

PROPOSTA DE RETROFIT NA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL PARA UM PRÉDIO PÚBLICO: O CASO DO BLOCO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

Artículo
Recibido 14-09-2015
Aceptado 04 -11-15

Artificial lighting retrofit proposal of a public building: the case of
postgraduate block on the Federal University of ABC

JULIÁN ALBERTO MARÍN AGUDELO, Universidad Federal ABC,
Santo André - São Paulo, Brazil
julian.marin@ufabc.edu.br

JESÚS FRANKLIN ANDRADE ROMERO, Universidad Federal ABC,
Santo André - São Paulo, Brazil
jesus.romero@ufabc.edu.br

IGOR FUSER, Universidad Federal ABC,
Santo André - São Paulo, Brazil
igor.fuser@ufabc.edu.br

RESUMO

Um dos principais desafios dos seres humanos é o fornecimento de energia para as grandes cidades e os seus edifícios, bem como a correta utilização do recurso disponível. Aumentar o ciclo de vida dos edifícios envolvendo processos de retrofit tecnológico deve permitir uma economia de custos, proporcionar conforto para os usuários das construções, e adicionalmente, minimizar o impacto sobre os recursos naturais. Nesta pesquisa, é apresentada uma proposta de retrofit focada na iluminação artificial de um edifício público, nesse sentido, um edifício localizado em Santo André, São Paulo, foi selecionado. O método experimental considera a caracterização da iluminação artificial no interior do edifício e, a partir de medições e simulações, propõe-se substituir a iluminação fluorescente de 16W com tecnologia LED de 10W. Os ambientes foram simulados utilizando os softwares Domus-Procel Edifica e DIALux para validar os resultados da eficiência energética e conforto visual pré e pós retrofit. O método de medição e verificação foi usado para determinar as economias de energia resultantes. Condições ótimas de conforto visual e reduções aproximadas de 37,5% na potência nominal exigida pela iluminação artificial no prédio foram obtidas. A simulação do estudo de caso confirma um melhor desempenho da edificação a respeito da eficiência energética.

Palavras-chaves

Retrofit, Iluminação Artificial, Eficiência Energética, Conforto Visual, Medição e Verificação.

ABSTRACT

One of the main challenges for human beings is the provision of energy to big cities and their buildings, as well as the correct use of the available resources. Increasing the life cycle of buildings that involve technological retrofit processes should enable cost savings, provide comfort for building users, and minimize the impact on natural resources. This research presents an artificial lighting retrofit proposal for a public building in Santo André, São Paulo. The experimental method evaluates the characterization of artificial lighting inside the building, and based on measurements and simulations, it is proposed that the 16W fluorescent lighting be replaced with 10W LED technology. The environments were simulated using Domus-Procel Edifica software and DIALux software was used to validate the energy efficiency and visual comfort results before and after retrofit. The measurement and verification method (M & V) was used to determine the resulting energy savings. Optimal visual comfort conditions and reductions of around of 37.5% of rated power required by artificial lighting in the building were obtained. The simulation case study confirms improved building performance with respect to energy efficiency.

Keywords

retrofit, artificial lighting, energy efficiency, visual comfort, measurement and verification.

INTRODUÇÃO

A incessante expansão urbana, o aumento da densidade populacional nas grandes metrópoles e a demanda crescente por eletricidade estão gerando consequências irreparáveis para nosso planeta (ONU, 2014). Durante as últimas três décadas, todas as emissões de gases de efeito estufa aumentaram em média de 1,6% por ano, e as emissões de CO₂ resultantes da utilização de combustíveis fósseis cresceram 1,9% para o mesmo período (ONU, 2014). Alterações climáticas, potencializadas devido ao aumento de emissões de gases do efeito estufa, podem resultar em cenários catastróficos para a humanidade (MORAES, 2011). Estima-se que a população mundial aumente nos próximos anos, atingindo 9.6 bilhões em 2050, o que exige um novo modelo de desenvolvimento (ONU, 2013).

O conceito de desenvolvimento sustentável foi abordado frontalmente na década de oitenta pelo relatório de *Brundtland* (ONU, 1987) no qual se fez uma reflexão sobre o alcance e a amplitude do conceito de sustentabilidade, o “Eco desenvolvimento” apresentado por Ignacy Sachs, no Congresso de *Founex* na Suíça (1971), teve grande influência nas definições apresentadas nestes relatórios (MACHADO, SILVA e MARQUES, 2005). O Desenvolvimento Sustentável é aquele que atende às necessidades humanas do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades (ONU, 1987). A sustentabilidade procura um equilíbrio entre o bem estar do ser humano e os impactos originados pela procura deste bem estar (DIETZ, ROSA e YORK, 2009).

Todas as pessoas envolvidas no desenvolvimento da construção civil, incluindo investidores, fabricantes, designers, arquitetos, engenheiros e usuários finais, devem ter consciência da importância que representa para a preservação do planeta a redução do impacto ambiental, causado pela construção e operação dos edifícios (ROCHA, 2011). O conceito de sustentabilidade não é fechado, alcançar uma sustentabilidade absoluta pode ser visto como uma ideia utópica (CORRÊA, 2009). Um projeto civil poderá adotar sempre soluções que diminuam seu impacto no meio ambiente, mas analisado sob outros aspectos poderá não ser plenamente sustentável. O conceito de construção sustentável além de muito abrangente envolve inúmeros fatores, dentre eles o uso correto da energia elétrica.

