



**Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Educação a Distância da UFSM – EAD
Universidade Aberta do Brasil – UAB**

**Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos
Processos Produtivos**

Polo: Quaraí

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO: ESTUDO DE CASO NA
EMPRESA DE TRENS URBANOS DE PORTO ALEGRE**

CORREA, Cleber¹
GRIGOLETTI, Giane de Campos²

RESUMO

Este estudo realiza um levantamento da demanda e consumos de energia elétrica predial da Oficina de Manutenção da Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre, identificando o impacto do consumo da iluminação artificial e propondo novas tecnologias com o aproveitamento da luz natural, a fim de atuar na redução de custos de operação e manutenção e melhoria de desempenho através da utilização da energia elétrica de modo racional e eficiente. A metodologia proposta é de um levantamento, através de medições, do consumo energético para iluminação e medições de iluminância nos diferentes ambientes. O método visa analisar o atual sistema e propor a substituição, nos casos de tecnologias pouco eficientes, dos

¹Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS

²Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, RS. Professora Orientadora.

sistemas de iluminação, sugerindo o modelo e elementos que o compõem. Considerações sobre o aproveitamento da luz natural e cálculo da viabilidade econômica pelo método valor presente líquido do sistema proposto também são demonstrados. Os resultados indicam que a iluminação natural é fundamental para complementar a iluminação artificial atualmente operando. O consumo de energia elétrica para fins de iluminação da edificação estudada representa aproximadamente 6% de toda área de manutenção, este composto por mais de 15 prédios. A proposta de um sistema de iluminação LED mostrou que o investimento inicial possui retorno após cinco anos com uma redução expressiva no consumo em relação ao atual.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Iluminação, Iluminação natural, LED.

ABSTRACT

This study conducts a survey of the demand and consumption of electricity on building maintenance of Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre, identifying the impact of the consumption of artificial lighting and proposing new technologies with the use of natural light, in order to act on reduced costs of operation and maintenance and performance improvement through the use of electricity rationally and efficiently. The proposed methodology is a survey by measurements of energy consumption for lighting and illuminance measurements in different environments. The method aims to analyze the current system and propose a replacement in cases of inefficient technologies, lighting systems, suggesting the model and its constituent elements. Considerations for use of natural light and calculating the economic viability by the method net present value of the proposed system also shown. The results indicate that natural lighting is essential to supplement artificial lighting currently operating. The electricity consumption for lighting purposes on building studied represents approximately 6% of all maintenance area, this consists over 15 buildings. The proposal for an LED lighting system showed that the initial investment has return after five years with a significant reduction in consumption compared to the current.

Keywords: Energy Efficiency, Lighting, Daylighting, LED.

1 INTRODUÇÃO

A Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre S.A. (Trensurb) foi criada em 1980 e iniciou a operação comercial em 1985. É uma sociedade de economia mista, vinculada ao Ministério das Cidades, Governo Federal, que tem por acionistas a União (99,21%), o Estado do Rio Grande do Sul (0,61%) e o município de Porto Alegre (0,17%). (TRENSURB, 2013).

Atualmente, opera uma linha de trens urbanos com extensão de 43 quilômetros, no eixo norte da Região Metropolitana de Porto Alegre, com 22 estações e uma frota de 25 trens, tendo adquirido mais 15 novos trens, atendendo a seis municípios: Porto Alegre, Canoas, Esteio, Sapucaia do Sul, São Leopoldo e Novo Hamburgo.

A empresa é constituída também por um pátio de manutenção com uma área aproximada de 260.000 m² onde existem mais de 15 prédios entre áreas da administração, oficinas, refeitório, ambulatório, vestiários, entre outros. (ROLIN, 2002).

Hoje a Trensurb possui um consumo médio em torno de 350 MWh/mês para alimentação das estações de passageiros, 220 MWh/mês para as cargas no pátio de manutenção e 4.200 MWh/mês para tração elétrica. Assim, considerando os relevantes números em relação ao consumo e demanda contratada e, conseqüentemente, os considerados recursos públicos dispensados para esse fim, a conservação de energia tornou-se compulsória, significando fundamentalmente uma necessidade de economia.

Dentro da área de abrangência da Trensurb, o fornecimento de energia elétrica é realizado pelas concessionárias AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S.A. e Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE-D). São diversos contratos de fornecimento, sendo de responsabilidade de diferentes setores, dificultando uma análise dos gastos de forma integrada e precisa.

O levantamento global de cargas instaladas e a análise do comportamento da utilização da energia são imprescindíveis para montar uma matriz de consumo energético da empresa possibilitando a indicação das prioridades de investimentos em modernização ou melhorias na infraestrutura existente. Assim, torna-se possível o monitoramento dos valores de consumo e demanda por parte dos gestores de

contrato de energia, adequando, quando necessário, a valores economicamente adequados.

O objeto desta pesquisa é o levantamento do consumo de energia elétrica predial da empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre, identificando o impacto do consumo da iluminação artificial na Oficina de Manutenção e propondo um sistema automatizado de controle com o aproveitamento da iluminação natural considerando a finalidade da edificação.

2 JUSTIFICATIVA

Os sistemas de iluminação artificial são responsáveis por uma componente significativa no uso da energia total de uma edificação, na qual abrange uma fatia de 14% do consumo energético nacional. Do total da produção nacional de energia elétrica, 15,4% são usados em edifícios comerciais e 8% em edifícios públicos. No setor comercial, por exemplo, a iluminação representa 22% do consumo. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013).

Ferreira Júnior (2009) apresenta a eficiência energética em ambientes prediais utilizando redes sem fio visando simplificar o *retrofit* em prédios já em operação. Os sistemas de controle de iluminação foram desenvolvidos com objetivo de controlar o nível de iluminação do edifício, fornecendo um ambiente agradável, adequado à necessidade visual dos usuários e, ao mesmo tempo, diminuindo o consumo de energia elétrica do edifício.

Historicamente, tem sido uma tendência não somente pensar na iluminação elétrica separadamente da luz natural, mas também como focalizar uma e negligenciar a outra. Sistemas integrados de iluminação são capazes de fornecer excelente qualidade de iluminação, bem como considerável economia de energia. O projeto de iluminação, além da integração da luz natural – luz artificial deve fornecer interruptores independentes para cada zona iluminada pela luz natural. O circuito deve seguir o contorno da iluminação natural no espaço. Isto possibilita menores custos quando os controles são adicionados. A chave para o sucesso é projetar um sistema confiável, simples e efetivo. (SOUZA, 2005).

2.1 Delimitação do tema

O conceito de automação predial não possui total precisão, pois em uma automatização é preciso dar condições para que todos os sistemas do ambiente (iluminação, segurança, ar condicionado, controle de energia, incêndio), possam trabalhar em conjunto e de forma otimizada dentro da instalação, o que nem sempre ocorre nos sistemas que assim se apresentam atualmente. (LEITE; OLIVEIRA; SILVA, 2013).

Existem várias maneiras possíveis de automatizar um prédio e economizar energia elétrica com segurança através da implementação de um controle de iluminação, climatização e controle de acesso, entre outros, porém este projeto pretende aprofundar o estudo focado somente na iluminação dos ambientes e a possibilidade de melhorar a utilização da iluminação natural.

Ressalta-se que o objetivo do projeto não é avaliar diferentes condições de disponibilidade de luz natural, e sim considerar a possibilidade de uso da luz natural para proporcionar uma otimização dos projetos luminotécnicos quanto a sua influência no consumo de energia. Pretende-se verificar as diferenças produzidas por distintos projetos luminotécnicos, diante do aproveitamento da luz natural e do controle da iluminação artificial. (MORAES; CLARO, 2013).

