

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS**

Giancarlo Valvassoura

**ANÁLISE COMPARATIVA, TÉCNICA E ECONÔMICA DE PROJETO
LUMINOTÉCNICO INDUSTRIAL**

Novo Hamburgo, RS, Brasil
2017

Giancarlo Valvassoura

**ANÁLISE COMPARATIVA, TÉCNICA E ECONÔMICA DE PROJETO
LUMINOTÉCNICO INDUSTRIAL**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos**.

Orientador: Dr. Natanael Rodrigues Gomes

Novo Hamburgo, RS, Brasil
2017

Giancarlo Valvassoura

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA – UFSM
CENTRO DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL – UAB
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos**.

Aprovada em 07/10/2017

Natanael Rodrigues Gomes, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Geomar Machado Martins, Dr. (UFSM)

Cesar A. Valverde Salvador, Dr. (UFSM)

Novo Hamburgo, RS, Brasil
2017

AGRADECIMENTOS

A elaboração desta monografia ocorreu, principalmente, pelo apoio, auxílio, compreensão e dedicação de várias pessoas. Agradeço a todos que contribuíram para a sua conclusão e, em especial, agradeço:

- Ao meu orientador Natanael Rodrigues Gomes, pela oportunidade concedida, pela confiança depositada em mim, pelo incentivo e suporte, grato pela orientação;

- Aos meus pais Geraldo Josué Valvassoura e Ivanirdes Antônia de Fátima Valvassoura por todo amor dedicado, pelo apoio incondicional e incentivo ininterrupto;

- A minha namorada Mayana Eliza Bracks Faria por sempre estar ao meu lado, minha eterna companheira, por ser a fonte de toda a minha força, minha inspiração e por não me deixar desistir jamais;

- Ao meu irmão Giovanni Valvassoura que sempre será o meu maior exemplo na vida, pelos conselhos e longas conversas, pelo apoio e, principalmente, pelo companheirismo;

- Ao amigo Bruno Eustáquio Lima Pereira, meu irmão por escolha, companheiro nas viagens para Novo Hamburgo, pelas discussões e os estudos à distância;

- Aos colegas de curso que sempre estiveram compartilhando informações e pelos grupos de estudos;

- Aos professores e funcionários do Curso de Pós-Graduação pelo empenho e dedicação na realização desse curso,

Enfim a todos que fazem parte da minha vida e que sempre contribuem, de uma forma ou de outra, para que eu seja um ser humano melhor.

RESUMO

ANÁLISE COMPARATIVA TÉCNICA E ECONÔMICA DE PROJETO LUMINOTÉCNICO INDUSTRIAL

AUTOR: Giancarlo Valvassoura

ORIENTADOR: Natanael Rodrigues Gomes

Esta monografia apresentou uma análise metodológica em projetos de iluminação industrial, focada na eficiência energética e com o objetivo de avaliar alternativas ao sistema de iluminação. A metodologia em questão propôs a realização de uma análise técnica do meio ambiente, combinando tecnicamente as duas alternativas propostas nos requisitos exigidos nas normas. Foi apresentada uma breve descrição dos principais conceitos de iluminação, bem como os tipos de lâmpadas que foram utilizadas na análise. Após a definição de sistemas de iluminação, o software Relux foi utilizado para validação de iluminação do mesmo. Depois disso, os outros cálculos foram realizados com a ajuda do software Excel. Com os resultados obtidos, podemos concluir que o sistema de iluminação com lâmpadas fluorescentes tem um custo muito menor do que o sistema de iluminação com luminárias LED. No entanto, a vida de serviço e a economia do sistema LED o definem como a melhor opção, mesmo com um alto custo inicial.

Palavras-chave: Iluminação. LED. Eficiência.

ABSTRACT

TECHNICAL AND ECONOMIC COMPARATIVE ANALYSIS OF INDUSTRIAL LUMINOTECHNICAL PROJECT

AUTOR: Giancarlo Valvassoura

ORIENTADOR: Natanael Rodrigues Gomes

This monograph presented a methodological analysis in industrial lighting projects, focused on energy efficiency and with the objective of evaluating alternatives to the lighting system. The methodology in question proposed to carry out a technical analysis of the environment, technically matching the two alternatives proposed in the requirements required in standards. A brief description of the main lighting concepts was presented, as well as the types of lamps that were used in the analysis. After the definition of lighting systems, the Relux software was used for lighting validation of the same. After that the other calculations were performed with the help of Excel software. With the results obtained we can conclude that the lighting system with fluorescent lamps has a much lower cost than the lighting system with LED luminaires. However, the service life and economy of the LED system defines it as the best option, even at high initial cost.

Keywords: Lighting. LED. Efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxo Luminoso Nominal	11
Figura 2 – Iluminância.....	11
Figura 3 – Luminância.....	12
Figura 4 - Planta do escritório	16
Figura 5 - Luminária Modelo CAA22-S232	18
Figura 6 - Luminária Modelo LAA02-S3500840.....	19
Figura 7 - Cores falsas - Cálculo luminotécnico do modelo CAA20-S	20
Figura 8 - Resultados - Cálculo luminotécnico do modelo CAA20-S	20
Figura 9 - Cores falsas - Cálculo luminotécnico do modelo LAA02-S3500840.....	21
Figura 10 - Resultados - Cálculo luminotécnico do modelo LAA02-S3500840.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do Cenário 1	18
Tabela 2 - Eficiência Luminosa	22
Tabela 3 - Custos das luminárias	23
Tabela 4 - Potência total de cada sistema	24
Tabela 5 - Potência total de cada sistema	24
Tabela 6 - Tarifas (R\$/kWh) de energia	24
Tabela 7 - Custo tarifário dos sistemas.....	25
Tabela 8 - Vida útil das luminárias.....	25
Tabela 9 - Custo final das opções	26
Tabela 10 - Economia com a substituição por LED	26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVOS.....	9
1.1.1	Objetivo geral.....	9
1.1.2	Objetivo específico.....	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	10
2.2	CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO.....	10
2.3	TIPOS DE LÂMPADAS.....	13
3	METODOLOGIA.....	15
3.1	METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DO CENÁRIO.....	15
3.1.1	Cenário proposto	16
3.1.2	Filosofia proposta	19
4	RESULTADOS.....	20
5	CONCLUSÃO.....	27
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1 INTRODUÇÃO

Os setores industriais, comerciais e até residenciais vêm buscando a cada dia uma nova forma de aplicarem o conceito de eficiência energética em suas rotinas. Seja por um eletrodoméstico com um selo de eficiência elevado ou por novas tecnologias de geração e consumo de energia. O consumo de energia elétrica consciente se tornou um dos temas chaves na sociedade contemporânea, seja pela escassez de recursos naturais ou pelo gerenciamento de custos. Desta forma, a utilização racional desse tipo de energia se faz necessário.

Impulsionada pela exigência dos consumidores em garantir um uso racional da energia ou visando uma redução nos custos de produção, a indústria é definitivamente o setor que mais investe em eficiência energética hoje em dia. O foco desses investimentos sempre esteve em geração de energia, uso de equipamentos mais eficientes, inversores e controladores, entre outros (SALOMÃO, 2010).

Apesar da iluminação não ser o foco de projetos de eficiência energética no setor industrial, ela é significativa no consumo final de energia elétrica e as indústrias estão começando a olhar para essa parcela de seu consumo com mais atenção.

Com um criterioso projeto luminotécnico, pode-se economizar no custo inicial da instalação, na sua manutenção e no consumo de energia elétrica, agrupando ao mesmo, novas tecnologias dos sistemas de iluminação.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Esta monografia tem como finalidade abordar o tema eficiência energética comparando a utilização de lâmpadas fluorescentes e LED (Light Emitting Diode).