Atualmente, a temática da eficiência energética nas edificações está ligada na agenda dos governos, na forma de políticas de racionalização do consumo de energia e bens renováveis (DURANTE, et al., 2014). Aumentar o ciclo de vida dos edifícios envolvendo processos de *retrofit* tecnológico deve permitir uma economia de custos, melhorar o desempenho das construções, proporcionar conforto para os usuários, possibilitar a requalificação de áreas degradadas e adicionalmente, minimizar o impacto sobre os recursos naturais.

No Brasil, a Lei de Eficiência Energética 10.295/2001 prevê o estabelecimento de níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, para máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no Brasil, baseada em indicadores técnicos economicamente viáveis, considerando a vida útil dos mesmos (HADDAD, 2009; CARLO e LAMBERTS, 2010; EPE, 2014a).

O Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL) lançou o Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações PROCEL-Edifica em 2003. Já em 2012, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), bem como seu desdobramento (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE) foram estabelecidos.

O Selo Procel Edificações é um instrumento de adesão livre, seu objetivo principal é identificar as edificações que oferecem melhores desempenhos, na Eficiência Energética, para uma dada categoria, motivando ao mercado consumidor para adquirir e utilizar imóveis mais eficientes. O selo pretende avaliar as características em termos de Eficiência Energética através de graduações (A - mais eficiente e E - menos eficiente) e deve-se tornar obrigatório no Brasil para o ano 2030 (PROCEL, 2014).

Um dos requisitos do processo de qualificação da eficiência de um edifício é o sistema de iluminação. Entende-se por um sistema de iluminação eficiente aquele que apresenta menor potência instalada e, conseqüentemente, menor consumo de energia, garantidas as condições adequadas de iluminação (DURANTE, et al., 2014). A iluminação é responsável de 5 a 15% do consumo total de energia elétrica nos países industrializados (RYCKAERT, et al., 2010), enquanto no Brasil, os sistemas de iluminação são responsáveis por aproximadamente 27% do consumo de energia em edificações (MME, 2013). Nesse sentido, o uso da energia por conta da iluminação artificial em edificações, pode ser reduzido substituindo as tecnologias de iluminação convencionais com lâmpadas mais eficientes (LI, LAM e WONG, 2010; HUANG, et al., 2010; KHAN e ABAS, 2011).

O termo *retrofit* focado na indústria da construção civil é o processo de modificar uma construção para melhorar seu desempenho, faz alusão às principais atividades de modernização desenvolvidas nas construções, que melhoram as instalações procurando o conforto dos usuários e praticidade na sua utilização. Este conceito arquitetônico vem a ser a busca pela coordenação da construção com o tempo presente, de modo a vitalizá-la com novas tecnologias, evitando que se torne obsoleta e permitindo que acompanhe o desenvolvimento tecnológico dos grandes centros urbanos (CIANCIARDI e BRUNA, 2004). O desenvolvimento e uso das novas tecnologias significam que os edifícios existentes e até mesmo os novos podem alcançar reduções significativas no consumo de energia e água (MELBOURNE GOVERNMENT, 2015).

| Lâmpada | Potencia (W) | Fator de Potencia | Perdas (W) | CCT* (K) | BE** | Brilho | CRI*** |
|---------|--------------|-------------------|------------|-------------|------|--------|---------|
| Bulbo | 25 - 1000 | 1 | 0% | 2500 - 3000 | Não | Sim | 90 - 99 |
| Tubo | 20 - 40 | 0.6 - 0.8 | 12,50% | 2500 - 6500 | Sim | Sim | 55 - 70 |
| CFL | ago-36 | 0.4 - 0.6 | 6,25% | 2500 - 6500 | Sim | Sim | 55 - 75 |
| LED | 5 - 400 | 0.4 - 0.7 | 4,25% | 3500 - 5500 | Não | Sim | 70 - 80 |

Tabela 1: Características Técnicas das Tecnologias de Bulbo, Tubo, CFL e LED
*Correlated Color Temperature, ** Bio Effects, *** Sunlight color rendering index (CRI) = 100
Fonte: Khan e Abas 2011

| Classe | Iluminância (lux) | Tipo de atividade |
|--|-------------------|---|
| A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples | 20-30-50 | Áreas públicas com arredores escuros |
| | 50-75-100 | Orientação simples para permanência curta |
| | 100-150-200 | Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos. |
| | 200-300-500 | Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios. |
| B Iluminação geral para área de trabalho | 500-750-1000 | Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios. |
| | 1000-1500-2000 | Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas. |

Tabela 2: Iluminâncias por Classes de Tarefas Visuais
Fonte: ABNT 1992

As tecnologias para desenvolver um processo de *retrofit* podem ser categorizadas em três grupos: gestão da oferta, gestão da demanda e padrões de consumo de energia (MA, et al., 2012). Segundo Ma, et al., (2012), estratégias para reduzir a demanda por aquecimento e refrigeração, o uso de equipamentos com níveis considerados de eficiência energética e os sistemas de iluminação artificial, estão envolvidos no grupo de Gestão da Demanda. Estudos expostos em Ryckaert, et al., (2010); Li, Lam e Wong (2010); Huang, et al., (2010); Khan e Abas (2011); Ma, et al., (2012); Pereira (2012) apresentaram resultados satisfatórios em intervenções de *retrofit* focadas no grupo de Gestão da Demanda e os sistemas de iluminação artificial.

