

Case – O uso de lâmpadas com tecnologia LED em salas de aula de uma IES: propostas de otimização e racionalização pelo ponto de vista econômico, técnico e ergonômico

Giovani de Aguiar Francelino¹
Marco Antônio Gomes Schmachtenberg²
Orientador(a): Prof^o Eduardo Blando³

Resumo: O presente artigo descreve um estudo de caso aplicado em salas de aula de uma IES (INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR) que utiliza lâmpadas com tecnologia LED e com base nisso, através do problema de pesquisa que foi colocado resolvemos fazer um estudo comparativo com salas de aula da mesma instituição que utilizam lâmpadas com tecnologia fluorescente, utilizando uma abordagem que contemple aspectos relacionados ao ponto de vista econômico, técnico e ergonômico para responder ao referido problema de pesquisa, visando otimizar e racionalizar o consumo de energia gasto, além de sugerir diretrizes para a IES com base nas propostas de melhorias sugeridas, onde estas podem ser aplicadas em projetos de infraestrutura a serem desenvolvidos caso a Instituição de Ensino Superior vier a se interessar. Tal pesquisa nasceu através das demandas impostas pela disciplina de física III (Eletricidade e Magnetismo), ministrada no curso de Engenharia de Produção da citada instituição. Para desenvolver a mesma nos valem de uma abordagem interdisciplinar, aplicando para isto conhecimentos relativos à física, engenharia econômica, ergonomia e estatística.

Palavras-chave: LED; Ergonomia; Engenharia econômica.

1 PROBLEMA DE PESQUISA

É possível que o uso de lâmpadas com tecnologia LED em salas de aula gere uma economia de consumo, bem como proporcione melhores condições ergonômicas, através da percepção por parte dos alunos? A implementação desta tecnologia nas salas de aula da instituição de ensino superior em que foi feita a pesquisa atende aos critérios de tomada de decisão pelo ponto de vista da viabilidade técnica e econômica?

2 OBJETIVO GERAL

¹ Graduando do curso de Engenharia de Produção, Cesuca- Faculdade Inedi. E-mail: gigiofrancelino@gmail.com.

² Graduando do curso de Engenharia de Produção, Cesuca- Faculdade Inedi. E-mail: marco@bleistahl.com.br.

³ Docente do curso de Engenharia de Produção, Cesuca- Faculdade Inedi. E-mail: eduardoblando@cesuca.edu.br.

Fazer a análise da tecnologia LED aplicada em lâmpadas, utilizadas em salas de aula de uma IES (INTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR) e com base nisso fazer o comparativo com lâmpadas que utilizam tecnologia fluorescente, a fim de responder ao problema de pesquisa pelo ponto de vista ergonômico, econômico e técnico.

3 OBJETIVO ESPECÍFICO

Aplicar a pesquisa em duas salas de aula da IES (INTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR), uma que utiliza lâmpadas com tecnologia fluorescente e outra que utiliza lâmpadas com tecnologia LED, fazendo o levantamento e a análise de dados para responder ao problema de pesquisa.

4 METODOLOGIA

A pesquisa de acordo com Silva e Menezes (2005) referente à sua natureza é considerada como uma pesquisa aplicada, ou seja, gera conhecimentos para aplicações prática a solução de problemas, envolvendo interesses reais. A pesquisa ainda é classificada como descritiva, pois, observa, registra e analisa fatos, indicando a relação entre as variáveis. Gil (1999) define pesquisa descritiva como aquela que visa descobrir a existência de associações entre variáveis. Quanto à abordagem, esta pesquisa caracteriza-se como qualitativa, devido ao ambiente natural ser a fonte direta para a coleta de dados, interpretação de fenômenos e atribuição de significados (VIANNA, 2013). O referente texto é citado de Doce (2017).