2.2 Problema de pesquisa

Para automação de um sistema de iluminação com o aproveitamento da luz natural, nas atividades laborais, em ambientes com rotina bem estabelecida, como escritórios, são necessários elementos específicos para a finalidade. Neste caso pode-se programar a iluminação para acionar automaticamente, conforme o horário de atividade e realizar leitura de sensores para corrigir eventual diminuição da luminosidade. Porém, em locais de afluência de público, como em estações de trem, nas quais estão sujeitas a horários operacionais variáveis – em casos de eventos, jogos de futebol, dentre outros – as estratégias de controle de iluminação automática deverão ser minuciosamente estudadas.

Num país com enorme disponibilidade de luz natural, como o Brasil, nota-se que este recurso é muitas vezes subutilizado, ou utilizado de maneira equivocada, gerando problemas para os edifícios. Pode-se obter maior eficiência através do uso

da luz natural controlada. (AMORIM, 2002). A luz natural oferece enormes vantagens, e pode ser utilizada como estratégia para obter maior qualidade ambiental e eficiência energética em edifícios. Dentre os pontos positivos da luz natural, citamos alguns. (MAJOROS, 1998; AMORIM, 2002):

- a qualidade da iluminação obtida é melhor, pois a visão humana desenvolveu-se com a luz natural;
- a constante mudança da quantidade de luz natural é favorável, pois proporciona efeitos estimulantes nos ambientes;
- a luz natural permite valores mais altos de iluminação, se comparados à luz elétrica; além disso, a carga térmica gerada pela luz artificial é maior do que a da luz natural, o que nos climas quentes representa um problema a mais;
- um bom projeto de iluminação natural pode fornecer a iluminação necessária durante 80/90% das horas de luz diária, permitindo uma enorme economia de energia em luz artificial;
- a luz natural é fornecida por fonte de energia renovável: é o uso mais evidente da energia solar.

Desde sua criação, na década de 1980, a Trensurb vem gradativamente implantando e atualizando seus sistemas, sejam eles responsáveis pela segurança do transporte com a sinalização de via, supervisão e controle operacional dos trens, assim como na segurança no fornecimento de energia, com a implantação de novas subestações e aquisição de grupos geradores. Porém, o mesmo não ocorreu com a modernização no que se referem às edificações, nas quais ainda estão em funcionamento com projetos das décadas passadas. As principais iniciativas recentes foram o investimento em um sistema de automação da iluminação das plataformas das estações de passageiros, aquisição de luminárias com tecnologia a LED (*Light Emitting Diode*) para testes em alguns ambientes e o estudo para instalação de painéis solares fotovoltaicos.

Estes fatos aliados a tecnologias de iluminação pouco eficientes, ainda amplamente utilizados, sugere um grande potencial em conservação de energia elétrica, não somente na substituição dos dispositivos, mas em um sistema automatizado com o mínimo de dependência humana e com o máximo aproveitamento da iluminação natural.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A iluminação está intimamente relacionada com a visão, que corresponde ao sentido mais solicitado no desempenho de grande parte das tarefas diárias do ser humano. Para um bom aproveitamento desse sentido, é necessária uma iluminação adequada dentro do ambiente, na qual as tarefas são desenvolvidas.

Os sistemas de controle de iluminação resumiam-se inicialmente, como sendo possíveis apenas através de uma chave geral. Com objetivos de implementar sistemas mais eficientes, foram surgindo os controles localizados. Atualmente, as inovações tecnológicas permitem, através de instrumentos como detectores de presença, gerenciadores de consumo, detectores de nível de iluminâncias, um controle mais inteligente e funcional. (ROLIN, 2002).

O propósito do controle da luz é mantê-la:

- na quantidade certa;
- no local certo;
- pelo tempo necessário de uso.

A automação predial trouxe uma maior segurança e conforto a seus usuários e com menor consumo de energia. Como a grande maioria dos edifícios não está preparada para automação e os custos para a implantação da mesma podem ser elevados, os sistemas sem fio se tornaram uma opção e que tem crescido por apresentar, entre outras características, vantagens como a facilidade na instalação, a não utilização de ligação física (condutor elétrico) e a possibilidade de uma mobilidade das unidades da rede. Através de um sistema de supervisão e controle é possível centralizar as informações vindas de todas as partes do prédio, controlando de forma automática os equipamentos, garantindo assim, uma redução no consumo de energia. (FERREIRA JÚNIOR, 2009).

Ferreira Júnior (2009) apresenta um exemplo, na qual cada dispositivo possui um módulo RF com um número de identificação que permite que eles se comuniquem entre si. O controle da luminária é feito no módulo interruptor onde o usuário estabelece qual a intensidade luminosa adequada para o ambiente, sendo este valor enviado à luminária. O módulo sensor mede e transmite a intensidade luminosa do ambiente para o interruptor que enviará a nova intensidade luminosa para à luminária de forma a compensar variações de luz externa. Os sensores e

atuadores são alimentados por baterias e podem ser instalados em qualquer ponto do ambiente.

Da mesma forma, com o avanço da tecnologia pode-se ressaltar o protocolo DALI (acrônimo de *Digital Addressable Lighting Interface*). Trata-se de um padrão internacional que independe dos fabricantes dos produtos, o que assegura a intercambialidade e a interoperabilidade de dispositivos capazes de controlar eletricamente o consumo ou a intensidade luminosa. Isto dá aos projetistas, fabricantes de luminárias, construtores, instaladores e usuários finais a segurança de várias fontes de fornecimento.

DALI traz as vantagens de um padrão da indústria aos sistemas de controle da iluminação. Foi desenvolvido, especificamente, com objetivo de melhorar o controle da iluminação em aplicações locais de controle de ambientes e também com a possibilidade de se conectar com os sistemas de gerenciamento predial.

Como uma concepção de comunicação dedicada ao controle de sistemas de iluminação, DALI permite o controle sofisticado dessa iluminação ao aumentar excepcionalmente a flexibilidade e reduzir custos de instalação, pois é um protocolo dedicado puramente ao controle de iluminação. Isto significa que o DALI não pode ser usado para controlar outros sistemas. Entretanto, é eficaz para a seleção de informações como, por exemplo, a situação de luminárias com defeito. Para isto, se faz muito útil a sua interface com os sistemas de automatização do edifício quando são necessários relatórios de supervisão remota e emissão de ordens de serviço. (TEIXEIRA, 2013).

O controle da iluminação artificial de forma integrada à iluminação natural é uma estratégia mundialmente reconhecida, importante e de extrema utilidade para o desenvolvimento de edificações energeticamente eficientes. Diversos trabalhos têm comprovado que o aproveitamento da iluminação natural disponível pode proporcionar reduções significativas no consumo de energia elétrica gasto com iluminação artificial. (MANGIAPELO, 2012).

Souza (2005) apresenta o uso de energia em edificações públicas no setor de escolas em Itabira, Minas Gerais, sob o enfoque da eficiência energética. Foi apresentada uma análise estatística de dados de consumo energético, com o objetivo de traçar um perfil do consumidor na categoria de escolas públicas e identificar o índice mais adequado para caracterizar o uso da energia nesse setor. Os índices de iluminância medidos nas salas de aula de todas as escolas foram

muito abaixo da norma, chegando a atingir percentual de inadequação de 71,4%. Verificou-se que parte deste problema se dá devido ao projeto inadequado, uso de cores escuras e baixo índice de manutenção. O aproveitamento da iluminação natural também fica prejudicado pelo próprio projeto arquitetônico e pelo uso de cores escuras.