Uma análise de custo-qualidade das diferentes tecnologias de iluminação artificial (Bulbo, Tubo, CFL¹, LED²) exposto em Khan e Abas (2011), apresentam que a tecnologia LED é mais eficaz, considerando o preço por kWh nos Estados Unidos, preço das lâmpadas e o desempenho das tecnologias. Na Tabela 1, é apresentada uma comparação das diferentes tecnologias mencionadas anteriormente com as características técnicas de cada uma.

Benefícios da tecnologia LED como o uso de menor diâmetro nos fios de cobre e retornos de investimento em apenas dois anos, também são apresentados por Wu et al., (2009), onde foram utilizados sistemas de iluminação para estradas, com base na tecnologia LED. Em Hinnells (2008), apresenta-se um estudo das tecnologias para a redução do consumo de energia nos edifícios, incluindo a iluminação LED, já em Huang, et al., (2010), são apresentados desenvolvimentos em sistemas de iluminação fotovoltaica de alto desempenho baseados na tecnologia LED.

De acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), cada ambiente de trabalho requer um determinado nível de iluminância ideal, esse nível varia de acordo com as atividades a serem ali desenvolvidas. Na Tabela 2, são apresentados os níveis de iluminação recomendados pela NBR-5413/91 para as diferentes classes de tarefas visuais comuns.

Este artigo tem por objetivo geral apresentar e avaliar uma proposta de *retrofit* focada na iluminação artificial de um edifício público.

[1] Compact fluorescent lamp
[2] Light Emitting Diode



Figura 1: Bloco B UFABC - Santo André

Fonte: LIBESKINDLLOVET ARQUITETOS; MADEIRA e NETO 2014

2. MATERIAIS E MÉTODO

O método experimental considerou a caracterização da iluminação artificial no interior de Bloco B de pós-graduação da Universidade Federal do ABC (UFABC), em Santo André/SP. O terreno principal onde ocorre atualmente a implantação do campus Santo André da Universidade Federal do ABC localiza-se entre as coordenadas geográficas 46°31'34"W e 46°31'49"W de longitude e 23°38'35"S e 23°38'45"S de latitude. O empreendimento escolhido como caso de estudo, exposto na Figura 1, é destinado ao ensino público superior e tem uma área construída de aproximadamente 13.000 m² (Figura 1).

Desde a sua idealização até hoje, com oito anos de funcionamento, a UFABC já passou por uma série de mudanças de projeto. O Bloco B no campus de Santo André, primeiro prédio a ficar pronto da universidade, foi inicialmente projetado para moradia estudantil (UFABC, 2006), mas o crescimento acelerado da população estudantil ocasionou mudanças no projeto. Nesse sentido, algumas exigências importantes acabaram ficando para trás e atualmente o bloco é composto por salas de estudo e escritórios para os funcionários dos programas de pós-graduação da UFABC.

Além de sua utilização não preconcebida, a seleção desta edificação se justifica pelo fato de que atualmente, a iluminação interna no Bloco B consta de lâmpadas fluorescentes tubulares, que embora possuam a vantagem de ter boa eficiência luminosa e baixa luminância (UFABC, 2015a), uma proposta de *retrofit* baseada na substituição para lâmpadas tubulares tipo LED, poderia gerar melhores resultados em relação à eficiência energética do edifício.

Os resultados serão estimados a partir de medições e simulações nos cenários de pré e post *retrofit*, as possíveis economias de energia devida à implementação da proposta serão expostos.

Na Tabela 3 são apresentados os dados correspondentes aos consumos de energia elétrica no Bloco B para o ano 2013.

As dimensões do Bloco B são apresentadas na Tabela 4.

Atualmente no Bloco B são utilizados tubos fluorescentes de 16W e 127V, entende-se que uma luminária refere-se ao conjunto de quatro tubos fluorescentes de 16W. A distribuição por andares, da potência de iluminação e dos outros equipamentos, além da quantidade de m² por pessoa são apresentados na Tabela 5.

Propõe-se substituir os tubos fluorescentes T8 de 16W com tubos LED de 10W. Apresentam-se na Tabela 6 as informações técnicas das lâmpadas fornecidas pelo fabricante Phillips (2015).

Com a proposta de *retrofit* feita, a distribuição do consumo de iluminação no Bloco B é apresentada na Tabela 7.

O software Domus-Procel Edifica e os dados apresentados foram usados para executar as simulações dos consumos de energia pré e pós *retrofit* no edifício. Para determinar as economias de energia resultantes da aplicação da proposta, foi utilizado o método de medição e verificação (M&V) exposto em EVO (2010), o objetivo principal do método proposto é determinar a economia de energia real devido à implantação e implementação de medidas de modernização (EVO, 2010).

| Mês | Consumo (kWh) | Período |
|-----------|---------------|-------------------|
| Janeiro | 368081,70 | 18/12/12-17/01/13 |
| Fevereiro | 466698,54 | 17/01/13-19/02/13 |
| Março | 491135,41 | 19/02/13-20/03/13 |
| Abril | 394104,48 | 20/03/13-18/04/13 |
| Maior | 428254,05 | 18/04/13-20/05/13 |
| Junho | 411012,84 | 20/05/13-19/06/13 |
| Julho | 391865,04 | 19/06/13-19/07/13 |
| Agosto | 412267,17 | 19/07/13-19/08/13 |
| Setembro | 441691,74 | 19/08/13-18/09/13 |
| Outubro | 427660,38 | 18/09/13-18/10/13 |
| Novembro | 450162,72 | 18/10/13-19/11/13 |
| Dezembro | 463536,36 | 19/11/13-18/12/13 |
| Total | 5146470,42 | |