O presente artigo foi desenvolvido utilizando o método de estudo de caso aplicado em salas de aula de uma instituição de ensino superior, em que foram escolhidas duas salas de aula onde foram realizadas as medições e coleta de dados, uma dotada com lâmpadas com tecnologia fluorescente e a outra com lâmpadas com tecnologia LED, levando em consideração as diretrizes definidas para uma pesquisa de campo. Como ferramentas e recursos de medição foi aplicado um questionário qualitativo, distribuído para os alunos da sala de aula que possui lâmpadas com tecnologia LED, a fim de responder se foi observada por parte dos mesmos uma diferença no nível de iluminação na sala de aula em comparação com a sala que possui lâmpadas fluorescentes. Para que isso fosse realizado de forma imparcial foi decidida a troca de sala sem comunicar aos alunos, para que estes pudessem perceber ou não a diferença nas condições de iluminação das referidas salas de aula. Ao fim da aula ministrada foi solicitado para que todos respondessem ao questionário distribuído. Como instrumento de medição para a verificação das condições de iluminação nas salas foi utilizado um luxímetro. Decidimos fazer a medição da intensidade de iluminação, em cinco pontos das salas de aula e o valor registrado foi a média das medidas coletadas. As condições de iluminação das salas de aula foram as mesmas, para que possamos ter os dados mais confiáveis possíveis. Para coletar os dados referentes ao consumo elétrico foram verificadas as características técnicas das lâmpadas, bem como o valor do kWh cobrado e com base nisso estimado o consumo mensal, bem como o seu custo. Para verificar os dados relativos ao *payback* proposto foi feita uma entrevista com o responsável pela área em questão da IES e

posteriormente aplicamos uma modelagem matemática para definir o *payback* calculado. Para a análise das condições técnicas das lâmpadas consideramos os dados relativos à durabilidade de cada uma. Também foi realizada pesquisa bibliográfica sobre o tema.

5 INTRODUÇÃO

É sabido que desde os seus primórdios, através do advento do desenvolvimento tecnológico conferido às lâmpadas elétricas, estas têm sido de grande valia para a melhoria das condições de vida da sociedade. Isto representa um incremento de grande importância para o desenvolvimento econômico.

Sem o uso de lâmpadas elétricas é fato que não teríamos alcançado níveis satisfatórios, que de um modo ou outro afetam o desenvolvimento citado. Podemos citar as melhorias na produtividade, pois o uso de lâmpadas utilizadas adequadamente em um posto de trabalho confere uma maior produtividade, pois a acuidade visual fica menos prejudicada. Isto também contribui com a melhoria da qualidade dos produtos manufaturados, pois minimiza a incidência de refugos ou retrabalhos associados, além de contribuir para a minimização dos acidentes de trabalho. Também podemos citar a contribuição que o uso de lâmpadas elétricas conferiu para a melhoria nas condições de segurança pública. Todos estes aspectos afetaram e afetam diretamente as condições de vida da sociedade. E isto ocorre devido ao desenvolvimento tecnológico, que é fundamental para a melhoria das referidas condições.

Com base nestes aspectos o presente artigo apresenta um estudo de caso, que contempla o uso de lâmpadas com tecnologia LED em salas de aula de uma IES (INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR), através de propostas de otimização e racionalização pelo ponto de vista econômico, técnico e ergonômico. Onde é apresentado um comparativo entre duas tecnologias aplicadas ao uso de lâmpadas elétricas, uma que utiliza tecnologia fluorescente e a outra que utiliza tecnologia LED. Com base neste estudo de caso propostas de melhorias serão colocadas para a IES em que foi aplicada a pesquisa.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 TECNOLOGIA E PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DAS LÂMPADAS LED

As primeiras pesquisas relativas ao uso do LED são da década de 1960 e a primeira cor a ser descoberta foi a vermelha, sendo em 1975 a descoberta da cor verde e em 1995 foi descoberto o LED de cor branca. Os primeiros LED'S utilizados na década de 1970 possuíam uma baixa luminosidade.

O princípio de funcionamento de uma lâmpada LED consiste através da passagem de uma corrente elétrica por um dispositivo constituído de material semicondutor, este recebe o

nome de diodo que possui um terminal chamado de catodo e outro de ânodo, que quando polarizados tem a propriedade de transformar energia elétrica em luz.

Com o avanço da tecnologia LED, foi criada a lâmpada de LED, uma lâmpada de qualidade e longa duração; tecnologia esta que viria para inovar o mercado de lâmpadas. (SANTOS et al, 2015). A lâmpada de *Light Emitter Diode* (Diodo Emissor de Luz – LED) é uma evolução tecnológica que vem ganhando cada vez mais destaque no mercado de lâmpadas.

