79.860	28.350,30	0,1211	0,1436	0,1825	-	3.272,03	2.280,97	2.380,79	28.350,30	**R$ 36.284,09**
	E	99.630	35.368,65	0,1211	0,3155	0,2638	-	1.027,01	1.049,21	1.509,62	35.368,65	R$ 38.954,49
	F	111.636	39.630,78	0,1211	0,4717	0,2638	-	866,74	1.289,23	807,58	39.630,78	R$ 42.594,34
	J	112.320	39.873,60	0,1825	0,1825	0,1825	-	0,00	103.675,26	0,00	39.873,60	R$ 143.548,86
CENÁRIO 2.1	A	125.172	44.436,06	0,1211	0,3155	0,2638	-	1.421,82	2.156,74	5.314,79	44.436,06	R$ 53.329,40
	B	120.666	42.836,43	0,1211	0,3155	0,2638	-	717,53	2.131,52	3.196,07	42.836,43	R$ 48.881,55
	C	113.832	40.410,36	0,1211	0,3155	0,2638	-	1.299,20	3.081,37	5.786,96	40.410,36	R$ 50.577,89
	D	87.120	30.927,60	0,1211	0,1436	0,1825	-	3.569,49	2.488,33	2.597,22	30.927,60	**R$ 39.582,64**
	E	110.700	39.298,50	0,1211	0,3155	0,2638	-	1.141,12	1.165,79	1.677,36	39.298,50	R$ 43.282,77
	F	130.242	46.235,91	0,1211	0,4717	0,2638	-	1.011,19	1.504,11	942,18	46.235,91	R$ 49.693,39
	J	131.820	46.796,10	0,1825	0,1825	0,1825	-	0,00	121.674,43	0,00	46.796,10	R$ 168.470,53
CENÁRIO 3.1	G	146.400	51.972,00	0,1211	0,3155	0,2638	-	2.142,98	2.522,50	6.216,12	51.972,00	R$ 62.853,61
	H	139.944	49.680,12	0,1211	0,3155	0,2638	-	1.131,47	2.472,05	3.706,68	49.680,12	R$ 56.990,33
	I	127.224	45.164,52	0,1211	0,3155	0,2638	-	1.974,31	3.443,88	6.467,78	45.164,52	R$ 57.050,49
	D	102.960	36.550,80	0,1211	0,1436	0,1825	-	4.218,49	2.940,75	3.069,45	36.550,80	**R$ 46.779,48**
	E	135.300	48.031,50	0,1211	0,3155	0,2638	-	1.394,71	1.424,86	2.050,10	48.031,50	R$ 52.901,16
	F	148.848	52.841,04	0,1211	0,4717	0,2638	-	1.155,65	1.718,98	1.076,78	52.841,04	R$ 56.792,45
	J	141.960	50.395,80	0,1825	0,1825	0,1825	-	0,00	131.034,01	0,00	50.395,80	R$ 181.429,81

Fonte: próprio autor

Tabela 28 – Cenário 1,2 e 3 – Variável 01- juros 12%

CENÁRIOS	SISTEMAS	CONSUMO ANUAL DO SISTEMA kWh/ano	CUSTO ANUAL COM ENERGIA R$ / kWh	FRC LUMINÁRIA	FRC LÂMPADA	FRC REATOR	FRC ENERGIA	CCVA LUMINÁRIA (R$)	CCVA LÂMPADA (R$)	CCVA REATOR (R$)	CCVA ENERGIA (R$)	CVA
CENÁRIO 1.1	A	111.996	39.758,58	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.441,04	2.013,91	5.000,72	39.758,58	R$ 48.214,25
	B	102.816	36.499,68	0,1372	0,3292	0,2774	-	692,56	1.895,44	2.863,80	36.499,68	R$ 41.951,48
	C	95.232	33.807,36	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.231,21	2.690,35	5.091,20	33.807,36	R$ 42.820,12
	D	79.860	28.350,30	0,1372	0,1584	0,1964	-	3.706,43	2.515,77	2.562,37	28.350,30	**R$ 37.134,87**
	E	99.630	35.368,65	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.163,36	1.094,99	1.587,52	35.368,65	R$ 39.214,51
	F	111.636	39.630,78	0,1372	0,4864	0,2774	-	981,81	1.329,44	849,26	39.630,78	R$ 42.791,29
	J	112.320	39.873,60	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	111.582,50	0,00	39.873,60	R$ 151.456,10
CENÁRIO 2.1	A	125.172	44.436,06	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.610,58	2.250,84	5.589,03	44.436,06	R$ 53.886,51
	B	120.666	42.836,43	0,1372	0,3292	0,2774	-	812,79	2.224,51	3.360,99	42.836,43	R$ 49.234,72
	C	113.832	40.410,36	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.471,69	3.215,80	6.085,58	40.410,36	R$ 51.183,43
	D	87.120	30.927,60	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.043,38	2.744,47	2.795,31	30.927,60	**R$ 40.510,76**
	E	110.700	39.298,50	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.292,62	1.216,65	1.763,91	39.298,50	R$ 43.571,68
	F	130.242	46.235,91	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.145,44	1.551,01	990,80	46.235,91	R$ 49.923,17
	J	131.820	46.796,10	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	130.954,46	0,00	46.796,10	R$ 177.750,56
CENÁRIO 3.1	G	146.400	51.972,00	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.427,49	2.632,56	6.536,88	51.972,00	R$ 63.568,93
	H	139.944	49.680,12	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.281,69	2.579,91	3.897,95	49.680,12	R$ 57.439,67
	I	127.224	45.164,52	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.236,42	3.594,13	6.801,53	45.164,52	R$ 57.796,60
	D	102.960	36.550,80	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.778,54	3.243,47	3.303,55	36.550,80	**R$ 47.876,36**
	E	135.300	48.031,50	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.579,87	1.487,02	2.155,89	48.031,50	R$ 53.254,28
	F	148.848	52.841,04	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.309,08	1.772,59	1.132,34	52.841,04	R$ 57.055,05
	J	141.960	50.395,80	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	141.027,88	0,00	50.395,80	R$ 191.423,68

Fonte: próprio autor

Tabela 29 – Cenário 1,2 e 3 – Variável 01- juros 14%

CENÁRIOS	SISTEMAS	CONSUMO ANUAL DO SISTEMA kWh/ano	CUSTO ANUAL COM ENERGIA R$ / kWh	FRC LUMINÁRIA	FRC LÂMPADA	FRC REATOR	FRC ENERGIA	CCVA LUMINÁRIA (R$)	CCVA LÂMPADA (R$)	CCVA REATOR (R$)	CCVA ENERGIA (R$)	CVA
CENÁRIO 1.1	A	111.996	39.758,58	0,1539	0,3432	0,2913	-	1.617,07	2.099,36	5.250,81	39.758,58	R$ 48.725,83
	B	102.816	36.499,68	0,1539	0,3432	0,2913	-	777,16	1.975,87	3.007,02	36.499,68	R$ 42.259,73
	C	95.232	33.807,36	0,1539	0,3432	0,2913	-	1.381,61	2.804,50	5.345,82	33.807,36	R$ 43.339,30
	D	79.860	28.350,30	0,1539	0,1738	0,2107	-	4.159,19	2.759,68	2.749,47	28.350,30	**R$ 38.018,64**
	E	99.630	35.368,65	0,1539	0,3432	0,2913	-	1.305,47	1.141,45	1.666,91	35.368,65	R$ 39.482,48
	F	111.636	39.630,78	0,1539	0,5012	0,2913	-	1.101,74	1.369,97	891,73	39.630,78	R$ 42.994,22
	J	112.320	39.873,60	0,2107	0,2107	0,2107	-	0,00	119.730,09	0,00	39.873,60	R$ 159.603,69
CENÁRIO 2.1	A	125.172	44.436,06	0,1539	0,3432	0,2913	-	1.807,32	2.346,35	5.868,55	44.436,06	R$ 54.458,28
	B	120.666	42.836,43	0,1539	0,3432	0,2913	-	912,08	2.318,90	3.529,08	42.836,43	R$ 49.596,49
	C	113.832	40.410,36	0,1539	0,3432	0,2913	-	1.651,46	3.352,26	6.389,93	40.410,36	R$ 51.804,01
	D	87.120	30.927,60	0,1539	0,1738	0,2107	-	4.537,30	3.010,56	2.999,42	30.927,60	**R$ 41.474,88**
	E	110.700	39.298,50	0,1539	0,3432	0,2913	-	1.450,52	1.268,28	1.852,13	39.298,50	R$ 43.869,43
	F	130.242	46.235,91	0,1539	0,5012	0,2913	-	1.285,36	1.598,30	1.040,35	46.235,91	R$ 50.159,92
	J	131.820	46.796,10	0,2107	0,2107	0,2107	-	0,00	140.516,57	0,00	46.796,10	R$ 187.312,67
CENÁRIO 3.1	G	146.400	51.972,00	0,1539	0,3432	0,2913	-	2.724,02	2.744,27	6.863,81	51.972,00	R$ 64.304,09
	H	139.944	49.680,12	0,1539	0,3432	0,2913	-	1.438,26	2.689,38	4.092,90	49.680,12	R$ 57.900,65
	I	127.224	45.164,52	0,1539	0,3432	0,2913	-	2.509,61	3.746,64	7.141,68	45.164,52	R$ 58.562,46
	D	102.960	36.550,80	0,1539	0,1738	0,2107	-	5.362,26	3.557,93	3.544,77	36.550,80	**R$ 49.015,77**
	E	135.300	48.031,50	0,1539	0,3432	0,2913	-	1.772,86	1.550,12	2.263,71	48.031,50	R$ 53.618,19
	F	148.848	52.841,04	0,1539	0,5012	0,2913	-	1.468,99	1.826,63	1.188,97	52.841,04	R$ 57.325,63
	J	141.960	50.395,80	0,2107	0,2107	0,2107	-	0,00	151.325,53	0,00	50.395,80	R$ 201.721,33