Tabela 3: Consumo Energia Elétrica Bloco B UFABC - Santo André
Fonte: UFABC 2014

| Lâmpada | Potência (W) | Fator de Potência | Perdas (W) | CCT* (K) | BE** | Brilho | CRI*** |
|---------|--------------|-------------------|------------|-------------|------|--------|---------|
| Bulbo | 25 - 1000 | 1 | 0% | 2500 - 3000 | Não | Sim | 90 - 99 |
| Tubo | 20 - 40 | 0.6 - 0.8 | 12,50% | 2500 - 6500 | Sim | Sim | 55 - 70 |
| CFL | ago-36 | 0.4 - 0.6 | 6,25% | 2500 - 6500 | Sim | Sim | 55 - 75 |
| LED | 5 - 400 | 0.4 - 0.7 | 4,25% | 3500 - 5500 | Não | Sim | 70 - 80 |

Tabela 4: Dimensões Bloco B UFABC - Santo André
Fonte: UFABC 2006

| | Quantidade luminárias | | Total W | W por piso | Área Útil por piso m ² | Ocupação média | Potência Iluminação por piso W/m ² |
|-----------|-----------------------|----------|---------|------------|-----------------------------------|----------------|---|
| | Suspensa | Embutida | | | | | |
| | 250W | 64W | | | | | |
| Ático | 36 | 146 | 18216 | 18216 | 1260,82 | 20 | 14,84 |
| Piso 1-10 | | 3070 | 196480 | 19648 | 1260,82 | 100 | 16 |
| Térreo | | 204 | 13056 | 13056 | 1260,82 | 30 | 10,63 |

Tabela 5: Distribuição Potência Iluminação Bloco B UFABC - Santo André
Fonte: MADEIRA e NETO 2014; UFABC 2006

| Características | Tubo Fluorescente T8 | Tubo LED T8 |
|---------------------|----------------------|-------------|
| Potência | 16W | 10W |
| Vida Mediana | 15 | 40 |
| Temperatura de cor | 4000K | 4000K |
| Fluxo Luminoso | 1070 Lm | 825 Lm |
| Base | G13 | G13 |
| Economia de Energia | | 38% |

Tabela 6: Proposta Substituição de Lâmpadas
Fonte: PHILIPS 2015

| | Quantidade luminárias | | Total W | W por piso | Área Útil por piso m ² | Ocupação média | Potência Iluminação por piso W/m ² |
|-----------|-----------------------|----------|---------|------------|-----------------------------------|----------------|---|
| | Suspensa | Embutida | | | | | |
| | 250W | 40W | | | | | |
| Ático | 36 | 146 | 14840 | 14840 | 1260,82 | 20 | 7.1+4.6=11.77 |
| Piso 1-10 | | 3070 | 122800 | 12280 | 1260,82 | 100 | 9,74 |
| Térreo | | 204 | 8160 | 8160 | 1260,82 | 30 | 6,47 |

Tabela 7: Distribuição Potência de Iluminação pós-retrofit
Fonte: Elaborado pelo autor

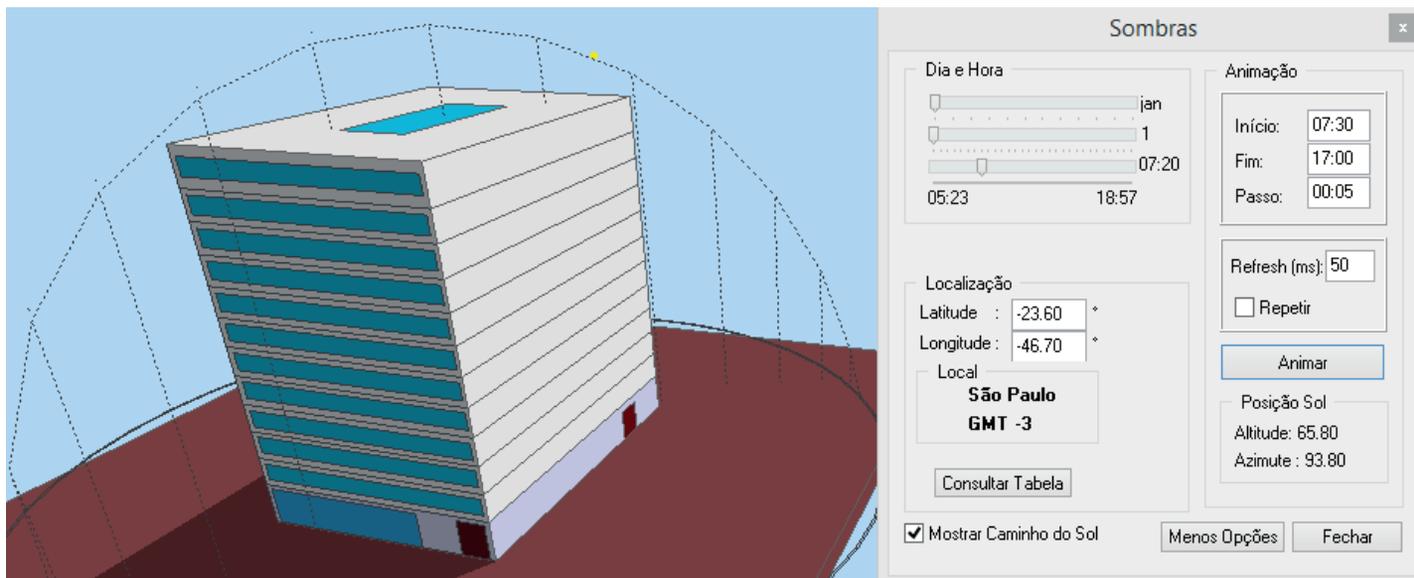


Figura 2: Design Estudo de Caso Simulador Domus
Fonte: Relatório Simulador Domus

A equação número 1 permite ver o cálculo para obter a economia de energia.

