

METODOLOGIA PARA PROSPECÇÃO DE PROJETOS E AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM ILUMINAÇÃO EFICIENTE.

Patrícia R. da S. Jota¹, Anísio R. Braga¹, Rodrigo A. Rocha¹ e Eduardo C. Nobre²

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG,
Centro de Pesquisa em Energia Inteligente – CPEI Av. Amazonas 7675,
Nova Gameleira, BH – MG 30510-000 + 55(31)3319-5413
rodrigo.cpei@yahoo.com, prsjota@dppg.cefetmg.br

²Companhia Energética de Minas Gerais-CEMIG
Av. Barbacena 1200/16 andar – 30123-970 (31)33493445
CP 992 – Belo Horizonte, Brazil, ecnobre@cemig.com.br

Abstract: In this work, it was proposed a methodology for illumination projects of more complete and efficient form of that the surveys carried through currently. The methodology makes possible a more complete survey of the current lighting system and its evaluation besides still projecting alternative systems during the building inspection. To the end of the inspection, a report is emitted, with an efficient light design beyond some information calculated and measures on the current system. *Copyright © 2007 CBEE/ABEE*

Keywords: up to 5 keywords, 127mm (5in) width (maximum), left justified.

Resumo: Este trabalho apresenta uma metodologia para prospecção de projetos de iluminação de forma mais completa e eficaz do que os levantamentos realizados atualmente. A metodologia possibilita um levantamento mais completo do sistema de iluminação atual e sua avaliação além de projetar sistemas alternativos ainda durante a vistoria da edificação. Ao final da vistoria, um relatório é emitido, contendo um pré-projeto de iluminação eficiente além de várias informações calculadas e medidas sobre o sistema atual.

Palavras Chaves: projetos luminotécnicos, prospecção de projetos, avaliação econômica.

1 INTRODUÇÃO

As concessionárias de energia elétrica necessitam realizar levantamentos para prospecção de projetos de iluminação para investir a verba prevista pela ANEEL em projetos do PEE- Programa de Eficiência Energética, ANEEL, 2005.

Segundo a concessionária de energia, a rotina adotada nos levantamentos contratados para prospecção se baseiam em visitas às possíveis edificações enumerando a quantidade de luminárias, de lâmpadas e de horas de uso destes equipamentos ao longo das edificações. Com base nestes dados é feito um cálculo dos ganhos obtidos a partir de um retrofit do sistema de iluminação, sem que sejam verificados se a simples troca atenderá aos requisitos da Norma.

Estes levantamentos, apesar de simplificados, possuem alto custo e são os responsáveis pela determinação dos projetos aprovados no PEE. Após a aprovação, são contratadas empresas para elaborar os projetos. Nesta fase, as edificações são novamente visitadas e os projetos luminotécnicos são realizados. É comum encontrar ambientes onde o nível de iluminância está abaixo da norma e é necessário o aumento do número de lâmpadas para atender as condições necessárias. Esta mudança, não prevista no anteprojeto, leva o mesmo a não atender a regra básica da ANEEL de RCB.

A parceria entre a Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, dentro do projeto de pesquisa CEMIG/ANEEL- I-LUMINA “Desenvolvimento de Metodologia para Prospecção de Projetos e Avaliação de Iluminação Eficiente” e o Centro Federal de Ensino Tecnológico de Minas Gerais (CEFET-MG)

possibilitou o desenvolvimento do trabalho. Um grupo de pesquisadores do Centro de Pesquisa em Energia Inteligente (CPEI) desenvolveu uma metodologia de prospecção que pudesse realizar um pré-projeto ainda na fase inicial de coleta de dados com custos reduzidos. Este trabalho apresenta a metodologia proposta no projeto.

2 METODOLOGIA

A metodologia proposta para os levantamentos dos sistemas de iluminação ao nível de prospecção é baseada: no levantamento de dados básicos, na medição do nível de iluminância do sistema existente, na proposição de projeto alternativo, na comparação entre projetos do ponto de vista energético e luminotécnico, na análise econômica da proposta e na emissão de um relatório ao final da visita.



Figura 1: Luxímetro digital projetado e protótipos de interface para os modos de operação luxímetro e datalogger com gráfico de tendência.

Para viabilizar a metodologia proposta está sendo desenvolvido um software auditor e um luxímetro digital com capacidade de armazenamento de dados. O software auditor é capaz de realizar o projeto de prospecção de iluminação eficiente. O luxímetro-datalogger desenvolvido neste projeto (vide ilustração na figura 1) é configurado digitalmente e pode medir até 4 fotocélulas simultaneamente, sendo que na configuração default utiliza um fotodiodo para medição de intensidade luminosa e outros três fotodiodos para medição de cor (vermelho, verde e azul) de teto e parede. Com capacidade de comunicação sem fio via Bluetooth, o luxímetro pode ser operado remotamente por meio de uma interface de alto nível executada em um computador de mão. O luxímetro pode ser operado independentemente do computador de mão, podendo armazenar dados característicos de um ambiente tais como dimensões, identificação, além dos índices de iluminância e cor de teto e parede, sendo estes dados enviados posteriormente para um computador para serem analisados pelo software auditor.