Fonte: próprio autor

Tabela 30 – Cenário 1,2 e 3 – Variável 2 – tempo de utilização 6.000h/ano

CENÁRIOS	SISTEMAS	CONSUMO ANUAL DO SISTEMA kWh/ano	CUSTO ANUAL COM ENERGIA R$ / kWh	FRC LUMINÁRIA	FRC LÂMPADA	FRC REATOR	FRC ENERGIA	CCVA LUMINÁRIA (R$)	CCVA LÂMPADA (R$)	CCVA REATOR (R$)	CCVA ENERGIA (R$)	CVA
CENÁRIO 1.2	A	111.996	39.758,58	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.441,04	2.013,91	5.000,72	39.758,58	R$ 48.214,25
	B	102.816	36.499,68	0,1372	0,3292	0,2774	-	692,56	1.895,44	2.863,80	36.499,68	R$ 41.951,48
	C	95.232	33.807,36	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.231,21	2.690,35	5.091,20	33.807,36	R$ 42.820,12
	D	79.860	28.350,30	0,1372	0,1584	0,1964	-	3.706,43	2.515,77	2.562,37	28.350,30	**R$ 37.134,87**
	E	99.630	35.368,65	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.163,36	1.094,99	1.587,52	35.368,65	R$ 39.214,51
	F	111.636	39.630,78	0,1372	0,4864	0,2774	-	981,81	1.329,44	849,26	39.630,78	R$ 42.791,29
	J	112.320	39.873,60	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	111.582,50	0,00	39.873,60	R$ 151.456,10
CENÁRIO 2.2	A	125.172	44.436,06	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.610,58	2.250,84	5.589,03	44.436,06	R$ 53.886,51
	B	120.666	42.836,43	0,1372	0,3292	0,2774	-	812,79	2.224,51	3.360,99	42.836,43	R$ 49.234,72
	C	113.832	40.410,36	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.471,69	3.215,80	6.085,58	40.410,36	R$ 51.183,43
	D	87.120	30.927,60	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.043,38	2.744,47	2.795,31	30.927,60	**R$ 40.510,76**
	E	110.700	39.298,50	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.292,62	1.216,65	1.763,91	39.298,50	R$ 43.571,68
	F	130.242	46.235,91	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.145,44	1.551,01	990,80	46.235,91	R$ 49.923,17
	J	131.820	46.796,10	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	130.954,46	0,00	46.796,10	R$ 177.750,56
CENÁRIO 3.2	G	146.400	51.972,00	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.427,49	2.632,56	6.536,88	51.972,00	R$ 63.568,93
	H	139.944	49.680,12	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.281,69	2.579,91	3.897,95	49.680,12	R$ 57.439,67
	I	127.224	45.164,52	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.236,42	3.594,13	6.801,53	45.164,52	R$ 57.796,60
	D	102.960	36.550,80	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.778,54	3.243,47	3.303,55	36.550,80	**R$ 47.876,36**
	E	135.300	48.031,50	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.579,87	1.487,02	2.155,89	48.031,50	R$ 53.254,28
	F	148.848	52.841,04	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.309,08	1.772,59	1.132,34	52.841,04	R$ 57.055,05
	J	141.960	50.395,80	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	141.027,88	0,00	50.395,80	R$ 191.423,68

Fonte: próprio autor

Tabela 31 – Cenário 1,2 e 3 – Variável 2 – tempo de utilização 4.500h/ano

CENÁRIOS	SISTEMAS	CONSUMO ANUAL DO SISTEMA kWh/ano	CUSTO ANUAL COM ENERGIA R$ / kWh	FRC LUMINÁRIA	FRC LÂMPADA	FRC REATOR	FRC ENERGIA	CCVA LUMINÁRIA (R$)	CCVA LÂMPADA (R$)	CCVA REATOR (R$)	CCVA ENERGIA (R$)	CVA
CENÁRIO 1.2	A	83.997	29.818,94	0,1280	0,2645	0,2263	-	1.344,85	1.618,21	4.079,65	29.818,94	R$ 36.861,64
	B	77.112	27.374,76	0,1280	0,2645	0,2263	-	646,33	1.523,02	2.336,32	27.374,76	R$ 31.880,43
	C	71.424	25.355,52	0,1280	0,2645	0,2263	-	1.149,02	2.161,74	4.153,47	25.355,52	R$ 32.819,75
	D	59.895	21.262,73	0,1280	0,1414	0,1676	-	3.459,01	2.245,19	2.186,55	21.262,73	**R$ 29.153,48**
	E	74.723	26.526,49	0,1280	0,2645	0,2263	-	1.085,70	879,84	1.295,12	26.526,49	R$ 29.787,14
	F	83.727	29.723,09	0,1280	0,3814	0,2263	-	916,27	1.042,58	692,83	29.723,09	R$ 32.374,77
	J	84.240	29.905,20	0,1676	0,1676	0,1676	-	0,00	95.216,97	0,00	29.905,20	R$ 125.122,17
CENÁRIO 2.2	A	93.879	33.327,05	0,1280	0,2645	0,2263	-	1.503,06	1.808,58	4.559,61	33.327,05	R$ 41.198,30
	B	90.500	32.127,32	0,1280	0,2645	0,2263	-	758,54	1.787,43	2.741,94	32.127,32	R$ 37.415,23
	C	85.374	30.307,77	0,1280	0,2645	0,2263	-	1.373,44	2.583,95	4.964,69	30.307,77	R$ 39.229,86
	D	65.340	23.195,70	0,1280	0,1414	0,1676	-	3.773,46	2.449,30	2.385,33	23.195,70	**R$ 31.803,80**
	E	83.025	29.473,88	0,1280	0,2645	0,2263	-	1.206,33	977,60	1.439,02	29.473,88	R$ 33.096,83
	F	97.682	34.676,93	0,1280	0,3814	0,2263	-	1.068,98	1.216,35	808,31	34.676,93	R$ 37.770,56
	J	98.865	35.097,08	0,1676	0,1676	0,1676	-	0,00	111.747,69	0,00	35.097,08	R$ 146.844,76
CENÁRIO 3.2	G	109.800	38.979,00	0,1280	0,2645	0,2263	-	2.265,44	2.115,30	5.332,87	38.979,00	R$ 48.692,62
	H	104.958	37.260,09	0,1280	0,2645	0,2263	-	1.196,13	2.073,00	3.180,00	37.260,09	R$ 43.709,22
	I	95.418	33.873,39	0,1280	0,2645	0,2263	-	2.087,13	2.887,95	5.548,77	33.873,39	R$ 44.397,23
	D	77.220	27.413,10	0,1280	0,1414	0,1676	-	4.459,55	2.894,63	2.819,03	27.413,10	R$ 37.586,31
	E	101.475	36.023,63	0,1280	0,2645	0,2263	-	1.474,41	1.194,85	1.758,80	36.023,63	R$ 40.451,68
	F	111.636	39.630,78	0,1280	0,3814	0,2263	-	1.221,69	1.390,11	923,78	39.630,78	R$ 43.166,36
	J	106.470	37.796,85	0,1676	0,1676	0,1676	-	0,00	120.343,66	0,00	37.796,85	R$ 158.140,51

Fonte: próprio autor

Tabela 32 – Cenário 1,2 e 3 – Variável 2 – tempo de utilização 2.250h/ano

CENÁRIOS	SISTEMAS	CONSUMO ANUAL DO SISTEMA kWh/ano	CUSTO ANUAL COM ENERGIA R$ / kWh	FRC LUMINÁRIA	FRC LÂMPADA	FRC REATOR	FRC ENERGIA	CCVA LUMINÁRIA (R$)	CCVA LÂMPADA (R$)	CCVA REATOR (R$)	CCVA ENERGIA (R$)	CVA
CENÁRIO 1.2	A	41.999	14.909,47	0,1205	0,1711	0,1540	-	1.265,56	1.046,44	2.775,72	14.909,47	R$ 19.997,19
	B	38.556	13.687,38	0,1205	0,1711	0,1540	-	608,22	984,89	1.589,59	13.687,38	R$ 16.870,08
	C	35.712	12.677,76	0,1205	0,1711	0,1540	-	1.081,29	1.397,92	2.825,94	12.677,76	R$ 17.982,91
	D	29.948	10.631,36	0,1205	0,1228	0,1305	-	3.255,09	1.950,22	1.703,08	10.631,36	R$ 17.539,76
	E	37.361	13.263,24	0,1205	0,1711	0,1540	-	1.021,69	568,96	881,17	13.263,24	**R$ 15.735,08**
	F	41.864	14.861,54	0,1205	0,2263	0,1540	-	862,25	618,60	471,39	14.861,54	R$ 16.813,78
	J	42.120	14.952,60	0,1305	0,1305	0,1305	-	0,00	74.163,51	0,00	14.952,60	R$ 89.116,11
CENÁRIO 2.2	A	46.940	16.663,52	0,1205	0,1711	0,1540	-	1.414,45	1.169,55	3.102,27	16.663,52	R$ 22.349,80
	B	45.250	16.063,66	0,1205	0,1711	0,1540	-	713,82	1.155,87	1.865,56	16.063,66	R$ 19.798,91
	C	42.687	15.153,89	0,1205	0,1711	0,1540	-	1.292,48	1.670,96	3.377,88	15.153,89	R$ 21.495,20
	D	32.670	11.597,85	0,1205	0,1228	0,1305	-	3.551,01	2.127,51	1.857,91	11.597,85	R$ 19.134,28
	E	41.513	14.736,94	0,1205	0,1711	0,1540	-	1.135,22	632,18	979,08	14.736,94	**R$ 17.483,42**
	F	48.841	17.338,47	0,1205	0,2263	0,1540	-	1.005,96	721,70	549,96	17.338,47	R$ 19.616,08
	J	49.433	17.548,54	0,1305	0,1305	0,1305	-	0,00	87.039,12	0,00	17.548,54	R$ 104.587,66
CENÁRIO 3.2	G	54.900	19.489,50	0,1205	0,1711	0,1540	-	2.131,89	1.367,90	3.628,39	19.489,50	R$ 26.617,67
	H	52.479	18.630,05	0,1205	0,1711	0,1540	-	1.125,62	1.340,54	2.163,61	18.630,05	R$ 23.259,81
	I	47.709	16.936,70	0,1205	0,1711	0,1540	-	1.964,08	1.867,54	3.775,28	16.936,70	R$ 24.543,60
	D	38.610	13.706,55	0,1205	0,1228	0,1305	-	4.196,65	2.514,33	2.195,71	13.706,55	R$ 22.613,24
	E	50.738	18.011,81	0,1205	0,1711	0,1540	-	1.387,49	772,67	1.196,66	18.011,81	**R$ 21.368,62**
	F	55.818	19.815,39	0,1205	0,2263	0,1540	-	1.149,67	824,80	628,52	19.815,39	R$ 22.418,38
	J	53.235	18.898,43	0,1305	0,1305	0,1305	-	0,00	93.734,44	0,00	18.898,43	R$ 112.632,86