$$E_{\text{saving}} = E_{\text{pre-retrofit}} - E_{\text{post-retrofit}} \pm E_{\text{adjust}} \quad (1)$$

Onde E_{saving} é a economia de energia; $E_{\text{pre-retrofit}}$ é o consumo de energia medido por um período de tempo definido antes da modernização, $E_{\text{post-retrofit}}$ é o consumo de energia medido por um período de tempo após da modernização; E_{adjust} a diferença entre o uso de energia no período de pré e pós *retrofit*, causada por diferenças de fatores não energéticos, tais como as condições meteorológicas, horários de ocupação, entre outros.

3. MÉTODO DE SIMULAÇÃO

O *software* Domus-Procel Edifica de simulação computacional foi utilizado para ver a qualificação da eficiência energética do Bloco B. Para o design do prédio apresentado na Figura 2, às configurações construtivas do prédio, os consumos de energia e média de ocupação, foram utilizados os dados expostos nas Tabelas 4 e 5.

Também as seguintes informações foram usadas na configuração do cenário de simulação:

Período de tempo simulado entre às 00h00min do dia 01/01/2013 às 23h00min do dia 31/12/2013.

Acionamento das luminárias para períodos de tempo entre 06h00min e 24h00min e em todos os dias da semana.

O simulador tem em seu banco de dados um arquivo com os dados climáticos e de temperatura para várias cidades brasileiras, o arquivo climático conta com as características do programa UMIDUS. Neste caso foi usada como referência a cidade de São Paulo.

Os dados dos consumos de energia por outros tipos de equipamentos, para resfriamento e por elevadores foram obtidos de Marín-Agudelo (2015).

3.1. ECONOMIA DE ENERGIA DO CENÁRIO PÓS-RETROFIT EM RELAÇÃO AO CENÁRIO PRÉ-RETROFIT.

Segundo os dados expostos na Tabela 7, o Bloco B tem cerca de 3.420 luminárias de 64W cada uma, por sua vez, cada luminária tem 4 lâmpadas fluorescentes de 16W, ou seja, atualmente há pelo menos 855 tubos fluorescentes instalados. No mercado brasileiro e segundo os dados apresentados pelos fabricantes OSRAM (2015) e Phillips (2015), uma lâmpada fluorescente de 16W tem um preço aproximado de R\$ 8,50 e para a lâmpada LED aproximadamente R\$ 40,00.

Utilizando um padrão de tempo de operação entre as 06h00min e as 24h00min, ou seja, 18 horas de uso diário e um preço variável para o kWh segundo as informações apresentadas pela ELETROPAULO (2015), UFABC (2014) e Marín-Agudelo (2015), foram calculadas as potenciais economias de energia no prédio para um ano. Os resultados são apresentados na Tabela 8.

| | Iluminação Fluorescente | Iluminação LED |
|--|-------------------------|----------------|
| Vida útil (dias) | 830 | 2223 |
| Substituição das lâmpadas (R\$) | 7367,5 | 34200 |
| Consumo Energia por dia (kWh) | 246,24 | 153,9 |
| Consumo Energia Ano (kWh) | 89877,6 | 56173,5 |
| Custo Consumo Energia Ano (R\$) | 24266,9 | 15166,8 |
| Potência Nominal (W) | 13680 | 8550 |

Tabela 8: Relação Custo/Consumo das tecnologias para as lâmpadas do tipo Fluorescente e LED considerando o ano de 2013
Fonte: Elaborado pelo autor

| Ano | Consumos por conta da Iluminação Fluorescente (R\$) | Consumos por conta da Iluminação LED (R\$) |
|--------------|---|--|
| 1 | 39723,436 | 54422,46 |
| 2 | 31457,16 | 19660,725 |
| 3 | 31634,452 | 15166,845 |
| 4 | 21570,624 | 13481,64 |
| 5 | 46014,868 | 24154,605 |
| 6 | 40444,92 | 25278,075 |
| 7 | 49609,632 | 26401,545 |
| 8 | 44040,024 | 27525,015 |
| 9 | 53204,746 | 28648,485 |
| 10 | 47635,128 | 29771,955 |
| Total | 405334,99 | 264511,35 |

Tabela 9: Demanda Econômica para 10 anos com Tubos Fluorescentes e LED
Fonte: Elaborado pelo autor

| Conceito | Consumo kWh | Porcentagem |
|----------------------|-------------------|-------------|
| Iluminação | 1984192,43 | 41,71% |
| Equipamentos | 1646478,04 | 34,61% |
| Resfriamento | 239423,66 | 5,03% |
| Elevadores | 886950 | 18,64% |
| Consumo Total | 4757044,13 | 100% |

Tabela 10: Crescimento anual no preço do kWh período 2011-2020
Fonte: Marín-Agudelo 2015

A substituição das luminárias representa uma diminuição de 5.130W na potência nominal da iluminação no Bloco B, o que vai significar uma redução aproximada de 37,5% na potência nominal exigida pela iluminação artificial. Na Tabela 9, são apresentados os resultados aproximados da economia para um período de 10 anos, para cada uma das tecnologias. Para os cálculos foram omitidos os custos da manutenção assim como o investimento em reatores, pois a tecnologia LED não necessita reatores para seu funcionamento.