Uma lâmpada LED tem uma vida útil média de 50.000 h e a fluorescente possui uma vida útil média de 15.000 h, ou seja, a lâmpada LED possui uma vida útil média 3,33 vezes maior que a fluorescente. Portanto para cada 3 (três) lâmpadas fluorescentes substituídas gastamos apenas com 1 (uma) lâmpada LED. Levando em consideração que o valor unitário médio de uma lâmpada LED é de R\$ 16,50, tendo como referência o modelo utilizado pela IES e fazendo a comparação com o valor unitário médio de uma lâmpada fluorescente, que é de R\$ 11,50 temos uma vantagem significativa, pois isto representa que uma lâmpada LED é 1,43 vezes mais cara que uma fluorescente, onde isto não representa tanto impacto em termos de aquisição. Isto representa uma boa viabilidade técnica-econômica.

A utilização de lâmpadas LED tem representado um grande incremento em termos de eficiência energética, onde se pode fazer um comparativo com os outros tipos de lâmpadas.

De acordo com (DOE, 2011), as lâmpadas LED têm uma eficiência média de 64 lm.W^{-1} . (SANTOS et al, 2015). Comparando com a eficiência das lâmpadas incandescentes, que é em média de 10 a 20 lm.W^{-1} e com a eficiência das lâmpadas fluorescentes que é em média de 40 lm.W^{-1} tem-se uma boa vantagem. O incremento na eficiência energética contribui em grande parte para a melhoria das condições relacionadas à preservação ambiental, pois isso está relacionado a uma menor taxa de consumo elétrico. Outro fator que chama a atenção é que o LED é produzido com materiais atóxicos e isso não requer maiores preocupações em termos de descarte. Se ganha em eficiência e no custo relativo às tratativas para descarte de resíduos.

6.2 COMPARATIVO DE CONSUMO LÂMPADA LED X LÂMPADA FLUORESCENTE

Para fazer a análise de comparativo de consumo entre as lâmpadas com tecnologia LED e as lâmpadas fluorescentes foram levadas em consideração as especificações técnicas dos dois tipos de lâmpadas utilizadas no estudo. A especificação coletada foi referente à potência informada para cada tipo de lâmpada. Também foi levada em consideração a quantidade de lâmpadas existentes em cada sala de aula.

Estudos revelam que o consumo com iluminação artificial é uma parte significativa para o consumo total de energia de um país (BLADH & KRANTZ, 2008).

As lâmpadas LED em que o estudo foi realizado possuem uma potência de 12 W e as lâmpadas fluorescentes possuem uma potência de 25 W. Cada sala de aula possui um total de 12 lâmpadas instaladas através de um circuito em paralelo como mostrado na figura abaixo.

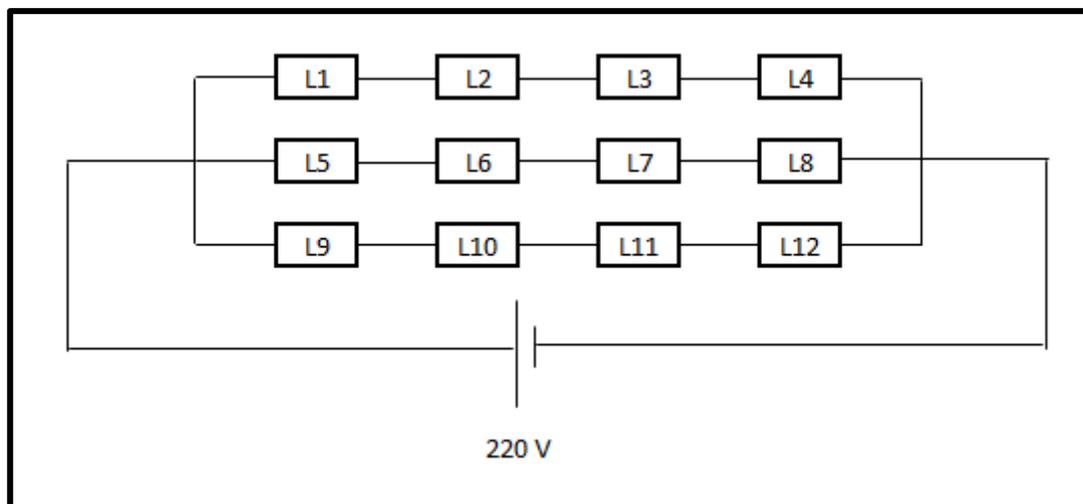


Figura 1 – Circuito de ligação das lâmpadas nas salas – Fonte: do próprio autor

O modelo matemático para o cálculo do consumo mensal é o que consta abaixo.

$$C = P \times t / 1000$$

C = Consumo mensal (kWh)

P = Potência Total (W)

t = Tempo (h)

Considerando a quantidade de lâmpadas por sala de aula, que são de 12 por sala e multiplicando este valor pela quantidade de salas de aula, que são 59 temos a quantidade total de lâmpadas. Sabendo a potência de cada lâmpada e multiplicando a mesma pela quantidade total de lâmpadas temos a potência total P para as salas de aula da IES.