Fonte: próprio autor

Tabela 33 – Cenário 1,2 e 3 – Variável 3 – custo dos equipamentos - atual

CENÁRIOS	SISTEMAS	CONSUMO ANUAL DO SISTEMA kWh/ano	CUSTO ANUAL COM ENERGIA R$ / kWh	FRC LUMINÁRIA	FRC LÂMPADA	FRC REATOR	FRC ENERGIA	CCVA LUMINÁRIA (R$)	CCVA LÂMPADA (R$)	CCVA REATOR (R$)	CCVA ENERGIA (R$)	CVA
CENÁRIO 1.3	A	111.996	39.758,58	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.441,04	2.013,91	5.000,72	39.758,58	R$ 48.214,25
	B	102.816	36.499,68	0,1372	0,3292	0,2774	-	692,56	1.895,44	2.863,80	36.499,68	R$ 41.951,48
	C	95.232	33.807,36	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.231,21	2.690,35	5.091,20	33.807,36	R$ 42.820,12
	D	79.860	28.350,30	0,1372	0,1584	0,1964	-	3.706,43	2.515,77	2.562,37	28.350,30	**R$ 37.134,87**
	E	99.630	35.368,65	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.163,36	1.094,99	1.587,52	35.368,65	R$ 39.214,51
	F	111.636	39.630,78	0,1372	0,4864	0,2774	-	981,81	1.329,44	849,26	39.630,78	R$ 42.791,29
	J	112.320	39.873,60	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	111.582,50	0,00	39.873,60	R$ 151.456,10
CENÁRIO 2.3	A	125.172	44.436,06	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.610,58	2.250,84	5.589,03	44.436,06	R$ 53.886,51
	B	120.666	42.836,43	0,1372	0,3292	0,2774	-	812,79	2.224,51	3.360,99	42.836,43	R$ 49.234,72
	C	113.832	40.410,36	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.471,69	3.215,80	6.085,58	40.410,36	R$ 51.183,43
	D	87.120	30.927,60	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.043,38	2.744,47	2.795,31	30.927,60	**R$ 40.510,76**
	E	110.700	39.298,50	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.292,62	1.216,65	1.763,91	39.298,50	R$ 43.571,68
	F	130.242	46.235,91	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.145,44	1.551,01	990,80	46.235,91	R$ 49.923,17
	J	131.820	46.796,10	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	130.954,46	0,00	46.796,10	R$ 177.750,56
CENÁRIO 3.3	G	146.400	51.972,00	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.427,49	2.632,56	6.536,88	51.972,00	R$ 63.568,93
	H	139.944	49.680,12	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.281,69	2.579,91	3.897,95	49.680,12	R$ 57.439,67
	I	127.224	45.164,52	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.236,42	3.594,13	6.801,53	45.164,52	R$ 57.796,60
	D	102.960	36.550,80	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.778,54	3.243,47	3.303,55	36.550,80	**R$ 47.876,36**
	E	135.300	48.031,50	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.579,87	1.487,02	2.155,89	48.031,50	R$ 53.254,28
	F	148.848	52.841,04	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.309,08	1.772,59	1.132,34	52.841,04	R$ 57.055,05
	J	141.960	50.395,80	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	141.027,88	0,00	50.395,80	R$ 191.423,68

Fonte: próprio autor

Tabela 34 – Cenário 1,2 e 3 – Variável 3 – custo dos equipamentos – majorado 10%

CENÁRIOS	SISTEMAS	CONSUMO ANUAL DO SISTEMA kWh/ano	CUSTO ANUAL COM ENERGIA R$ / kWh	FRC LUMINÁRIA	FRC LÂMPADA	FRC REATOR	FRC ENERGIA	CCVA LUMINÁRIA (R$)	CCVA LÂMPADA (R$)	CCVA REATOR (R$)	CCVA ENERGIA (R$)	CVA
CENÁRIO 1.3	A	111.996	39.758,58	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.585,15	2.215,30	5.500,79	39.758,58	R$ 49.059,81
	B	102.816	36.499,68	0,1372	0,3292	0,2774	-	761,81	2.084,99	3.150,18	36.499,68	R$ 42.496,66
	C	95.232	33.807,36	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.354,34	2.959,38	5.600,32	33.807,36	R$ 43.721,40
	D	79.860	28.350,30	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.077,07	2.767,34	2.818,61	28.350,30	**R$ 38.013,32**
	E	99.630	35.368,65	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.279,69	1.204,49	1.746,27	35.368,65	R$ 39.599,10
	F	111.636	39.630,78	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.079,99	1.462,39	934,18	39.630,78	R$ 43.107,34
	J	112.320	39.873,60	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	122.740,75	0,00	39.873,60	R$ 162.614,35
CENÁRIO 2.3	A	125.172	44.436,06	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.771,64	2.475,92	6.147,94	44.436,06	R$ 54.831,56
	B	120.666	42.836,43	0,1372	0,3292	0,2774	-	894,07	2.446,96	3.697,09	42.836,43	R$ 49.874,55
	C	113.832	40.410,36	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.618,85	3.537,38	6.694,13	40.410,36	R$ 52.260,73
	D	87.120	30.927,60	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.447,72	3.018,92	3.074,84	30.927,60	**R$ 41.469,08**
	E	110.700	39.298,50	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.421,88	1.338,32	1.940,30	39.298,50	R$ 43.999,00
	F	130.242	46.235,91	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.259,99	1.706,12	1.089,88	46.235,91	R$ 50.291,89
	J	131.820	46.796,10	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	144.049,91	0,00	46.796,10	R$ 190.846,01
CENÁRIO 3.3	G	146.400	51.972,00	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.670,24	2.895,81	7.190,57	51.972,00	R$ 64.728,62
	H	139.944	49.680,12	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.409,86	2.837,90	4.287,75	49.680,12	R$ 58.215,62
	I	127.224	45.164,52	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.460,06	3.953,55	7.481,68	45.164,52	R$ 59.059,81
	D	102.960	36.550,80	0,1372	0,1584	0,1964	-	5.256,39	3.567,81	3.633,91	36.550,80	**R$ 49.008,91**
	E	135.300	48.031,50	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.737,86	1.635,72	2.371,48	48.031,50	R$ 53.776,56
	F	148.848	52.841,04	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.439,98	1.949,85	1.245,58	52.841,04	R$ 57.476,45
	J	141.960	50.395,80	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	155.130,67	0,00	50.395,80	R$ 205.526,47

Fonte: próprio autor

Tabela 35 – Cenário 1,2 e 3 – Variável 3 – custo dos equipamentos – majorado 20%

CENÁRIOS	SISTEMAS	CONSUMO ANUAL DO SISTEMA kWh/ano	CUSTO ANUAL COM ENERGIA R$ / kWh	FRC LUMINÁRIA	FRC LÂMPADA	FRC REATOR	FRC ENERGIA	CCVA LUMINÁRIA (R$)	CCVA LÂMPADA (R$)	CCVA REATOR (R$)	CCVA ENERGIA (R$)	CVA
CENÁRIO 1.3	A	111.996	39.758,58	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.729,25	2.416,69	6.000,86	39.758,58	R$ 49.905,38
	B	102.816	36.499,68	0,1372	0,3292	0,2774	-	831,07	2.274,53	3.436,56	36.499,68	R$ 43.041,84
	C	95.232	33.807,36	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.477,46	3.228,41	6.109,44	33.807,36	R$ 44.622,67
	D	79.860	28.350,30	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.447,72	3.018,92	3.074,84	28.350,30	**R$ 38.891,78**
	E	99.630	35.368,65	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.396,03	1.313,99	1.905,02	35.368,65	R$ 39.983,69
	F	111.636	39.630,78	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.178,17	1.595,33	1.019,11	39.630,78	R$ 43.423,39
	J	112.320	39.873,60	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	133.899,00	0,00	39.873,60	R$ 173.772,60
CENÁRIO 2.3	A	125.172	44.436,06	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.932,69	2.701,01	6.706,84	44.436,06	R$ 55.776,60
	B	120.666	42.836,43	0,1372	0,3292	0,2774	-	975,35	2.669,41	4.033,19	42.836,43	R$ 50.514,38
	C	113.832	40.410,36	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.766,02	3.858,96	7.302,69	40.410,36	R$ 53.338,04
	D	87.120	30.927,60	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.852,05	3.293,37	3.354,37	30.927,60	**R$ 42.427,40**
	E	110.700	39.298,50	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.551,14	1.459,98	2.116,69	39.298,50	R$ 44.426,32
	F	130.242	46.235,91	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.374,53	1.861,22	1.188,96	46.235,91	R$ 50.660,62
	J	131.820	46.796,10	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	157.145,35	0,00	46.796,10	R$ 203.941,45
CENÁRIO 3.3	G	146.400	51.972,00	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.912,98	3.159,07	7.844,26	51.972,00	R$ 65.888,31
	H	139.944	49.680,12	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.538,03	3.095,89	4.677,54	49.680,12	R$ 58.991,58
	I	127.224	45.164,52	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.683,70	4.312,96	8.161,83	45.164,52	R$ 60.323,01
	D	102.960	36.550,80	0,1372	0,1584	0,1964	-	5.734,25	3.892,16	3.964,26	36.550,80	**R$ 50.141,47**
	E	135.300	48.031,50	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.895,84	1.784,42	2.587,07	48.031,50	R$ 54.298,84
	F	148.848	52.841,04	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.570,89	2.127,11	1.358,81	52.841,04	R$ 57.897,85
	J	141.960	50.395,80	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	169.233,46	0,00	50.395,80	R$ 219.629,26

Fonte: próprio autor

Tabela 36 – Cenário 1,2 e 3 – Variável 4 – custo energia – referência

CENÁRIOS	SISTEMAS	CONSUMO ANUAL DO SISTEMA kWh/ano	CUSTO ANUAL COM ENERGIA R$ / kWh	FRC LUMINÁRIA	FRC LÂMPADA	FRC REATOR	FRC ENERGIA	CCVA LUMINÁRIA (R$)	CCVA LÂMPADA (R$)	CCVA REATOR (R$)	CCVA ENERGIA (R$)	CVA
CENÁRIO 1.4	A	111.996	39.758,58	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.441,04	2.013,91	5.000,72	39.758,58	R$ 48.214,25
	B	102.816	36.499,68	0,1372	0,3292	0,2774	-	692,56	1.895,44	2.863,80	36.499,68	R$ 41.951,48
	C	95.232	33.807,36	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.231,21	2.690,35	5.091,20	33.807,36	R$ 42.820,12
	D	79.860	28.350,30	0,1372	0,1584	0,1964	-	3.706,43	2.515,77	2.562,37	28.350,30	**R$ 37.134,87**
	E	99.630	35.368,65	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.163,36	1.094,99	1.587,52	35.368,65	R$ 39.214,51
	F	111.636	39.630,78	0,1372	0,4864	0,2774	-	981,81	1.329,44	849,26	39.630,78	R$ 42.791,29
	J	112.320	39.873,60	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	111.582,50	0,00	39.873,60	R$ 151.456,10
CENÁRIO 2.4	A	125.172	44.436,06	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.610,58	2.250,84	5.589,03	44.436,06	R$ 53.886,51
	B	120.666	42.836,43	0,1372	0,3292	0,2774	-	812,79	2.224,51	3.360,99	42.836,43	R$ 49.234,72
	C	113.832	40.410,36	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.471,69	3.215,80	6.085,58	40.410,36	R$ 51.183,43
	D	87.120	30.927,60	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.043,38	2.744,47	2.795,31	30.927,60	**R$ 40.510,76**
	E	110.700	39.298,50	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.292,62	1.216,65	1.763,91	39.298,50	R$ 43.571,68
	F	130.242	46.235,91	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.145,44	1.551,01	990,80	46.235,91	R$ 49.923,17
	J	131.820	46.796,10	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	130.954,46	0,00	46.796,10	R$ 177.750,56
CENÁRIO 3.4	G	146.400	51.972,00	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.427,49	2.632,56	6.536,88	51.972,00	R$ 63.568,93
	H	139.944	49.680,12	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.281,69	2.579,91	3.897,95	49.680,12	R$ 57.439,67
	I	127.224	45.164,52	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.236,42	3.594,13	6.801,53	45.164,52	R$ 57.796,60
	D	102.960	36.550,80	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.778,54	3.243,47	3.303,55	36.550,80	**R$ 47.876,36**
	E	135.300	48.031,50	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.579,87	1.487,02	2.155,89	48.031,50	R$ 53.254,28
	F	148.848	52.841,04	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.309,08	1.772,59	1.132,34	52.841,04	R$ 57.055,05
	J	141.960	50.395,80	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	141.027,88	0,00	50.395,80	R$ 191.423,68

