

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RODRIGO LUIZ ABRÃO

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAMPADAS TUBULARES
FLUORESCENTES E LAMPADAS TUBULARES LED - PVA/UFV**

VIÇOSA
2017

RODRIGO LUIZ ABRÃO

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAMPADAS TUBULARES
FLUORESCENTES E LAMPADAS TUBULARES LED NO PAVILHÃO
DE AULAS A – PVA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA –
CAMPUS VIÇOSA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos da Costa Campos

VIÇOSA

2017


RODRIGO LUIZ ABRÃO

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAMPADAS TUBULARES
FLUORESCENTES E LAMPADAS TUBULARES LED NO PAVILHÃO
DE AULAS A – PVA/UFV**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 07 de dezembro de 2017.

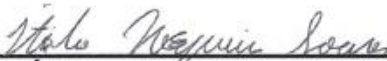
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. José Carlos da Costa Campos - Orientador
Universidade Federal de Viçosa



Prof. Dr. Denilson Eduardo Rodrigues - Membro
Universidade Federal de Viçosa



Bsc. Ítalo Nogueira Soares - Membro
Universidade Federal de Viçosa

“O primeiro passo para chegar a algum lugar é decidir que você não vai ficar onde está.”

(J. P. Morgan)

*Dedico este trabalho a todos os amigos, parceiros, irmãos de república e familiares
que estiveram comigo e de alguma forma contribuíram para meu amadurecimento
até hoje.*

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor José Carlos, por tentar sempre ser mais do que só um professor, mas por tentar acima de tudo ser um educador, um parceiro. Sempre buscando compreender as dificuldades inerentes a prática.

Agradeço aos servidores do departamento de engenharia elétrica, e aos servidores do laboratório de engenharia elétrica, por estarem sempre dispostos, com uma energia positiva que faz diferença a nós alunos nos cansativos finais de semestre.

Às empresas que trabalhei, Andrade Viana Engenharia e Itatiaia Móveis por confiarem no meu trabalho e abrirem suas portas para que eu pudesse aprender ainda mais sobre minha profissão.

Meu muito obrigado a PAD – Pro Reitoria de administração e meu parceiro Victor Chagas que facilitou muito a interação entre os funcionários da universidade para desenvolvimento do trabalho de eficiência.

Agradeço muito a prontidão mostrada pelos eletricitistas responsáveis pelas manutenções do pavilhão de aulas A Edivaldo Souza da Silva e Luis Henrique Guimarães de Melo. Foram críticos nos aspectos práticos e medições que foram necessárias.

Agradeço por fim aos meus pais, Dalva e Roberto, pela combinação que foi determinante para minha formação pessoal, sem pela qual eu não teria alcançado desenvolvimento profissional, tão pouco teria terminado essa graduação. A minha avó Ana pelas palavras de incentivo constantes.

A todos que contribuíram de alguma forma, meu muito obrigado.

Resumo

A utilização da tecnologia LED em solução para iluminação artificial já é uma tendência bem definida no ano de 2017. Principalmente após as recentes quedas no custo do LED e sua regulamentação pelo INMETRO ainda este ano. As vantagens não estão apenas em termos de redução de consumo, mas maior durabilidade, menor desgaste, menor uso de elementos nocivos ao meio ambiente.

Este trabalho foi baseado em uma solicitação de estudo de viabilidade executado pela empresa Júnior diElétrica, que teve como cliente a pró-reitora de administração da Universidade Federal de Viçosa. Na época, ainda em 2015, era avaliada o quão válido seria o investimento nessa tecnologia em substituição as lâmpadas tubulares fluorescentes T8 de 32W utilizadas nas salas de aula dos principais pavilhões de aula e biblioteca central.

Naquela data poucos trabalhos eram focados nessas lâmpadas em específico, os preços dos LEDs mudaram bastante até a data que a licitação das lâmpadas LEDs foi feita, os preços conseguidos pela UFV nas licitações foram ainda mais baixos. E por fim, no ano de 2017 o INMETRO regulamentou as lâmpadas que utilizam tecnologia LED no Brasil. Então, por mais repetitivo que pareça, esse trabalho tem a adicionar ao acervo nacional por essas constantes mudanças.

Foi feito um estudo de caso em específico sobre a substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 120cm e 32W do pavilhão de aulas A – PVA por lâmpadas LED que pudessem atender os requisitos de iluminação. Esse trabalho se propõe a mostrar o quanto o investimento inicial acaba se pagando com a economia gerada. Mostrando ainda os detalhes de cálculos *a priori*, antes da compra das lâmpadas de fato, e também medidas *a posteriori*, demonstrando o quanto realmente se obteve de economia na redução da conta de energia, ao mesmo tempo que melhora a iluminância.

Palavras-chaves: LED, Iluminação artificial, lâmpadas tubulares T8, estudo comparativo, eficiência energética

Abstract

The use of LED technology in artificial lighting is already a well-defined trend in the year 2017. Mainly after the recent falls in the cost of LED and its regulation by INMETRO later this year. The advantages are not only in terms of reduction of consumption, but greater durability, less wear, less use of harmful elements to the environment.

This work was based on a request for a feasibility study carried out by the diEletrica junior company, whose client was the dean of management at the Universidade Federal de Viçosa. At the time, even in 2015, it was assessed how much good this investment would be using LED technology in place of 32W T8 fluorescent tubular lamps used in the classrooms of the main classrooms and central library.

At that time few jobs were focused on these lamps in particular, LED prices have changed significantly until the date that LED light bulbs were bid, prices obtained by UFV in the bids were even lower. And finally, in the year 2017 INMETRO regulated the lamps that use LED technology in Brazil. Then, as repetitive as it may seem, this work has to add to the national collection because of these constant changes.

A specific case study was done on replacing the T8 tubular fluorescent lamps of 120cm and 32W of the A - PVA classroom with LED lamps that could meet the lighting requirements. This paper proposes to show how much the initial investment ends up being paid with the generated economy. It also shows the details of a *priori* calculations, before the purchase of the actual lamps, and also measures a *posteriori*, demonstrating how much savings have actually been obtained in reducing the energy bill, while improving lighting quality.

Keywords: LED, Artificial lighting, T8 tubular lamps, comparative study, energy efficiency

Sumário

1	Introdução.....	11
1.1	Justificativa da Pesquisa	11
1.2	Objetivo	13
1.3	Estrutura do Trabalho	13
2	Definições.....	14
2.1	Iluminação de Ambientes	14
2.2	Fluxo Luminoso.....	15
2.3	Intensidade Luminosa.....	15
2.4	Iluminancia	16
2.5	Eficiência Luminosa	16
2.6	Temperatura de Cor	16
2.7	Índice de Reprodução de Cor	17
2.8	Vida útil, vida mediana e vida nominal.....	18
2.9	Conceitos importantes da conta de energia	19
3	Equipamentos	21
3.1	Lâmpadas.....	21
3.1.1	Lâmpadas Fluorescentes.....	21
3.1.2	Lâmpadas LED	23
3.2	Wattímetro	25
3.3	Luxímetro Digital	26
4	Estudo de Caso	27
4.1	Detalhamento da utilização das salas	28
4.2	Avaliação Econômica (pay back time).....	29
4.2.1	Cenário teórico ideal.....	30
4.2.2	Cenário real.....	35
4.3	Avaliação de iluminancia	37
5	Conclusões.....	42
6	Referências Bibliográficas	43
	Apêndice A – Contas de energia usadas para os calculos	45
A.1	Contas de energia da UFV.....	45
A.2	Informação retirada de catalogo EMPALUX.....	49

A.3 Informação retirada de catalogo GE.....50

Lista de Figuras

Figura 1- Estimativa da participação dos usos finais da energia elétrica. Fonte: CDM.....	12
Figura 2 – Wattímetro PZEM-061 ligado a vazio. Fonte: Amazon	26
Figura 4 – Luxímetro. Fonte: Minipa	27
Figura 5 – Cálculo luminotécnico sala PVA 223 com lâmpadas LED	39
Figura 6 - Cálculo luminotécnico sala PVA 134 com lâmpadas fluorescentes.....	39
Figura 7 – Nível de iluminância em lux ponto a ponto na sala PVA 134 com lâmpadas fluorescentes	40
Figura 8 - Nível de iluminância em lux ponto a ponto na sala PVA 223 com lâmpadas LED	40
Figura 9 – Sala PVA 134 à esquerda com lâmpadas fluorescentes, sala PVA 223 à direita com lâmpadas LED, ambas bem iluminadas apesar do maior volume a iluminar na sala 223 .	41

Lista de Quadros

Quadro 1 - Levantamento de parâmetros de desempenho de lâmpadas fluorescentes de 32W de potencia modelo Tubular T8	22
Quadro 2 – Levantamento de parâmetros de desempenho de lâmpadas LED de 18W de potencia modelo Tubular T8	24
Quadro 3 - Comparativo de demanda entre as lampadas	30
Quadro 4 – Tarifas de demanda cobradas pela concessionaria a UFV	31
Quadro 5 – Parametros das salas de aula do PVA.....	31
Quadro 6 – Redução na demanda por lâmpada tubular fluorescente substituída por LED	31
Quadro 7 – Economia gerada pela redução na demanda por lâmpada tubular fluorescente substituída por LED	32
Quadro 8 – Redução no consumo por lâmpada tubular fluorescente substituída por LED.....	32
Quadro 9 – Tarifas de consumo cobradas pela concessionaria a UFV	32
Quadro 10 – Economia gerada pela redução no consumo por lâmpada tubular fluorescente substituída por LED	32
Quadro 11 – Custo de manutenção por hora para os componentes de interesse	33
Quadro 12 – Resumo da economia por mês letivo da substituição de uma lâmpada.....	33
Quadro 13 – Resumo da economia por mês letivo da substituição de uma lâmpada fluorescente por LED	34
Quadro 14 – Resumo da economia por mês letivo da substituição de todas as lâmpadas das salas de aula por fluorescente por LED	34
Quadro 15 – Medição de demanda feita nas salas utilizando wattímetro	35
Quadro 16 – Comparativo de demanda medida entre as lâmpadas	36
Quadro 17 - Resumo da economia por mês letivo da substituição de uma lâmpada	36
Quadro 18 - Resumo da economia por mês letivo da substituição de uma lâmpada fluorescente por LED	36
Quadro 19 - Resumo da economia por mês letivo da substituição de todas as lâmpadas das salas de aula por fluorescente por LED	37

1 Introdução

O Brasil apresenta uma crescente demanda energética. Segundo um estudo da Empresa de Pesquisa Energética a demanda energética brasileira deve mais que dobrar no período de 2013 a 2050 (EPE, 2014). Não se deve deixar enganar pelos períodos de crise que mostram baixas no consumo, historicamente eles são precedidos de períodos de forte crescimento. Empresas preveem isso e usam períodos de crise com baixa produção para melhorar a eficiência de suas plantas produtivas.

Períodos de crise são importantes nesse sentido. Antes das recentes crises do setor energético causadas pelas secas entre 2014 e 2015, o mercado estava mal acostumado e não via necessidade de investir na tecnologia de LED, já que as lâmpadas fluorescentes já eram eficientes em relação as incandescentes. O governo também não via necessidade de regulamentar as lâmpadas. O cenário mudou com a instauração das bandeiras tarifárias, que elevaram os preços das faturas proporcionalmente ao consumo.