Os resultados, acrescentando o consumo de energia e o valor das lâmpadas, apresentam economias aproximadas de R\$ 140.000,00.

Utilizando parâmetros expostos na Tabela 8 tais como a vida útil das lâmpadas, o valor das mesmas e o custo de energia por ano para cada uma das tecnologias, é apresentada a

Figura 3. O preço do kWh por ano é apresentado na Tabela 10, os valores foram obtidos de acordo com os cálculos apresentados no anexo D exposto em Marín-Agudelo (2015).

Pode-se ver que, inicialmente, teria um impacto econômico maior a utilização da tecnologia de LED, no entanto, a partir do segundo ano, a tecnologia LED apresenta-se como a melhor opção.

As lâmpadas fluorescentes, de acordo com a sua vida útil, teriam que ser substituídas na sua totalidade, aproximadamente cada dois anos, o que explica o comportamento do gráfico depois do quinto ano. A primeira substituição da tecnologia LED, de acordo com a sua vida útil, teria lugar entre o quarto e o quinto ano.

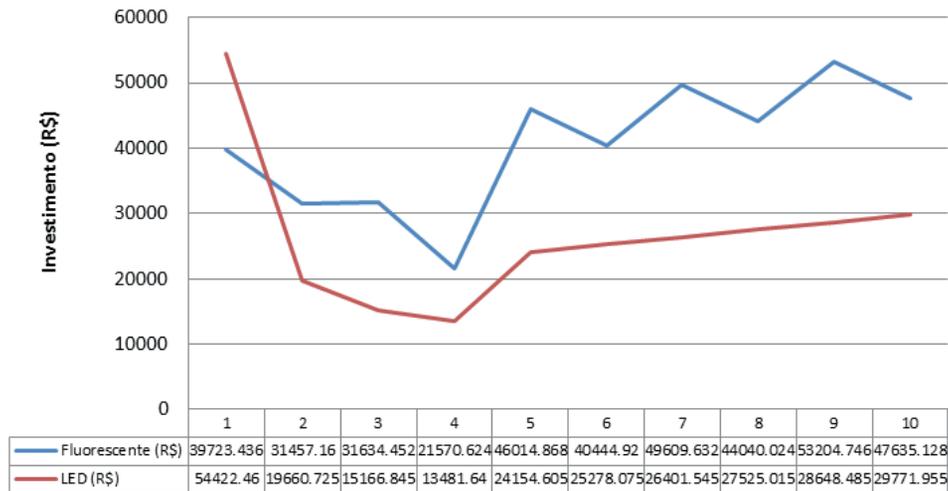


Figura 3: Retorno do Investimento ROI
Fonte: Elaborado pelo autor

3.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ILUMINAÇÃO NO BLOCO

Os dados dos consumos totais obtidos a partir da simulação *pré-retrofit* indicam que o consumo no bloco, dependente da iluminação artificial foram 1.984.192,43 KWh. Os dados dos consumos totais obtidos a partir da simulação *pós-retrofit* indicam que o consumo no bloco, dependente da iluminação artificial foram 1.620.012,58 KWh. Os resultados das simulações *pré-retrofit* e *pós-retrofit* são apresentados na Tabela 11.

As economias expostas a partir da simulação *pós-retrofit* devem-se à proposta de *retrofit* apresentada. Nesse sentido, aplicou-se a equação de M&V exposta em EVO (2010) para determinar a economia de energia.

A equação para obter a economia de energia e os resultados para o estudo de caso é:

$$E_{\text{saving}} = E_{\text{pré-retrofit}} - E_{\text{pós-retrofit}} \pm E_{\text{adjust}}$$

A onde:

$$\begin{aligned} E_{\text{pré-retrofit}} &= 1.98(\text{GWh}) \\ E_{\text{pós-retrofit}} &= 1.62(\text{GWh}) \\ E_{\text{adjust}} &= 0 \end{aligned}$$

Então:

$$\begin{aligned} E_{\text{saving}} &= 1.98(\text{GWh}) - 1.62(\text{GWh}) \pm 0 \\ E_{\text{saving}} &= 0.36(\text{GWh}) - 360.000(\text{kWh}) \end{aligned}$$

De acordo com a comparação dos dados *pré* e *pós retrofit*, é possível obter economias de até 7,5% respeito ao consumo de energia de iluminação artificial no prédio.

3.3 CÁLCULOS FLUXO LUMINOSO COM LÂMPADAS LED NA SALA DE ESTUDO BLOCO B

Para o cálculo do fluxo luminoso das lâmpadas propostas no cenário *pós-retrofit* foi utilizado o *software* de simulação DIALux.

A Figura 4 apresenta o design feito do salão 307 localizado no terceiro andar do Bloco B da UFABC. Os postos de trabalho foram feitos para uma altura de 0,8 m acima do nível do chão, sua distribuição e a distribuição das luminárias é apresentada na mesma figura.