Fonte: próprio autor

Tabela 37 – Cenário 1,2 e 3 – Variável 4 – custo energia – redução 10%

CENÁRIOS	SISTEMAS	CONSUMO ANUAL DO SISTEMA kWh/ano	CUSTO ANUAL COM ENERGIA R$ / kWh	FRC LUMINÁRIA	FRC LÂMPADA	FRC REATOR	FRC ENERGIA	CCVA LUMINÁRIA (R$)	CCVA LÂMPADA (R$)	CCVA REATOR (R$)	CCVA ENERGIA (R$)	CVA
CENÁRIO 1.4	A	111.996	35.782,72	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.441,04	2.013,91	5.000,72	35.782,72	R$ 44.238,39
	B	102.816	32.849,71	0,1372	0,3292	0,2774	-	692,56	1.895,44	2.863,80	32.849,71	R$ 38.301,51
	C	95.232	30.426,62	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.231,21	2.690,35	5.091,20	30.426,62	R$ 39.439,39
	D	79.860	25.515,27	0,1372	0,1584	0,1964	-	3.706,43	2.515,77	2.562,37	25.515,27	**R$ 34.299,84**
	E	99.630	31.831,79	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.163,36	1.094,99	1.587,52	31.831,79	R$ 35.677,65
	F	111.636	35.667,70	0,1372	0,4864	0,2774	-	981,81	1.329,44	849,26	35.667,70	R$ 38.828,21
	J	112.320	35.886,24	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	111.582,50	0,00	35.886,24	R$ 147.468,74
CENÁRIO 2.4	A	125.172	39.992,45	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.610,58	2.250,84	5.589,03	39.992,45	R$ 49.442,90
	B	120.666	38.552,79	0,1372	0,3292	0,2774	-	812,79	2.224,51	3.360,99	38.552,79	R$ 44.951,08
	C	113.832	36.369,32	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.471,69	3.215,80	6.085,58	36.369,32	R$ 47.142,39
	D	87.120	27.834,84	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.043,38	2.744,47	2.795,31	27.834,84	**R$ 37.418,00**
	E	110.700	35.368,65	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.292,62	1.216,65	1.763,91	35.368,65	R$ 39.641,83
	F	130.242	41.612,32	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.145,44	1.551,01	990,80	41.612,32	R$ 45.299,57
	J	131.820	42.116,49	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	130.954,46	0,00	42.116,49	R$ 173.070,95
CENÁRIO 3.4	G	146.400	46.774,80	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.427,49	2.632,56	6.536,88	46.774,80	R$ 58.371,73
	H	139.944	44.712,11	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.281,69	2.579,91	3.897,95	44.712,11	R$ 52.471,66
	I	127.224	40.648,07	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.236,42	3.594,13	6.801,53	40.648,07	R$ 53.280,15
	D	102.960	32.895,72	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.778,54	3.243,47	3.303,55	32.895,72	**R$ 44.221,28**
	E	135.300	43.228,35	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.579,87	1.487,02	2.155,89	43.228,35	R$ 48.451,13
	F	148.848	47.556,94	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.309,08	1.772,59	1.132,34	47.556,94	R$ 51.770,94
	J	141.960	45.356,22	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	141.027,88	0,00	45.356,22	R$ 186.384,10

Fonte: próprio autor

Tabela 38 – Cenário 1,2 e 3 – Variável 4 – custo energia – majorado 10%

CENÁRIOS	SISTEMAS	CONSUMO ANUAL DO SISTEMA kWh/ano	CUSTO ANUAL COM ENERGIA R$ / kWh	FRC LUMINÁRIA	FRC LÂMPADA	FRC REATOR	FRC ENERGIA	CCVA LUMINÁRIA (R$)	CCVA LÂMPADA (R$)	CCVA REATOR (R$)	CCVA ENERGIA (R$)	CVA
CENÁRIO 1.4	A	111.996	35.782,72	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.441,04	2.013,91	5.000,72	35.782,72	R$ 44.238,39
	B	102.816	32.849,71	0,1372	0,3292	0,2774	-	692,56	1.895,44	2.863,80	32.849,71	R$ 38.301,51
	C	95.232	30.426,62	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.231,21	2.690,35	5.091,20	30.426,62	R$ 39.439,39
	D	79.860	25.515,27	0,1372	0,1584	0,1964	-	3.706,43	2.515,77	2.562,37	25.515,27	**R$ 34.299,84**
	E	99.630	31.831,79	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.163,36	1.094,99	1.587,52	31.831,79	R$ 35.677,65
	F	111.636	35.667,70	0,1372	0,4864	0,2774	-	981,81	1.329,44	849,26	35.667,70	R$ 38.828,21
	J	112.320	35.886,24	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	111.582,50	0,00	35.886,24	R$ 147.468,74
CENÁRIO 2.4	A	125.172	39.992,45	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.610,58	2.250,84	5.589,03	39.992,45	R$ 49.442,90
	B	120.666	38.552,79	0,1372	0,3292	0,2774	-	812,79	2.224,51	3.360,99	38.552,79	R$ 44.951,08
	C	113.832	36.369,32	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.471,69	3.215,80	6.085,58	36.369,32	R$ 47.142,39
	D	87.120	27.834,84	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.043,38	2.744,47	2.795,31	27.834,84	**R$ 37.418,00**
	E	110.700	35.368,65	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.292,62	1.216,65	1.763,91	35.368,65	R$ 39.641,83
	F	130.242	41.612,32	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.145,44	1.551,01	990,80	41.612,32	R$ 45.299,57
	J	131.820	42.116,49	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	130.954,46	0,00	42.116,49	R$ 173.070,95
CENÁRIO 3.4	G	146.400	46.774,80	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.427,49	2.632,56	6.536,88	46.774,80	R$ 58.371,73
	H	139.944	44.712,11	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.281,69	2.579,91	3.897,95	44.712,11	R$ 52.471,66
	I	127.224	40.648,07	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.236,42	3.594,13	6.801,53	40.648,07	R$ 53.280,15
	D	102.960	32.895,72	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.778,54	3.243,47	3.303,55	32.895,72	**R$ 44.221,28**
	E	135.300	43.228,35	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.579,87	1.487,02	2.155,89	43.228,35	R$ 48.451,13
	F	148.848	47.556,94	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.309,08	1.772,59	1.132,34	47.556,94	R$ 51.770,94
	J	141.960	45.356,22	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	141.027,88	0,00	45.356,22	R$ 186.384,10

Fonte: próprio autor

Tabela 39 – Cenário 1,2 e 3 – Variável 4 – custo energia – majorado 20%

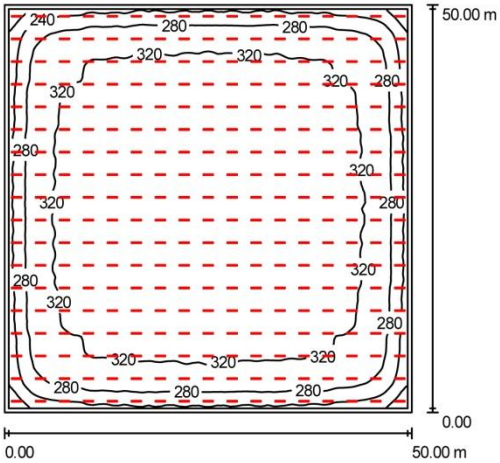
CENÁRIOS	SISTEMAS	CONSUMO ANUAL DO SISTEMA kWh/ano	CUSTO ANUAL COM ENERGIA R$ / kWh	FRC LUMINÁRIA	FRC LÂMPADA	FRC REATOR	FRC ENERGIA	CCVA LUMINÁRIA (R$)	CCVA LÂMPADA (R$)	CCVA REATOR (R$)	CCVA ENERGIA (R$)	CVA
CENÁRIO 1.4	A	111.996	47.710,30	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.441,04	2.013,91	5.000,72	47.710,30	R$ 56.165,96
	B	102.816	43.799,62	0,1372	0,3292	0,2774	-	692,56	1.895,44	2.863,80	43.799,62	R$ 49.251,42
	C	95.232	40.568,83	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.231,21	2.690,35	5.091,20	40.568,83	R$ 49.581,59
	D	79.860	34.020,36	0,1372	0,1584	0,1964	-	3.706,43	2.515,77	2.562,37	34.020,36	**R$ 42.804,93**
	E	99.630	42.442,38	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.163,36	1.094,99	1.587,52	42.442,38	R$ 46.288,24
	F	111.636	47.556,94	0,1372	0,4864	0,2774	-	981,81	1.329,44	849,26	47.556,94	R$ 50.717,44
	J	112.320	47.848,32	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	111.582,50	0,00	47.848,32	R$ 159.430,82
CENÁRIO 2.4	A	125.172	53.323,27	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.610,58	2.250,84	5.589,03	53.323,27	R$ 62.773,72
	B	120.666	51.403,72	0,1372	0,3292	0,2774	-	812,79	2.224,51	3.360,99	51.403,72	R$ 57.802,01
	C	113.832	48.492,43	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.471,69	3.215,80	6.085,58	48.492,43	R$ 59.265,50
	D	87.120	37.113,12	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.043,38	2.744,47	2.795,31	37.113,12	**R$ 46.696,28**
	E	110.700	47.158,20	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.292,62	1.216,65	1.763,91	47.158,20	R$ 51.431,38
	F	130.242	55.483,09	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.145,44	1.551,01	990,80	55.483,09	R$ 59.170,35
	J	131.820	56.155,32	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	130.954,46	0,00	56.155,32	R$ 187.109,78
CENÁRIO 3.4	G	146.400	62.366,40	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.427,49	2.632,56	6.536,88	62.366,40	R$ 73.963,33
	H	139.944	59.616,14	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.281,69	2.579,91	3.897,95	59.616,14	R$ 67.375,69
	I	127.224	54.197,42	0,1372	0,3292	0,2774	-	2.236,42	3.594,13	6.801,53	54.197,42	R$ 66.829,50
	D	102.960	43.860,96	0,1372	0,1584	0,1964	-	4.778,54	3.243,47	3.303,55	43.860,96	**R$ 55.186,52**
	E	135.300	57.637,80	0,1372	0,3292	0,2774	-	1.579,87	1.487,02	2.155,89	57.637,80	R$ 62.860,58
	F	148.848	63.409,25	0,1372	0,4864	0,2774	-	1.309,08	1.772,59	1.132,34	63.409,25	R$ 67.623,25
	J	141.960	60.474,96	0,1964	0,1964	0,1964	-	0,00	141.027,88	0,00	60.474,96	R$ 201.502,84