Moura *et al* (2009) mostram um estudo de desempenho luminoso do projeto do novo centro de pesquisas da Petrobrás, no estado do Rio de Janeiro, onde foi desenvolvido um amplo trabalho de pesquisa e consultoria de desempenho térmico, lumínico e energético dos edifícios. O novo centro de pesquisas da Petrobrás se insere no contexto da arquitetura contemporânea brasileira como um projeto pioneiro no que tange à introdução das preocupações de desempenho ambiental, com um processo de projeto interdisciplinar e rigoroso tecnicamente, para um empreendimento de mais de 100.000 m² de área construída, na Ilha do Fundão. No desenvolvimento deste projeto, houve a preocupação de integrar a iluminação natural de forma a complementar à iluminação artificial, a fim de aumentar a eficiência energética global do conjunto de edificações.

Mangiapelo (2012) mostra a análise de dois hipermercados localizados na cidade de Campo Grande. Um com sistema de aberturas zenitais que possibilita o aproveitamento da iluminação natural e conjunto de luminárias com refletores brancos e lâmpadas fluorescentes tubulares T8, enquanto o outro hipermercado possui um sistema de fechamento com forro e um conjunto de luminárias com refletores metálicos e lâmpadas fluorescentes tubulares T5. Foram realizadas avaliações visando à eficiência energética de ambos os sistemas de iluminação destes hipermercados e realizados levantamentos em campo, medições do consumo de energia elétrica nos circuitos de iluminação e também medições da distribuição dos níveis internos de iluminâncias. O estudo conclui que o aproveitamento da iluminação natural, associada ao correto dimensionamento do conjunto lâmpada luminária-reator e uso de sistemas automatizados, oferecem grandes potenciais para a eficiência energética.

Li e Lam (2001) avaliaram o desempenho do sistema de iluminação de um edifício comercial utilizando reatores eletrônicos capazes de controlar a iluminação de acordo com a disponibilidade de iluminação natural e ocupação de suas salas comerciais. O edifício foi construído em 1989, possuindo 47 andares e 54.000 m² de área construída e tendo dois grupos de salas comerciais, sendo um voltado para o

norte e outro para o sul. Li e Lam (2001) estimaram que o efeito de incorporar este sistema de controle ao sistema de iluminação ocasionou uma redução de 15.7 kWh por metros quadrados a cada ano, chegando a uma redução de 50% para as salas situadas no período externo da edificação. Isso se deve por estarem mais expostas à iluminação natural.

Diversas são as opções de lâmpadas e luminárias disponíveis para os projetistas luminotécnicos, cada uma com suas vantagens e desvantagens, consumo e aplicação que se encaixa melhor. A lâmpada fluorescente tubular T5 da Osram, por exemplo, apresenta uma faixa que varia de 65 a 125 lumens por Watt, enquanto a fluorescente tubular T8 apresenta uma faixa que varia de 75 a 95. Iwashita e Saidel (2005) ressaltam que, nos projetos luminotécnicos em geral, não costumam ser considerados a eficiência do conjunto de equipamentos luminária-lâmpada-reator, sendo comum a adoção de lâmpadas eficientes com luminárias ou reatores pouco eficientes, aumentando o desperdício de energia nestes casos.

Souza (2003) propôs uma metodologia para estimar o potencial de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica gasta em iluminação artificial e verificou que as estratégias de controle automático podem reduzir consideravelmente o consumo de energia elétrica gasta em iluminação, chegando a atingir uma redução de 87% em ambientes com janelas opostas.

A iluminação artificial tem sido objeto de evolução tecnológica ao longo dos anos. Atualmente, em face da necessidade do aumento da eficiência energética dos dispositivos de iluminação, devido à escassez cada vez maior de recursos naturais, a procura por soluções com baixo consumo e grande eficiência luminosa tem sido buscada incessantemente. (OLIVEIRA, 2012).

Verifica-se atualmente, a emergência de iluminação com base na tecnologia diodo emissor de luz, também conhecido pela sigla em inglês LED (*Light Emitting Diode*), justificada pelos elevados níveis de eficiência energética que esta apresenta. Dada à facilidade de controle deste tipo de dispositivo, os diversos fabricantes têm vindo adicionar novos produtos que permitem aumentar os níveis de eficiência, passando não só pela introdução de modificações no processo de emissão de fótons, como também pela utilização de módulos de gestão inteligente para otimizarem o uso da iluminação. (LAIRES, 2013).

Laires (2013) apresenta um sistema de iluminação inteligente baseado em

tecnologia LED para aplicação em espaços interiores. Foi demonstrado que o estabelecimento de interconectividade entre pontos de iluminação contribui para a melhoria da eficiência energética do sistema. O autor implementou uma interligação entre luminárias através da integração de um módulo de rádio ZigBee de 2,4 GHz em cada ponto de luz. Foi igualmente desenvolvido um protocolo específico e otimizado, para além da implementação de um circuito de alimentação e controlo da cadeia de LED.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

Mapear o atual sistema de iluminação da Oficina de Manutenção da Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre – Trensurb, propondo novos sistemas que visam à melhoria de sua eficiência energética.

4.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- a) levantar a demanda e o consumo de energia elétrica predial do Pátio de Manutenção da Trensurb;
- b) identificar as principais contribuições para o consumo de energia para fins de iluminação artificial;
- c) propor tecnologias mais eficientes para iluminação aplicável aos ambientes laborais condizentes com as Oficinas de Manutenção da Trensurb;
- d) reduzir os custos de manutenção e operação dos sistemas de iluminação das Oficinas de Manutenção da Trensurb;
- e) promover o uso racional e eficiente da energia elétrica para fins de iluminação artificial.
- f) proporcionar boas condições de trabalho, tornando a iluminação adequada a atividade exercida.

5 METODOLOGIA

Em sistemas de iluminação, torna-se necessário a determinação das atuais condições de iluminância dos ambientes, bem como a potência instalada por unidade de área e o seu estado de conservação e manutenção. Isto permite a determinação da eficiência luminosa do atual sistema de iluminação e o seu eventual potencial de redução através da utilização de tecnologias mais eficientes. (GHISI, 1997).

A metodologia proposta é a de um levantamento, sob a forma de um estudo de caso, através de medições, do consumo energético para a iluminação e medições de iluminância nos diferentes ambientes.

O método visa analisar as condições atuais, considerando níveis de iluminância e uniformidade de sua distribuição com a presença da iluminação natural, realizando um levantamento do consumo de energia e propondo um novo sistema com maior eficiência energética.

Para atingir os objetivos propostos de efficientização energética nas Oficinas de Manutenção da Trensurb, as seguintes etapas da pesquisa foram necessárias:

- a) analisar a documentação (diagramas unifilares, dimensões físicas do ambiente, histórico de consumo de energia elétrica).
- b) realizar o levantamento das atividades laborais do local por meio de consulta aos responsáveis pelo setor;
- c) identificar os pontos de fornecimento de energia elétrica, as características dos elementos responsáveis pela iluminação artificial e os locais com incidência de iluminação natural através de inspeção *in loco*;
- d) realizar a medição de energia elétrica predial nos circuitos de iluminação com um analisador de consumo durante 24 horas;
- e) medir a intensidade luminosa dos diferentes ambientes internos, em distintas condições de iluminação natural (diurno e noturno) utilizando um luxímetro digital modelo LD-511, marca ICEL com base na Norma NBR 8995-1 (ABNT, 2012);
- f) analisar o consumo dispendido para iluminação da edificação;
- g) propor a substituição, nos casos de tecnologias pouco eficientes, dos

sistemas de iluminação, sugerindo o modelo e elementos que compõem os novos sistemas;

- h) simular via *software Dialux* as condições de nova iluminação;
- i) calcular a viabilidade econômica pelo método valor presente líquido.

6 RESULTADOS E ANÁLISE DA PESQUISA

6.1 Análise do consumo e demanda

O fornecimento de energia para as oficinas é proveniente do mesmo ponto responsável pelo abastecimento dos demais edifícios como os prédios administrativos, os laboratórios, refeitório e demais prédios da Trensurb. Assim, não existe um faturamento para a concessionária de forma a fornecer os subsídios necessários para analisar cada uma das edificações.