1.1.2 Objetivo específico

Apresentar os dados comparativos entre as opções de iluminação definidas, considerando o lux atingido, a potência consumida, o custo de implantação de cada sistema, de manutenção e tempo de retorno.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Eficiência energética é definida, de forma básica, pela realização de uma tarefa, com o menor consumo de energia possível e mantendo o resultado final, ou também, manter o consumo dessa tarefa, porém melhorando o seu resultado final e também o seu rendimento. A fim de promover o tema, foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), em 1985 (SALOMÃO, 2010).

Quando se trata de eficiência energética voltada para o setor elétrico, é preciso salientar que a busca é por redução das perdas e desperdícios, sem afetar a qualidade dos serviços. Essa busca pode ocorrer sendo pela substituição dos equipamentos obsoletos por outros mais eficientes, ou pela mudança de hábito, fazendo um uso mais racional da energia.

A eficiência energética voltada para a iluminação é a capacidade de gerar a luz necessária para o desenvolvimento da tarefa, sem prejudicar o usuário, com o menor gasto de energia possível.

2.2 CONCEITOS DE ILUMINAÇÃO

Para a elaboração de qualquer projeto luminotécnico é necessário conhecer alguns termos, bem como suas definições. Embora alguns conceitos sejam mais utilizados que outros, principalmente se tratando de eficiência energética, todos apresentam igual importância para a realização de um projeto de iluminação adequado e eficiente (Freitas, 2013).

O setor industrial é dividido em vários setores, e por isso possui projetos com características distintas. Para cada segmento há diferentes necessidades, e cabe ao projetista definir a melhor instalação para cada caso.

O primeiro conceito a ser abordado é o fluxo luminoso, de unidade de medida lúmen (lm), que segundo Costa (2006), é a quantidade total de luz emitida pela lâmpada em sua tensão nominal, ou seja, a energia emitida por segundo, em todas as direções, em forma de luz, conforme Figura 1. O fluxo luminoso é um conceito muito importante para o projeto luminotécnico, uma vez que em uma comparação entre lâmpadas com características semelhantes, em geral, é o fluxo luminoso o fator que determina a escolha da lâmpada.

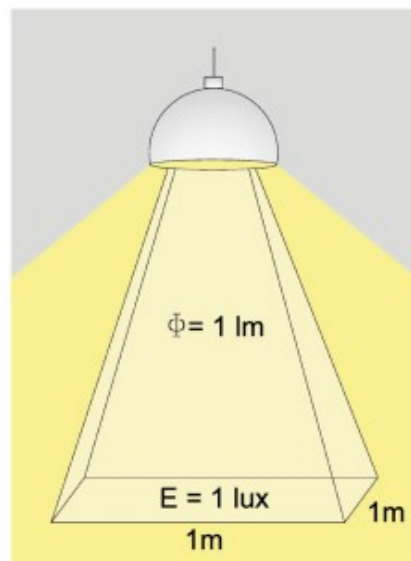
Figura 1 – Fluxo Luminoso Nominal



Fonte: Salomão, Thais (2010)

O segundo conceito é a iluminância ou nível de iluminação, de unidade de medida em lux (lx), e é a razão entre o fluxo luminoso e a área a ser iluminada (Figura 2). Na prática, é a quantidade de luz dentro de um ambiente, e pode ser medida com o auxílio de um luxímetro. Como o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, a iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão, por isso, considera-se a iluminância média (E_m). A Norma NBR 8995-1 – Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interiores, é responsável por definir valores mínimos de iluminância média conforme as necessidades dos usuários e o nível de acuidade da tarefa. Este conceito não pode ser confundido com luminância, que será abordado logo abaixo (OSRAM, Manual Luminotécnico Prático)

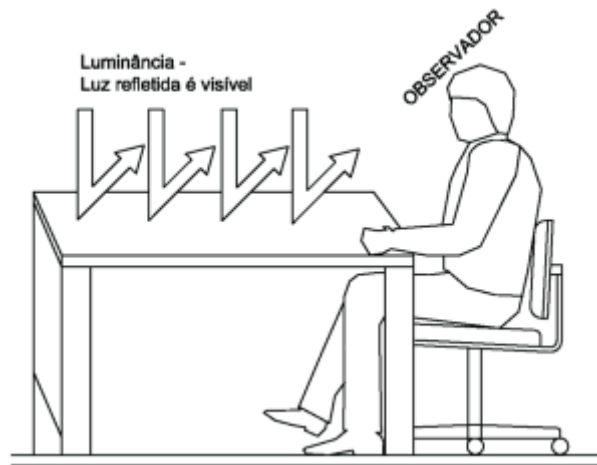
Figura 2 – Iluminância



Fonte: Procel, Manual de Iluminação (2011)

A maioria dos conceitos citados aqui não são visíveis, a menos que os raios de luz sejam refletidos em uma superfície, transmitindo uma sensação de claridade, chamada também de Luminância. Segundo Costa (2006) a luminância é a intensidade luminosa refletida por uma superfície e que atinge o observador, conforme Figura 3. Sua unidade é a candela (cd/m^2).

Figura 3 – Luminância



Fonte: Procel, Manual de Iluminação (2011)

Outros dois conceitos que são confundidos são o índice de reprodução de cor e a temperatura de cor. 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). O IRC é estabelecido em função da luz natural. Podemos citar o sol, que juntamente com as lâmpadas incandescentes, apresentam o melhor índice de reprodução de cor, ou seja, IRC 100. Portanto, quanto maior o IRC, melhor a reprodução das cores do objeto. Valores de IRC maiores que 75 já são considerados excelentes, contudo, nem toda atividade necessita de diferenciação de cores.

Já a temperatura de cor correlata é a grandeza que expressa a aparência da cor da luz, representada pela unidade de medida kelvin [K]. Quanto mais alta a temperatura de cor, mais branca será a cor da luz emitida, podendo ser branca azulada quando possui uma elevada temperatura ou amareladas quando apresentam baixa temperatura. É importante destacar que a cor da luz em nada interfere na eficiência energética da lâmpada, não sendo válida a impressão de que quanto mais clara, mais potente é a lâmpada (ITAIM, 2017).

Nesta monografia algumas características das lâmpadas serão importantes, como por exemplo a eficiência luminosa, que consiste na divisão entre o fluxo luminoso nominal da lâmpada e a potência consumida por elas, conforme Costa (2006).

A depreciação do fluxo luminoso da lâmpada e do acúmulo de poeira resulta em uma queda no nível de iluminância da instalação. Para corrigir tal fato, aplica-se de depreciação no cálculo das luminárias. Todo sistema de iluminação tem uma depreciação do nível de iluminação. A depreciação do fluxo luminoso nominal é a própria depreciação do fluxo da lâmpada durante sua vida útil. O fator de manutenção, no entanto, é a razão entre a iluminância média, após determinado período de uso, e a iluminância média obtida na instalação ainda nova (TEIXEIRA; et al., 2016).

O fator de reflexão está diretamente relacionado às cores e acabamentos da superfície e é a razão entre o fluxo luminoso nominal refletido e o fluxo luminoso nominal incidente.

Um dos conceitos que mais influência nas análises de eficiência energética dos sistemas é a vida útil dos equipamentos. Aplicando sua definição para a iluminação, a vida útil de uma lâmpada é o número de horas em que há perda de aproximadamente 30% do fluxo luminoso nominal inicial. Ainda nesse conceito, define-se com vida mediana o número de horas resultantes, em que 50% das lâmpadas ensaiadas ainda permanecem acessas.

2.3 TIPOS DE LÂMPADAS

As lâmpadas são geralmente classificadas de acordo com o fenômeno que causa o fluxo luminoso, sendo elas as de descarga de baixa pressão (fluorescente), descarga de alta pressão (mercúrio, vapor de sódio, vapor metálico) e LED (Light Emitting Diode). Nas lâmpadas de descarga a produção de luz acontece quando uma corrente elétrica percorre um gás ou mistura de gases.