Fonte: próprio autor

ANEXO V – CÁLCULO LUMINOTÉCNICO – DIALUX

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Cenário 1.1 - 4012 1X54W / Summary



Height of Room: 5.000 m, Mounting Height: 5.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	311	161	345	0.518
Floor	20	300	137	346	0.457
Ceiling	50	54	34	65	0.634
Walls (4)	30	156	58	226	/

Workplane:
Height: 0.750 m
Grid: 128 x 128 Points
Boundary Zone: 0.500 m
Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.495, Ceiling / Working Plane: 0.174.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	306	PROJECT: 4012.128.300_54 (0.980)	4450	61.0
		Total:	1361700	18666.0

Specific connected load: 7.47 W/m² = 2.40 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Cenário 1.1 - 4012 1X54W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1361700 lm
Total Load: 18666.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	281	30	311	/	/
Floor	269	31	300	20	19
Ceiling	0.00	54	54	50	8.62
Wall 1	113	40	153	30	15
Wall 2	121	39	159	30	15
Wall 3	113	39	151	30	14
Wall 4	121	40	161	30	15

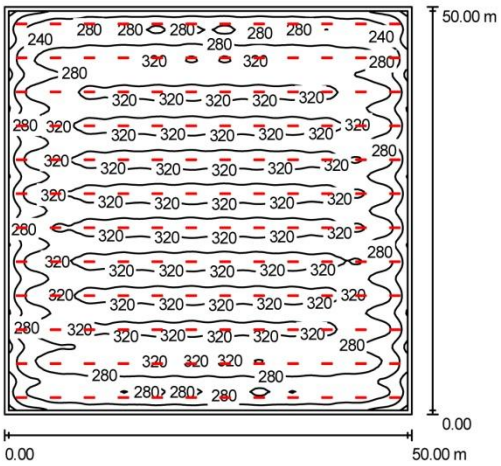
Uniformity on the working plane
u0: 0.518 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.466 (1:2)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.495, Ceiling / Working Plane: 0.174.

Specific connected load: 7.47 W/m² = 2.40 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Cenário 1.2 - 4012 2X54W / Summary



Height of Room: 5.000 m, Mounting Height: 5.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	294	146	344	0.495
Floor	20	284	121	331	0.426
Ceiling	50	51	33	60	0.636
Walls (4)	30	145	50	224	/

Workplane:

Height: 0.750 m
Grid: 128 x 128 Points
Boundary Zone: 0.500 m

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.484, Ceiling / Working Plane: 0.174.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	144	PROJECT: 4012.254.300 (0.980)	8900	119.0
		Total:	1281600	17136.0

Specific connected load: 6.85 W/m² = 2.33 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Cenário 1.2 - 4012 2X54W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1281600 lm
Total Load: 17136.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	266	28	294	/	/
Floor	255	29	284	20	18
Ceiling	0.00	51	51	50	8.15
Wall 1	103	38	142	30	14
Wall 2	112	37	149	30	14
Wall 3	103	37	140	30	13
Wall 4	112	37	149	30	14

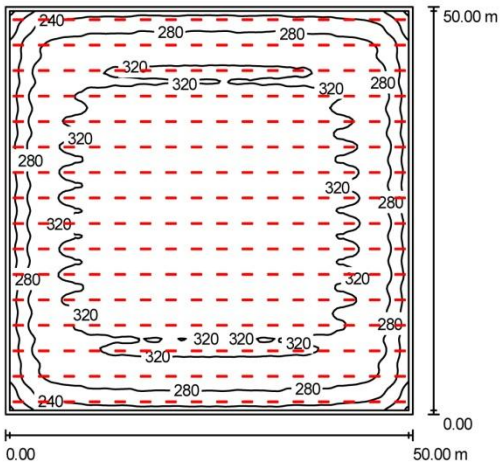
Uniformity on the working plane
u0: 0.495 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.424 (1:2)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.484, Ceiling / Working Plane: 0.174.

Specific connected load: 6.85 W/m² = 2.33 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Cenário 1.3 - 4012 2X28W / Summary



Height of Room: 5.000 m, Mounting Height: 5.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	305	154	342	0.507
Floor	20	294	133	337	0.452
Ceiling	50	55	33	64	0.603
Walls (4)	30	152	55	226	/

Workplane:
Height: 0.750 m
Grid: 128 x 128 Points
Boundary Zone: 0.500 m
Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.492, Ceiling / Working Plane: 0.180.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	256	PROJECT: 4012.228.300 (0.980)	5200	62.0
		Total:	1331200	15872.0

Specific connected load: 6.35 W/m² = 2.08 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Cenário 1.3 - 4012 2X28W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1331200 lm
Total Load: 15872.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	275	30	305	/	/
Floor	263	31	294	20	19
Ceiling	0.00	55	55	50	8.75
Wall 1	109	40	149	30	14
Wall 2	118	39	156	30	15
Wall 3	109	38	147	30	14
Wall 4	118	39	157	30	15

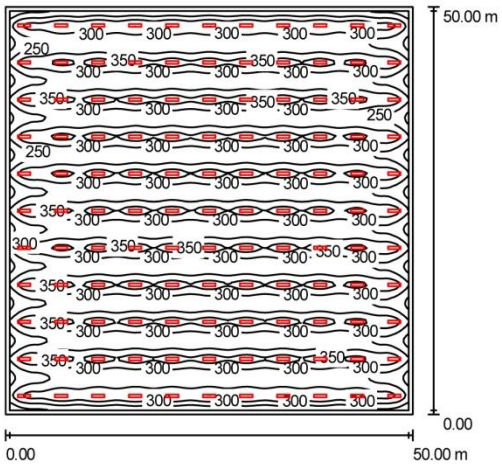
Uniformity on the working plane
u0: 0.507 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.451 (1:2)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.492, Ceiling / Working Plane: 0.180.

Specific connected load: 6.35 W/m² = 2.08 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Cenário 1.4 - 4031 2X58W / Summary



Height of Room: 5.000 m, Mounting Height: 5.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	297	154	391	0.520
Floor	20	288	123	357	0.426
Ceiling	50	54	41	70	0.752
Walls (4)	50	107	38	247	/

Workplane:

Height: 0.750 m
Grid: 128 x 128 Points
Boundary Zone: 0.500 m

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.347, Ceiling / Working Plane: 0.184.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	121	PROJECT: 4031 - 39506_NOVO TESTE (0.980)	10300	110.0
		Total:	1246300	13310.0

Specific connected load: 5.32 W/m² = 1.79 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Cenário 1.4 - 4031 2X58W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1246300 lm
Total Load: 13310.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	266	31	297	/	/
Floor	256	32	288	20	18
Ceiling	0.00	54	54	50	8.67
Wall 1	44	42	86	50	14
Wall 2	89	40	129	50	20
Wall 3	44	41	85	50	14
Wall 4	89	40	129	50	21

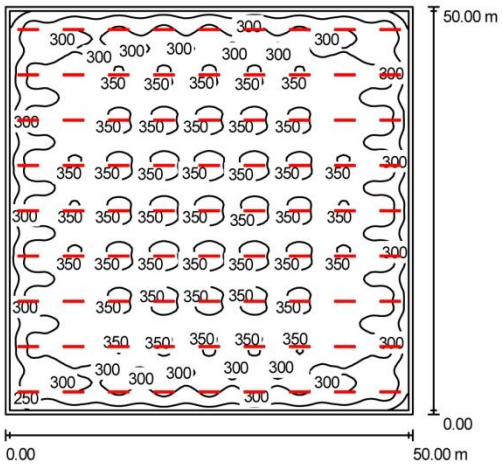
Uniformity on the working plane
u0: 0.520 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.395 (1:3)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.347, Ceiling / Working Plane: 0.184.

Specific connected load: 5.32 W/m² = 1.79 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Cenário 1.5 - 4650 2X110W / Summary



Height of Room: 5.000 m, Mounting Height: 5.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	315	154	373	0.489
Floor	20	303	132	358	0.435
Ceiling	50	57	40	65	0.700
Walls (4)	30	167	64	238	/

Workplane:
Height: 0.750 m
Grid: 128 x 128 Points
Boundary Zone: 0.500 m
Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.519, Ceiling / Working Plane: 0.180.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	81	PROJECT: 4650.21A.300 (0.980)	18700	205.0
		Total:	1514700	16605.0

Specific connected load: 6.64 W/m² = 2.11 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Cenário 1.5 - 4650 2X110W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1514700 lm
Total Load: 16605.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	284	31	315	/	/
Floor	271	32	303	20	19
Ceiling	0.00	57	57	50	9.01
Wall 1	124	42	166	30	16
Wall 2	129	41	169	30	16
Wall 3	124	41	164	30	16
Wall 4	129	41	170	30	16

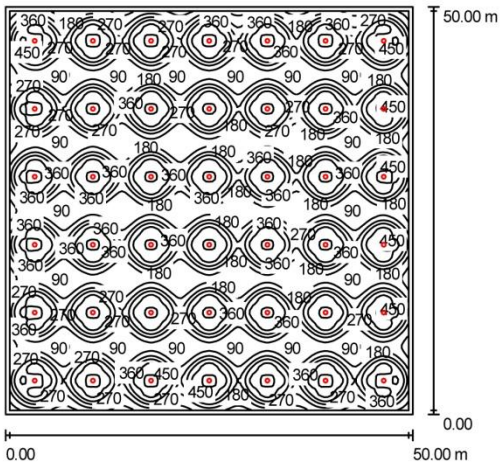
Uniformity on the working plane
u0: 0.489 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.413 (1:2)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.519, Ceiling / Working Plane: 0.180.