A unidade consumidora definida como Pátio Manutenção possui contrato de fornecimento com classificação tarifária Horosazonal Verde, Subgrupo A4 (2,3 kV a 25 kV). A partir da análise das faturas observa-se na Figura 1 o comportamento do consumo de energia elétrica ponta, fora ponta e total.

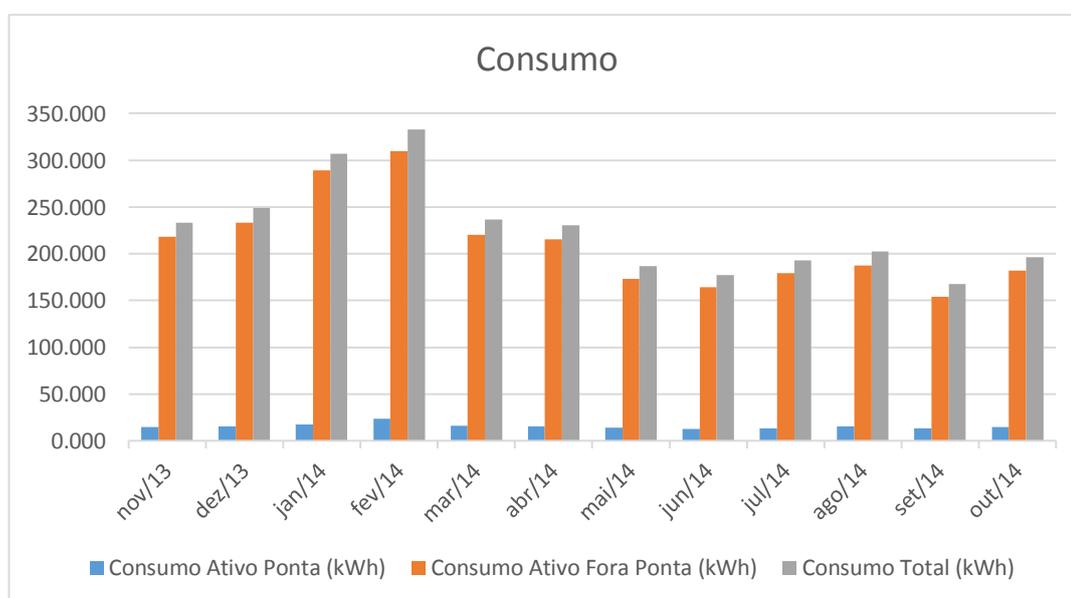


Figura 1 – Comportamento de energia elétrica de ponta, fora ponta e total.

O contrato de demanda de energia pode sofrer alterações em seus valores caso haja a necessidade de redução ou elevação. O objetivo é manter uma

demanda medida mais próxima da contratada para que não haja pagamentos por ultrapassagem e nem a subutilização, pagando por uma energia não usada. Constatou-se assim, conforme Figura 2, que a demanda contratada de 960 kW foi ultrapassada nos quatro meses com temperaturas mais elevadas, nos quais a utilização dos equipamentos de climatização foi constante.

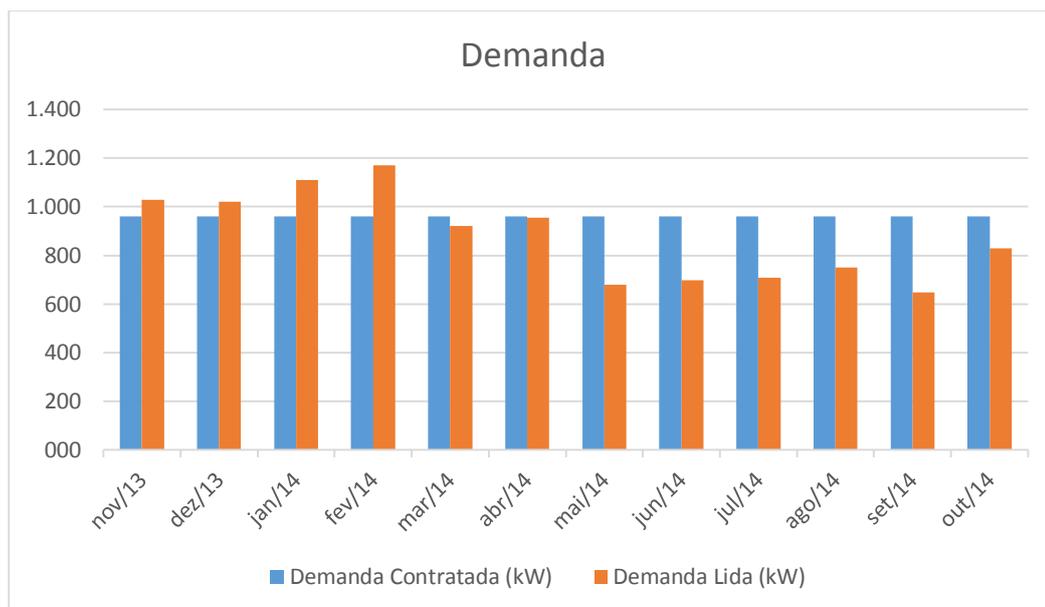


Figura 2 – Demanda contratada de 960 kW ultrapassada.

A edificação escolhida para o estudo da iluminação foi à Oficina de Manutenção pesada, pois possui uma área representativa e similaridade com a outra oficina, correspondendo a 47% das áreas demarcadas na Figura 3. Assim a proposta de solução de eficiência pode ser replicada aos prédios semelhantes.



Figura 3 – a) Oficina de Manutenção Pesada; b) Oficina de Manutenção Leve; c) Torno.

A aquisição das informações quanto às características físicas do local foram obtidas através da análise do projeto arquitetônico e observação *in loco*. Para realizar as medições foram divididos esses locais em três blocos de 20 m de largura e 90 m de comprimento, totalizando uma área de 5400 m² (Figura 4).

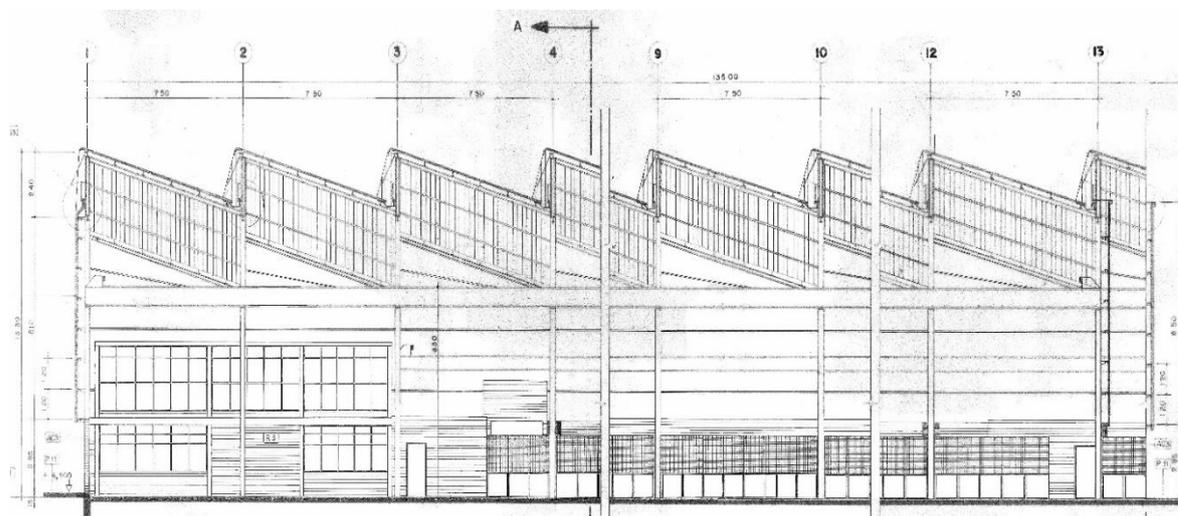


Figura 4 – Corte longitudinal da Oficina de Manutenção.