Como parâmetro de estimativa podemos considerar um tempo t de 4 horas por dia, supondo que todas as lâmpadas estejam ligadas em todas as salas de aula e convertendo isto para um período de 25 dias, desconsiderando os fins de semana temos 100 horas por mês de consumo elétrico. Este valor informado para o tempo considera que as salas de aula são utilizadas apenas no período noturno. Este cenário está baseado em uma condição mais extrema de consumo. Aplicando estas variáveis ao modelo matemático informado temos os seguintes valores de consumo mensal em kWh, conforme consta na tabela abaixo.

Tabela 1

ANÁLISE DE CONSUMO ENTRE LÂMPADAS	
CONSUMO LED (kWh)	CONSUMO FLUORESCENTE (kWh)
849,6	1770

Análise de Consumo entre Lâmpadas – Fonte: do próprio autor

Com base nos dados de consumo informado constata-se uma economia de 108% no uso de lâmpadas LED em comparação ao uso de lâmpadas fluorescentes.

6.3 ASPECTOS ERGONÔMICOS: MEDIÇÃO DE ILUMINÂNCIA NAS SALAS DE AULA E PERCEPÇÃO DOS ALUNOS

Levando em consideração que a melhoria das condições de trabalho devem ser desenvolvidas e projetadas para fazer com que os agentes envolvidos neste processo não tenham uma sobrecarga inadequada relativa às suas atividades laborais é de extrema importância a aplicação das técnicas de ergonomia. Isso foi um dos pontos que decidimos aplicar na referente pesquisa.

Existem várias definições de ergonomia e muitas discussões se ela é uma ciência ou uma prática. Pode-se considerar que a ergonomia é uma ciência humana aplicada, que objetiva transformar a tecnologia para adaptá-la ao ser humano (GUIMARÃES, 2004). Com base no exposto algumas definições para a ergonomia são as seguintes.

“Ergonomia é o conjunto de conhecimentos científicos relativos ao homem e necessários para a concepção de ferramentas, máquinas e dispositivos que possam ser utilizados com o máximo conforto, segurança e eficácia” (WISNER, 1987).

“A ergonomia é uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas, e a aplicação de teorias, princípios, dados e métodos a projetos a fim de otimizar o bem estar humano e o desempenho global do sistema” (ABERGO, 2004).

Levando em consideração estes aspectos foi feita uma intervenção ergonômica em duas salas de aula da IES, com o objetivo de verificar o nível de iluminação ou iluminância que foi constatado, medido em lux, a fim de termos dados para sabermos se a intensidade luminosa existente nas referidas salas, uma com lâmpadas com tecnologia fluorescente e a outra com lâmpadas com tecnologia LED estava atendendo aos requisitos exigidos pelos padrões ergonômicos determinados em tabelas.

A iluminância, em um ponto particular de uma superfície, é a quantidade de fluxo luminoso uniformemente distribuído sobre a superfície, dividido pela área da superfície. A unidade de iluminância é o lux, ou seja, a iluminância produzida sobre 1 m² de superfície por um fluxo luminoso de 1 lúmen uniformemente distribuído sobre esta superfície. (GUIMARÃES, 2004).

A medição do nível de iluminação foi feita em salas de aula com características construtivas semelhantes, onde fizemos a coleta em 5 (cinco) pontos de cada sala, conforme mostrado na figura 2, utilizando um luxímetro Iminipa modelo MLM – 1020. Consideramos a altura de medição como sendo à distância do piso da sala até o tampo da carteira, pois é onde

existe uma maior necessidade de visualização para a execução das atividades realizadas pelos alunos.

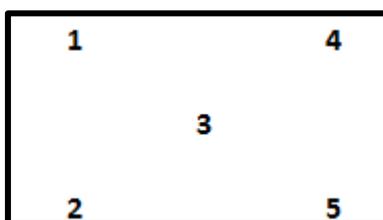


Figura 2 – Ilustração dos Pontos de Medição nas Salas (Vista Superior da Sala) – Fonte: do próprio autor

Na sala de aula com lâmpadas fluorescentes constatamos os seguintes valores de nível de iluminamento, conforme consta na tabela abaixo.