1.1 Justificativa da Pesquisa

Gestores buscando pelas reduções de custos, no setor privado para proteção do capital, e no setor público dadas as também crises políticas e redução de verbas, encontraram na tecnologia de LED solução em eficiência. Foi o caso da UFV – Universidade Federal de Viçosa que participou de programas financiados pela CEMIG visando redução do consumo em consequência do uso mais tecnologias mais eficientes.

Existe um relatório requerido pela UFV no ano de 2016 para o edital de financiamento da CEMIG. O relatório foi feito pela empresa CDM Cooperação para o desenvolvimento e Morada Humana. Nesse relatório é levantado uma estimativa da participação dos usos finais de energia elétrica na UFV – campus Viçosa. Sendo os gastos com iluminação, em 2016, cerca de 30% do total, conforme figura abaixo:

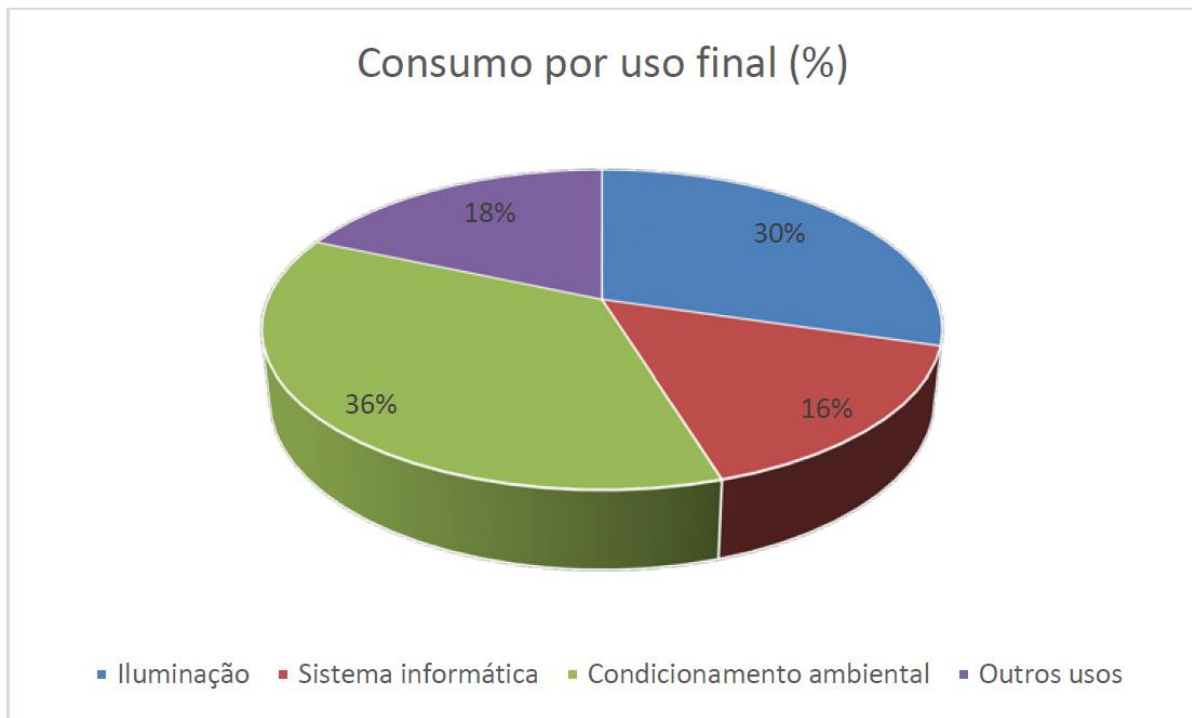


Figura 1- Estimativa da participação dos usos finais da energia elétrica. Fonte: CDM

Com tanta energia sendo consumida em iluminação, é um ponto crítico a ser pesquisado. Principalmente pelo fato de que a iluminação até então era feita usando tecnologia fluorescente e existe uma grande diferença entre essas tecnologias em termos de eficiência.

Segundo a própria pró-reitora da universidade na época que foi solicitado a pesquisa, o descarte dessas lâmpadas estava sendo problemático com a saturação dos depósitos próprios para esse descarte, já que essas lâmpadas fluorescentes tem elementos químicos que não podem ser descartados em lixo comum.

Em 2016 as lâmpadas LED ainda não eram regulamentadas pelo INMETRO, então isso complicava bastante o processo de licitação, em que não era possível selecionar o fabricante das lâmpadas. Então a troca precisava valer muito a pena em termos de economia de energia. Por isso a medição após a instalação do primeiro lote é e foi importante.

1.2 Objetivo

Os objetivos específicos vão formar pilares para a construção desse trabalho. Em primeiro lugar, o em geral, esse trabalho objetiva comparar o desempenho das lâmpadas tubulares fluorescentes T8 de 32W e as lâmpadas de LED T8 de 18W usadas no PVA.

Para tal objetivo geral, objetivos específicos foram criados. Sendo em resumo, avaliação das diferenças nos custos de manutenção, na fatura de energia. Em detalhes, encontrar uma forma quantitativa viável para avaliar o quanto a vida útil do LED é superior a vida útil das lâmpadas fluorescentes usadas no PVA, uma vez que esse era uma das preocupações da Pró-reitoria da universidade. O próximo objetivo é demonstrar que a lâmpada de LED é de fato eficaz em reduzir as faturas de energia mantendo níveis de iluminância adequados as salas de aula.

Por fim, esse trabalho objetiva atualizar as pesquisas comparativas entre essas duas lâmpadas, já que avaliações pós instalação são escassas, além do fato da recente normalização do LED pelo INMETRO ter mudado e inserido alguns conceitos importantes.

1.3 Estrutura do Trabalho

A metodologia visará confirmar os dados teóricos com os dados práticos. A partir de medições de consumo e demanda, além de avaliações da qualidade de iluminação, com as lâmpadas fluorescentes, e medições com as lâmpadas LED.

Uma revisão dos conceitos importantes a projetos luminotécnico introduzirá o leitor para compreender as decisões e considerações feitas.

Após é importante que o leitor esteja ciente dos equipamentos usados. Primeiramente para confirmar confiabilidade dos dados. Além de proporcionar possibilidade de reprodução dos testes.

Ao fim, o trabalho mostrará a análise de caso do que foi feito para mostrar a viabilidade econômica da substituição das luminárias fluorescentes T8 das salas de aula do PVA – Pavilhão de aulas A do campus Viçosa, por luminárias de LED também T8, de forma a manter a mesma qualidade de iluminação.

A análise de caso é dividida em duas partes, com uma previa teórica, com definições de cenário escritas no texto no momento apropriado. E análise realística, feita após a instalação dos LEDs para confirmar e validar o cenário teórico.

2 Definições

Iluminação pode parecer uma área simples da engenharia, mas nada é tão simples quando se quer o maior desempenho possível. Uma introdução a conceitos específicos e profundos ao tópico é necessária.

2.1 Iluminação de Ambientes

A iluminação deve atender um propósito, cada ambiente tem suas necessidades. Esse deve ser o ponto de partida ao processo luminotécnico. Alguns ambientes como laboratórios químicos, ou salas de pinturas necessitam alta definição de cores, enquanto estradas requerem apenas a visualização das vias.

Dois propósitos principais se destacam. O primeiro visa atender necessidades de trabalho ou atividade exercidas no ambiente. A iluminação deve possibilitar boas condições de visão, por consequência, favorecendo visibilidade e segurança. Dependendo do propósito, favorecendo a produtividade.

Alta qualidade de iluminação é associada à ambientes como laboratórios, salas de aulas, bibliotecas, indústria. A cor branca é bastante utilizada nesses ambientes já que se assemelha a luz natural do sol, permitindo alto índice de reprodução de cores com iluminação artificial.

O segundo propósito utiliza a iluminação para ambientação de espaços. A luz também cria sensações, a luz pode ser uma forma de arte. Iluminação pode ser usada no destaque de algum objeto, e/ou superfícies. Esse propósito é prioritariamente artístico, usando cores com tom mais amarelado, conhecida como cor quente. Iluminação artística não é importante aqui, e não será o propósito tratado nesse estudo. Mas é importante saber que tal propósito existe e deve ser considerado quando o engenheiro se deparar com um projeto de iluminação.

2.2 Fluxo Luminoso

O fluxo luminoso é uma das unidades fundamentais quando o tópico é iluminação, é também um dos parâmetros de desempenho com mais destaque nos catálogos de fabricantes de lâmpadas. A unidade de medida do fluxo luminoso é o lúmen, ou lm.

O lúmen mensura a potência de luz irradiada por uma fonte luminosa em todas as direções. Essa medida é definida tendo como referência a quantidade de luz irradiada por uma abertura de 1 metro quadrado feita em uma esfera de 1 metro de raio, sendo a fonte luminosa interna a essa esfera irradiando uma candela (unidade explicada no tópico 2.3) em seu centro, em todas as direções.

Em outras palavras, como referência, considera-se que uma fonte luminosa uniforme de intensidade de uma candela emite 12,56 lumens, ou seja, $4\pi R$ lumens, sendo um lúmen para cada área de um metro quadrado na superfície dessa esfera (CREDER, 2007).

Repare que essa potência de irradiação não poderia ser classificada em *watts*, uma vez que o fluxo luminoso é em função da sensibilidade do olho humano. E essa percepção varia em função do espectro de cores entre os comprimentos de onda visíveis (MAMEDE, 2009).

2.3 Intensidade Luminosa

Intensidade luminosa pode ser definida como o fluxo luminoso irradiado na direção de um determinado ponto (MARCON, 2013), ou ainda definida como a potência de radiação visível que uma determinada fonte de luz emite numa direção especificada (MAMEDE, 2009).

A unidade de intensidade luminosa é expressa em candela (cd). Sendo rigoroso na definição dessa unidade referência, uma candela equivale a dizer que se uma fonte luminosa perfeitamente esférica localizada no centro de uma esfera de raio igual a 1 metro emitir em todas as direções 1 cd, cada metro quadrado dessa esfera será iluminado por exatamente 1 lúmen.

É evidente que lâmpadas regulares não são perfeitamente esféricas e tendem a oferecer mais fluxo em determinadas áreas, ou seja, mais intensidade em determinados sentidos. Portanto, curvas de intensidade são usualmente oferecidas pelos fabricantes. Podendo diferentes lâmpadas oferecerem diferentes curvas de intensidade em determinados ângulos, porém,

oferecendo o mesmo fluxo luminoso em lumens. Essas curvas são chamadas curvas de distribuição luminosa (CDL).

Então tais curvas são importantes dependendo da proposta de trabalho do ambiente. Por exemplo, em salas de aula, curvas oferecendo mais candelas nas mesas é de interesse maior. Mas em se tratando de lâmpadas tubulares T8 padrão, as curvas não mudam muito, então não são critério importante para a substituição de fluorescentes por LED nesse caso. Importante notar que refletores podem alterar as curvas de distribuição luminosa.

2.4 Iluminancia

Esse conceito pode ser definido matematicamente como sendo a razão entre fluxo luminoso recebido (lm) pela área da superfície que recebe tal fluxo, sendo essa área tendendo a zero.

Esse é um dos parâmetros mais importantes uma vez que pode ser medido pelo aparelho luxímetro, usado para medidas que serão apresentadas nesse trabalho. Uma unidade de lux pode ser definido como 1 (um) lúmen iluminando perpendicularmente 1 (um) m^2 (MAMEDE, 2009).

2.5 Eficiência Luminosa

É a simples relação entre fluxo luminoso emitido pela lâmpada e a potência em watts despendida pela mesma para seu funcionamento nominal. Toda a estrutura da lâmpada é considerada nesse cálculo, sendo o emissor de luz, sendo filamento, gás ou diodo emissor, somado a estrutura da luminária e os vidros, que podem consumir parte desse fluxo em perdas. A unidade será dada em lumens por W.