Specific connected load: 6.64 W/m² = 2.11 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Cenário 1.6 - 4811 1X400W / Summary



Height of Room: 5.000 m, Mounting Height: 5.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	287	66	494	0.229
Floor	20	275	63	385	0.228
Ceiling	50	47	29	55	0.619
Walls (4)	30	58	27	168	/

Workplane:
Height: 0.750 m
Grid: 128 x 128 Points
Boundary Zone: 0.500 m
Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.168, Ceiling / Working Plane: 0.164.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	42	JI 4811 (0.950)	34000	443.0
		Total:	1428000	18606.0

Specific connected load: 7.44 W/m² = 2.59 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Cenário 1.6 - 4811 1X400W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1428000 lm
Total Load: 18606.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	264	23	287	/	/
Floor	252	23	275	20	18
Ceiling	0.00	47	47	50	7.49
Wall 1	20	35	55	30	5.24
Wall 2	27	34	61	30	5.79
Wall 3	20	35	54	30	5.20
Wall 4	27	34	61	30	5.79

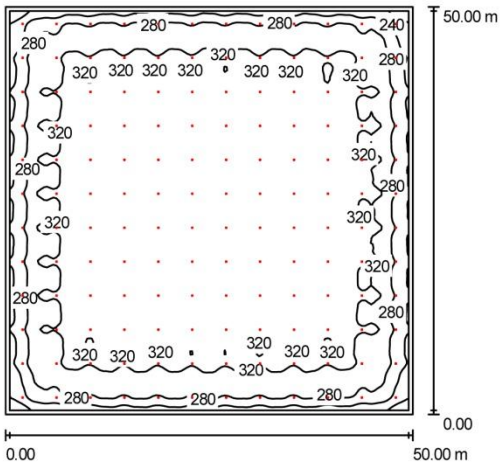
Uniformity on the working plane
u0: 0.229 (1:4)
E_{min} / E_{max}: 0.133 (1:8)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.168, Ceiling / Working Plane: 0.164.

Specific connected load: 7.44 W/m² = 2.59 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Cenario 1.7 - LED IE 130WR120 / Summary



Height of Room: 5.000 m, Mounting Height: 5.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	314	162	360	0.517
Floor	20	304	135	358	0.444
Ceiling	50	60	32	363	0.541
Walls (4)	30	129	39	189	/

Workplane:
Height: 0.750 m
Grid: 128 x 128 Points
Boundary Zone: 0.500 m
Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.402, Ceiling / Working Plane: 0.190.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	144	UNICOBA UNICOBA UE130-R125K37-FRA2 LED 040385/2009-1 (1.000)	8068	116.2
		Total:	1161749	16729.9

Specific connected load: 6.69 W/m² = 2.13 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Cenario 1.7 - LED IE 130WR120 / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1161749 lm
Total Load: 16729.9 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	283	32	314	/	/
Floor	272	32	304	20	19
Ceiling	2.79	57	60	50	9.48
Wall 1	96	40	135	30	13
Wall 2	84	39	124	30	12
Wall 3	97	40	136	30	13
Wall 4	82	39	122	30	12

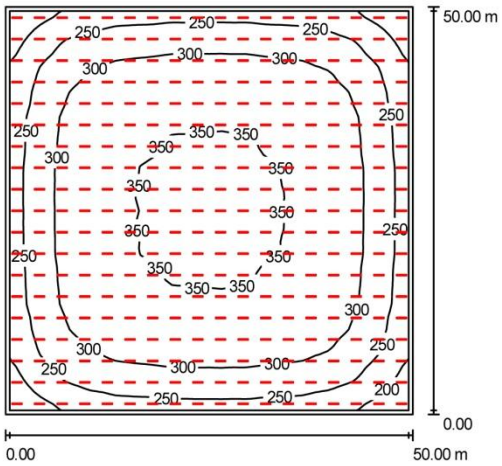
Uniformity on the working plane
u0: 0.517 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.451 (1:2)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.402, Ceiling / Working Plane: 0.190.

Specific connected load: 6.69 W/m² = 2.13 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 2.1 - 4012 1X54W / Summary



Height of Room: 10.000 m, Mounting Height: 10.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	299	155	358	0.517
Floor	20	289	144	354	0.499
Ceiling	50	52	40	62	0.776
Walls (4)	30	161	64	261	/

Workplane:

Height: 0.750 m
Grid: 64 x 64 Points
Boundary Zone: 0.500 m

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.546, Ceiling / Working Plane: 0.174.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	342	PROJECT: 4012.154.300 (0.980)	4450	61.0
		Total:	1521900	20862.0

Specific connected load: 8.34 W/m² = 2.79 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 2.1 - 4012 1X54W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1521900 lm
Total Load: 20862.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	267	32	299	/	/
Floor	256	33	289	20	18
Ceiling	0.00	52	52	50	8.27
Wall 1	118	40	158	30	15
Wall 2	125	40	164	30	16
Wall 3	118	40	158	30	15
Wall 4	125	40	165	30	16

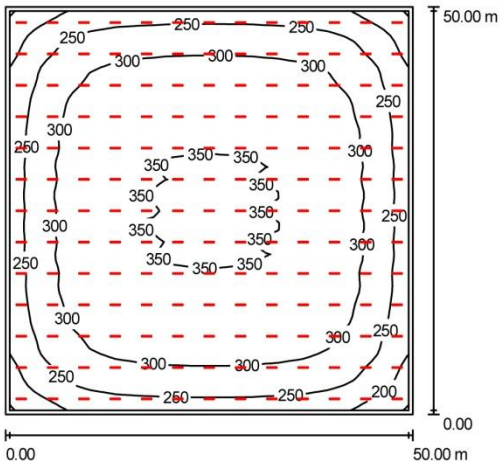
Uniformity on the working plane
u0: 0.517 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.432 (1:2)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.546, Ceiling / Working Plane: 0.174.

Specific connected load: 8.34 W/m² = 2.79 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 2.2 - 4012 2X54W / Summary



Height of Room: 10.000 m, Mounting Height: 10.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	297	149	357	0.501
Floor	20	287	140	352	0.487
Ceiling	50	53	40	61	0.766
Walls (4)	30	160	56	262	/

Workplane:

Height: 0.750 m
Grid: 64 x 64 Points
Boundary Zone: 0.500 m

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.545, Ceiling / Working Plane: 0.178.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	169	PROJECT: 4012.254.300 (0.980)	8900	119.0
		Total:	1504100	20111.0

Specific connected load: 8.04 W/m² = 2.71 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 2.2 - 4012 2X54W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1504100 lm
Total Load: 20111.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	264	33	297	/	/
Floor	254	33	287	20	18
Ceiling	0.00	53	53	50	8.40
Wall 1	116	41	157	30	15
Wall 2	123	40	163	30	16
Wall 3	116	40	156	30	15
Wall 4	123	40	164	30	16

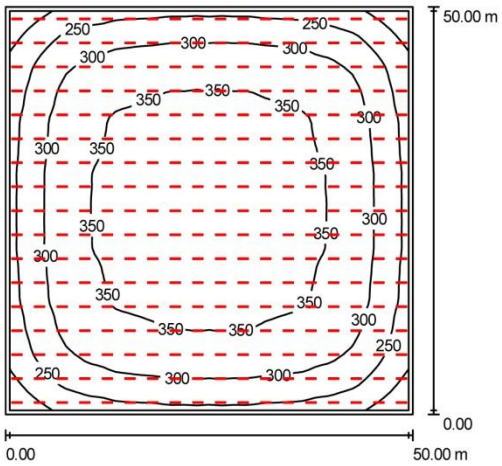
Uniformity on the working plane
u0: 0.501 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.417 (1:2)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.545, Ceiling / Working Plane: 0.178.

Specific connected load: 8.04 W/m² = 2.71 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 2.3 - 4012 2X28W / Summary



Height of Room: 10.000 m, Mounting Height: 10.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	313	160	374	0.513
Floor	20	303	150	371	0.495
Ceiling	50	55	42	63	0.773
Walls (4)	30	169	67	289	/

Workplane:

Height: 0.750 m
Grid: 64 x 64 Points
Boundary Zone: 0.500 m

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.546, Ceiling / Working Plane: 0.175.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	306	PROJECT: 4012.228.300 (0.980)	5200	62.0
		Total:	1591200	18972.0

Specific connected load: 7.59 W/m² = 2.42 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 2.3 - 4012 2X28W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1591200 lm
Total Load: 18972.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	279	34	313	/	/
Floor	268	35	303	20	19
Ceiling	0.00	55	55	50	8.72
Wall 1	123	42	166	30	16
Wall 2	130	42	172	30	16
Wall 3	123	41	165	30	16
Wall 4	131	42	173	30	17

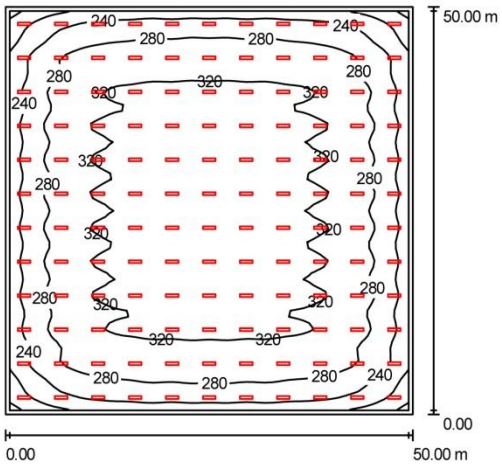
Uniformity on the working plane
u0: 0.513 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.429 (1:2)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.546, Ceiling / Working Plane: 0.175.

Specific connected load: 7.59 W/m² = 2.42 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 2.4 - 4031 2X58W / Summary



Height of Room: 10.000 m, Mounting Height: 10.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	292	149	341	0.511
Floor	20	285	138	340	0.486
Ceiling	50	53	39	73	0.733
Walls (4)	50	119	45	254	/

Workplane:		**UGR**	Lengthways-	Across	to luminaire axis
Height:	0.750 m	Left Wall	22	<10	
Grid:	64 x 64 Points	Lower Wall	22	<10	
Boundary Zone:	0.500 m	(CIE, SHR = 1.00.)			