Ao final do processo de prospecção, o consumidor visitado (edificação) recebe um relatório contendo o resultado da avaliação, com a proposta do novo projeto e a análise de possíveis investimentos. Assim, o consumidor visitado poderá utilizá-lo caso não seja

contemplada pelo concessionária dentro do PEE. Esta metodologia diminui a possibilidade de erro no cálculo do RCB e garante a proposição de um sistema eficiente que atenda as normas e o uso do ambiente.

A figura 1 ilustra o fluxograma da metodologia desenvolvida.

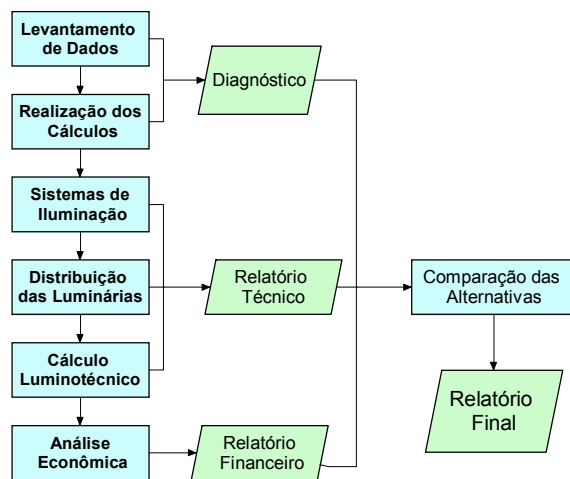


Figura 1: Fluxograma da Metodologia

3 LEVANTAMENTO DE DADOS

O levantamento de dados tem como objetivo levantar os dados necessários para calcular o nível de iluminância do projeto original e possibilitar a proposição do novo projeto. É uma importante etapa do processo e deve ser realizado de forma criteriosa.

Na visita às edificações são levantados as características construtivas do ambiente: comprimento, largura, pé direito, altura da luminária, altura do plano de trabalho e refletância das paredes. Posteriormente é caracterizado o sistema de iluminação: número de luminárias, quantidade de lâmpadas, potência das lâmpadas e o regime de funcionamento.

O tipo de atividade exercida e alguns dados qualitativos como velocidade e precisão das tarefas desenvolvidas, idade dos ocupantes, refletância do fundo de tarefa e fator de manutenção também são levantados em campo.

A ajuda de um responsável da edificação é de grande importância no levantamento dos dados, a fim de se obter informações precisas sobre o regime de funcionamento e do período de manutenção do ambiente.

As faturas de energia elétrica constituem uma fonte de dados relativamente confiáveis, de fácil acesso e que possuem informações importantes sobre o consumo e sobre o preço médio pago pela energia consumida na edificação, sendo importante durante este processo.

Após a aquisição dos dados necessários, o software auditor consulta o seu banco de dados com informações referentes a luminárias, lâmpadas e reatores padrões.

Realiza uma simulação do sistema de iluminação atual através do Método dos Lúmens, com o objetivo de verificar se o projeto luminotécnico está adequado.

O consumo de energia do ambiente é calculado baseado na potência instalada (kW) na iluminação e suas horas de funcionamento da edificação.

4 MEDIÇÃO DOS ÍNDICES DE ILUMINÂNCIA

A realização da medição dos índices de iluminâncias dos ambientes é uma atividade de grande importância, pois alguns locais analisados não apresentam os seus níveis de iluminamento em conformidade aos estabelecidos na Norma Brasileira, prejudicando a produtividade e a qualidade das atividades desenvolvidas. As medições são realizadas com a ajuda de um hardware desenvolvido pelo I-LUMINA.

A Norma NBR-5382 “Verificação de Iluminância de Interiores” determina que as medições devem ser realizadas a noite para evitar a influência da iluminação natural. Devem ser medidos os índices de iluminância de 18 pontos do ambiente, que representam as áreas centrais, laterais e das extremidades, conforme ilustrado na figura 2

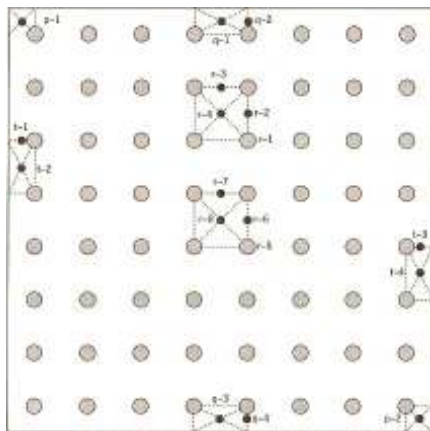


Figura 2 – Disposição dos pontos de medição - NBR-5382

Após a medição dos níveis de iluminância, o índice de iluminância média no ambiente é obtido por meio da equação (1)

$$E_{med} = \frac{R(N-1)(m-1) + Q(n-1) + T(M-1) + P}{NM} \quad (1)$$

Onde:

N= número de luminárias por fila

M= número de filas

R, Q, T e P são as médias aritméticas dos valores medidos nos pontos com mesma letra na figura 1.