2.6 Temperatura de Cor

Esse valor é de grande importância para um projeto luminotécnico, já que dependendo do propósito da iluminação, a cor e tom da lâmpada podem alterar percepções óticas, incluso sensações e conforto. Por tanto, todo fabricante inclui informação sobre a temperatura da cor em suas lâmpadas.

Temperatura de cor tenta relacionar temperatura em Kelvin (K) com o tom da luz. Quanto mais alta a temperatura de cor, mais branca a luz. Enquanto que luzes quentes tem

temperatura mais baixa, com tons amarelados, as luzes frias, de altas temperaturas tem tons azulados. Para referência, luzes abaixo de 3100K podem ser consideradas quentes, com predominância do vermelho. De 4100K para cima, estão as cores frias, com maior participação do azul.

As cores quentes são preferidas em ambientes onde se deseja algum tom mais artístico, ou a sensação de aconchego. Além da melhor reprodução de cor dependendo do produto a ser exibido.

Como observação interessante, a correlação de cores a temperaturas vem do radiador de Plank. Ao ser aquecido a determinadas temperaturas, exhibe determinadas cores (LETA, BALDNER, GOMES, & COSTA, 2017)

2.7 Índice de Reprodução de Cor

A próxima característica a ser comentada é o índice de reprodução de cor (IRC). Esse índice quantifica a fidelidade com que as cores são reproduzidas sob uma determinada fonte de luz (LETA, BALDNER, GOMES, & COSTA, 2017),

Esse IRC de uma fonte de iluminação mensura o quanto as cores de um objeto são percebidas quando o objeto é iluminado por essa mesma fonte, quando comparado por esse objeto iluminado por uma fonte de referência, que é a luz do sol tendo 100% de IRC.

O IRC é um número sem unidade, variando de 0 a 100%, classificando o quanto as cores são bem reproduzidas relativa a fonte referência. E é determinado a partir da distribuição espectral de uma lâmpada, empregando método normalizado pela CIE 13.3 (LETA, BALDNER, GOMES, & COSTA, 2017).

Enquanto lâmpadas fluorescentes tem um IRC médio calculado de 60,2%, lâmpadas LED são superiores com 75%, caso contrario não podem ser comercializadas segundo regulamentação (INMETRO Portaria n.º 477, 2013). Por outro lado, a lâmpada incandescente tem IRC de até 99,8%, por tanto, essas lâmpadas ainda têm seu lugar apesar do consumo elevado.

2.8 Vida útil, vida mediana e vida nominal

Esses três termos as vezes são confundidos, e essa confusão poderia causar um modelo de viabilidade incorreto. Por exemplo, as lâmpadas tubulares LED compradas em certo lote pela UFV têm vida útil de 25.000h. Mas, o que isso significa realmente?

Segundo (INMETRO Portaria n.º 477, 2013) a vida útil de uma lâmpada LED individual é o tempo no qual a lâmpada LED fornecerá 70% do fluxo luminoso inicial, em condições de ensaio. Para a portaria n.º 477, de 24 de setembro de 2013, INMETRO, o qual normaliza as lâmpadas LEDs, tal lâmpada individual encerra sua vida útil quando atinge 70% de seu fluxo nominal.

Segunda essa mesma portaria, vida nominal não difere de vida útil, em citação, vida nominal é o “Período durante o qual uma lâmpada LED fornece mais de 70% do fluxo luminoso nominal”. (INMETRO Portaria n.º 477, 2013)

Vida mediana é um conceito que não é mais encontrado nas portarias do INMETRO que regulamentam as lâmpadas LEDs, porém, é um conceito presente nas portarias que normatizam as lâmpadas fluorescentes tubulares.

Citando a portaria n.º 489, de 08 de dezembro de 2010, vida mediana é “o resultado em horas, da média da queima da 10ª e da 11ª lâmpada considerando que esta vida mediana é para a amostragem de 20 lâmpadas” INMETRO Portaria n.º 489, 2010). Por tanto é um método mais estatístico com maior amostragem.

Deve ser observado que vida útil tem a ver com depreciação do fluxo luminoso, e que vida mediana tem a ver com a queima da lampada de fato. Então, se por exemplo uma lampada LED tiver informado uma vida útil de 20.000h e uma lampada fluorescente uma vida mediana de 20.000h, certamente a duração do LED é maior, já que o LED não irá queimar ao fim de sua vida útil.

Uma observação da normatização das lampadas fluorescentes é que elas devem manter 80% de seu fluxo luminoso em 2.000h de uso (INMETRO Portaria n.º 489, 2010) .Isso é interessante porque no caso dos LEDs, o lote da EMPALUX mantém 70% de seu fluxo luminoso por 25.000h, que é sua vida útil. Ignorando essa diferença de 10%, os LEDs podem oferecer algo em torno de dez vezes mais horas com um fluxo alto, já que após isso a lampada queimada ou não, pode prejudicar a ambientalização a que foi proposta. No caso da UFV, prejudicando olhos de alunos já que sem luz adequada, a leitura pode ser dificultada.

Já que a proposta desse trabalho é a comparação entre lâmpadas LED e fluorescentes, é interessante tentar ajustar os dois parâmetros para comparação. Partindo-se do princípio que deseja-se mostrar que os LEDs são menos custosos a longo prazo, apesar do maior preço de compra, e que é melhor errar para mais, do que deixar a avaliação muito justa e por tanto podendo comprometer a comparação, pode-se considerar que as lâmpadas fluorescentes irão manter 70% de seu fluxo luminoso por toda sua vida mediana. Fato improvável já que espera-se a queima ao final desse tempo. Assim, poderemos igualar vida útil dos LEDs e vida mediana das lâmpadas fluorescentes, dando margem de segurança em favor das lâmpadas fluorescentes.

2.9 Conceitos importantes da conta de energia

Existem definições importantes que devem ser esclarecidas para prever o leitor de quaisquer desentendimentos futuros quando este trabalho começar a detalhar as faturas de energia elétrica, que vão alimentar as planilhas e cálculo de economia.

Não vale a pena dedicar um tópico para cada um desses conceitos uma vez que a maioria deles são simples para os leitores que trabalham na área de engenharia elétrica. Para os leitores que não são da área, o entendimento desse trabalho irá exigir algum conhecimento prévio, ou pesquisas extras.

As palavras e conceitos mais críticos que irão pautar o entendimento da fatura de energia elétrica são:

- Consumo de energia elétrica
- Demanda
- Demanda contratada
- Demanda de ultrapassagem
- Horário de ponta
- Horário fora de ponta

Esse rápido resumo baseia-se muito neste manual produzido pela ELETROBRAS e disponibilizado pelo ministério de minas e energia, encontrado na bibliografia como (AGUIAR, 2011), caso o leitor necessite de maiores informações.

O consumo de energia elétrica é usualmente dado em kWh nas contas residenciais, é uma medida da potência elétrica (kW) consumida em um intervalo de tempo. No caso de um equipamento elétrico, é o resultado do produto da potência do equipamento pelo seu período de uso. Se um equipamento de 1kW for ligado por exatamente uma hora, ele terá consumido 1kWh. Se for ligado por meia hora, terá consumido 0,5kWh.

A demanda, expressa em kW, é definida como a média das potências, ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico durante um intervalo especificado. Por exemplo, seja o intervalo de integração da CEMIG de 15 minutos, o aparelho irá somar todas as potências durante pequenos intervalos discretos de tempo durante 15 minutos, e tirar a média desse somatório potências.

Demanda contratada é a potência que deve ser obrigatoriamente e continuamente fornecida pela concessionária no ponto de entrega durante o período de vigência do contrato. Sendo que, por mais que o cliente não utilize, o valor da demanda contratada será pago integralmente.

Demanda de ultrapassagem, também em kW, é um parâmetro importante, já que pode gerar pesadas multas para o cliente. É definida como a parcela da demanda medida que excede o valor da demanda contratada. Note que, se o valor ultrapassar em apenas um desses intervalos de 15 minutos, o cliente irá ter que arcar com os custos da multa de ultrapassagem, diretamente proporcionais a quantidade de demanda ultrapassada. Independente se aconteceu uma, ou o mês todo faturado.

Para o tipo de consumidor que a UFV se mostra, e pelo tipo de contrato firmado entre cliente e concessionária, os parâmetros de horário de ponta e horário fora de ponta são aplicáveis. Sendo que os valores de tarifas de consumo por kWh e de demanda por kW são diferenciados dependendo da hora do dia, seja em horário de ponta ou seja em horário fora de ponta.

Não convém ao objetivo desse trabalho detalhar sobre esse assunto, que rende uma boa discussão. Então, em resumo, horário de ponta é um período de 3 horas consecutivas, compreendidas das 18h00 às 21h00 (horário válidos para clientes CEMIG) com exceção de sábado, domingos e feriados nacionais, definidas pela concessionária. E horário fora de ponta são as demais 21 horas que não são referentes ao horário de ponta. Quase sempre as tarifas são superiores no horário de ponta.

3 Equipamentos

Alguns equipamentos usados para avaliação praticam desse trabalho. Obviamente as lâmpadas fluorescentes e de LED tem destaque, mas outros equipamentos e métodos para medir os dados de iluminancia e energia elétrica foram usados. Certo detalhamento e discriminação são merecidos.

3.1 Lâmpadas

Existe uma absurda quantidade de tipos e construções de lâmpadas disponíveis no mercado, cada uma com diferentes focos e diferentes utilidades. Perderia o foco detalhar cada uma delas, então esse trabalho foca principalmente nas lâmpadas fluorescentes e as lâmpadas de LED, uma vez que foi essa a proposta de substituição para o *case* de viabilidade na UFV.

Um pouco de introdução histórica será incluso uma vez que iluminação artificial mudou para sempre a humanidade. Apesar de para muitos de nós essa iluminação sempre foi muito disponível e natural, foi um enorme passo. Por tanto, está incluso nessa lista as lâmpadas incandescentes.

3.1.1 Lâmpadas Fluorescentes

Essas são lâmpadas específicas dentro das denominadas lâmpadas de descarga. Ou seja, produzem luz não pelo aquecimento de um filamento, mas pela excitação de um gás interno ao tubo de descarga. Sendo o fluxo luminoso gerado pela passagem de corrente pelo gás, e não mais diretamente pelo aquecimento do material.

Estruturalmente as lâmpadas fluorescentes consistem de um bulbo cilíndrico de vidro, preenchido com vapor de mercúrio ou argônio a baixa pressão em seu interior, com as paredes internas recobertas por fósforo.

Seu funcionamento é um pouco mais complexo que o das lâmpadas incandescentes que usam apenas o efeito de incandescência de metais. Nas lâmpadas fluorescentes em cada terminal nas extremidades existem espirais de tungstênio revestidos com substancia emissora de elétrons. Quando uma diferença de potencial é aplicada, os elétrons passam de um eletrodo para outro, viajando por entre os gases. Esse fluxo de elétrons excita os gases que emitem

radiação ultravioleta (UV). Essa, que é invisível, é convertida em radiação eletromagnética visível pela camada de fosforo, pelo efeito chamado fluorescência. (LIMA, 2013)

O funcionamento desse esquema necessita de reatores que limitam as correntes e adaptam as tensões as características da lâmpada. Esses equipamentos também têm seu consumo interno e influenciam no consumo das lâmpadas.