A lâmpada fluorescente é bastante utilizada em áreas administrativas e avanços na tecnologia desse sistema têm aumentado sua eficiência luminosa. Possui um valor médio de vida útil de 24.000 horas, variando conforme o fabricante e o modelo da lâmpada, índice de reprodução de cores acima de 80, pode ser utilizada com altura de fixação de até 5 metros e apresenta um baixo custo (OSRAM, 2010).

As lâmpadas de descarga de alta pressão são divididas em três tipos e normalmente são utilizadas em áreas externas ou internas com um pé direito elevado. A lâmpada de vapor de mercúrio possui vida útil de 24.000 horas, requer o uso de reator, reproduz uma branca e seu índice de reprodução de cor é em torno de 40. Essas lâmpadas são facilmente substituídas pelas

de vapor de sódio ou vapor metálico, pois essas apresentam melhores vantagens energéticas (MAMEDE, 2010).

A lâmpada de sódio de alta pressão tem vida útil por entre 18.000 a 24.000 horas, apresentam um baixo custo, requer o uso de reator para seu funcionamento, porém os índices de reprodução de cores baixos e luz de cor amarela, restringem o seu uso para áreas externas e somente áreas internas que não necessitam de diferenciação de cores.

A lâmpada de vapor metálico possui um custo elevado em comparação com as demais e uma vida útil menor, também requer o uso de reator, mas proporciona luz branca e altos índices de reprodução de cores. Sua boa eficácia luminosa justifica o seu uso.

Os LED (Light Emitting Diode) são dispositivos semicondutores que emitem luz por eletroluminescência (passagem de corrente elétrica). Essa característica os difere das fontes de luz tradicionais. As lâmpadas LED possuem uma vida útil muito maior, em torno de 50.000 horas, reduzindo as operações de 5 de 12 substituição, diminuindo significativamente os custos de manutenção. Com alto rendimento e grande durabilidade, torna-se ótima substituta para as lâmpadas incandescentes, e as lâmpadas de descarga (TEIXEIRA; et al., 2016).

As lâmpadas LED apresentam diversas vantagens em relação as demais, como por exemplo a sua independência de componentes externos para seu funcionamento, como ignitor, reator, entre outros (Freitas, 2013), mas necessita de um circuito externo chamado driver, que controla a intensidade da corrente através do dispositivo e permite através de comandos externos um ajuste dinâmico sobre o espectro de luz, intensidade e direção.

Outra vantagem é transformar em luz a maior parte da energia, reduzindo a emissão de calor em relação as outras lâmpadas. Contudo a sua principal vantagem está na sua eficiência energética, produzindo mais luz (lumens) por watts consumido, levando à economia de energia, cerca de 50% a 80% (TEIXEIRA; et al., 2016).

A mesma também apresenta algumas desvantagens, como por exemplo o seu alto custo de investimento. Temperaturas elevadas podem levar a sua falha e redução da vida útil.

3 METODOLOGIA

Há hoje uma enorme variedade de indústrias implantadas e cada uma exigirá um projeto distinto, podendo variar até mesmo internamente, contemplando áreas completamente diferentes, como por exemplo, galpões e escritórios, que possuirão características diferentes de elaboração de projeto. Mesmo até em indústrias com o mesmo segmento de produção pode haver diferenças entre projetos, uma vez que cada uma possui padrões diversificados.

Outra característica importante é a finalidade do ambiente, que além de alterar o tipo de luminária e lâmpada a serem utilizadas, também irá alterar a forma de instalação das mesmas, respeitando a operação do ambiente em questão, bem como a finalidade do trabalho.

Neste capítulo será detalhada a metodologia de cálculo e os parâmetros considerados para os mesmos. Será apresentado também a metodologia de elaboração do modelo utilizado nos cálculos e suas configurações. O cálculo analisará um mesmo cenário com duas filosofias diferentes, que será apresentado com mais detalhes na seção abaixo.

3.1 METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DO CENÁRIO

O cenário terá o seu nível de iluminância conforme a NBR 8995 – Iluminação de Ambientes de Trabalho – Parte 1: Interior, de acordo com sua atividade. Para uma melhor eficiência energética é de extrema importância levar em consideração a iluminação natural, porém a mesma será desconsiderada, pois o foco do trabalho é a iluminação artificial. Os cálculos irão considerar a pior situação do dia.

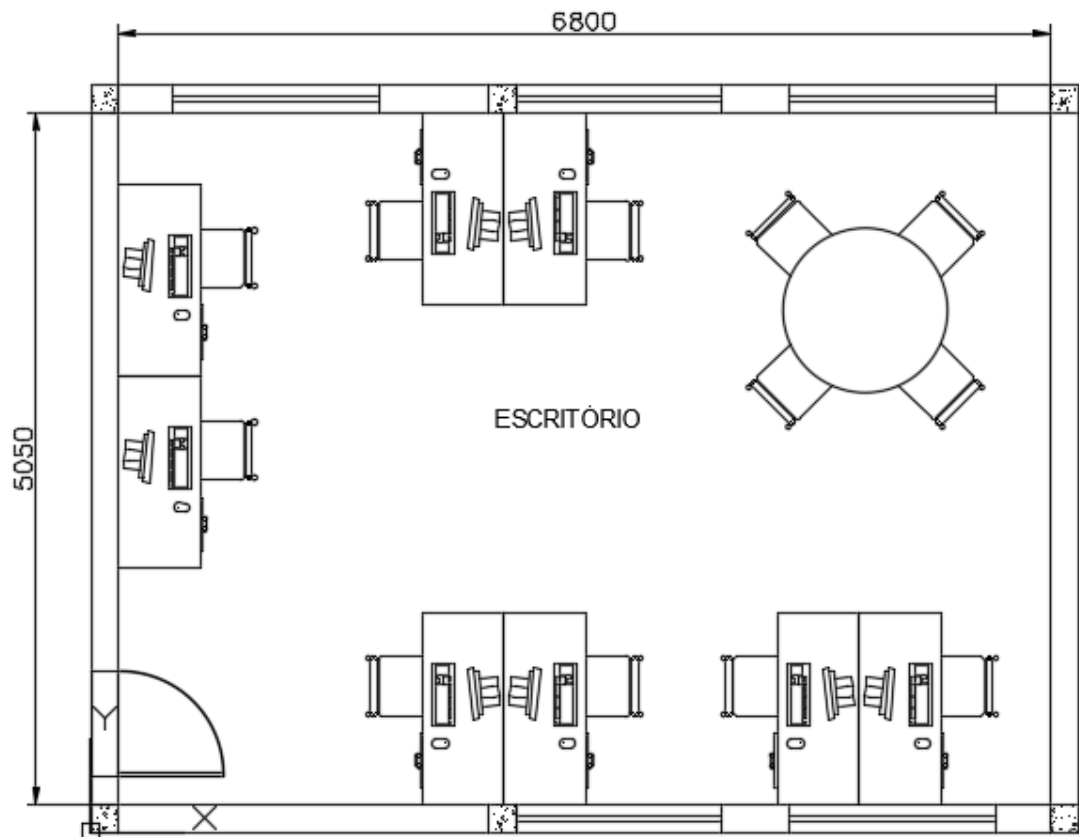
Os cálculos deverão contemplar os seguintes parâmetros:

- Atendimento aos requisitos técnicos definidos por norma;
- Potência instalada do sistema e seu consumo anual;
- O custo do consumo anual de cada sistema;
- Custo de instalação inicial, desconsiderando os custos de infraestrutura, quadro de distribuição e mão de obra.
- Vida útil dos equipamentos e custos de manutenção ou troca;