Fonte – Projeto Arquitetônico Trensurb (1982).

O pé direito dos blocos da extremidade possui 10,50 m, sendo que o central possui altura total de 12,90 m (Figura 5). As luminárias estão a uma altura de 7,50 metros do piso. O local escolhido foi à área de manutenção, excluindo as áreas administrativas e de atividade específicas como salas de testes, cabines e laboratórios.

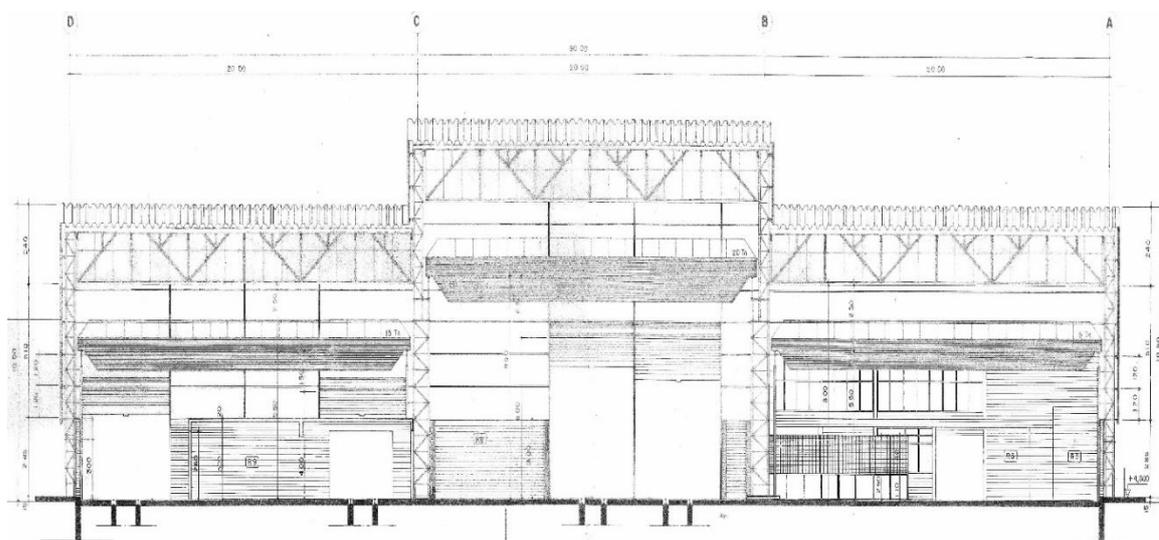


Figura 5 – Fachada sul da oficina de manutenção.

Fonte – Projeto Arquitetônico Trensurb (1982).

O levantamento das características físicas do ambiente e do sistema de iluminação existente está resumido na Tabela 1.

Tabela 1 - Características físicas e sistema de iluminação atual.

Características físicas do ambiente	
Local	Oficina de Manutenção Pesada - Trensurb
Finalidade	Manutenção de Trens
Área total	5400 m ²
Sistema de Iluminação	
Tensão de alimentação	220/380 V
Número de interruptores	27
Lâmpadas	Lâmpada de Mercúrio de Alta Pressão
Luminária	Industrial
Potência da lâmpada	400 W
Tipo de reator:	Externo
Perda no reator	43 W
Potência nominal instalada - lâmpada e reator	56,70 kW
Área iluminada	4655 m ²
Número de luminárias	128
Fluxo luminoso em 25°por lâmpada	22000 lm
Eficiência luminosa nominal em 25°C	55 lm/W
Horário de operação	06h as 17h

Fonte – Inspeção *in loco* e dados do fabricante (PHILIPS, 2014).

6.2 Medições de consumo de energia para iluminação

As medições de corrente e tensão elétrica são importantes para a confirmação do consumo de energia e o comportamento do uso da iluminação. Foi utilizado um analisador de qualidade de energia, modelo 435 II da marca Fluke, para obtenção destes dados. Na Figura 6 são mostrados os detalhes do analisador e o local da medição.



Figura 6 – Detalhes da medição da tensão e corrente do sistema de iluminação.

Os condutores de alimentação do sistema de iluminação da oficina de manutenção estão protegidos por três disjuntores tripolares de 90 A (ampères) na subestação transformadora. A medição da tensão e corrente foi realizada nestes pontos, no período de 10 a 12 de novembro de 2014, podendo ser observado o resultado das medidas das correntes das três fases de um disjuntor, na Figura 7.



Figura 7 – Medição de corrente elétrica das três fases de um disjuntor tripolar.

Nas lâmpadas de mercúrio, à luz é proveniente da descarga elétrica dentro de um tubo de quartzo, a fim de suportar altas temperaturas. O reator necessário para auxiliar a partida necessita de altas correntes elétricas e um determinado tempo de acendimento, que neste caso levou em torno de cinco minutos. O horário de acionamento de toda a iluminação, através de interruptores, foi realizado às 6h15min, com intervalo de desligamento das 11h30min às 12h30min e encerramento das atividades às 17h. As medidas apresentadas na Figura 7 foram executadas sem o conhecimento dos funcionários responsáveis pelo acionamento da iluminação, garantindo assim que há um padrão de utilização, com variações de alguns minutos.

Na Tabela 2 pode-se observar o resultado das medições de tensão e corrente realizadas.

Tabela 2 - Tensão, corrente e potência média.

Disjuntor	Fase	Corrente RMS (A)	Tensão RMS (V)	Potência (W)
1	r	31	226	7.006
	s	32		7.232
	t	32		7.232
2	r	33	224	7.392
	s	36		8.064
	t	37		8.288
3	r	37	225	8.325
	s	23		5.175
	t	35		7.875
			Total	66.589

Fonte – Medições realizadas com analisador de qualidade de energia.

As medidas demonstram que a potência ativa do sistema de iluminação é 17% maior que a nominal dada pelo fabricante. Isto se deve principalmente aos reatores em estado final de vida útil, apresentando ruído e aquecimento.

O consumo mensal pode ser estimado para 10 horas de operação diária totalizando 13.318 kWh/mês. Isto representa aproximadamente 6% de todo o consumo de energia elétrica do pátio de manutenção da Trensurb.

6.3 Medições de iluminância

As principais atividades laborais da área estudada estão na manutenção dos trens, nas quais envolvem a retirada de equipamentos elétricos, como por exemplo, os motores de tração, pantógrafos, isoladores, banco de baterias, chaves de linhas, entre outros. Os equipamentos pneumáticos, como as válvulas gerais, compressores, reservatórios de ar, máquinas de porta, assim como as partes mecânicas, entre elas os truques, amortecedores, também são retirados para a realização da manutenção neste local. Para isso, grande parte da área é utilizada para armazenamento e inspeção.

Foram realizados dois conjuntos de medições do nível de iluminância com um luxímetro digital modelo LD-511, marca ICEL. As medidas foram realizadas conforme orientação da NBR 15215-4 (ABNT, 2004), a 75 cm do piso, mantendo o sensor paralelo à superfície e evitando sombras sobre a fotocélula. O horário noturno foi escolhido a fim de não interferir no ambiente de trabalho e assim foi possível obter um conjunto de medidas de iluminação, com a contribuição da iluminação natural e outra somente com a iluminação artificial.