Tabela 2

SALA DE AULA COM LÂMPADAS FLUORESCENTES					
PONTOS DE MEDIÇÃO	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5
VALORES ENCONTRADOS (lux)	217	215	270	210	210
MÉDIA (lux)	224,4				

Medições de Nível de Iluminamento Fluorescente – Fonte: do próprio autor

Na sala de aula com lâmpadas LED constatamos os seguintes valores de nível de iluminamento, conforme consta na tabela abaixo.

Tabela 3

SALA DE AULA COM LÂMPADAS LED					
PONTOS DE MEDIÇÃO	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5
VALORES ENCONTRADOS (lux)	280	273	260	230	230
MÉDIA (lux)	254,6				

Medições de Nível de Iluminamento LED – Fonte: do próprio autor

Conforme determinado nos padrões ergonômicos tabelados o nível de iluminamento adequado para salas de aula é de 250 lux (GUIMARÃES, 2004). Constata-se que nas salas onde se utiliza lâmpadas fluorescentes este padrão não é atingido, pois a média constatada é de 224,4 lux. Já nas salas de aula em que são aplicadas as lâmpadas LED foi constatado uma média de 254,6 lux, atendendo os padrões de conforto luminoso exigido, possibilitando um incremento de 13,45% na melhoria do conforto luminoso.

Porém através de consultas realizadas em outras referências, como a norma brasileira NBR 5413 a mesma especifica 3 (três) níveis de iluminamento. Um mínimo, um médio e um máximo, de acordo com 3 (três) classes de aplicação, que são classe A, B e C. A escolha de cada um destes níveis de iluminamento deve ser feita através de um somatório de ponderação de fatores. Na tabela abaixo consta os critérios estabelecidos pela norma.

Tabela4

CLASSE	ILUMINANCIA (LUX)	TIPO DE ATIVIDADE
A – Iluminação geral para áreas usadas interruptamente e ou com tarefas visuais simples	20 – 30 – 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 – 75 - 100	Orientações simples para permanência curta
	100 – 150 - 200	Recinto não usado para trabalho contínuo; depósitos
	200 – 300 – 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios.
B- Iluminação geral para áreas de trabalho	500 – 750 – 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios.
	1000 – 1500 – 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C – Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 – 3000 – 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno.
	5000 – 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem e microeletrônica
	10000 – 15000 – 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia.

Tabela de Referência NBR 5413 – Fonte: NBR 5413 (ABNT)

Para a escolha dos níveis de iluminamento deve ser utilizado o critério mostrado na tabela abaixo para a ponderação de fatores, que leva em conta a idade do usuário, a velocidade de precisão da tarefa visual e a refletância do fundo da tarefa. Quando a soma algébrica for igual a – 2 ou – 3 adota-se o nível de iluminamento mínimo, e quando o valor for de + 2 ou + 3 adota-se o nível de iluminamento máximo, e o nível médio nos outros casos.

Tabela 5

CARACTERÍSTICAS DA TAREFA E DO OBSERVADOR	PESO		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítico
Refletância do fundo	Superior a 70%	30% a 70%	Inferior a 30%

Ponderação de Fatores – Fonte: NBR 5413 (ABNT)

Para o estudo em questão e levando em consideração as especificações da NBR 5413 o nível de iluminamento que deve ser aplicado nas salas de aula da IES é de 200 lux, sendo este considerado mínimo, pois de acordo com o perfil dos usuários das salas de aula o somatório da ponderação de fatores ficou em – 3. Pelos critérios adotados pela NBR 5413 as salas de aula estão atendendo as especificações mínimas, porém pelos critérios adotados por padrões ergonômicos, como já citado acima não atendem para as salas com lâmpadas fluorescentes.

Vale ressaltar que quanto maior for o nível de iluminamento, respeitando limites máximos de acordo com o tipo de atividade a ser executada, melhor.

Foi realizada uma pesquisa qualitativa com os alunos que tiveram aula na sala com lâmpadas LED, onde foi questionado se houve percepção por parte dos mesmos em relação às melhorias das condições de iluminação conferidas no local. O formulário de pesquisa adotado é conforme consta na figura abaixo.