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.408, Ceiling / Working Plane: 0.180.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	132	PROJECT: 4031 - 39506_NOVO TESTE (0.980)	10300	110.0
		Total:	1359600	14520.0

Specific connected load: 5.81 W/m² = 1.99 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 2.4 - 4031 2X58W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1359600 lm
Total Load: 14520.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	257	36	292	/	/
Floor	248	37	285	20	18
Ceiling	0.00	53	53	50	8.37
Wall 1	55	44	99	50	16
Wall 2	97	42	139	50	22
Wall 3	55	44	99	50	16
Wall 4	97	42	139	50	22

Uniformity on the working plane
u0: 0.511 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.438 (1:2)

UGR	Lengthways-	Across	to luminaire axis
Left Wall	22	<10	
Lower Wall	22	<10	

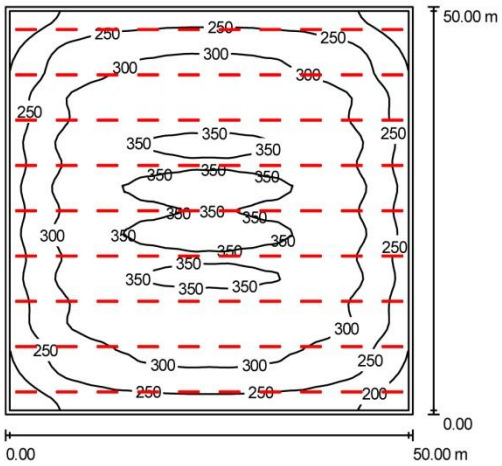
(CIE, SHR = 1.00.)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.408, Ceiling / Working Plane: 0.180.

Specific connected load: 5.81 W/m² = 1.99 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 2.5 - 4650 2X110W / Summary



Height of Room: 10.000 m, Mounting Height: 10.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	295	155	363	0.524
Floor	20	285	146	358	0.511
Ceiling	50	53	41	63	0.766
Walls (4)	30	174	69	287	/

Workplane:		**UGR**	Lengthways-	Across	to luminaire axis
Height:	0.750 m	Left Wall	27	26	
Grid:	64 x 64 Points	Lower Wall	27	26	
Boundary Zone:	0.500 m	(CIE, SHR = 1.00.)			

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.595, Ceiling / Working Plane: 0.179.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	90	PROJECT: 4650.21A.300 (0.980)	18700	205.0
		Total:	1683000	18450.0

Specific connected load: 7.38 W/m² = 2.50 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 2.5 - 4650 2X110W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1683000 lm
Total Load: 18450.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	262	34	295	/	/
Floor	251	35	285	20	18
Ceiling	0.00	53	53	50	8.43
Wall 1	131	41	173	30	16
Wall 2	135	41	176	30	17
Wall 3	131	41	172	30	16
Wall 4	135	41	176	30	17

Uniformity on the working plane
u0: 0.524 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.426 (1:2)

UGR	Lengthways-	Across	to luminaire axis
Left Wall	27	26	
Lower Wall	27	26	

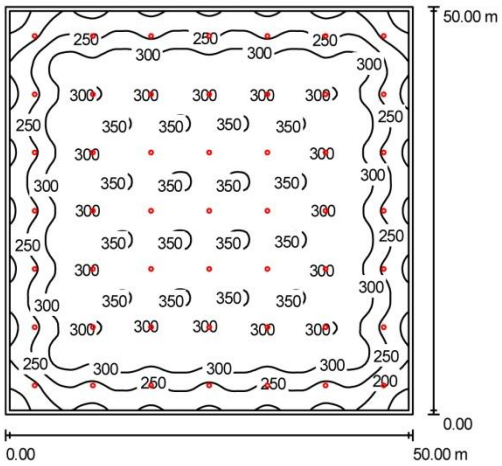
(CIE, SHR = 1.00.)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.595, Ceiling / Working Plane: 0.179.

Specific connected load: 7.38 W/m² = 2.50 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 2.6 - 4811 1X400W / Summary



Height of Room: 10.000 m, Mounting Height: 10.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	291	125	362	0.430
Floor	20	283	119	345	0.421
Ceiling	50	47	30	57	0.637
Walls (4)	30	94	28	175	/

Workplane:
Height: 0.750 m
Grid: 128 x 128 Points
Boundary Zone: 0.500 m

UGR Lengthways- Across to luminaire axis
Left Wall 16 15
Lower Wall 16 15
(CIE, SHR = 1.00.)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.318, Ceiling / Working Plane: 0.161.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	49	JI 4811 (0.950)	34000	443.0
		Total:	1666000	21707.0

Specific connected load: 8.68 W/m² = 2.98 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 2.6 - 4811 1X400W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1666000 lm
Total Load: 21707.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	266	25	291	/	/
Floor	257	26	283	20	18
Ceiling	0.00	47	47	50	7.46
Wall 1	60	35	94	30	9.02
Wall 2	59	35	93	30	8.89
Wall 3	60	34	94	30	8.95
Wall 4	59	35	93	30	8.91

Uniformity on the working plane
u0: 0.430 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.347 (1:3)

UGR	Lengthways-	Across	to luminaire axis
Left Wall	16	15	
Lower Wall	16	15	

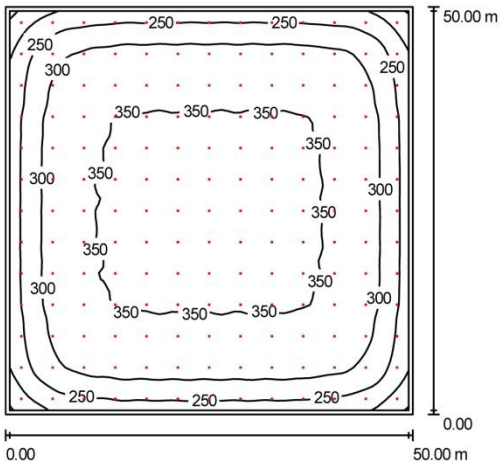
(CIE, SHR = 1.00.)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.318, Ceiling / Working Plane: 0.161.

Specific connected load: 8.68 W/m² = 2.98 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 2.7 - LED 130W - R90 / Summary



Height of Room: 10.000 m, Mounting Height: 10.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	313	143	361	0.457
Floor	20	304	125	361	0.411
Ceiling	50	54	35	522	0.657
Walls (4)	30	107	35	172	/

Workplane:

Height: 0.750 m
Grid: 64 x 64 Points
Boundary Zone: 0.500 m

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.339, Ceiling / Working Plane: 0.171.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	169	UNICOBA UE130-R905K37-FRA2 LED 040385/2009-2 (1.000)	7339	118.1
		Total:	1240207	19960.6

Specific connected load: 7.98 W/m² = 2.55 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 2.7 - LED 130W - R90 / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1240207 lm
Total Load: 19960.6 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	285	29	313	/	/
Floor	276	29	304	20	19
Ceiling	1.32	52	54	50	8.54
Wall 1	76	38	113	30	11
Wall 2	65	38	103	30	9.87
Wall 3	72	38	109	30	10
Wall 4	62	38	100	30	9.57

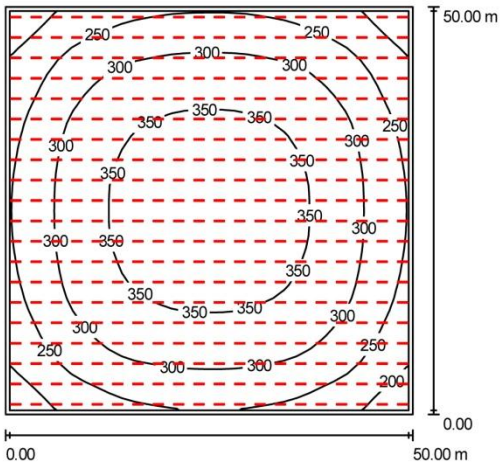
Uniformity on the working plane
u0: 0.457 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.396 (1:3)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.339, Ceiling / Working Plane: 0.171.

Specific connected load: 7.98 W/m² = 2.55 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 3.1 - 4050 1X54W / Summary



Height of Room: 15.000 m, Mounting Height: 15.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	301	171	376	0.566
Floor	20	292	161	371	0.553
Ceiling	50	49	33	65	0.680
Walls (4)	30	173	71	310	/

Workplane:

Height: 0.750 m
Grid: 32 x 32 Points
Boundary Zone: 0.500 m

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.573, Ceiling / Working Plane: 0.163.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	400	PROJECT: 4050.154.300 (0.980)	4450	61.0
		Total:	1780000	24400.0

Specific connected load: 9.76 W/m² = 3.24 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 3.1 - 4050 1X54W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1780000 lm
Total Load: 24400.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	266	35	301	/	/
Floor	256	36	292	20	19
Ceiling	0.00	49	49	50	7.80
Wall 1	128	43	171	30	16
Wall 2	134	42	176	30	17
Wall 3	128	42	170	30	16
Wall 4	135	42	177	30	17

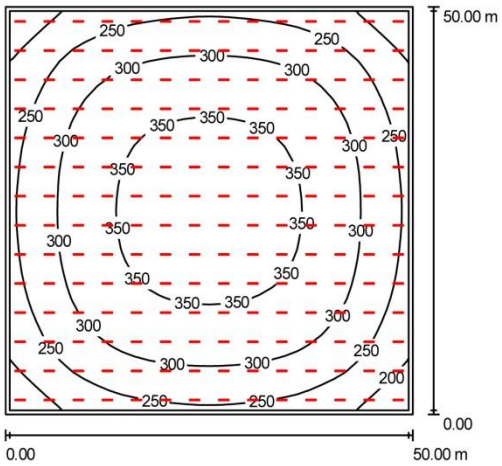
Uniformity on the working plane
u0: 0.566 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.453 (1:2)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.573, Ceiling / Working Plane: 0.163.

Specific connected load: 9.76 W/m² = 3.24 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 3.2 - 4050 2X54W / Summary



Height of Room: 15.000 m, Mounting Height: 15.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	297	164	372	0.553
Floor	20	287	154	366	0.535
Ceiling	50	52	44	68	0.842
Walls (4)	30	171	61	292	/

Workplane:

Height: 0.750 m
Grid: 32 x 32 Points
Boundary Zone: 0.500 m

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.575, Ceiling / Working Plane: 0.175.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	196	PROJECT: 4050.254.300 (0.980)	8900	119.0
		Total:	1744400	23324.0

Specific connected load: 9.33 W/m² = 3.14 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 3.2 - 4050 2X54W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1744400 lm
Total Load: 23324.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	261	36	297	/	/
Floor	251	36	287	20	18
Ceiling	0.00	52	52	50	8.30
Wall 1	126	43	168	30	16
Wall 2	132	42	174	30	17
Wall 3	126	42	168	30	16
Wall 4	132	43	175	30	17

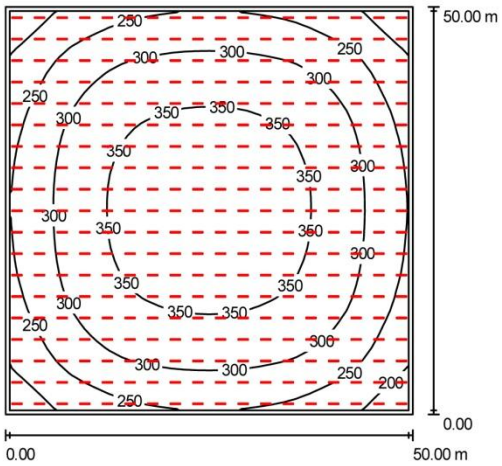
Uniformity on the working plane
u0: 0.553 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.443 (1:2)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.575, Ceiling / Working Plane: 0.175.