Para o cálculo da quantidade de pontos mínimos sugeridos pela norma, necessários para verificação do nível de iluminação natural com erro inferior a 10%, é necessário determinar o índice do local (K), levando em conta a largura e comprimento do local, assim como a distância vertical, em metros, entre a superfície de trabalho e o topo da janela. No caso do local em estudo, não existem janelas, assim foi escolhido um maior número de pontos indicados pela norma. Na NBR 15215-4 (ABNT, 2004) é salientado que o índice (K) caracteriza um número mínimo de pontos a serem medidos e que este deve ser aumentado para que se consiga simetria nas medições e sempre que se desejar melhor caracterização da iluminância do ambiente.

O ambiente interno foi dividido em áreas iguais, com formato próximo a um quadrado. A malha foi planejada evitando pontos muito próximos às paredes, considerando para isso um afastamento de 0,50 m. A Figuras 8 e a Figura 9 mostram na malha a distribuição dos 123 pontos medidos.

6.3 Iluminação Natural

A iluminação zenital são espaços criados na cobertura das edificações que geram a entrada de luz através de vãos com fechamento por materiais translúcidos. A utilização de *shed* em fábricas é muito comum e na Oficina de Manutenção da Trensurb foi utilizada esta solução para complementar a utilização da iluminação artificial. Como se pode observar na Figura 10, a deterioração ao longo dos anos está evidente, pois houve uma redução expressiva da passagem da luz para o interior do edifício.

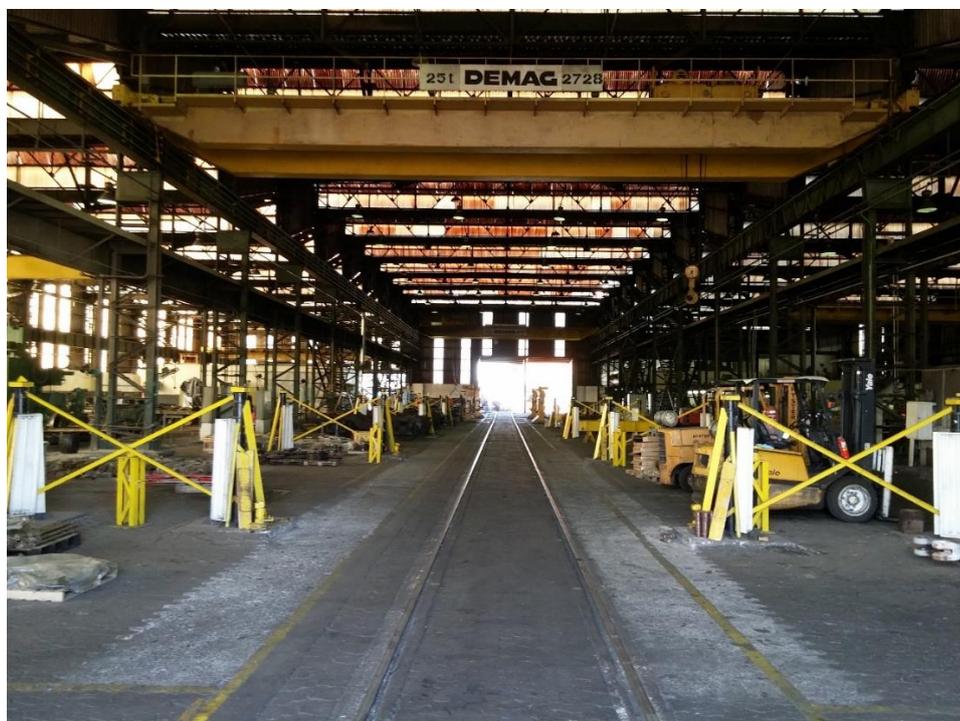


Figura 10 – Imagem da oficina de manutenção.

Na Figura 11 é apresentada uma distribuição das medições da iluminância, proveniente somente da iluminação artificial, sobre a superfície representada pela área da oficina. Este gráfico de superfície, elaborado a partir das tabelas de medidas utilizando o *software Excel*, demonstra a pouca uniformidade e a baixa incidência da iluminação. Em áreas com atividades de depósito e estoque, que possuem ocupação contínua, é recomendado, segundo norma NBR 8995-1 (ABNT, 2012), uma iluminação mínima de 200 lux. O valor médio obtido para esta situação foi de 86 lux.



Figura 11 – Distribuição da iluminância (lux) proveniente da iluminação artificial.

Na Figura 12 é possível observar a distribuição da iluminação com o complemento da iluminação natural. A medida de iluminância passa de 800 lux em alguns pontos, proveniente da iluminação natural da abertura das portas. O valor médio, medido com o luxímetro, foi de 250 lux, porém este valor não é representativo, pois a iluminância média caracteriza adequadamente apenas os ambientes iluminados artificialmente ou com iluminação zenital uniformemente distribuída.



Figura 12 – Distribuição da iluminância (lux) com a contribuição da iluminação natural.

Também se pode relacionar a contribuição da iluminação natural apresentada na Figura 12 com as placas translúcidas instaladas nas paredes leste e oeste, conforme Figura 13.

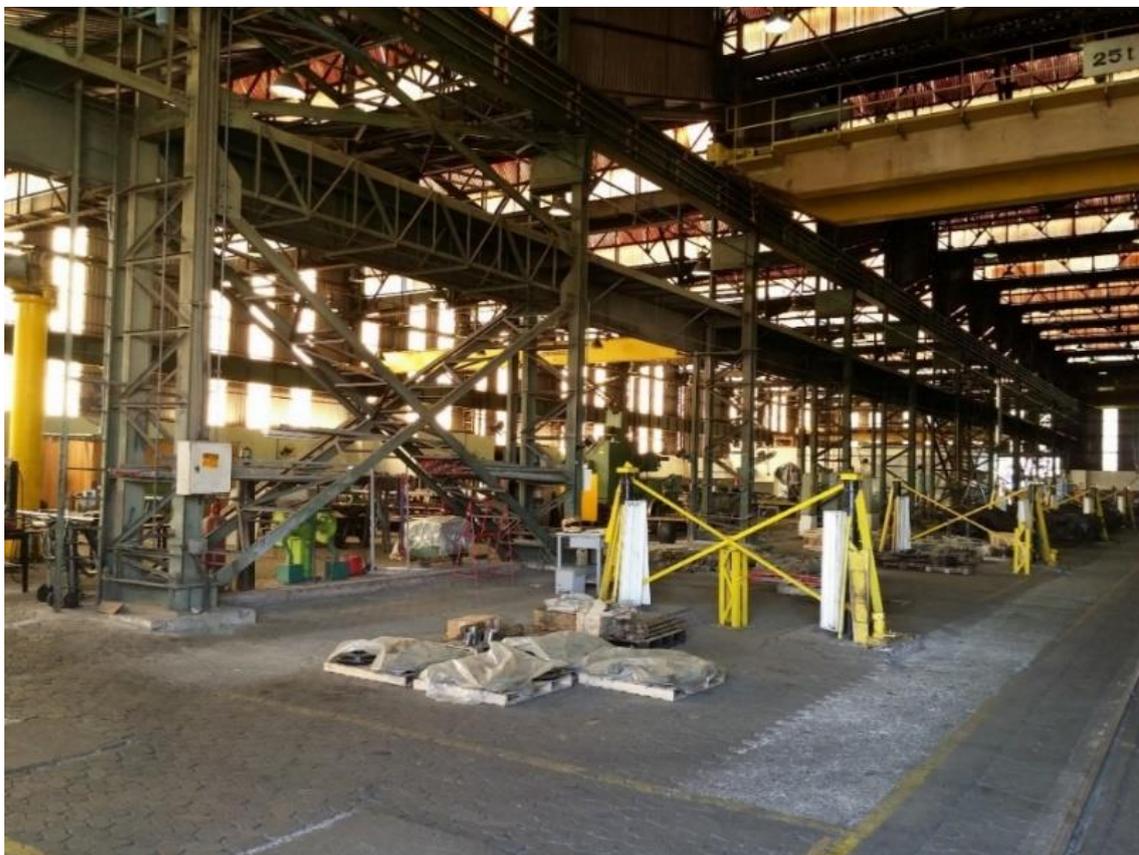


Figura 13 – Placas translúcidas.