Explicado o que são as lâmpadas fluorescentes, é importante notar que esses componentes químicos gasosos principalmente de mercúrio aumentam custos após a vida útil do equipamento. Seu descarte é especial e tem custos muito elevados. Um dos principais pontos levantados pela Pró-reitora para a não recompra dessas lâmpadas.

Essa análise de viabilidade foi pensada em comparar justamente essa tecnologia com a tecnologia de LED, então além de aspectos construtivos, aspectos quantitativos devem ter seu lugar. Apesar de que diferentes lâmpadas e fabricantes foram usados no Pavilhão de Aulas A – PVA, as lâmpadas tubulares fluorescentes usadas não apresentam grandes diferenças em eficiência luminosa, reprodução de cor, temperatura de cor, intensidade luminosa e fluxo luminoso. Por tanto, será mostrado valores médios com base em alguns fabricantes, e esses valores podem ser usados sem muitas perdas para a análise de viabilidade.

FABRICANTE	MODELO	POTENCIA	FLUXO LUMINOSO[Im]	VIDA MEDIANA[h]
OSRAM	TUBULAR T8	32W	2350	7500
GE			2500	7500
AVANT			2100	8000
EMPALUX			2300	8000

Quadro 1 - Levantamento de parâmetros de desempenho de lâmpadas fluorescentes de 32W de potência modelo Tubular T8

Da tabela 1 é possível concluir que os parâmetros de desempenho de maior interesse, que são fluxo luminoso, vida útil, e potência, não mostram grande variação. Por tanto, para futuras referencias nesse trabalho, para lâmpadas FLC considera-se fluxo luminoso de **2400lm** e uma vida útil de **8000h**, dando uma pequena vantagem a essas lâmpadas quando forem comparadas as lâmpadas de LED.

Os reatores também consomem um adicional de energia para permitir converter e limitar as correntes e tensões provenientes da rede. Existem dois tipos de reatores, os eletromagnéticos e os eletrônicos, que são mais caros, mas consomem bem menos energia. Sendo que os eletromagnéticos são raros na construção no PVA, apenas o consumo dos

eletrônicos é de interesse nesse trabalho. De acordo com (GE Reatores, 2014) e (INTRAL, s.d.) os reatores eletrônicos tem um consumo médio de 1W para acionar duas lâmpadas de 32W. Em adicional, os reatores eletromagnéticos podem consumir até 30% do consumo das lâmpadas fluorescentes tubulares. (Rimo Elétrica)

Para o caso das lâmpadas fluorescentes, 80% da energia elétrica consumida é convertida em calor, enquanto que o restante dos 20% é convertido em luz visível (KHANNA). Ainda segundo KHANNA, para uma lâmpada tubular fluorescente de 36W, a saída de fluxo luminoso é de 2000lm, com eficiência luminosa de 55,56 lm/W.

3.1.2 Lâmpadas LED

LED é uma sigla que significa em inglês para *Light Emitting Diode*. Ou seja, em português, um diodo emissor de luz. Esse diodo é um semicondutor, com sua condutividade controlada através de processos de dopagem, que é feita adicionando materiais que alteram de forma controlada a condução de corrente elétrica. Construtivamente os LEDs são muito mais sólidos do que as lâmpadas fluorescentes.

Essas lâmpadas são muito práticas não necessitando dos velhos reatores, não necessitando componentes biologicamente perigosos como o mercúrio das lâmpadas fluorescentes. Além de consumirem muito menos potência para o mesmo fluxo luminoso em comparação com as fluorescentes.

Podem ser aplicadas em vários cenários por seu tamanho reduzido permitir integração e instalação em locais também restritos. Conforme duram muito mais horas, podem ser instaladas em locais de difícil acesso sem muita preocupação com manutenção. Fator muito importante, por exemplo, em uma caldeira de planta industrial, que raramente irá parar para permitir manutenções.

A emissão de calor também é extremamente reduzida, convertendo apenas 5% da energia em calor, todo o restante é transformado em luz. (RIBEIRO, 2010) Contribuindo não somente para a economia de energia elétrica em perdas por calor, mas em alguns ambientes, diminui o consumo de energia de sistemas refrigeradores.

As lâmpadas LEDs T8 compradas em primeiro lote pela UFV para substituição foram lâmpadas do fabricante EMPALUX de 18W. O fluxo luminoso mesmo mais baixo é razoável visto que as lâmpadas tem depreciação de sua luminosidade menor comparadas as fluorescentes.

FABRICANTE	MODELO	POTENCIA	FLUXO LUMINOSO[lm]	VIDA UTIL[h]
EMPALUX	TUBULAR T8	18W	1800	25000

Quadro 2 – Levantamento de parâmetros de desempenho de lâmpadas LED de 18W de potência modelo Tubular T8

Existem obviamente outros parâmetros de interesse que o fabricante fornece, como o fator de potência acima de garantido 0,92, IRC superior a 80% e temperatura de cor de 6.500K, ou seja, cor branca. Como não foi explicado anteriormente, o fator de potência é um parâmetro importante, já que fatores de potência baixo irão requerer energia reativa da rede, podendo sobrecarregar os transformadores da rede interna da UFV. No caso, realmente o fator de potência dos LEDs é inferior ao das lâmpadas FLC a reatores eletrônicos, que chegam a 0,99. Porém, a diferença não é tão representativa uma vez que o consumo de potência como um todo é reduzido, o consumo de potência reativa que aumenta não é representativo. Não é o foco deste trabalho descrever a fundo sobre. Esse tópico por si só tem uma infinidade de detalhes que não tem impacto monetário tão grande.

Sendo essa uma análise de viabilidade com foco econômico, o trabalho se concentra nas variáveis da tabela, os quais tem impacto direto e evidente nos custos de energia elétrica e manutenção.

Uma listagem das vantagens e desvantagens dos LEDs é válida de forma tornar objetiva a avaliação.

Dentre as vantagens podem ser citadas:

1. Ausência de metais pesados, o que torna seu descarte muito simplificado;
2. Obviamente a redução do consumo de energia elétrica com sua maior eficiência luminosa;
3. Baixo custo de manutenção devido a maior durabilidade;
4. Politicamente correto já que seu descarte inconsciente não gera problemas ambientais químicos;
5. Utiliza menos componentes em sua construção, e com seu ciclo de vida maior reduz os gastos de recursos com a fabricação de novas lâmpadas, por tanto, consome menos recursos;
6. Não emite raios IV e UV, fator importante para a redução dos danos em pele, e possibilita iluminação de obras de arte e peças históricas sensíveis a degradação;

7. É fácil utilizar lentes para redirecionar o feixe dos LEDs já que a emissão sai de uma pastilha retangular, e não de um gás;
8. Resistente a vibrações e impactos por possuir menos partes e a pastilha que realmente produz a iluminação não é um gás, é um sólido;
9. O número de vezes e frequência que o LED é ligado não altera sua vida útil;
10. Acendimento imediato;
11. Design e formas flexíveis;

Infelizmente, algumas questões devem ser atentadas para essa nova tecnologia:

1. Ainda existem no mercado lâmpadas LED que não atendem a recente certificação exigida pelo INMETRO;
2. Os preços finais nas prateleiras de mercado ainda são muito superiores as lâmpadas incandescentes ou as fluorescentes;

A alguns meses antes da certificação do INMETRO uma série de problemas eram presentes. Algumas lâmpadas tinham conversores internos problemáticos, comprometendo a durabilidade da lâmpada. Índices de reprodução também podia ser bem duvidosos, mesmo para o mesmo fluxo de iluminação. Não existia confirmação de que o consumo era o informado. Por mais que ainda hoje existam lâmpadas que não possuam o selo, agora o consumidor por procurar por LEDs que tenham tal certificação.

Um dado interessante é que o fluxo de luz nas lâmpadas LED são bem direcionais, entregando luz onde é necessário. Para lâmpadas fluorescentes, o ângulo de disparo é de 360°, enquanto que para o LED é de 120° (KHANNA). Isso contribui para a eficiência do LED, que para 16W de alimentação, tem saída de fluxo luminoso de 2000lm, ou seja, 125 lm/W, bem superior a lâmpada fluorescente informada anteriormente com 55,56 lm/W. Ambas as fichas técnicas retiradas do livro de KHANNA.

3.2 Wattímetro

Para medição dos parâmetros de desempenho de potência e consumo, um medidor de potência foi usado, um wattímetro simples, o PZEM-061 do fabricante peacefair.

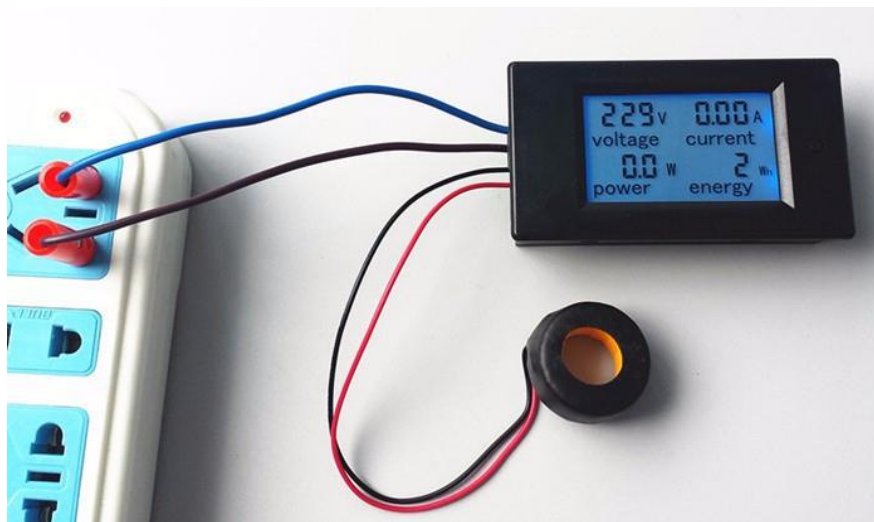


Figura 2 – Wattímetro PZEM-061 ligado a vazio. Fonte: Amazon

A ligação conforme imagem acima permite que o equipamento mensure o consumo de potência ativa das salas de interesse ao ser ligado no circuito. No PVA – UFV os quadros são bem divididos e os circuitos de iluminação bem separados, permitindo facilmente uso do equipamento.

Convém notar que o aparelho de medição não foi calibrado, então suas medidas podem divergir em algum grau da realidade. Porém, os dados obtidos foram coerentes com os valores esperados. Servindo então como um reforçador, não como um pilar para tomada de decisão.

3.3 Luxímetro Digital

Em citação a NBR15215-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) “As medidas de iluminância (lux) são feitas com auxílio de fotômetros denominados Luxímetro, os quais consistem em um sensor fotométrico, geralmente de silício ou selênio, com um filtro de correção ótica, conectado a um circuito de tratamento do sinal, com um visor digital ou analógico.”

O Luxímetro usado para medir a iluminância nas salas e comparar as lâmpadas foi o Luxímetro MLM-1011 do fabricante Minipa. Instrumento este certificado segundo as exigências da NBR15215-4.

MODELO: MLM-1011



Figura 3 – Luxímetro. Fonte: Minipa

Esse aparelho funciona de maneira bastante simples, basta retirar a tampa azul do sensor, fixa-lo no local de interesse e ligar o aparelho. É importante começar com a maior escala possível, e ir reduzindo de acordo com o resultado mostrado no display. Após a seleção da escala correta, o display irá exibir quantitativamente quantos lux estão chegando naquele ponto.

Apesar de o aparelho ser bem simples, medir a iluminancia de um local não é tão simples. Alguns procedimentos devem ser seguidos conforme a NBR1525-4. Procedimento que será descrito nas seções de resultados.