Specific connected load: 9.33 W/m² = 3.14 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 3.3 - 4050 2X28W / Summary



Height of Room: 15.000 m, Mounting Height: 15.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	302	171	378	0.564
Floor	20	293	160	371	0.548
Ceiling	50	53	45	68	0.848
Walls (4)	30	174	69	306	/

Workplane:

Height: 0.750 m
Grid: 32 x 32 Points
Boundary Zone: 0.500 m

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.574, Ceiling / Working Plane: 0.176.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	342	PROJECT: 4050.228.300 (0.980)	5200	62.0
		Total:	1778400	21204.0

Specific connected load: 8.48 W/m² = 2.80 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 3.3 - 4050 2X28W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1778400 lm
Total Load: 21204.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	266	37	302	/	/
Floor	255	37	293	20	19
Ceiling	0.00	53	53	50	8.45
Wall 1	128	43	171	30	16
Wall 2	134	43	177	30	17
Wall 3	128	43	171	30	16
Wall 4	135	43	178	30	17

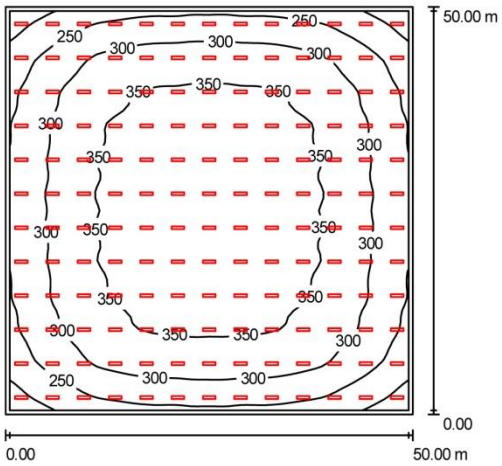
Uniformity on the working plane
u0: 0.564 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.452 (1:2)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.574, Ceiling / Working Plane: 0.176.

Specific connected load: 8.48 W/m² = 2.80 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 3.4 - 4031 2X58W / Summary



Height of Room: 15.000 m, Mounting Height: 15.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	314	167	381	0.531
Floor	20	306	163	378	0.533
Ceiling	50	57	46	82	0.794
Walls (4)	50	137	49	343	/

Workplane:		**UGR**	Lengthways-	Across	to luminaire axis
Height:	0.750 m	Left Wall	21	<10	
Grid:	64 x 64 Points	Lower Wall	21	<10	
Boundary Zone:	0.500 m	(CIE, SHR = 1.00.)			

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.434, Ceiling / Working Plane: 0.183.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	156	PROJECT: 4031 - 39506_NOVO TESTE (0.980)	10300	110.0
		Total:	1606800	17160.0

Specific connected load: 6.86 W/m² = 2.19 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 3.4 - 4031 2X58W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1606800 lm
Total Load: 17160.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	270	44	314	/	/
Floor	261	45	306	20	19
Ceiling	0.00	57	57	50	9.13
Wall 1	63	51	114	50	18
Wall 2	111	48	159	50	25
Wall 3	63	51	115	50	18
Wall 4	111	49	159	50	25

Uniformity on the working plane
u0: 0.531 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.438 (1:2)

UGR	Lengthways-	Across	to luminaire axis
Left Wall	21	<10	
Lower Wall	21	<10	

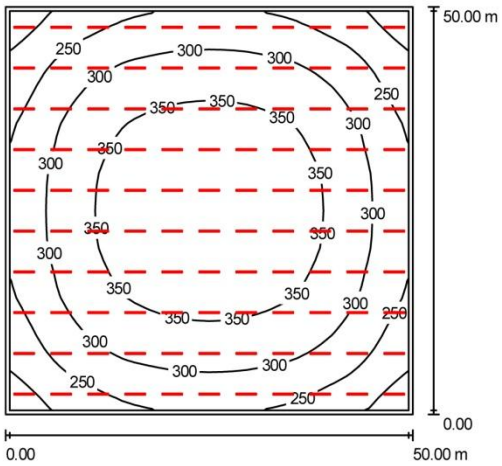
(CIE, SHR = 1.00.)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.434, Ceiling / Working Plane: 0.183.

Specific connected load: 6.86 W/m² = 2.19 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 3.5 - 4650 2X110W / Summary



Height of Room: 15.000 m, Mounting Height: 15.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	307	175	389	0.570
Floor	20	297	166	382	0.558
Ceiling	50	53	42	74	0.784
Walls (4)	30	195	84	355	/

Workplane:		**UGR**	Lengthways-	Across	to luminaire axis
Height:	0.750 m	Left Wall	26	26	
Grid:	32 x 32 Points	Lower Wall	26	26	
Boundary Zone:	0.500 m	(CIE, SHR = 1.00.)			

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.634, Ceiling / Working Plane: 0.173.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	110	PROJECT: 4650.21A.300 (0.980)	18700	205.0
		Total:	2057000	22550.0

Specific connected load: 9.02 W/m² = 2.93 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 3.5 - 4650 2X110W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 2057000 lm
Total Load: 22550.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	268	39	307	/	/
Floor	257	40	297	20	19
Ceiling	0.00	53	53	50	8.48
Wall 1	148	46	194	30	18
Wall 2	151	45	196	30	19
Wall 3	148	45	193	30	18
Wall 4	151	45	196	30	19

Uniformity on the working plane
u0: 0.570 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.451 (1:2)

UGR	Lengthways-	Across	to luminaire axis
Left Wall	26	26	
Lower Wall	26	26	

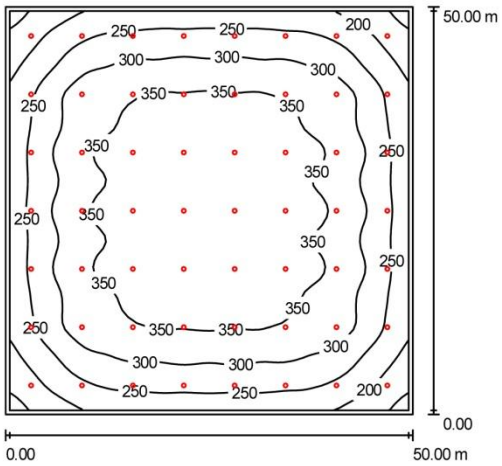
(CIE, SHR = 1.00.)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.634, Ceiling / Working Plane: 0.173.

Specific connected load: 9.02 W/m² = 2.93 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 3.6 - 4811 1X400W / Summary



Height of Room: 15.000 m, Mounting Height: 15.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	301	133	377	0.443
Floor	20	292	126	376	0.430
Ceiling	50	47	33	57	0.709
Walls (4)	30	105	33	205	/

Workplane:		**UGR**	Lengthways-	Across	to luminaire axis
Height:	0.750 m	Left Wall	16	16	
Grid:	64 x 64 Points	Lower Wall	16	16	
Boundary Zone:	0.500 m	(CIE, SHR = 1.00.)			

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.346, Ceiling / Working Plane: 0.155.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	56	JI 4811 (0.950)	34000	443.0
		Total:	1904000	24808.0

Specific connected load: 9.92 W/m² = 3.30 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 3.6 - 4811 1X400W / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1904000 lm
Total Load: 24808.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	274	27	301	/	/
Floor	265	27	292	20	19
Ceiling	0.00	47	47	50	7.41
Wall 1	69	36	105	30	10
Wall 2	69	36	105	30	10
Wall 3	69	36	105	30	10
Wall 4	69	36	105	30	10

Uniformity on the working plane
u0: 0.443 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.354 (1:3)

UGR	Lengthways-	Across	to luminaire axis
Left Wall	16	16	
Lower Wall	16	16	

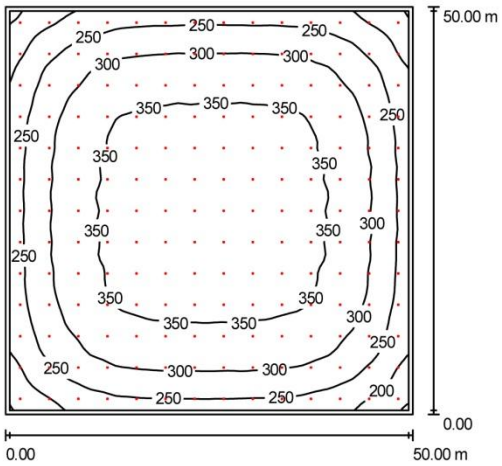
(CIE, SHR = 1.00.)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.346, Ceiling / Working Plane: 0.155.

Specific connected load: 9.92 W/m² = 3.30 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 3.7 - LED 130W - R90 / Summary



Height of Room: 15.000 m, Mounting Height: 15.000 m, Maintenance factor: 0.67

Values in Lux, Scale 1:642

Surface	ρ [%]	E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0
Workplane	/	306	142	378	0.464
Floor	20	297	131	374	0.441
Ceiling	50	50	35	558	0.697
Walls (4)	30	111	34	186	/

Workplane:

Height: 0.750 m
Grid: 64 x 64 Points
Boundary Zone: 0.500 m

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.360, Ceiling / Working Plane: 0.164.

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	182	UNICOBA UE130-R905K37-FRA2 LED 040385/2009-2 (1.000)	7339	118.1
		Total:	1335607	21496.0

Specific connected load: 8.60 W/m² = 2.81 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

CENÁRIO 3.7 - LED 130W - R90 / Photometric Results

Total Luminous Flux: 1335607 lm
Total Load: 21496.0 W
Maintenance factor: 0.67
Boundary Zone: 0.500 m

Surface	Average illuminances [lx]			Reflection factor [%]	Average luminance [cd/m²]
	direct	indirect	total		
Workplane	277	29	306	/	/
Floor	268	29	297	20	19
Ceiling	1.31	49	50	50	8.00
Wall 1	80	37	117	30	11
Wall 2	70	39	109	30	10
Wall 3	76	37	113	30	11
Wall 4	66	37	103	30	9.88

Uniformity on the working plane
u0: 0.464 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.376 (1:3)

Illuminance Quotient (according to LG7): Walls / Working Plane: 0.360, Ceiling / Working Plane: 0.164.

Specific connected load: 8.60 W/m² = 2.81 W/m²/100 lx (Ground area: 2500.00 m²)