3.1.1 Cenário proposto

O cenário proposto é um escritório de uma planta industrial. A escolha desse ambiente deve-se a sua ampla aplicação, pois o modelo de iluminação que será adotado para a análise é facilmente encontrado em outros segmentos. O escritório terá as seguintes dimensões, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Planta do escritório



Fonte: Próprio autor

Conforme o Item 22 (Escritórios) da tabela Planejamento dos Ambientes (Áreas), Tarefas e Atividades com a Especificação da Iluminância, Limitação de Ofuscamento e Qualidade da Cor, da NBR 8995, a atividade “Escrever, ler, teclar, processar dados”, exige 500 lux médios para esse ambiente, conforme figura abaixo:

Figura 5 - Planta do escritório

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	\bar{E}_m lux	UGR_L	R_a	Observações
Poços de vapor	150	28	40	
Sistema de serras	300	25	60	Prevenir contra os efeitos estroboscópicos.
Trabalho de marceneiro em bancos de carpintaria, colagem, montagem	300	25	80	
Polimento, pintura, marcenaria de acabamento	750	22	80	
Trabalho em máquinas de marcenaria, por exemplo: tornear, acanelar, desempenar, rebaixar, chanfrar, cortar, serrar afundar	500	19	80	Prevenir contra os efeitos estroboscópicos.
Seleção de madeira folheada, marchetaria, trabalhos de embutir	750	22	90	Tcp no mínimo 4 000 K.
Controle de qualidade	1 000	19	90	Tcp no mínimo 4 000 K.
22. Escritórios				
Arquivamento, cópia, circulação etc.	300	19	80	
Escrever, teclar, ler, processar dados	500	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.
Desenho técnico	750	16	80	
Estações de projeto assistido por computador	500	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.
Salas de reunião e conferência	500	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.

Fonte: ABNT NBR 8995-1

Os cálculos luminotécnicos devem sempre levar em consideração a incidência da luz natural sobre o ambiente e sua parcela de contribuição para a luminosidade do mesmo. Como o objetivo do trabalho em questão é a análise comparativa entre os dois sistemas de iluminação artificial, foi desconsiderada a iluminação natural. Normalmente em tais ambientes são instalados forros, mas serão também desconsiderados, uma vez que a especificação dos mesmos não cabe a esse estudo.

As demais características do cenário podem ser conferidas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características do Cenário 1

Características do cenário	
Dimensão (C x L x h)	6,8m x 5,05m x 4m
Atividade	Escritório
Iluminância	500 lux
Refletância do teto	70%
Refletância das paredes	50%
Refletância do piso	20%
Plano de trabalho	0,75
Manutenção do sistema	0,8
Iluminação natural	Não
Tensão de Alimentação	220V

Fonte: Próprio autor

Foram escolhidas duas luminárias do mesmo fabricante, LUMICENTER, para a análise. A primeira é a luminária fluorescente modelo CAA22-S232 para duas lâmpadas de 32W-T8, indicada para uso em ambientes onde há necessidade de controle de ofuscamento rigoroso, como agências bancárias, escritórios e salas de estudo. Instalada sobreposta em forros de alvenaria, gesso, madeira ou PVC. Corpo em chapa de aço pintada na cor branca micro texturizada com aletas parabólicas em alumínio alto brilho. Côncava na parte superior e inferior e selada na parte superior. Refletor facetado assimétrico em alumínio alto brilho, dados conforme “Anexo A”.

Figura 5 - Luminária Modelo CAA22-S232

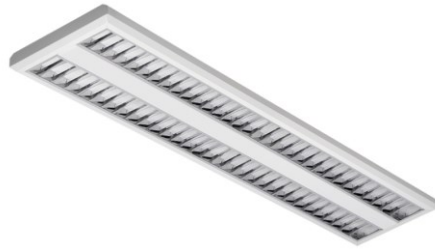


Fonte: Site Lumicenter

O outro modelo foi a luminária LED LAA02-S3500840, de 37W, indicada para uso em ambientes onde há necessidade de qualidade de luz e conforto visual, com controle de ofuscamento rigoroso, como agências bancárias, escritórios, auditórios e salas de estudo.

Instalada sobreposta em forros de alvenaria, gesso ou madeira. Corpo em chapa de aço, acabamento de tinta pó poliéster de alta resistência na cor branca micro texturizada, com aletas parabólicas e refletores em alumínio alto brilho e difusor translúcido. LEDs SMD de alto desempenho aplicados sobre placa de circuito impresso. Driver multitenção não dimerizável com alto fator de potência e baixo THD, dados conforme “Anexo B”.

Figura 6 - Luminária Modelo LAA02-S3500840



Fonte: Site Lumicenter

3.1.2 Abordagem proposta

Os cálculos apresentados no próximo capítulo levarão em consideração duas premissas bastante usuais no mercado atual. A primeira é de uma nova instalação com um novo sistema de iluminação, ou seja, deverá ser levado em conta o custo inicial dos dois sistemas. A segunda irá considerar um ambiente onde já exista um sistema de iluminação existente e será avaliado a troca pelo sistema LED.

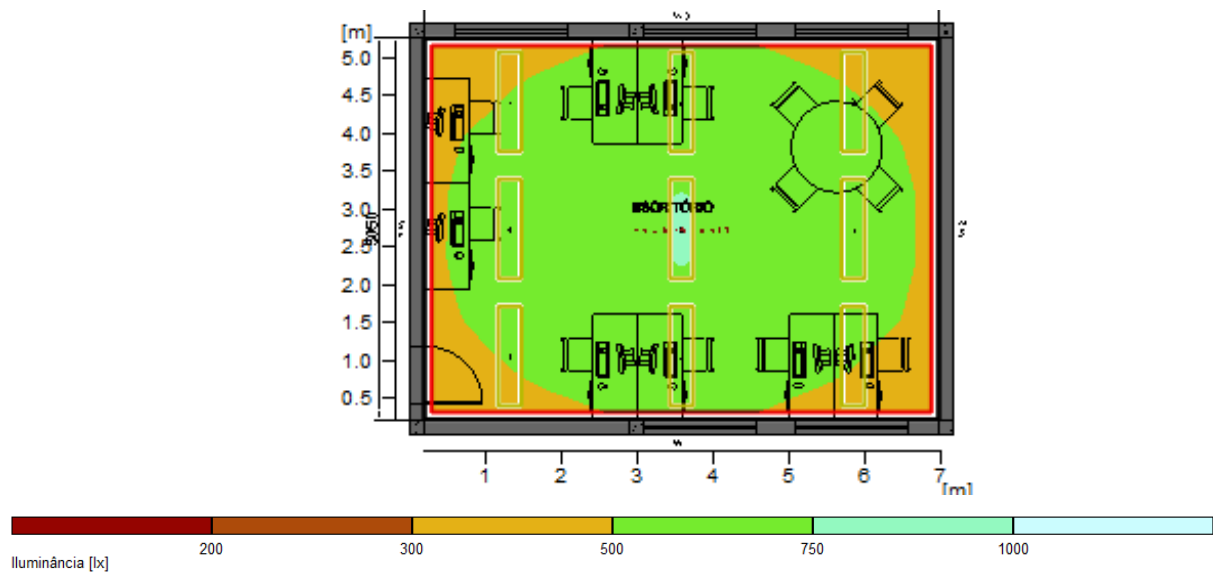
4 RESULTADOS

Os resultados apresentados de forma fracionada, possibilitando assim uma análise mais pontual de cada cálculo. Pontos semelhantes de cada cenário serão apresentados de forma única, e os pontos específicos terão seus resultados demonstrados separados.

A análise dos resultados primeiramente deverá ser sobre o atendimento técnico das luminárias propostas. Com base nos cálculos simulados pelo software Relux foi possível avaliar a eficácia dos dois sistemas propostos. O “Anexo C” apresenta a interface do software e um resumo das etapas realizadas nesse trabalho.