4 Estudo de Caso

Cada estrutura, empreendimento, local, ou estabelecimento tem suas próprias necessidades de iluminação, por exemplo, não importa o quanto as lâmpadas fluorescentes fossem melhores que as incandescentes em termos de eficiência elétrica, as obras de arte da cidade histórica de Ouro Preto não poderiam ser exibidas usando lâmpadas fluorescentes que

emitem raios ultravioletas, pois isso causaria deterioramento. Além disso, se o investidor deseja um retorno em no máximo um ano, a pergunta a ser feita é quanto tempo as lâmpadas ficariam acessas para gerar a redução na fatura de energia? No caso do PVA, somente 10 meses por ano as salas são preenchidas, no caso da BBT, quase o ano todo. Então, é necessário detalhar as condições do lugar antes de começar os cálculos.

4.1 Detalhamento da utilização das salas

Segundo o relatório encomendado pela UFV feito pela CDM – Cooperação para o Desenvolvimento e Morada Humana - no ano de 2016, o PVA tinha a contagem para salas de aula de 854 lâmpadas tubulares T8 de 120cm (centímetros) com potência nominal de 32w e 48 lâmpadas tubulares T8 de 60cm com potência nominal de 16w. Além de algumas outras lâmpadas fluorescentes nas salas de setor administrativo, depósito e circulação, que correspondem a menos de 10% das lâmpadas do pavilhão de aulas todo.

Para simplicidade de cálculos, esse trabalho irá considerar que apenas as lâmpadas das salas de aula serão trocadas, uma vez que elas têm maior impacto no total das lâmpadas do edifício. Além do que, o uso das salas de aulas é previsível. Esse trabalho também só irá considerar apenas as lâmpadas de 120cm, que são inclusive mais eficientes que as lâmpadas de 60cm.

O cenário total, que incluiria áreas de circulação, depósito e etc. pode acompanhar as mesmas tabelas e cálculos propostos, porém, para o leitor pode ser complicado acompanhar todos os detalhes de utilização de cada uma das áreas. Além de que o trabalho cumpre bem seu propósito apresentando cálculos relativos apenas as salas de aula. Quaisquer outros estudos baseados em outros locais e características podem tomar como base esses mesmos cálculos sem grandes dificuldades, desde que respeitando as utilizações das lâmpadas e propósitos dos locais.

Existem lâmpadas LED compatíveis com as luminárias existentes no edifício as quais estão instaladas as lâmpadas fluorescentes, dessa forma, a substituição se daria com a retirada das lâmpadas fluorescentes junto com seus reatores, e a instalação das lâmpadas LED T8 novas que não necessitam reatores. Fiação e soquetes (tipo G13) seriam por tanto reaproveitados.

Ainda segundo o diagnóstico encomendado em 2016, o pavilhão de aulas possui iluminação natural fraca, algumas salas com teto com cor escura, fazendo com que seja necessário o uso de iluminação artificial quase que em tempo integral durante as aulas.

Em período letivo o regime de utilização das salas de aula é de segunda a sábado, segue iniciando às 7h e encerrando as 22h. Essas salas tem um uso médio das lâmpadas, considerando fatores de utilização e o uso das salas, de 10h por dia. Sendo 7h no horário fora de ponta, e 3h no horário de ponta. A estimativa de tempo foi criada baseada no plano de aula de dois semestres letivos, 2015/2 e 2016/1.

O edifício não funciona o ano todo, sendo o período de férias acontecendo durante 15 em julho, 15 dias de dezembro, e por todo mês de janeiro e fevereiro. Para segurança de cálculos, e simplicidade, esse trabalho considera ainda que as lâmpadas não serão utilizadas nos sábado, já que nesse dia o edifício só funciona no período da manhã, ou seja, fora do horário de ponta. Por tanto, em média, o edifício funciona por 22 dias úteis no mês, em 9 meses do ano.

Durante o estudo feito pela empresa CDM em 2016, 3,48% das lâmpadas do PVA estavam queimadas, porém, por observação muitas estão com funcionamento precário, ou seja, não fornecendo o fluxo luminoso necessário à para manter a intensidade de iluminação para a atividade exercida nas salas de aula.

4.2 Avaliação Econômica (*pay back time*)

Finalmente é aqui que o trabalho irá mostrar o quanto realmente é vantajoso instalar ou não os LEDs no lugar das lâmpadas fluorescentes. É importante dizer que cenários reais podem se mostrar muito diferentes dependendo do quanto o projetista conseguir coletar de detalhes. Por exemplo, o leitor pode pensar que a troca seria total, ou seja, retirar todas as lâmpadas fluorescentes e colocar as lâmpadas de LED já em primeiro momento. Porém, não foi o caso. A UFV foi trocando as lâmpadas em lotes.

Especificamente no caso da BBT em que uma quantidade enorme de lâmpadas fluorescentes, ainda funcionais, foram retiradas do último andar para dar lugar ao primeiro lote de LEDs, para então substituírem lâmpadas queimadas nos andares abaixo, é possível que na verdade é o consumo tenha aumentado, já que foram substituídas apenas as lâmpadas fluorescentes não funcionais. Isso é claro, ignorando os fatores de qualidade.

Nesse caso, a economia em termos monetários se dará mais longo prazo à medida que as lâmpadas fluorescentes, que estavam de fato consumindo energia, forem queimando e substituídas pelos LEDs. No curto prazo o que aconteceu na BBT foi um aumento enorme na iluminância, porém é bem provável que o consumo e demanda também tenham aumentado, já que menos lâmpadas queimadas estão nos sockets.

Esse cenário será avaliado mais à frente. Agora o foco é o cenário padrão, que esse trabalho tratará como o cenário ideal, com as seguintes considerações: as lâmpadas fluorescentes, e reatores instalados funcionavam com rendimento nominal, fornecendo todo fluxo luminoso inicial e consumindo a potência nominal. Por tanto, as lâmpadas estariam cumprindo seu propósito fornecendo iluminação artificial suficiente para o local de trabalho.

4.2.1 Cenário teórico ideal

São três os principais fatores, econômicos, que irão pautar a avaliação econômica:

1. Demanda
2. Consumo
3. Manutenção

Separando por partes, e começando pela demanda, conceito já descrito nas definições, a seguinte tabela mostra os valores de demanda do LED tubular T8 120cm de 18W em comparação com as lâmpadas fluorescentes tubular T8 120cm de 32W juntamente com os reatores eletrônicos, que consomem usualmente 2W para alimentar duas lâmpadas de 32W.

Quadro 3 - Comparativo de demanda entre as lâmpadas

COMPARATIVO DEMANDA LED FLUORESCENTE POR LAMPADA [PARAMETROS DO FABRICANTE]	
DEMANDA LED [W]	18,0000
DEMANDA FLUORESCENTE + REATOR [W]	33,0000
Redução de DEMANDA [W]	15,0000

A partir das faturas de energia da UFV dos anos de 2015 e 2016 o seguinte quadro de tarifas se faz necessário. Observando que os impostos foram ignorados já que esse não era o objetivo do trabalho, e que os impostos incididos dependem de muitas variáveis burocráticas. Ignora-se também as variações que ocorrem nas tarifas, mas que são complicadas de se prever.

Quadro 4 – Tarifas de demanda cobradas pela concessionária a UFV.

TARIFAS	
Demanda em Horário Fora Ponta [kW]	R\$ 10,184900
Demanda em Horário Fora Ponta Ultrapassagem[kW]	R\$ 20,272500
Demanda em Horário Ponta [kW]	R\$ 33,898300
Demanda em Horário Ponta Ultrapassagem [kW]	R\$ 67,796600

Para saber o quanto de economia será gerado com a queda de demanda, em horário de ponta e fora de ponta, é necessário conhecer os parâmetros das salas de aula no PVA, que já foram citados anteriormente nesse texto, no entanto, esses parâmetros estão em quadro para facilitar visualização. Importante notar que o tempo por dia em horário de ponta e fora de ponta foi estimado, no quadro ele é menor do que o número de horas que de fato as salas são usadas. Porém algumas salas ficam vazias por algumas horas e isso foi contabilizado.

Quadro 5 – Parâmetros das salas de aula do PVA

PARAMETROS DAS SALAS DE AULAS PVA	
TEMPO POR DIA EM HORARIO DE PONTA [h]	3
TEMPO POR DIA EM HORARIO FORA DE PONTA [h]	7
QUANTIDADE DE LAMPADAS T8 32W FLUORESCENTES	854
DIAS DE UTILIZAÇÃO POR MÊS LETIVO	24

Com os dados de potência, fornecidos pelo quadro 3, e dos parâmetros de sala fornecidos pelo quadro 5, tem-se suficientes dados para encontrar a redução na demanda. Porém algumas considerações antes. Nesse caso, mesmo que exista redução na demanda, lembra-se que redução na demanda não irá reduzir o preço do contrato de demanda. Apenas a ultrapassagem na demanda é passível de cobrança extra, por tanto, a economia só pode vir na redução da demanda de ultrapassagem. Outro ponto importante é que nem todos os meses letivos aconteceu ultrapassagem na demanda. Nas contas de energia em anexo, dos anos de 2015 e 2016, apenas 2 dos 10 meses letivos não incorreram em multa, então, um fator de redução de 8/10 foi multiplicado aos valores de redução de demanda.

Quadro 6 – Redução na demanda por lâmpada tubular fluorescente substituída por LED

REDUÇÃO NA DEMANDA POR LAMPADA [kW]	
Redução de demanda em Horário Fora Ponta [kW]	0,000000
Redução de demanda em Horário Fora Ponta Ultrapassagem[kW]	0,012000
Redução de demanda em Horário Ponta[kW]	0,000000
Redução de demanda em Horário Ponta Ultrapassagem[kW]	0,012000

Quadro 7 – Economia gerada pela redução na demanda por lâmpada tubular fluorescente substituída por LED

ECONOMIA NA DEMANDA POR LAMPADA [R\$]	
Redução de demanda em Horário Fora Ponta	R\$ 0,000000
Redução de demanda em Horário Fora Ponta Ultrapassagem	R\$ 0,243270
Redução de demanda em Horário Ponta	R\$ 0,000000
Redução de demanda em Horário Ponta Ultrapassagem	R\$ 0,813559

Agora, o cálculo de consumo é simples, esse valor de consumo em Wh deve ser separado entre o horário de ponta e o horário fora de ponta. Multiplicando as horas de funcionamento e a diferença de potência/demanda das lâmpadas o seguinte quadro mostra o resultado em Wh.

Quadro 8 – Redução no consumo por lâmpada tubular fluorescente substituída por LED

ECONOMIA NO CONSUMO POR DIA DE USO [Wh]	
Redução de consumo em Horário Fora Ponta [Wh]	105,0000
Redução de consumo em Horário Ponta [Wh]	45,0000

Com base nessa economia, e nos valores de tarifas para cada kWh, basta multiplicar os valores de redução, que devem ser convertidos em kWh, pelo valor de tarifa. Tendo como resultado a diferença de consumo de energia entre o uso das lâmpadas fluorescentes e LED, mostrada no quadro 10.

Quadro 9 – Tarifas de consumo cobradas pela concessionária a UFV.