6.4 Proposição do novo sistema

A fim de obter uma iluminação uniforme e mínima de 200 lux foi utilizado o *Software Dialux* para a simulação da distribuição da nova iluminação. As luminárias com tecnologia LED foram escolhidas pelo menor consumo e a elevada vida útil, reduzindo assim as intervenções para manutenção e substituição de lâmpadas.

A proposição deste novo projeto de iluminação visa o atendimento mínimo de iluminação, mesmo sem a utilização da iluminação natural. Justifica-se esta necessidade, pois a instalação deve ficar disponível em horários noturnos, por exemplo, para atividades laborais de manutenção.

A substituição das atuais telhas translúcidas e *shed* por novos elementos com maior passagem da luz solar, podem permitir manter a iluminação artificial total ou

parcialmente desligada sem comprometer as atividades do local e atender aos níveis de iluminação normativos.

A Figura 14 apresenta a nova distribuição de luminárias e os índices de iluminação simulados com o *software Dialux*.



Figura 14 – Distribuição da iluminação proposta.

Algumas características para o novo sistema de iluminação podem otimizar o aproveitamento da luz natural como a utilização de um controle constituindo-se basicamente de um reator eletrônico com ajuste de potência e sistema de comunicação, neste caso a luminária a LED possui ajustes de 10% a 100% e utiliza a tecnologia DALI. A distribuição dos circuitos de alimentação das luminárias para facilitar os desligamentos parciais conforme a iluminação natural existente também é necessária. A iluminação geral deve ser a mínima possível, sem comprometimento do conforto visual dos usuários do ambiente, a fim de minimizar o consumo de energia.

A maioria dos sensores são equipados com acessórios que permitem a sua inibição, ajuste de sensibilidade e temporização. Sensores de ocupação podem ser combinados entre si com sensores foto elétricos, a fim de garantir que a sua atuação só seja efetivada se realmente os níveis de iluminância devido à luz natural já não se fizerem mais presentes.

A Tabela 3 a seguir apresenta algumas características do sistema proposto em relação ao existente.

Tabela 3 – Comparação do sistema de iluminação atual e o sistema proposto.

Características da Instalação	Sistema de Iluminação Atual	Sistema de Iluminação Proposto
Tensão de alimentação	220/380 V	220/380 V
Número de interruptores	27	27
Lâmpadas	Mercúrio	LED
Vida útil - horas	9.000	50.000
Luminárias	Suspensa	Suspensa
Potência da lâmpada	400 W	70 W
Tipo de Reator:	Externo	Interno
Perda do Reator	43 W	--
Potência Total	66,59 kW	11,62 kW
Área iluminada	4.655 m ²	4.655 m ²
Número de luminárias	128	166
Fluxo luminoso por lâmpada	22.000 lm	4.970 lm
Eficiência luminosa nominal	55 lm/W	70 lm/W

Fonte – Inspeção *in loco*, medições com analisador de energia e dados do fabricante (OSRAM, 2014).

6.5 Viabilidade econômica do projeto proposto.

Para o estudo de viabilidade econômica do projeto foi utilizado o método do Valor Presente Líquido (VPL), calculado através da Equação 1. O valor da taxa mínima de atratividade, ou taxa de desconto, adotada nesta análise será de 8% ao ano, conforme orienta o Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética da ANEEL de 2008. (ANEEL, 2008).

$$VPLn = -IN + FBC * FVPn \quad (1)$$

Onde:

VPLn – valor presente líquido no ano “n”;

IN – investimento inicial;

FBC - fluxos de benefícios ou custos esperados ao longo do tempo;

FVPn – fator de valor presente no ano “n”.

$$FVP = \frac{(1+i)^n - 1}{1 * (1+i)^n} \quad (2)$$

Sendo:

FVP = fator de valor presente;

i = taxa de juros (taxa de desconto que no caso será 8%);

n = vida útil (em anos);

Considerando o custo unitário de R\$120,00 para cada lâmpada LED e R\$140,00 para a mão de obra por luminária instalada, tem-se um investimento inicial de R\$43.160,00. A energia ativa consumida ficará em 2.324kWh/mês considerando a utilização de 10 horas por dia durante 20 dias por mês.

Desconsiderando a recontração da demanda e a utilização do valor de R\$0,25 do preço do kWh da energia ativa consumida fora do horário de ponta, apresentado nas faturas de energia da concessionária, tem-se uma economia mensal de R\$2.748,50.

A vida útil da lâmpada LED informada pelo fabricante é de 50.000 horas. Assim considerando o tempo de utilização diária tem-se uma vida do sistema de iluminação de 20,83 anos.

Na Tabela 4 é mostrado o VPL anual, no qual se pode ver o retorno do investimento acontece a partir do 5º ano, quando o VPL fica acima de zero. Nestas condições, com juros de 8% a.a., as luminárias a LED são viáveis no aspecto econômico, pois o retorno financeiro ocorre antes do término de sua vida útil.

Tabela 4 – Valores obtidos para o método do valor presente líquido, com juros de 8% ao ano.

Investimento Inicial (R\$)	R\$ 43.160,00		
Tempo (anos)	FVP (i = 8%)	FBC (R\$)	VPL (R\$)
1	0,92593	R\$ 2.748,50	-40.615,09
2	1,78326	R\$ 2.748,50	-33.357,39
3	2,5771	R\$ 2.748,50	-21.910,55
4	3,31213	R\$ 2.748,50	-6.746,48
5	3,99271	R\$ 2.748,50	11.709,82
6	4,62288	R\$ 2.748,50	33.075,91
7	2,20637	R\$ 2.748,50	57.007,96
20	9,81815	R\$ 2.748,50	496.543,56
20,83	9,98475	R\$ 2.748,50	528.570,74

Fonte – Valores obtidos das equações (1) e (2).

A Figura 15 apresenta a curva do valor presente líquido no decorrer dos anos considerando o investimento inicial, os benefícios esperados e a taxa de juros.

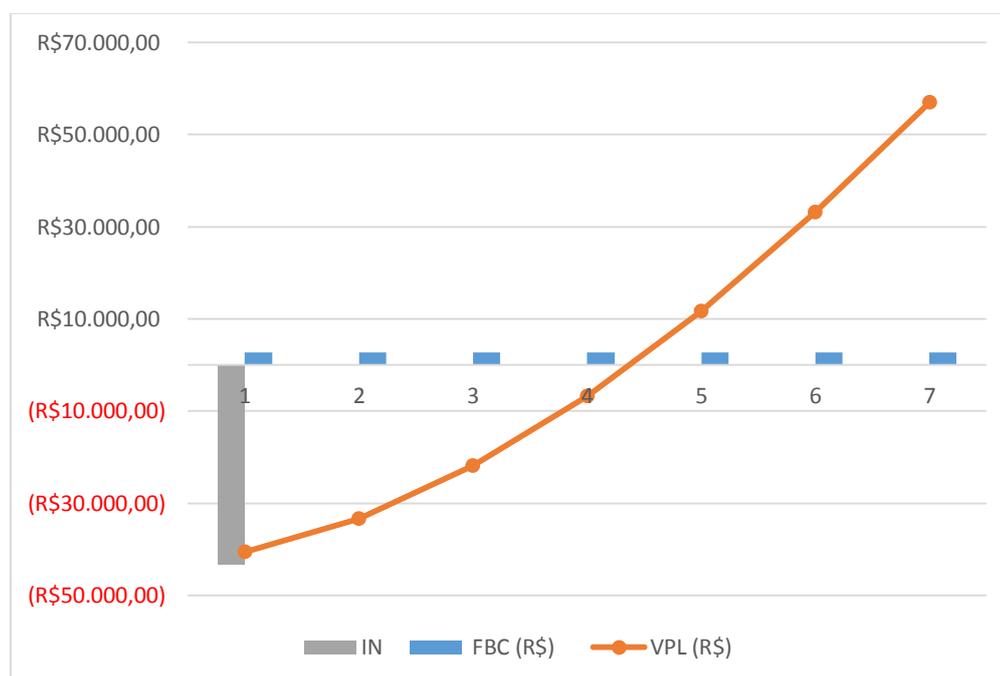


Figura 15 – Gráfico da curva do método valor presente líquido.