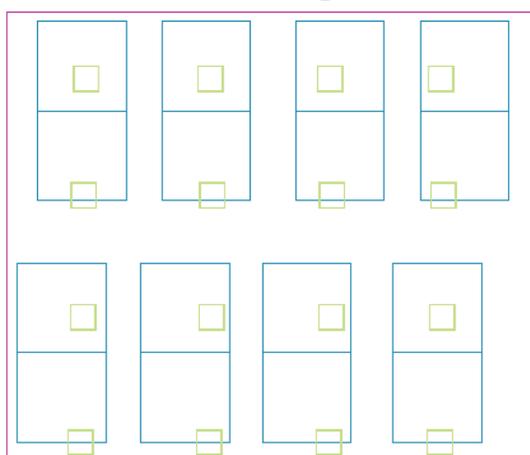
Os pontos de medição para determinar a iluminância média foram calculados pelo mesmo *software*. As medições das intensidades luminosas (a), as linhas isográficas com a potência luminosa vertical (b) e a o gráfica de cores falsas (c) obtidas com ajuda do *software* DIALux para salão 307, são apresentadas na Figura 5.

A iluminância fornecida pelas lâmpadas LED propostas, apresenta um valor médio de 1.349lx para uma sala no estudo de caso, desempenho acima dos 500lx recomendados pela NBR-5413/91.

| Conceito | Consumo kWh | Porcentagem |
|---------------|-------------|-------------|
| Iluminação | 1620012,58 | 36,88% |
| Equipamentos | 1646479,07 | 37,48% |
| Resfriamento | 238747,68 | 5,43% |
| Elevadores | 886950 | 20,19% |
| Consumo Total | 4392189,33 | 100% |

Tabela 11: Consumo de Energia de Iluminação pré e pós retrofit
Fonte: Relatório Simulador Domus

DIALux



Altura do plano de uso: 0.800 m , Zona marginal: 0.000 m

| Resultado | Meio (Nominal) | Min | Máx | Mín/Médio | Mín/ Máx |
|---------------------------------|----------------|-----|------|-----------|----------|
| Potência luminosa vertical [lx] | 1359 (500) | 78 | 7234 | 0.057 | 0.011 |

Perfil: Instituciones de formación - Centros de formación, Aulas para clases nocturnas y formación para adultos

Figura 4: Plano Simulação Sala de Estudo Bloco B UFABC - Santo André
Fonte: Relatório Simulador DIALux

CONCLUSÕES

A recuperação, a manutenção e a restauração de edifícios são ferramentas de sustentabilidade válidas que procuram a maximização do ciclo de vida dos edifícios existentes. O retrofit não está limitado somente às edificações antigas e degradadas, é completamente válido o aperfeiçoamento no desempenho de prédios relativamente novos.

As práticas de retrofit focadas na eficiência energética dos sistemas de iluminação artificial, além de ser um meio ambientalmente importante, apresentam-se como uma opção para obter economias de custos e energia.

A mudança de tecnologia na iluminação artificial do Bloco B na UFABC, representou uma redução aproximada de 37,5% no consumo anual de energia, com uma diminuição de 5.130W na potência nominal da iluminação.

Cálculos da demanda econômica por conta da iluminação artificial, para um período de 10 anos, apresentam economias aproximadas de R\$ 140.000,00.

A iluminância fornecida pela alteração das lâmpadas representou um valor médio de 1.349lx para uma sala utilizada no estudo de caso, os resultados de desempenho das lâmpadas LED propostas apresentam resultados

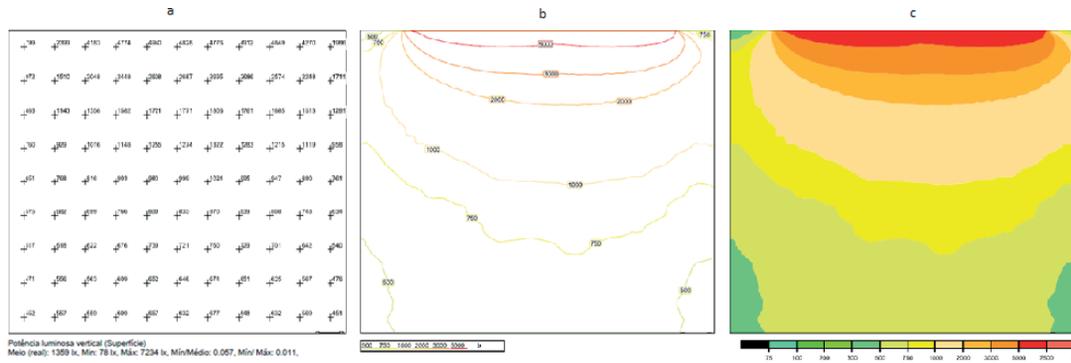


Figura 5: Resultados desempenho iluminação DIALux
Fonte: Relatório Simulador DIALux

adequados e de conformidade com os níveis de iluminação recomendados pela NBR-5413/91.

O tempo de vida das lâmpadas propostas promove uma redução na quantidade de resíduos gerados pelo edifício, o conforto visual simulado garante uma qualidade agradável nos níveis de iluminância fornecida pela iluminação artificial e bem estar para os usuários; a economia de custos gerada pela eficiência energética e a diminuição na manutenção das lâmpadas podem gerar oportunidades de investimento na UFABC.

Agradecemos à Universidade Federal do ABC – UFABC e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

BIBLIOGRAFIA

ABNT. *Iluminância de interiores, NBR 5413*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 13. 1992.

CARLO, J.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios - parte 1: método prescritivo. *Ambiente Construído*, v. 10, n. 2, p. 7-26, 04/06 2010.

CIANCIARDI, G.; BRUNA, G. C. Procedimentos de sustentabilidade ecológicos na restauração dos edifícios citadinos. *Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Mackenzie*, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 113-127, 2004.