TARIFAS	
Consumo em Horário Fora Ponta	R\$ 0,400859
Consumo em Horário Ponta	R\$ 0,556927

Quadro 10 – Economia gerada pela redução no consumo por lâmpada tubular fluorescente substituída por LED

ECONOMIA NO CONSUMO POR DIA DE USO [R\$]	
Redução de consumo em Horário Fora Ponta	R\$ 0,042090
Redução de consumo em Horário Ponta	R\$ 0,025062

A diferença nos custos de manutenção não é tão evidente. Mas também não é muito complexo. Esse trabalho partiu do princípio de que se vida útil e vida mediana são dadas em horas, então é possível calcular, em estimativa, o quanto custa cada lâmpada por hora de funcionamento. Incluindo obviamente os custos de substituição, que foram estimados em 5

reais, para a instalação, e mais 5 reais para retirada, segundo levantamento feito no diagnóstico encomendado pela UFV em 2016.

O quanto uma lâmpada custa por hora de funcionamento, excluindo os custos com energia elétrica, é simples. Bastando somar o custo unitário da lâmpada em questão ao custo de substituição, e dividir esse valor pelo número de horas que se espera que a lâmpada funcione. Lembrando de que, no caso das lâmpadas fluorescentes, o reator eletrônico tem vida útil muito mais elevada, porém, também tem custo muito elevado, então o valor por hora de vida do reator também deve ser levado em conta. O quadro abaixo mostra esses custos.

Quadro 11 – Custo de manutenção por hora para os componentes de interesse

CUSTO DE MANUTENÇÃO POR HORA PARA CADA COMPONENTE [R\$]	
LAMPADA FLUORESCENTE	R\$ 0,00253333
REATOR ELETRONICO	R\$ 0,00038540
LAMPADA LED	R\$ 0,00105280

Multiplicando esses valores pelo número de horas utilizado por dia letivo, e pelo número de dias letivos que compõe o mês letivo, o quadro 12 resume o quanto de economia poderia se ter por mês ao substituir uma lâmpada fluorescentes por LED.

Quadro 12 – Resumo da economia por mês letivo da substituição de uma lâmpada

ECONOMIA POR MÊS LETIVO POR LAMPADA [R\$]	
DEMANDA	R\$ 1,056829
CONSUMO	R\$ 1,611645
MANUTENÇÃO	R\$ 0,447824
TOTAL DE ECONOMIA POR LAMPADA POR MÊS LETIVO	R\$ 3,116298
ECONOMIA ANUAL COM 10 MESES LETIVOS [R\$]	R\$ 31,16

De posse da economia gerada pela substituição de uma lâmpada fluorescente tubular T8 de 32W por uma de LED equivalente em fluxo luminoso, porém consumindo 18W, é necessário avaliar o custo inicial para então projetar o tempo em que o investimento irá se pagar. O quadro abaixo mostra os valores.

Quadro 13 – Resumo da economia por mês letivo da substituição de uma lâmpada fluorescente por LED

INVESTIMENTO E PROJEÇÕES POR LAMPADA	
CUSTO INICIAL MÃO DE OBRA [R\$]	R\$ 10,00
VALOR INICIAL PAGA MÃO DE OBRA + LAMPADA [R\$]	R\$ 26,32
PROJEÇÃO DE RETORNO [MESES LETIVOS]	8
PROJEÇÃO DE ECONOMIA LIQUIDA EM 3 ANOS [R\$]	R\$ 67,17
PROJEÇÃO DE ECONOMIA LIQUIDA EM 6 ANOS [R\$]	R\$ 160,66

Convém detalhar que a diferença inicial paga é a soma do custo unitário do LED com a mão de obra da retirada da lâmpada fluorescente e a instalação do LED. O tempo de retorno em meses letivos é simplesmente a divisão dessa diferença inicial paga pelo total de economia por lâmpada substituída em um mês letivo. Economia líquida, como o nome já diz, é o valor de economia já retirados os custos de instalação.

Sabendo que existem 854 lâmpadas a serem trocadas nas salas de aula do PVA, basta multiplicar os valores anteriormente por lâmpada para obter o valor de investimento caso exista o real desejo de substituir todas as lâmpadas.

Quadro 14 – Resumo da economia por mês letivo da substituição de todas as lâmpadas das salas de aula por fluorescente por LED

ECONOMIA POR MÊS LETIVO POR 854 LAMPADAS [R\$]	
DEMANDA	R\$ 902,53
CONSUMO	R\$ 1.376,34
MANUTENÇÃO	R\$ 382,44
TOTAL DE ECONOMIA POR LAMPADA POR MÊS LETIVO	R\$ 2.661,32
ECONOMIA ANUAL COM 10 MESES LETIVOS [R\$]	R\$ 26.613,18

INVESTIMENTO E PROJEÇÕES PARA SUBSTITUIÇÃO TOTAL DAS SALAS	
CUSTO INICIAL MÃO DE OBRA [R\$]	R\$ 8.540,00
VALOR INICIAL PAGA MÃO DE OBRA + LAMPADA [R\$]	R\$ 22.477,28
PROJEÇÃO DE ECONOMIA LIQUIDA EM 3 ANOS [R\$]	R\$ 57.362,27
PROJEÇÃO DE ECONOMIA LIQUIDA EM 6 ANOS [R\$]	R\$ 137.201,83

Então por fim seja o cenário da substituição das 854 lâmpadas fluorescentes tubulares T8 120cm de potência nominal aproximada de 32W e dos reatores eletrônicos, que consomem em média 2W, pelas lâmpadas tubulares LED também T8 de 120cm, utilizando o mesmo soquete e luminária, geraria uma economia anual, sendo 10 meses letivos no ano, de R\$25.491,94.

Cálculo feito considerando que as lâmpadas instaladas a *priori* estavam em funcionamento pleno e nominal, o que é longe da realidade já que o INMETRO permite que as lâmpadas fluorescentes tenham decréscimo de fluxo luminoso até 70% do valor nominal ao se passar de 1000h de funcionamento. Pensando no constante desejo por redução de custos, dificilmente se imagina que as lâmpadas mantem muito acima desse valor nessa faixa de tempo de trabalho.

Há de se notar também que segundo o diagnostico entregue a pró-reitoria em 2016, certa de 3,48% das lâmpadas em relação a totalidade das lâmpadas do edifício PVA estavam queimadas. Por tanto, se fosse feita a substituição integral, parte da substituição seria a retirada de lâmpadas que não estão funcionando, ou seja, não estão consumindo energia alguma, por lâmpadas de LED que consumiriam 18 Watts. Além de que na pratica, este autor esperava que as lâmpadas fluorescentes estivessem consumindo menos energia, já que a maioria das lâmpadas vistoriadas no PVA apresentaram fluxo luminoso depreciado. Dificilmente, em hipótese, toda energia que não era convertida em fluxo luminoso seria convertida em calor. Como um potenciômetro que quando aumenta a sua resistência a passagem de corrente reduz em consequência a potência consumida, era uma hipótese interessante.

4.2.2 Cenário real

Agora, em favor de projeções mais realistas, foram feitas medidas de potência com o wattímetro, já descrito neste trabalho, em duas salas do PVA. Uma das salas contendo lâmpadas fluorescentes apenas, e outra contendo as novas lâmpadas de LED. Ambas as salas contendo a mesma quantidade de lâmpadas, sendo 16 lâmpadas, espalhadas em 4 luminárias de 4 lâmpadas. A sala PVA 134 com lâmpadas fluorescentes, e a sala PVA 223 com os LEDs instalados.

Quadro 15 – Medição de demanda feita nas salas utilizando wattímetro

COMPARATIVO DE DEMANDA MEDIDA ENTRE AS SALAS	
PVA 134	311 W
PVA 223	502,5 W

Em observação, nesse cenário real, todas as lâmpadas de LED estavam em pleno funcionamento. Enquanto que uma das lâmpadas fluorescentes da sala 223 estava queimada, e as demais já estavam com seu fluxo luminoso reduzido. Utilizando o contexto de que 3,48%

das lâmpadas fluorescentes poderiam estar queimadas, é justo incluir essa lâmpada queimada nos cálculos de consumo médio por lâmpada. Por tanto, basta dividir o consumo total, pelo número de lâmpadas das salas medidas, queimada ou não, que é 16.

Quadro 16 – Comparativo de demanda medida entre as lâmpadas

COMPARATIVO DEMANDA LED FLUORESCENTE POR LAMPADA [MEDIDO]	
DEMANDA LED [W]	19,4375
DEMANDA FLUORESCENTE [W]	31,4063
Redução de DEMANDA [W]	11,9688

Fora essa variação de demanda, considera-se os mesmos parâmetros e tarifas dos quadros mostrados no cenário real. Como resultado da menor diferença de potência entre as lâmpadas, a economia por mês letivo foi reduzida.

Quadro 17 - Resumo da economia por mês letivo da substituição de uma lâmpada

ECONOMIA POR MÊS LETIVO POR LAMPADA[R\$]	
DEMANDA	R\$ 0,843262
CONSUMO	R\$ 1,285958
MANUTENÇÃO	R\$ 0,447824
TOTAL DE ECONOMIA POR LAMPADA POR MÊS LETIVO	R\$ 2,577044
ECONOMIA ANUAL COM 10 MESES LETIVOS [R\$]	R\$ 25,77

E obviamente a projeção de *pay-back* aumentou, já que os custos iniciais pelo equipamento e pela mão de obra permanecem os mesmos. Dois meses a mais em comparação com o cenário ideal teórico descrito anteriormente.

Quadro 18 - Resumo da economia por mês letivo da substituição de uma lâmpada fluorescente por LED

INVESTIMENTO E PROJEÇÕES POR LAMPADA [R\$]	
CUSTO INICIAL MÃO DE OBRA [R\$]	R\$ 10,00
VALOR INICIAL PAGA MÃO DE OBRA + LAMPADA [R\$]	R\$ 26,32
PROJEÇÃO DE RETORNO [MESES LETIVOS]	10
PROJEÇÃO DE ECONOMIA LIQUIDA EM 3 ANOS [R\$]	R\$ 50,99
PROJEÇÃO DE ECONOMIA LIQUIDA EM 6 ANOS [R\$]	R\$ 128,30

Porém, é notável através do cenário completo, mesmo que ligeiramente menos interessante, o quanto o investimento em tecnologia LED se mostra efetivamente válido frente as lâmpadas fluorescentes. Conforme mostra o quadro abaixo.

Quadro 19 - Resumo da economia por mês letivo da substituição de todas as lâmpadas das salas de aula por fluorescente por LED

ECONOMIA POR MÊS LETIVO POR 854 LAMPADAS [R\$]	
DEMANDA	R\$ 720,15
CONSUMO	R\$ 1.098,21
MANUTENÇÃO	R\$ 382,44
TOTAL DE ECONOMIA POR LAMPADA POR MÊS LETIVO	R\$ 2.200,80
ECONOMIA ANUAL COM 10 MESES LETIVOS [R\$]	R\$ 22.007,95

INVESTIMENTO E PROJEÇÕES PARA SUBSTITUIÇÃO TOTAL DAS SALAS	
CUSTO INICIAL MÃO DE OBRA [R\$]	R\$ 8.540,00
VALOR INICIAL PAGA MÃO DE OBRA + LAMPADA [R\$]	R\$ 22.477,28
PROJEÇÃO DE ECONOMIA LIQUIDA EM 3 ANOS [R\$]	R\$ 43.546,58
PROJEÇÃO DE ECONOMIA LIQUIDA EM 6 ANOS [R\$]	R\$ 109.570,45

4.3 Avaliação de iluminância

Convém verificar o quanto o LED proporciona de iluminância em lux. Que é o principal indicador mostra o quão efetivo a iluminação artificial está sendo, no caso das salas de aula em que um IRC não muito alto é requerido. A proposta é simples, medir a iluminância das duas salas, uma com LED e outra com fluorescente, e comparar com a simulação feita no software Softlux. Esse software mostra o um cenário ideal considerando fluxo luminoso nominal das lâmpadas. É uma forma de atestar o quanto o LED, que já está a um ano funcionando, ainda fornece de fluxo luminoso, e o quanto as lâmpadas fluorescentes já depreciaram.