QUESTIONÁRIO DE PESQUISA	
Você percebeu melhorias nas condições de iluminação desta sala de aula?	
<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO

Figura 3 – Questionário de Pesquisa Qualitativa – Fonte: do próprio autor

A pesquisa foi aplicada para todos os alunos da sala de aula onde com base nisto foi constatado que 81,49% responderam que sim e 18,51% responderam que não.

Pelo o que foi constatado com base nas medições executadas é fato que o uso de lâmpadas LED confere uma melhor condição de luminosidade ao espaço. Este argumento é referenciado em pesquisas bibliográficas existentes sobre o tema.

Constatamos que na sala de aula que utiliza lâmpadas fluorescentes a medição no ponto 3 foi a mais alta de todas para este tipo de lâmpada. É sabido que um dos fatores que restringem o nível de iluminamento em um determinado ambiente são os obstáculos situados próximos às fontes luminosas, como por exemplo, paredes. No diagrama mostrado na figura 2 percebe-se que o ponto 3 está afastado das paredes, e isto evidencia este maior nível de iluminamento. Porém ao fazer a mesma análise para o mesmo ponto da sala de aula com lâmpadas LED percebe-se que o nível de iluminamento constatado não possui uma maior variação em relação aos outros pontos. Para explicarmos esta situação um dos fatores que pode esclarecer este aspecto é que existe uma diferença na direção do feixe luminoso emitido por lâmpadas com tecnologia fluorescente, em que esta emite o feixe de forma espalhada pelo ambiente, onde o feixe luminoso emitido por todas as lâmpadas fluorescentes existentes na sala de aula se associam e de forma vetorial fazem com que o nível de iluminamento do ponto 3 da sala com este tipo de lâmpada seja maior do que nos outros pontos.

6.4 ASPECTOS ECONÔMICOS: AQUISIÇÃO, PAY BACK PROPOSTO, PAY BACK CALCULADO, CONSUMO ELÉTRICO E ECONOMIA

Se a IES tomasse a decisão de substituir todas as lâmpadas de suas salas de aula por lâmpadas com tecnologia LED teria que fazer um investimento de R\$ 11.682,00, considerando um valor unitário estimado de R\$ 16,50 por lâmpada. Vamos considerar para este estudo, visando facilitar a análise que nenhuma sala de aula atualmente possui lâmpadas LED.

A engenharia econômica dispõe de diversas técnicas para a análise de viabilidade relativa a projetos de investimento. Dentre estas técnicas resolvemos aplicar no referido estudo a análise do tempo de retorno sobre o investimento, denominada de pay back. Procuramos utilizar dois tipos de pay back, o proposto e o calculado. O pay back proposto é aquele que a IES considera que seja mais adequado para as suas necessidades, de acordo com os seus critérios aplicados para a tomada de decisão, caso o possua. O pay back calculado é aquele que calculamos aplicando o modelo matemático que será apresentado. O objetivo é verificar se o pay back proposto pela IES está condizente com o pay back calculado e com base nisso mostrar para a IES um adequado caminho para este tipo de tomada de decisão. O modelo matemático para definir o pay back calculado é conforme mostrado abaixo.

$$PB = I / S$$

PB = Pay Back

I = Investimento

S = Economia constatada

Levando em consideração os dados apresentados para o consumo elétrico, citados no item 6.2 e considerando o valor do kWh cobrado para o tipo de consumidor, que é de R\$ 0,273, taxa esta cobrada pela ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA), onde os seus componentes são R\$ 0,234 (tarifa bandeira verde) e R\$ 0,039 (tarifa normal), os quais recebem o código TUSD (tarifa normal) e TE (tarifa bandeira verde), onde não se incide tributos sobre estes valores, temos os seguintes dados para a análise do pay back, de acordo com a tabela abaixo.

Tabela 6

DADOS DE PAY BACK		
INVESTIMENTO	R\$	11.682,00
ECONOMIA	R\$	251,27
GASTO LED /MÊS	R\$	231,94
GASTO FLUORESCENTE /MÊS	R\$	483,21
PAY BACK CALCULADO (MESES)		46,49
PAY BACK CALCULADO (ANOS)		3,87

Dados de Pay Back – Fonte: do próprio autor

Analisando os dados apresentados na tabela podemos constatar uma economia mensal de R\$ 251,27 no consumo elétrico, aplicando lâmpadas LED no lugar de fluorescentes. Com base nisso para um investimento estimado de R\$ 11.682,00 temos um pay back de 46,49. Isto significa que se for feito este investimento a IES terá o projeto pago em 46,49 meses, o que equivale há aproximadamente 4 anos.