Segue abaixo o cálculo luminotécnico do escritório utilizando a luminária fluorescente Modelo CAA20-S:

Figura 7 - Cores falsas - Cálculo luminotécnico do modelo CAA20-S



Fonte: Próprio autor

Figura 8 - Resultados - Cálculo luminotécnico do modelo CAA20-S

Geral

Algoritmo utilizado	Componente indirecta média
Altura do plano das luminárias	3.70 m
Factor de manutenção	0.80
Fluxo luminoso total de todas as lâmpadas	48600 lm
Potência total	585.0 W
Potência total por área (34.34 m ²)	17.04 W/m ² (2.90 W/m ² /100lx)

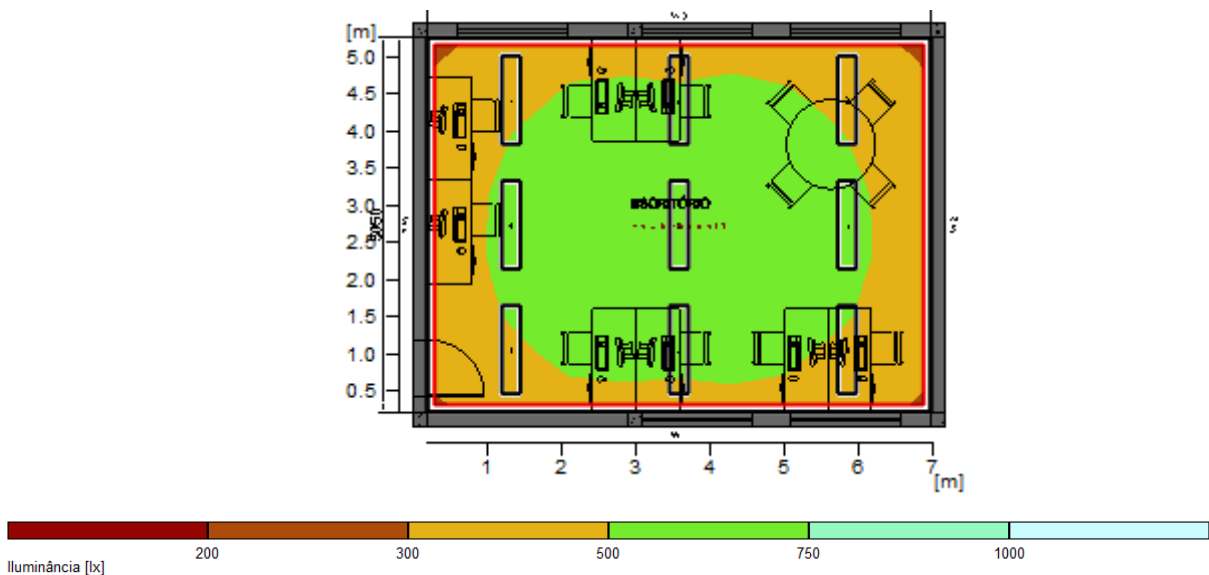
Zona de avaliação 1**Plano de referência 1.1**

	horizontal
Em	588 lx
Emín	423 lx
Emín/Em (Uo)	0.72
Emín/Emáx (Ud)	0.56
UGR (2.8H 2.0H)	<=18.3
Posição	0.75 m

Fonte: Próprio autor

Segue abaixo o cálculo luminotécnico do escritório utilizando a luminária fluorescente Modelo CAA20-S:

Figura 9 - Cores falsas - Cálculo luminotécnico do modelo LAA02-S3500840



Fonte: Próprio autor

Figura 10 - Resultados - Cálculo luminotécnico do modelo LAA02-S3500840

Geral		
Algoritmo utilizado		Componente indirecta média
Altura do plano das luminárias		3.70 m
Factor de manutenção		0.80
Fluxo luminoso total de todas as lâmpadas		30600 lm
Potência total		333.0 W
Potência total por área (34.34 m ²)		9.70 W/m ² (1.85 W/m ² /100lx)
Zona de avaliação 1	Plano de referência 1.1	
	horizontal	
Em	525 lx	
Emín	353 lx	
Emín/Em (Uo)	0.67	
Emín/Emáx (Ud)	0.54	
UGR (2.0H 2.7H)	<=17.4	
Posição	0.75 m	

Fonte: Próprio autor

Com base nos resultados emitidos pelo software, podemos afirmar que as duas opções atendem aos requisitos estabelecidos em norma de forma satisfatória, porém em relação a eficiência luminosa das luminárias, a LED se mostra mais eficiente, como já era o esperado:

Tabela 2 - Eficiência Luminosa

	Fluxo luminoso (lm)	Potência (W)	Eficiência luminosa (lm/W)
Fluorescente	2700	32,00	84,38
LED	3400	37,00	91,89

Fonte: Próprio autor

O próximo passo para nossa análise é o custo de instalação de cada sistema. Como as duas opções tem infraestruturas idênticas, como cabos e eletrodutos, as mesmas foram desconsideradas no cálculo dos valores.

Tabela 3 - Custos das luminárias

	Quantidade de luminárias	Preço por unidade	Preço total
Fluorescente	8	R\$168,00	R\$1.344,00
LED	8	R\$300,00	R\$2.400,00

Fonte: Próprio autor

Conforme apresentado na Tabela 3, o custo inicial da luminária fluorescente é menor que a LED.

Para o cálculo de consumo anual, foi considerado o período de um ano, com um consumo diário de 24 horas, durante todos os 365 dias do ano, sendo 3 horas de horário de ponta, não existente em sábados, domingos e feriados, equivalentes a 113 dias.

Considerando 3 horas de Horário de Ponta (HP) para os 252 dias úteis, tem-se:

$$\mathbf{HP} = 3 \times 252 = 756 \text{ horas}$$

Sendo assim o Horário Fora de Ponta (HFP) é:

$$\mathbf{HFP} = (21 \times 365) + (3 \times 113) = 8004 \text{ horas}$$

Com a quantidade de horas anuais e a potência total de cada sistema, podemos definir o consumo total de cada opção, conforme fórmula abaixo:

$$\mathbf{Consumo} = \text{potência} \times \text{horas/ano} \quad (1)$$

A tabela abaixo apresenta a potência de cada opção em kW:

Tabela 4 - Potência total de cada sistema

	Nº de luminárias	Potência individual (W)	Potência total (kW)
Fluorescente	8	64,00	0,51
LED	8	37,00	0,30

Fonte: Próprio autor

Aplicando a equação 1 para os valores acima, obtêm-se o consumo para cada situação e o consumo total, conforme indicado na tabela abaixo:

Tabela 5 - Consumo total de cada sistema

	Potência total (kW)	Consumo HP (kWh)	Consumo HFP (kWh)	Consumo total (kWh)
Fluorescente	0,51	385,56	4.082,04	4.467,60
LED	0,3	226,80	2.401,20	2.628,00

Fonte: Próprio autor

Através dos valores indicados na Tabela 5, podemos constatar que o consumo anual da luminária LED é 42% menor que a luminária fluorescente.

Para a definição dos valores tarifários a serem aplicados nos cálculos, o ambiente em estudo será considerado parte de uma instalação industrial, com alimentação em 13,8kV, sendo assim parte do subgrupo A4 (2,3 a 25kV), conforme tabela abaixo:

Tabela 6 - Tarifas (R\$/kWh) de energia

Tarifa	Energia (R\$/kWh)	
Subgrupo	HP	HFP
A4 (2,3 a 25kV)	R\$0,4236	R\$0,2586

Fonte: Próprio autor

As tarifas do grupo “A” são divididas em três modalidades de fornecimento: convencional, sazonal-azul e sazonal-verde. Não cabe a esse trabalho aprofundar em tais divisões. Foi adotado como referência para os cálculos o sazonal-azul.