CORRÊA, R. L. *Sustentabilidade na construção civil*. (Monografia) Escola de Engenharia UFMG. Belo Horizonte, p. 10-67. 2009.

DIETZ, T.; ROSA, E.; YORK, R. Environmentally efficient well-being: rethinking sustainability as the relationship between human well-being and environmental impacts. *Human Ecology Review*, v. 16, n. 1, p. 114-123, 2009.

DURANTE, L. C. et al. Sistema de iluminação integrada em edificação lat 15 sul e potencial de uso de geração fotovoltaica. *Revista Hábitat Sustentable*, Concepción, v. 4, n. 2, p. 04-15, Diciembre 2014.

EPE. *Consumo de Energia no Brasil Análises Setoriais*. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, p. 14-25. 2014a. (Nota Técnica DEA 10/14.).

EVO. *International Performance Measurement & Verification Protocol*. Efficiency Valuation Organization. Washington, DC, USA. 2010. (1).

HADDAD, J. *Possíveis avanços para a eficiência energética no Brasil e como a regulação pode contribuir para seu aprimoramento*. VI Congresso brasileiro de regulação. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2009. p. 22.

HINNELL, M. Technologies to achieve demand reduction and microgeneration in buildings. *Energy Policy*, v. 36, n. 12, p. 4427–4433, dez. 2008.

- HUANG, B. et al. Development of high performance solar LED lighting system. *Energy Convers Management*, v. 51, n. 8, p. 1669–1675, ago. 2010.
- KHAN, N.; ABAS, N. Comparative study of energy saving light sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 1, p. 296–309, jan. 2011.
- LI, D. H. W.; LAM, T. N. T.; WONG, S. L. An analysis of energy-efficient light fittings and lighting controls. *Applied Energy*, v. 87, n. 2, p. 558–567, fev. 2010.
- LIBESKINDLLOVET ARQUITETOS. Libeskindllovet Arquitetos, 2006. Disponível em: <<http://lla.arq.br/>>. Acesso em: 23 abr. 2015.
- MA, Z. et al. Existing building retrofits: methodology and state of the art. *Energy and Buildings*, v. 55, p. 889-902, dez. 2012.
- MACHADO, R. X.; SILVA, J. D. D. S.; MARQUES, N. B. *A concepção de desenvolvimento sustentável*. Universidade Regional UNIJUÍ. Ijuí, Rio Grande do Sul, p. 1-15. 2005.
- MADEIRA, G.; NETO, D. N. *Estudo de impacto de vizinhança*. UFABC. Santo André, p. 170. 2014.
- MARÍN-AGUDELO, J. *Avaliação de uma proposta de retrofit baseada em indicadores sustentáveis utilizados nas metodologias AQUA e LEED: O caso do Bloco de pós-graduação da Universidade Federal do ABC (UFABC)*. Universidade Federal do ABC UFABC. Santo André - SP, p. 139. 2015.
- MELBOURNE GOVERNMENT. 1200 buildings, What is a building retrofit? *City of Melbourne*, 2015. Disponível em: <<http://www.melbourne.vic.gov.au/1200buildings/what/Pages/WhatIsRetrofit.aspx>>. Acesso em: 15 jan. 2015.
- MME. Ministério de minas e energia, Brasil, 2013. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme>>. Acesso em: 2 dez. 2013.
- MORAES, P. R. D. B. *Análise do desenvolvimento de indicadores para a avaliação de sustentabilidade de edifícios brasileiros*. (Dissertação de Mestrado) Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 199. 2011.
- ONU. *Relatorio Brundtland*. Conferência Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Organização das Nações Unidas. Nueva York: [s.n.]. 1987.
- ONU. *World population prospects: the 2013 revision, highlights*. United Nations. New York, 2013.
- ONU. Organização das Nações Unidas, 2014. Disponível em: <<http://www.un.org/>>. Acesso em: 8 set. 2014.
- PEREIRA, D. A. D. M. *Análise e melhoramento do conforto lumínico de um bloco educacional público*. VIII Congresso Nacional de Excelência el Gestão. Nitéroi: [s.n.]. 2012. p. 2-15.
- PHILIPS. Phillips, 2015. Disponível em: <<http://www.ecat.lighting.philips.com.br/>>. Acesso em: 25 maio 2015.
- PROCEL. Centro brasileiro de informação de eficiencia energética, 2014. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>. Acesso em: 2 ago. 2014.
- ROCHA, E. T. Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y LCA1. *Revista nodo*, Bogotá, v. 6, n. 11, p. 99-116, nov. 2011.
- RYCKAERT, W. R. et al. Criteria for energy efficient lighting in buildings. *Energy and Buildings*, v. 42, n. 3, p. 341–347, mar. 2010.
- UFABC. *Projeto arquitetônico UFABC: Campus Santo André*. Universidade Federal do ABC. Santo André, p. 210. 2006.
- UFABC. *Registro de consumo de energia elétrica e água da UFABC: Campus Santo André*. Universidade Federal do ABC, Prefeitura Universitária. Santo André, p. 20. 2014.
- UFABC. Plano de Gestão de Logística Sustentável UFABC, 2015a. Disponível em: <http://www.ufabc.edu.br/index.php?option=com_content&view=article&id=9314>. Acesso em: 28 jul. 2015.
- WU, M. et al. Economic feasibility of solar powered LED roadway lighting. *Renew Energy*, v. 34, n. 8, p. 1934–1938, ago. 2009.