Quanto ao pay back proposto a IES informou que não tem atualmente um valor especificado para este tipo de tomada de decisão.

6.5 PROPOSTAS DE MELHORIA

Com base nos dados levantados pelo estudo em questão colocamos a hipótese se existe a possibilidade de ter-se uma maior vantagem quanto ao pay back e os demais fatores apresentados, como custo de aquisição e consumo elétrico, sem que isto comprometa o nível de iluminação mínimo recomendado pelos padrões estabelecidos.

A hipótese levantada foi a proposta de diminuição da potência das lâmpadas LED utilizadas atualmente pela IES. Para isto consideramos a aplicação de estimativas baseadas em dados comparativos.

Conforme tabelas técnicas de equivalência entre lâmpadas é sabido que uma lâmpada fluorescente de 5 W é capaz de emitir 700 lumens de iluminância, logo uma lâmpada de 12 W pode emitir em média o equivalente a 1680 lumens. Para fazer a conversão de lúmen para lux adota-se o seguinte modelo matemático.

$$\text{LUX} = \text{NL} \cdot \text{lumens} / \text{A}$$

LUX = Nível de Iluminamento em lux

NL = Número de lâmpadas da sala

Lumens = Iluminância por lâmpada em lumem

A = Área da sala em m²

As salas de aula em que foi aplicado o estudo tem uma área estimada de 90 m². Com base nisso e aplicando o modelo matemático em questão podemos estimar que o nível de iluminação das salas de aula é de aproximadamente 224 lux.

Com base nisso para garantirmos o nível de iluminação mínimo, recomendado pela NBR 5413, que é de 200 lux devemos utilizar lâmpadas LED de 10 W. Com isto também temos uma diminuição do consumo elétrico aplicado às lâmpadas.

Aplicando os modelos matemáticos mostrados nos itens 6.2 e 6.4 consegue-se obter uma redução de 20% no consumo de energia das lâmpadas e 11,11% de economia em aquisição, pois se estima que o valor unitário de uma lâmpada LED com 10 W do mesmo modelo utilizado pela IES é cerca de 10% menor que uma de 12 W. Também pode ser obtido a redução de 1 ano no pay back calculado.

Este tipo de proposta de melhoria evidencia o quanto se pode ter de vantagens com uma simples substituição de um tipo de lâmpada por outra, em termos de alteração de especificação de potência, sem ter-se maiores gastos aplicados, mantendo os padrões mínimos recomendados para o conforto luminoso.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no que foi exposto no presente estudo de caso a resposta ao problema de pesquisa foi respondida de forma parcial, ou seja, é possível que o uso de lâmpadas com tecnologia LED em salas de aula gere uma economia de consumo, bem como proporcione melhores condições ergonômicas, através da percepção por parte dos alunos, bem como existe uma viabilidade técnica vantajosa devido ao incremento de vida útil, porém em relação aos aspectos de viabilidade econômica não foi possível obter uma resposta devido ao fato da IES não dispor no momento de um critério de escolha de pay back para a tomada de decisão em relação ao tipo de investimento proposto.

O referente estudo também serve como referência para a IES passar a utilizar algumas ferramentas de tomada de decisão vinculadas a engenharia econômica, como o uso do pay back para a análise de projetos de investimento. Também pode ser aplicado pela IES, tendo como referência as propostas de melhoria citadas.

A interdisciplinaridade também foi relevante para a elaboração do mesmo, pois podemos aplicar conhecimentos de física, engenharia econômica, ergonomia e estatística, revelando a importância destas áreas para o desenvolvimento deste case.

REFERÊNCIAS

GUIMARÃES, Lia Buarque de Macedo. *Ergonomia de Processo Vol. 1- Histórico e Ambiente*. 5ª edição. Porto Alegre: FEENG / UFRGS, 2004.

GRANDJEAN, Etienne. *Manual de Ergonomia – Adaptando o Trabalho ao Homem*. 4ª edição. Porto Alegre: Bookman, 1998.

SANTOS, Talía Simões. BATISTA, Marília Carone. POZZA, Simone Andrea. ROSSI, Luciana Savoi. In: *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 4, out / dez 2015. *Análise da Eficiência Energética, Ambiental e Econômica Entre Lâmpadas de LED e Convencionais*.

SCOPACASA, Vicente A. *Introdução à Tecnologia de LED*, LEDs LAPRO, pág. 5 a 11.