Os valores das tarifas foram divididos em horário de ponta (HP), horário fora de ponta (HFP) e o valor total, conforme apresentado na Tabela 7:

Tabela 7 - Custo tarifário dos sistemas

	Consumo anual(kWh)		Tarifa R\$/kWh		Custo anual		
	HP	HFP	HP	HFP	HP	HFP	Total
Fluorescente	385,56	4082,04	R\$0,4236	R\$0,2586	R\$163,32	R\$1.055,66	R\$1.218,98
LED	226,8	2401,2			R\$96,07	R\$620,97	R\$717,04

Fonte: Próprio autor

Outro fator importante é a vida útil das luminárias, fator esse que atuará diretamente no custo de cada sistema. De acordo com os fabricantes, as luminárias fluorescentes e LED têm respectivamente vida útil de 24.000 e 50.000 horas.

O nosso estudo considera o pior caso, onde a iluminação funcionará 24 horas por dia, em 365 dias por ano, fornecendo assim os seguintes dados:

Tabela 8 - Vida útil das luminárias

	Vida útil (horas)	Horas funcionamento anual	Vida útil (anos)
	Fluorescente	24.000	8760
LED	50.000	5,71	

Fonte: Próprio autor

Com base nos dados da Tabela 8 podemos concluir que durante o primeiro ciclo das luminárias LEDs, as fluorescentes deverão ser trocadas uma vez. Outra consideração a ser feita sobre as luminárias fluorescentes são que para essa primeira manutenção serão trocadas apenas as lâmpadas.

Sendo assim, podemos recalcular os custos de cada iluminação baseados nas informações levantadas até o momento. Para facilitar os cálculos e a análise não serão considerados queima ou defeito nas luminárias. Os custos foram divididos em custo inicial, correspondente aos valores de implantação de cada sistema de luminárias; consumo anual, referente aos gastos de cada sistema por ano; consumo final, que nesse caso está sendo considerado até o término da vida útil das luminárias LEDs de 5,7 anos e a troca das lâmpadas fluorescentes nesse intervalo.

Tabela 9 - Custo final das opções

	Custo inicial	Consumo (anual)	Consumo (5,7 anos)	Troca do equipamento	Custo final
Fluorescente	R\$1.344	R\$1.219	R\$6.948	R\$116,00	R\$9.619
LED	R\$2.400	R\$717	R\$4.087	-	R\$7.204

Fonte: Próprio autor

Para obter o cenário 2, nossa análise levará em consideração outros fatores, como por exemplo a economia que o sistema de iluminação LED irá gerar e o tempo de retorno dessa opção.

Conforme dados abaixo o sistema de iluminação LED apresenta a seguinte economia em relação ao sistema atual:

Tabela 10 - Economia com a substituição por LED

	Custo do consumo de energia anual	Economia anual de energia utilizando LED	Economia em 5,7 anos
Fluorescente	R\$1.218,98	R\$501,93	R\$2.861,01
LED	R\$717,04	-	-

Fonte: Próprio autor

Com base no resultado da Tabela 10, podemos afirmar que a substituição do sistema de iluminação proposta no cenário 2 irá gerar uma economia maior que o seu custo inicial.

5 CONCLUSÃO

Para o desenvolvimento de um projeto de iluminação a elaboração do cálculo luminotécnico é extremamente essencial para se obter uma melhor eficiência do sistema projetado. Com números cada vez maiores de opções de luminárias e lâmpadas no mercado, e com os avanços de suas tecnologias, o cálculo passou a ser importante não só para o atendimento as normas, mas sim como um comparador de soluções.

Os resultados apresentados nesta monografia mostram que, embora a tecnologia LED tenha evoluído bastante, o seu alto custo inicial ainda pode ser uma barreira para o público alvo. Principalmente que as lâmpadas fluorescentes têm apresentados avanços significativos no campo da eficiência energética.

Contudo, a luminária LED ainda apresenta melhores características quanto a sua eficiência, produzindo lúmens igualmente satisfatórios as demais luminárias, e sempre apresentando um consumo final de seu conjunto bem menor seus concorrentes.

Outro fator que coloca a iluminação LED a frente é sua vida útil, diminuindo custos de trocas ou substituições constantes, e outros custos deixados de lado nas avaliações, porém não menos importantes, como a manutenção dos sistemas.

Uma alternativa bastante utilizada atualmente é o uso de lâmpadas LEDs em luminárias comuns. Essa opção reduz bastante o custo de implantação do sistema, preservando sua eficiência e vida útil, e ainda possibilitando uma economia nas luminárias a serem utilizadas, uma vez que as lâmpadas LEDs têm o seu fluxo luminoso direcionado, não necessitando de refletores.

ANEXO A



CAA22-S232



Garantia:
2 anos.



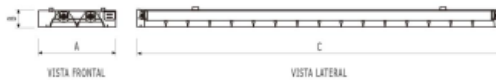
Desenvolvido e fabricado no Brasil.



Garantia:
2 anos.

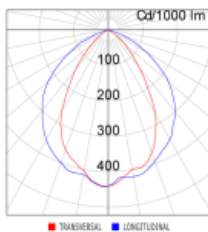
Potência	2X32W-T8
Rendimento	72%
Grau IP	IP20
Tensão de Entrada	127/220V
Frequência	50/60Hz
Classe de Isolamento	Classe I

Aplicação: Indicada para uso em ambientes onde há necessidade de controle de ofuscamento rigoroso, como agências bancárias, escritórios e salas de estudo.
Instalação: Sobreposto em forros de alvenaria, gesso, madeira ou PCV.
Corpo: Produzido em chapa de aço laminado a frio.
Acabamento: Tinta pó poliéster de alta resistência na cor branco microtexturizado aplicado por processo eletrostático, garantindo camada mínima de 50µm.
Aletas e refletores: Aletas parabólicas e refletores em alumínio alto brilho garantindo excelente conforto visual.
Soquetes: Anti-vibratórios em policarbonato, sistema de engate rápido para os fios, rotor de segurança e contatos em bronze fósforo, fixação por meio de encaixe.



A (mm)	B (mm)	C (mm)
278	61	1244

Distribuição luminosa:



Luminárias por área:

Fluxo	4.700 lm			
Iluminância	300 lx		500 lx	
Pé direito	2,5 m	3,0 m	2,5 m	3,0 m
Área	Número de luminárias			
10 m²	1,5	1,7	2,5	2,8
20 m²	2,6	2,9	4,3	4,8
30 m²	3,6	3,9	6,0	6,6
40 m²	4,6	5,0	7,7	8,3
50 m²	5,6	6,0	9,4	10,0

AMBIENTE COM TETO E PAREDE CLARO, CHÃO ESCURO.
 FATOR DE PERDA 0,85.
 PLANO DE TRABALHO 0,85.

Fator de utilização:

Teto (%)	70	50	30	0
Parede (%)	50	30	10	50
Chão (%)	20	20	20	0
RCR	Fator de Utilização (%)			
0	84	84	80	80
1	76	74	73	72
2	69	66	63	67
3	63	59	55	61
4	57	53	49	56
5	52	47	44	51
6	48	43	39	47
7	44	39	35	43
8	41	36	32	40
9	38	33	29	37
10	35	30	27	34

ANEXO B

GRUPO
LUMICENTER
L I G H T I N G

LAA02-E3500840

Garantia:
5 anos.



Desenvolvido e fabricado no Brasil.



Placa de LED integrada.



Vida útil:
50.000 horas.