Não foi o objetivo deste trabalho resenhar sobre como fazer um cálculo luminotécnico, visto que não era intenção da universidade refazer o cálculo a se escolher uma lâmpada de LED. A ideia era usar tabelas de conversão que os próprios fabricantes utilizavam e encontrar a potência de lâmpada LED que fosse equivalente em fluxo de iluminação as lâmpadas fluorescentes.

Então, a simulação será colocada, juntamente com os dados que alimentaram o software, porém, sem muitos detalhes. O objetivo é apenas avaliar os resultados. Como fazer o cálculo luminotécnico pode ser facilmente encontrado em livros, e na rede.

Os resultados foram:

Quadro 20 – Comparativo de iluminancia simulada entre as salas

COMPARATIVO DE ILUMINANCIA SIMULADA ENTRE AS SALAS	
PVA 134	316 lux
PVA 223	245 lux

Que pode ser comparado diretamente com os resultados medidos

Quadro 21 – Comparativo de iluminancia medida entre as salas utilizando o luxímetro e o método ponto a ponto

COMPARATIVO DE ILUMINANCIA MEDIDA ENTRE AS SALAS	
PVA 134	271 lux
PVA 223	285 lux

A simulação foi alimentada com os seguintes parâmetros, mostrados no próprio relatório do programa softlux. Maiores informações sobre como se desenvolve um projeto luminotécnico podem ser encontradas em (MAIA, VILAR, *et al.*, 2011).

Figura 4 – Cálculo luminotécnico sala PVA 223 com lâmpadas LED

CÁLCULO LUMINOTÉCNICO

DADOS DO AMBIENTE

Ambiente: PVA 223 LED

Dimensões:

Comprimento:	8,10 m
Largura:	8,60 m
Pé direito:	3,00 m
Plano de trabalho:	0,75 m
Altura de suspensão:	0,00 m

Cores e refletância: Média

Teto:	70
Parede:	70
Piso:	20

Condições do ambiente: Limpo

Fator de perdas luminosas: 0,8

Fluxo luminoso: 3700 lm

Fator de reator: 1,00

Tipo de atividade: Sala de aula

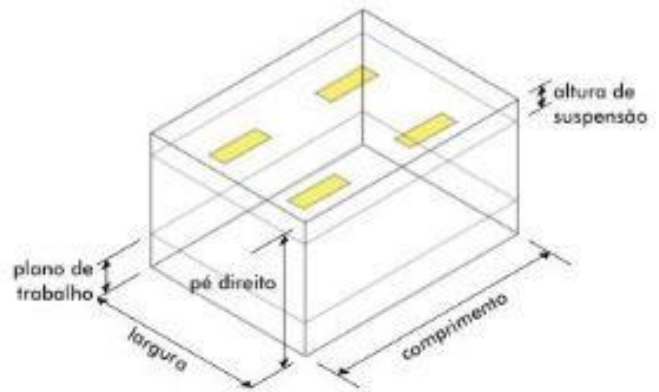


Figura 5 - Cálculo luminotécnico sala PVA 134 com lâmpadas fluorescentes

CÁLCULO LUMINOTÉCNICO

DADOS DO AMBIENTE

Ambiente: PVA 134 FLC

Dimensões:

Comprimento:	8,50 m
Largura:	5,60 m
Pé direito:	3,30 m
Plano de trabalho:	0,75 m
Altura de suspensão:	0,00 m

Cores e refletância: Média

Teto:	70
Parede:	40
Piso:	20

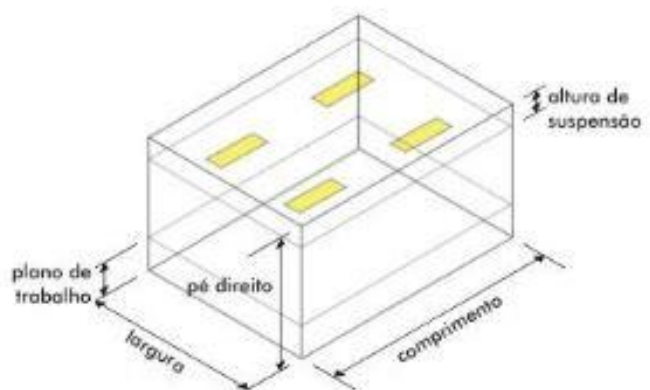
Condições do ambiente: Limpo

Fator de perdas luminosas: 0,8

Fluxo luminoso: 4800 lm

Fator de reator: 1,00

Tipo de atividade: Sala de aula



O fluxo luminoso mostrado nas figuras acima é o dobro do fluxo luminoso de uma lâmpada, de LED ou fluorescente. Já que o programa só usa luminárias de duas lâmpadas, e no PVA se usa luminária de quatro lâmpadas. Então, cada lâmpada no software, equivale ao fluxo luminoso de duas lâmpadas usadas nas salas.

Os resultados ponto a ponto das simulações se encontram abaixo:

Figura 6 – Nível de iluminancia em lux ponto a ponto na sala PVA 134 com lâmpadas fluorescentes

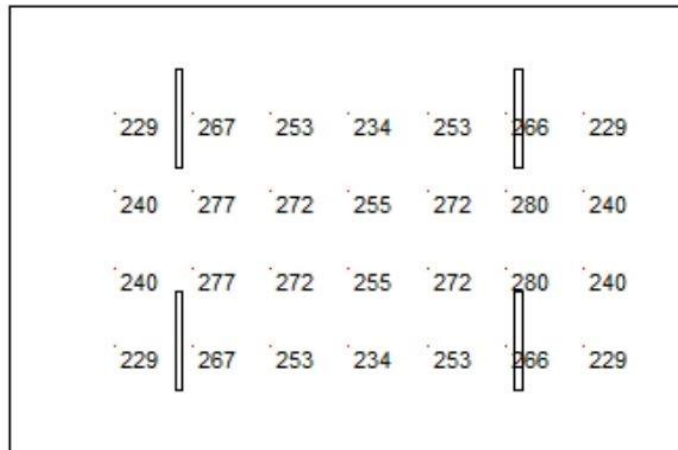
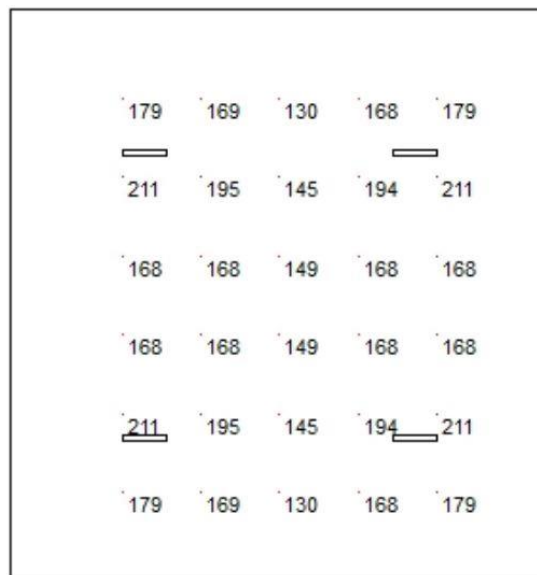


Figura 7 - Nível de iluminancia em lux ponto a ponto na sala PVA 223 com lâmpadas LED



As dimensões da sala estão também mostradas nas figuras 5 e 6, mostrando que a sala com lâmpadas LED é consideravelmente maior. Observe também que a sala PVA 223 foi repintada de branco, com exceção do chão. No PVA 134, com as lâmpadas fluorescentes, a sala tem pintura de paredes cor cinza em parte, cor branca em outra e janelas pintadas de cinza. O teto é inteiramente branco. Então, a refletância média é mais alta na sala com LED.

Em favor da sala com lâmpadas fluorescentes teria-se o maior fluxo luminoso nominal, e a área reduzida da sala. Para a sala PVA 223, a maior refletância média. O ideal seria a comparação usando as mesmas salas, porém não foi possível pois os lotes com LED acabaram muito rápido.

Mesmo assim, é possível tirar algumas conclusões com os resultados do quadro 20 em comparação com o quadro 21. Ora, se a sala com LED se esperava uma iluminância de 245, e de fato foi próximo do encontrado em medição, enquanto que a sala que tinha lâmpadas fluorescentes se esperava iluminação de 316, que foi longe do medido, o LED então mostrou que é bastante eficiente em cumprir seu propósito, que é fornecer a iluminação adequada.

Nota-se ainda que uma das lâmpadas fluorescentes queimaram durante o intervalo em que as medidas desse trabalho foram feitas. E que as lâmpadas fluorescentes remanescentes no PVA são constantemente substituídas no processo de *retrofit*, que é o uso de lâmpadas fluorescentes funcionais que foram substituídas por LED e guardadas em depósito, para substituir lâmpadas fluorescentes queimadas em ambientes que ainda não contam com esse investimento. Então aquelas lâmpadas da sala PVA 134 provavelmente tem anos de uso. Por fim, comparar lâmpadas fluorescentes com lâmpadas LED novas não parece razoável.

É realmente importante que o leitor entenda que essa comparação mostra que o LED quase nada depreciou com um ano de uso. Enquanto que as lâmpadas fluorescentes podem depreciar muito seu fluxo luminoso, e ainda iriam continuar sendo usadas. Com ambas salas com lâmpadas novas, é provável que a sala com fluorescentes tivesse iluminância superior, como mostra a simulação. Em todo caso, o LED superou as expectativas até da simulação. Enquanto que o fluorescente ficou abaixo das expectativas.



Figura 8 – Sala PVA 134 à esquerda com lâmpadas fluorescentes, sala PVA 223 à direita com lâmpadas LED, ambas bem iluminadas apesar do maior volume a iluminar na sala 223

5 *Conclusões*

O cenário ideal aqui considerado é um pouco fora da realidade da maioria dos casos de substituições que o autor desse trabalho acompanhou, como as substituições feitas em ambiente industrial. Lugares onde devido à enorme quantidade de lâmpadas não é incomum que elas não estivessem fornecendo fluxo necessário ao projeto iluminotécnico proposto em consequência da falta de manutenção. Por tanto, é necessário para precisão e garantia dos cálculos verificar o que se tem na realidade, esta sim desconta todos os detalhes, considerados ou não.

Uma forma interessante de avaliar quantitativamente o quanto a vida útil do LED é superior a das lâmpadas fluorescentes foi comparar os conceitos de vida útil usados para o LED e de vida mediana, usadas para lâmpadas fluorescentes. Ambas definições explícitas nas portarias do INMETRO que normatizam as lâmpadas. Ao fazer a equivalência de vida útil com vida mediana, se considera que o LED irá queimar ao fim da vida útil, o que não acontece, fazendo com que então a seguridade dos cálculos seja mantida. Igualando as definições parece razoável considerar que as lâmpadas tem um custo por hora de funcionamento, sendo o custo da lâmpada, somado ao custo de instalação, dividido pela vida útil, ou vida mediana. A diferença entre os valores de custo da lâmpada de LED e da lâmpada fluorescente é um indicador do quanto a lâmpada de LED leva a melhor em custos de manutenção.