As luminárias para iluminação escolhidas com tecnologia LED em questão, além de se mostrarem viáveis e com retorno financeiro favorável no contexto da viabilidade econômica, também apresentaram melhor desempenho técnico, tais como: melhor qualidade de iluminação (IRC); redução da emissão de CO₂ para

atmosfera; ausência de produtos tóxicos na sua composição; e maior eficiência energética. (ASCURRA, 2013).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise das contas de energia do pátio de manutenção foi possível identificar a ultrapassagem da demanda contratada em quatro meses do último ano e o comportamento do consumo no decorrer dos meses, no qual foi predominantemente um consumo ativo fora do horário de ponta. Após a identificação do consumo de energia elétrica para fins de iluminação da Oficina de Manutenção, através da medição da corrente e tensão, pode-se verificar que esse consumo representa aproximadamente 6% de todos os gastos de energia da unidade consumidora definida pela concessionária como Pátio Manutenção.

O levantamento dos índices da iluminação através das medidas realizadas com o auxílio de um luxímetro, em horário noturno e diurno, demonstrou os baixos níveis de iluminância quando da ausência da iluminação artificial. Um dos pontos positivos encontrados neste estudo foi a possibilidade de um incremento considerável da iluminação do ambiente com a substituição das telhas e placas translúcidas que atualmente colaboram com a iluminação natural, porém de forma não otimizada, por elementos com maior aproveitamento da luz solar.

A fim de tornar a iluminação adequada as atividades laborais, independente do turno de trabalho, foi proposto um novo sistema utilizando luminárias com tecnologia LED. Além da eficiência destes dispositivos, a vida útil é um fator decisivo para a escolha deste modelo de iluminação. Equipamentos auxiliares como sensores de presença e foto elétricos podem auxiliar na redução da iluminação quando da presença da luz solar.

O estudo da viabilidade econômica demonstrou que, embora o custo inicial seja elevado em relação a outras tecnologias de iluminação, o sistema recupera o investimento inicial a partir do quinto ano de implantação, tendo uma expectativa de vida útil de aproximadamente 20 anos.

8 REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8995-1:** Iluminação de ambientes de trabalho: parte 1: interior. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 15215-4:** iluminação natural: parte 4: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações. Rio de Janeiro, 2004.

AMORIM, Claudia Naves David. **Iluminação Natural e Eficiência Energética - Parte I:** estratégias de projeto para uma arquitetura sustentável. Paranoá, BR: UnB, 2002.

ANEEL. **Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética.** 2008, 63p. Disponível em: <www.aneel.gov.>. Acesso em: 4 nov. 2014.

ASCURRA, Rodrigo Esteves. **Eficiência Elétrica em Iluminação Pública Utilizando Tecnologia LED:** um estudo de caso. Orientador Bismarck Castilho Carvalho. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Mato Grosso. Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental, Cuiabá, MT, 2013. 157 f.

FERREIRA JÚNIOR, Paulo Augusto. **Eficiência Energética em Ambientes Prediais Utilizando Rede sem Fio ZigBee e Controle Fuzzy.** [Distrito Federal] 2009. xvii, 111., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Mestre, Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

GHISI, Eneidir. **Desenvolvimento de uma Metodologia para Retrofit em Sistemas de Iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis,** 1997. 246 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

IWASHITA, Juliana; SAIDEL, Marco Antônio. **Avaliação da Eficiência Energética de Sistemas de Iluminação Interior:** parâmetros para uma abordagem uniforme visando a lei da eficiência energética. XVIII SNPTEE, 2005.

LAIRES, Ricardo Jorge Domingos. **Sistemas de Iluminação Eficiente Utilizando a Tecnologia LED para Espaços Públicos Interiores.** 2013. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade de Nova Lisboa, 2013.

LAMBERTS, Roberto; LOMARDO, Louise Land Bittencourt; AGUIAR, João Carlos; THOMÉ, Mabele Rose Vieira. **Eficiência Energética em Edificações:** estado da arte. Procel/ELETOBRÁS, 1996.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. 3 ed. **Eficiência**

Energética na Arquitetura. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2013.

LEITE, Giovani; OLIVEIRA, Marcus; SILVA, Rogério. **Projeto Predial em Planta Baixa.** Instituto de Estudos Superiores da Amazônia, 2013.

LI, Danny Hin Wa; LAM, Joseph Choi. **Evaluation of Lighting Performance in Office Buildings with Daylight Controls.** Energy and Buildings 33, p. 793 – 803, 2001.

MAJOROS, András. **Daylighting.** PLEA Notes, Note 4. PLEA in Association with Department of Architecture, the University of Queensland. Edited by S.V.Szokolay, 1998.

MANGIAPELO, Leonardo Bruno Santos. **Avaliação da Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação Predial:** estudo de casos em dois hipermercados na cidade de Campo Grande MS / Leonardo Bruno Santos Mangiapelo. Campinas, SP: [s.n.], 2012.

MORAES, Letícia Niero; CLARO, Anderson. Estudo comparativo de sistemas de iluminação artificial considerando luz natural e consumo de energia. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 59-74, jul./set. 2013.

MOURA, Norberto Corrêa da Silva; MIANA, Anna Christina; GONCALVES, Joana Soares; DUARTE, Denise Silva. **Arquitetura e Desempenho Luminoso: CENPES II, o novo centro de pesquisas da Petrobras, no Rio de Janeiro, Brasil.** **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.9, n.2, p. 151-172, 2009.

OLIVEIRA, José Gil. **Aplicação de LEDs e Fotometria.** Sistemas de Iluminação, 2012.

OSRAM. **Site.** 2014. Disponível em: <www.osram.com.br/osram_br/produtos/tecnologia-led/lampadas/index.jsp>. Acesso em: 10 out. 2014.

PHILIPS. **Site.** 2014. Disponível em: <www.lighting.philips.com/main/prof/lamps/high-intensity-discharge-lamps/hpl-high-pressure-mercury#filters=>>. Acesso em: 10 out. 2014.

PROJETO Arquitetônico Trensurb (1982). Porto Alegre, RS: Trensurb, 1982.

ROLIM, Otávio Alves. **Eficientização de Estações Ferroviárias:** estudo de caso. 2002. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2002.

SOUZA, Anádia Patrícia Almeida de. **Uso da Energia em Edifícios:** estudo de caso de escolas municipais e estaduais de Itabira, Minas Gerais./ Anádia Patrícia Almeida de Souza - Belo Horizonte, CEFET-MG, 2005. 142f. Dissertação: (mestrado)

CEFET-MG/DPPG.

SOUZA, Marcos Barros de. **Potencialidade de Aproveitamento da Luz Natural através da Utilização de Sistemas Automáticos de Controle para Economia de Energia Elétrica**. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

TEIXEIRA, Wilson. O que é Dali? Conheça o padrão para controle digital da iluminação que fascinará seus clientes. **Lume Arquitetura**, p. 62-65, 2013.

TRENSURB. História. **Site**. 2013. Disponível em:
http://www.trensurb.gov.br/paginas/paginas_detalhe.php?codigo_sitemap=48.
Acesso em: 17 fev. 2013.