Fluxo	3400lm
Potência	37W
Eficiência	92lm/W
Temperatura de Cor	4000K
IRC	>80
Consistência de Cor	3SDCM
Grau IP	IP20
UGR Longitudinal	<14
UGR Transversal	<16
Tensão de Entrada	100 a 250V
Frequência	50/60Hz
Classe de Isolamento	Classe I
Vida Útil	50.000h
Temperatura de Operação	0 A 50°C

Aplicação: Indicada para uso em ambientes onde há necessidade de controle de ofuscamento rigoroso, como agências bancárias, escritórios e salas de estudo.

***Instalação:** Embutido em forros modulares 1250x625 com perfil "T" ou em forros de gesso, madeira e PVC por meio de tirantes.*

Corpo: Produzido em chapa de aço laminado a frio.

Acabamento: Tinta pó poliéster de alta resistência na cor branco microtexturizado aplicado por processo eletrostático, garantindo camada mínima de 50µm.

Aletas e refletores: Aletas parabólicas e refletores em alumínio alto brilho garantindo excelente conforto visual.

Difusor: Translúcido.

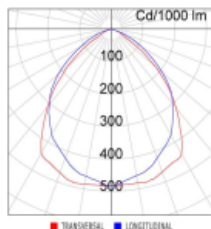
LED e Driver: LEDs SMD de alto desempenho aplicados sobre placa de circuito impresso. Driver multitemperatura não dimensável com alto fator de potência e baixo THD.

Durabilidade: Manutenção de no mínimo 70% do fluxo luminoso inicial em 50.000h de uso.

Equivalência: Para substituição de duas lâmpadas fluorescentes tubulares T5 de 23W, 28W ou T8 de 32W.



A (mm)	B (mm)	C (mm)	Nicho (mm)
292	41	1243	230x1176

Distribuição luminosa:**Luminárias por área:**

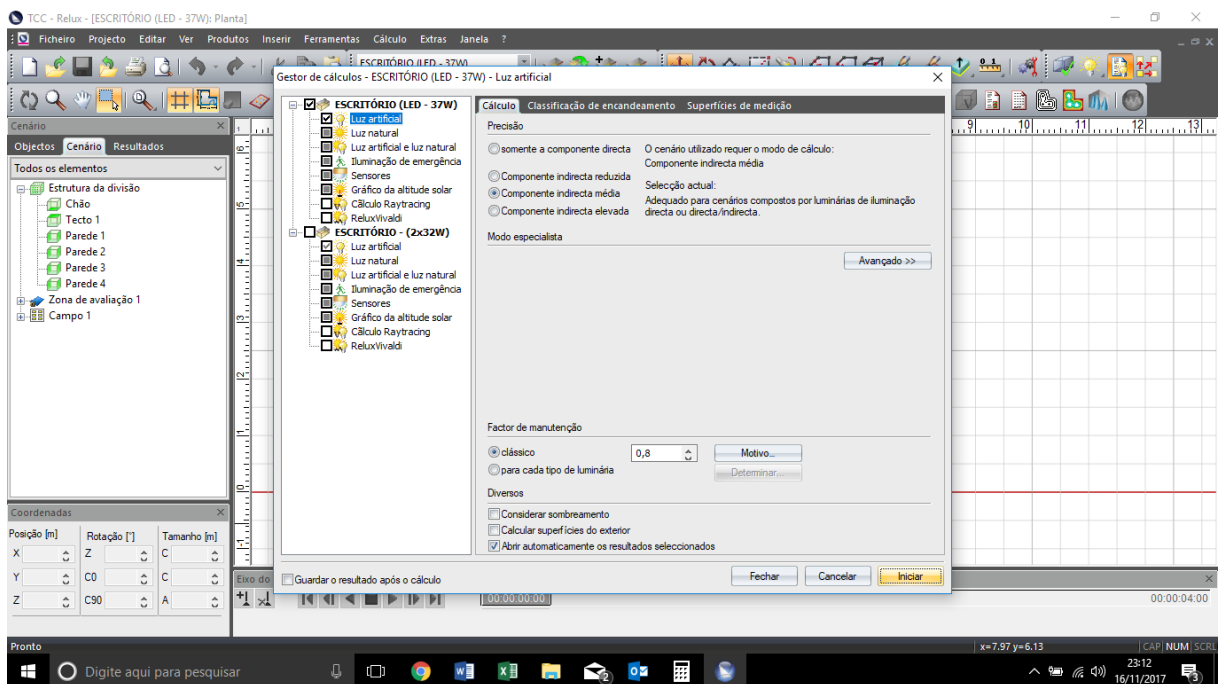
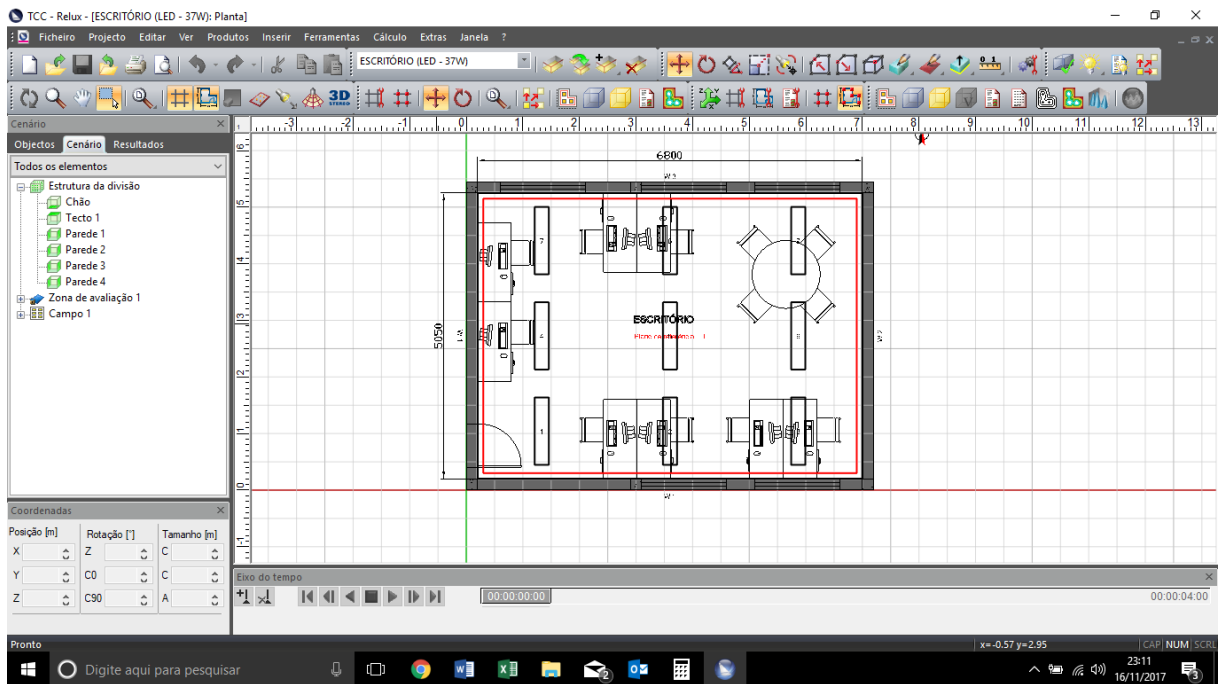
Fluxo	3.400 lm			
Iluminância	300 lx		500 lx	
Pé direito	2,5 m	3,0 m	2,5 m	3,0 m
Área	Número de luminárias			
10 m²	1,5	1,8	2,5	2,9
20 m²	2,6	2,9	4,4	4,9
30 m²	3,7	4,0	6,1	6,7
40 m²	4,7	5,1	7,8	8,4
50 m²	5,7	6,1	9,4	10,2