Com base nas medições do wattímetro usado, e dos catálogos do fabricante, ambos os cenários foram consistentes em mostrar que a substituição por LED é de fato interessante para redução das faturas de energia. Reduzindo tanto demanda, quanto consumo. Com o tempo de retorno de investimento em torno de 8 meses para o cenário ideal, e 10 meses no cenário real considerado.

Luxímetro e simulação serviram de suporte para mostrar que as lâmpadas de LED foram suficientes para manter a iluminância das salas igual ou superior a iluminância fornecida pelas lâmpadas fluorescentes. Mesmo que as lâmpadas fluorescentes já estejam mais velhas, as lâmpadas de LED também tem por volta de um ano, porém, superaram as expectativas da simulação. Ou seja, foram eficientes em manter seu fluxo luminoso.

6 *Referências Bibliográficas*

AGUIAR, J. C. R. **Ministério de Minas e Energia**, agosto 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20El%20-%20Procel_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf>. Acesso em: 04 novembro 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15215-4 : Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Métodos de medição**. Rio de Janeiro. 2004. p. 2.

BRANDÃO, C.; GOMES, M. B.; AFONSO, C. **Educação Ambiental: O caso das lâmpadas usadas**. Rio de Janeiro: Instituto de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011. p. 1.

CAVALIN, G.; CERVELIN, S. **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS PREDIAIS**. 14^a. ed. [S.l.]: Érica Ltda, 2006. p. 66.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 15^a. ed. [S.l.]: LTC, 2007. p. 162.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**, agosto 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA%2013-14%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>>. Acesso em: 14 novembro 2017. p. 40.

FERREIRA, J. Z. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LÂMPADAS FLUORESCENTES**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2014.

GE , 2015. Disponível em: <http://www.gelighting.com/LightingWeb/br/images/catalogo-produtos-2015_tcm388-90024.pdf>. Acesso em: 13 setembro 2017. p. 19.

GE **Reatores**, 2014. Disponível em: <http://www.gelighting.com/LightingWeb/br/images/Reatores%20T8%20T10_tcm388-78559.pdf>. Acesso em: 02 julho 2017. p. 34.

INMETRO. **LÂMPADA LED**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/cartilhas/lampada-led/lampadaled.pdf>>. Acesso em: 26 outubro 2017.

INMETRO **Portaria n.º 477**, 24 setembro 2013. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002030.pdf>>. Acesso em: 29 outubro 2017. p. 5, p. 17.

INMETRO **Portaria n.º 489**, 08 dezembro 2010. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001644.pdf>>. Acesso em: 29 outubro 2017. p. 27.

INTRAL. Disponível em: <<http://intral.com.br/produtos/31/0/9/149>>. Acesso em: 24 outubro 2017.

KHANNA, V. K. Fundamentals of Solid-State Lighting. [S.l.]: CRC Press. p. 401-406.

LETA, F. R. et al. METROLOGIA POR IMAGEM. [S.l.]: Elsevier, 2017.

LIMA, V. A. A. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LÂMPADA COM LED DE ALTA POTÊNCIA E LÂMPADAS COMUNS, CONSIDERANDO A VIABILIDADE ECONÔMICA. Curitiba. 2013. p. 25.

MAIA, A. C. B. et al. Ministério de Minas e Energia, agosto 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/MANUAL%20DE%20ILUMINACAO%20-%20PROCEL_EPP%20-AGOSTO%202011.pdf>. Acesso em: 26 outubro 2017.

MAMEDE, J. Instalações Elétricas. 6^a. ed. [S.l.]: LTC, 2009. p. 35-38.

MARCON, M. ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE LÂMPADAS LED NA SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS COMERCIAIS. [S.l.]. 2013. p. 4-5.

OSRAM , 23 out. 2017. Disponível em: <[https://media.osram.info/im/img/osram-dam-1222101/downloads/726308_Interior_lighting_2016_2017_\(GB\).pdf](https://media.osram.info/im/img/osram-dam-1222101/downloads/726308_Interior_lighting_2016_2017_(GB).pdf)>. Acesso em: 20 outubro 2017.

PHILIPS , nov. 2009. Disponível em: <<http://www.ceap.br/material/MAT25102012201415.pdf>>. Acesso em: 20 agosto 2017.

RIBEIRO, M. aun USP, 19 julho 2010. Disponível em: <<http://www.usp.br/aun/antigo/exibir?id=3498&ed=542&f=32>>. Acesso em: 24 outubro 2017.

RIMO ELÉTRICA. Disponível em: <http://www.rimoeletrica.com.br/imagens/tubular_led/retrofit_48_lamps.pdf>. Acesso em: 01 outubro 2017.

Apêndice A – Contas de energia usadas para os calculos

A.1 Contas de energia da UFV

FEV/2016

Descrição	Valores Faturados		
	Quantidade	Preço	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	3.220	10,37822678	33.417,88
Demanda Ativa kW HFP s/ ICMS	280	9,70664388	2.717,88
Demanda Ativa kW HP	1.960	34,59409594	67.804,41
Demanda Ativa kW HP s/ ICMS	240	32,35547888	7.765,30
Energia Ativa kWh HFP/Único	1.139.600	0,40852875	465.559,34
Energia Ativa kWh HP	98.000	0,58779997	56.844,38
Energia Reativa kWh HFP/Único	14.000	0,27581873	3.861,44
Energia Reativa kWh HP	2.600	0,27581873	772,27
Encargos / Cobrança			
Juros mora 1% ao*IGPM: 62 dia(s) sobre R\$752694,9			29.552,61
Contrib. Custeio Ilus. Pública			16,79
Liminar - Decote ICMS			37.623,56-
Imposto Retido - IRPJ			7.735,48-
Imposto Retido - PIS/PASEP			4.190,05-
Imposto Retido - COFINS			19.338,74-
Imposto Retido - CSLL			6.446,24-
Multa 2% conta de 12/2015 sobre R\$ 757.655,37			15.153,11

MAR/2015

Descrição	Valores Faturados		
	Quantidade	Preço	Valor (R\$)
Demanda Ativa kWh HFP/Único	3.612	10,15572106	36.682,44
Demanda Ativa kWh HP	3.052	33,85240352	103.317,53
Ultrapassagem kWh HP	852	67,70480704	57.884,47
Energia Ativa kWh HFP/Único	1.150.800	0,38280609	440.533,23
Energia Ativa kWh HP	108.400	0,53888256	57.313,68
Energia Reativa kWh HFP/Único	14.000	0,26990521	3.778,68
Energia Reativa kWh HP	2.800	0,28990521	755,72
Encargos / Cobrança			
Juros mora 1% an-IGPM: 45 dia(s) sobre R\$52,71			1,51
Juros mora 1% an-IGPM: 45 dia(s) sobre R\$823634,5			23.583,98
Juros mora 1% an-IGPM: 49 dia(s) sobre R\$757655,3			26.732,96
Contrib. Custeio Ilum. Pública			16,04
Limiar - Decote ICMS			42.003,92
Imposto Retido - IRPJ			8.658,77
Imposto Retido - PIS/PASEP			4.690,16
Imposto Retido - COFINS			21.646,98
Imposto Retido - CSLL			7.215,64
Multa 2% conta de 01/2016 sobre R\$ 659.328,47			13.185,53

ABR/2015

Descrição	Valores Faturados		
	Quantidade	Preço	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	3.884	10,00333444	38.852,88
Ultrapassagem kW HFP/Único	384	20,00666889	7.282,41
Demanda Ativa kW HP	3.220	33,34444815	107.369,10
Ultrapassagem kW HP	1.020	66,88889630	68.022,67
Energia Ativa kWh HFP/Único	1.335.600	0,38042695	481.386,22
Energia Ativa kWh HP	154.000	0,51394479	79.147,48
Energia Reativa kWh HFP/Único	18.800	0,26585529	4.466,35
Encargos / Cobrança			
Contrib. Custeio Ilum. Pública			15,29
Liminar - Decote ICMS			47.179,60-
Imposto Retido - IRPJ			9.013,76-
Imposto Retido - PIS/PASEP			4.882,44-
Imposto Retido - COFINS			22.534,38-
Imposto Retido - CSLL			7.511,46-
Multa 2% conta da 02/2016 sobre R\$ 599.919,29			11.998,38
Adicional Bandeiras - Já Incluído no Valor a Pagar			
Bandeira Amarela			24.033,80

MAI/2015

Descrição	Valores Faturados		
	Quantidade	Preço	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	3.640	10,26342798	37.368,85
Demanda Ativa kW HP	3.192	34,21142602	108.202,80
Ultrapassagem kW HP	992	68,42285323	67.875,45
Energia Ativa kWh HFP/Único	1.293.800	0,35324438	456.856,91
Energia Ativa kWh HP	145.800	0,51075379	74.305,73
Energia Reativa kWh HFP/Único	18.800	0,27278770	4.582,48
Encargos / Cobrança			
Juros mora 1% an+IGPM: 54 dia(s) sobre R\$659326,4			21.461,36
Juros mora 1% an+IGPM: 42 dia(s) sobre R\$599919,2			12.683,00
Contrib. Custo de Ilum. Pública			15,29
Liminar - Decote ICMS			45.020,51-
Imposto Retido - IRPJ			9.031,57-
Imposto Retido - PIS/PASEP			4.892,06-
Imposto Retido - COFINS			22.578,81-
Imposto Retido - CSLL			7.526,27-
Multa 2% conta de 03/2018 sobre R\$ 658.061,78			13.161,24

3. não

al
0
1
-

VENCIMENTO
05/05/2015
Natalino Guilherme Ferreira
Mat.: 2.907.08

A.2 Informação retirada de catalogo EMPALUX

Tubular LED								
Código	Tensão (V)	Potência (W)	Temp Cor (K)	IRC (%)	Base	Fluxo Luminoso (lm)	Dimensão (mm)	
							D	C
TL08314	BIVOLT	8	4000	>80	G13	870	26	600
TL08316	BIVOLT	8	6400	>80	G13	870	26	600
TL10616	BIVOLT	10	6500	>80	G13	950	26	600
TL10714	BIVOLT	10	4000	>50	G13	950	25	600
TL18314	BIVOLT	18	4000	>80	G13	1800	26	1200
TL18316	BIVOLT	18	6500	>80	G13	1800	26	1200
TL20616	BIVOLT	20	6500	>80	G13	1900	26	1200
TL20714	BIVOLT	20	4000	>50	G13	1.900	25	1200
TL40216	BIVOLT	40	6400	>80	G13	4.000	26	2400
TL65216	BIVOLT	65	6400	>80	G13	6.500	26	2385

*TL08316 / TL18316 em vidro. Vida mediana: 25.000 horas. Garantia: 01 ano.

Fluorescente Tubular T8								
Código	Potência (W)	Temp Cor (K)	Bulbo	IRC (%)	Base	Fluxo Luminoso (lm)	Dimensão (mm)	
							D	C
FT20216	18	6400	T8	>80	G13	1.200	25	600
FT40216	36	6400	T8	>80	G13	2.300	25	1210

Vida mediana: 8.000 horas - Garantia: 03 meses.

A.3 Informação retirada de catalogo GE

SKU	Descrição do Produto	Potência [W]	Base	Fluxo Luminoso [lm]	Temperatura de Cor [K]	IRC	Vida Mediana [h] Ciclo de 3h
T8 STANDARD - LÂMPADAS FLUORESCENTES LINEARES HALOFÓSFORO 16W e 32W							
22856	F16W/T8/4100	16	G13	1140	4100	58	7500
22858	F32W/T8/4100	32	G13	2500	4100	58	7500