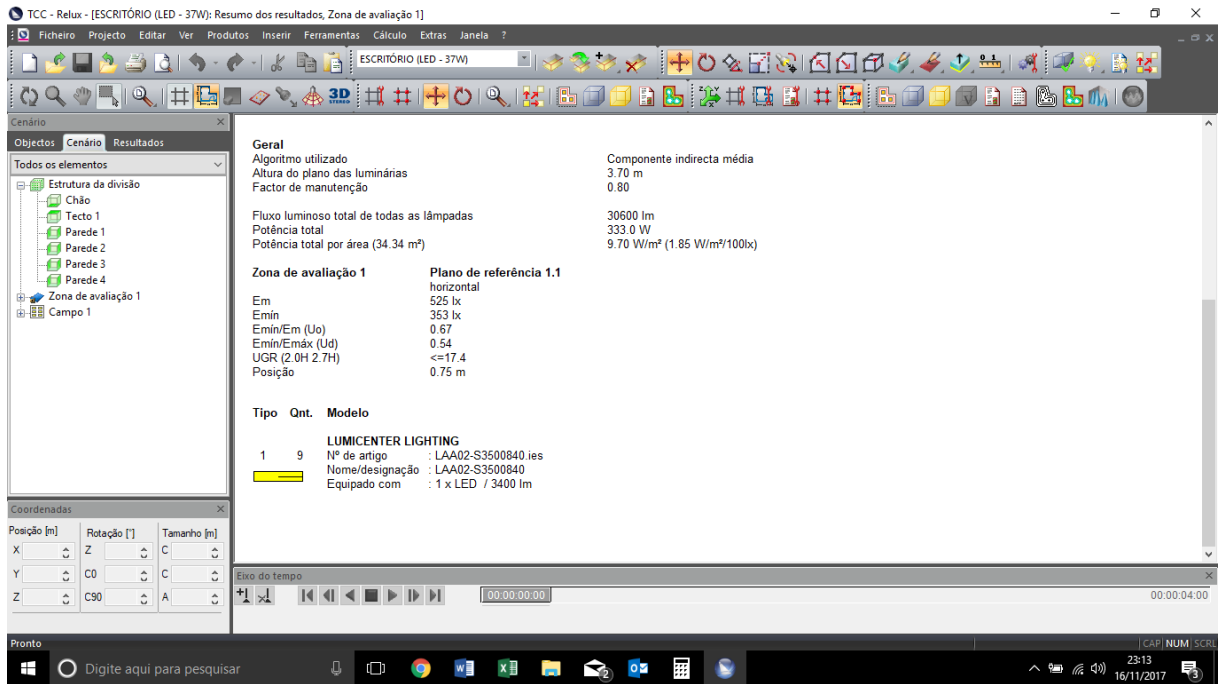
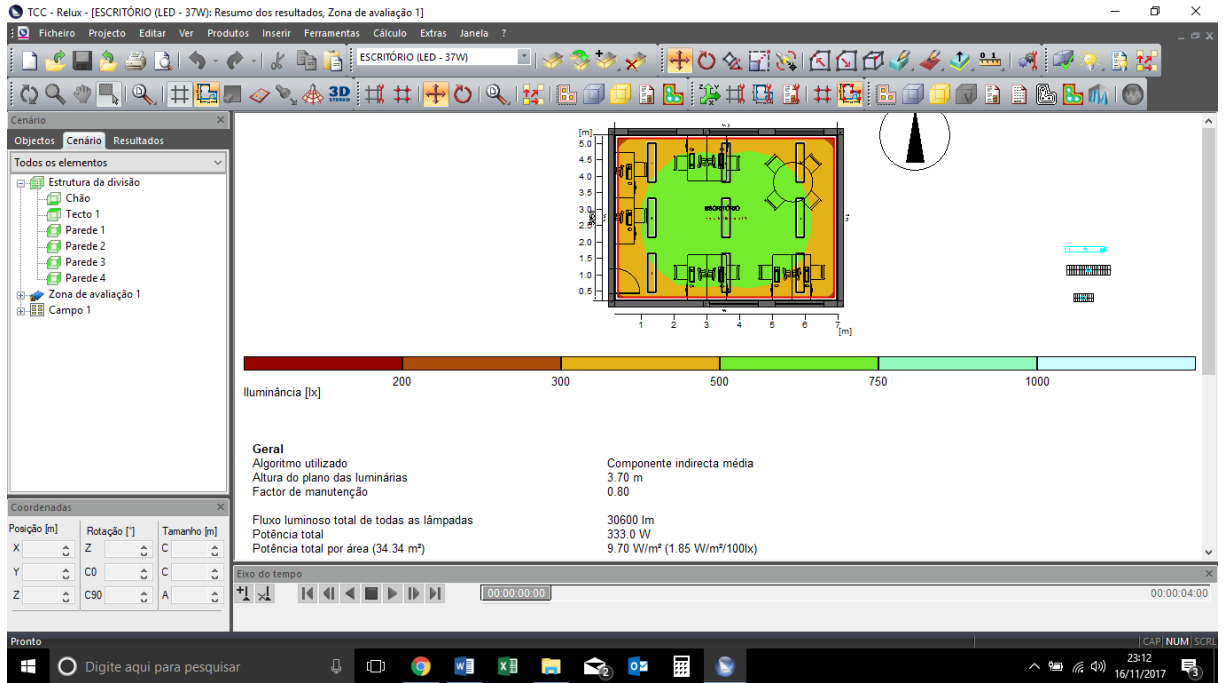
ARREBENTE COM TETO E PAREDE CLARO, CHÃO ESCURO;
FATOR DE PAREDE 0,8;
PLANO DE TRABALHO 0,8.

Fator de utilização:

Teto (%)	70	50	30	10	0		
Parede (%)	50	30	10	50	30	10	0
Chão (%)	20	20	20	20	20	20	0
RCR	Fator de Utilização (%)						
0	117	117	117	112	112	107	107
1	106	103	100	102	100	97	98
2	95	91	86	82	88	84	89
3	86	80	75	83	78	73	80
4	78	71	65	75	69	64	73
5	70	63	57	68	62	57	66
6	64	56	51	62	56	51	61
7	58	51	46	57	50	45	56
8	54	46	41	52	46	41	51
9	50	42	37	48	42	37	47
10	46	39	34	45	38	34	44

ANEXO C





6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8995-1 – Iluminação de ambiente de trabalho – Parte 1: Interior – Rio de Janeiro, 2013, válida a partir de 21.04.2013.

SALOMÃO, Thais Mazziotti. **Eficiência energética: projetos luminotécnicos em plantas industriais**. 2010. 198p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

COSTA, Gilberto José Correa da. **Iluminação econômica** – Cálculo e avaliação. 4º Edição – Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006.

MAMEDE, João Filho. **Instalações Elétricas Industriais**. 8º Edição – Rio de Janeiro: LTC, 2011.

FREITAS, Adriana Tolentino de. **Alternativas Eficientes de Projeto Luminotécnico em Plantas Industriais**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica, Belo Horizonte, 2013.

TEIXEIRA, Ingrid; RIVERA, Ricardo; REIFF, Luís Otávio. **Iluminação LED: Sai Edison, entram Hartz e Moore** – Benefícios e oportunidades para o país. Tecnologias da Informação e Comunicação – BNDES Setorial 43, p. 363 a 412, 2016.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual de iluminação**. 2011.

CATÁLOGOS CONSULTADOS

OSRAM. Soluções em LED 2015. Osasco, São Paulo, 2015. Disponível em www.osram.com.br.

OSRAM. Manual luminotécnico prático. Osasco, São Paulo, 2010. Disponível em www.osram.com.br.

LUMICENTER. Catálogo Geral 2017. São Paulo, 2017. Disponível em www.lumicenteriluminacao.com.br/catalogo.

ITAIM. Catálogo LED 2017. Disponível em www.itaimiluminacao.com.br/catalogo.