A etapa de prospecção de projetos não exige que a medição dos níveis de iluminância apresentem grande precisão, pois o objetivo dessa medição é confrontar os valores medidos com os calculados. Em seguida os resultados são classificados de acordo os níveis

referenciados pela norma da seguinte forma: abaixo, de acordo ou acima do nível recomendado.

Por esta razão, o levantamento do índice de iluminância é realizado de forma simplificada como mostrado a seguir. O índice de iluminância médio é calculado pela média aritmética das medições dos 5 pontos apresentados pela figura 2.

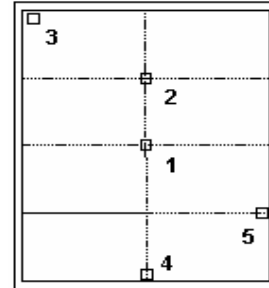


Figura 3 – Pontos de medição para cálculo de iluminância média

Os resultados obtidos através da utilização deste método de medição foram testados e apresentaram resultados satisfatórios para o objetivo proposto.

Após o levantamento de dados, as medições do níveis de iluminância e os cálculos luminotécnicos, o software auditor fornece um diagnóstico apresentando os níveis de iluminância medidos, os níveis calculados e o consumo estimado de energia por ambiente analisado.

5 PROPOSIÇÃO DO PROJETO ALTERNATIVO

No banco de dados do software, constam equipamentos de iluminação eficientes que estão de acordo com os padrões adotados pela concessionária. Com base nesses equipamentos, dois novos sistemas de iluminação são propostos para o ambiente analisado. As etapas do processo de cálculo luminotécnico do sistema alternativo é apresentado na figura 3

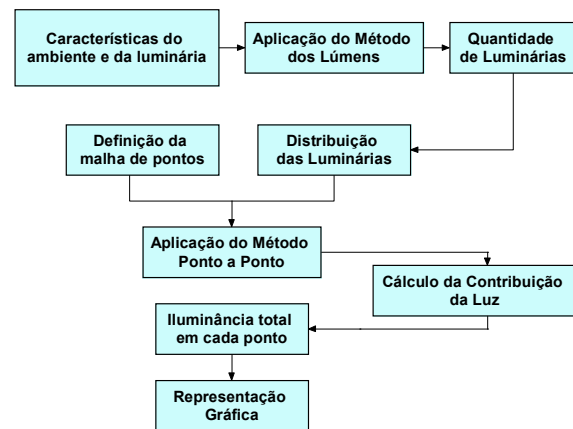


Figura 4: Etapas do Cálculo Luminotécnico
Fonte:Marinoski (2003)

O software utiliza novamente o Método dos Lúmens para calcular a quantidade de luminárias eficientes necessárias no ambiente.

A distribuição espacial das luminárias tem por objetivo garantir uma distribuição uniforme da iluminância, evitando grandes variações na intensidade luminosa. A curva de distribuição luminosa da luminária, a posição dos usuários na sala e a localização das janelas é analisada no processo de escolha do sentido (transversal ou longitudinal) das luminárias.

O espaçamento entre as luminárias é determinado pela altura útil do ambiente, a fim de garantir uma distribuição adequada de luz. A distância máxima entre os centros das luminárias deve ser de 1 a 1,5 vezes o valor da altura útil do ambiente e o espaçamento entre a luminária e a parede deve corresponder a metade dessa distância.

Definidas a quantidade e a localização das luminárias, os índices locais de iluminância são calculados por meio do Método Ponto a Ponto.

O Método Ponto a Ponto baseia-se na quantidade de luz que irá incidir em um ponto da superfície que está sendo iluminada, Marinovski, 2003. Este método é muito utilizado para verificar a adequação do sistema de iluminação proposto. Portanto, para sua realização é necessário conhecer a distribuição de luz das fontes luminosas utilizadas no ambiente.

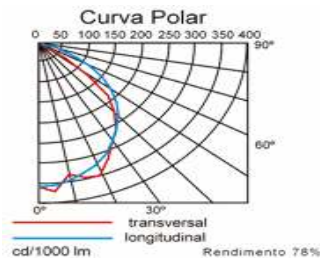


Figura 4 – Curva de distribuição luminosa da luminária

Os arquivos .IES das luminárias fornecem as características luminotécnicas determinadas a partir de ensaios laboratoriais do fabricante como ilustrado na figura 4. Esses dados combinados com o fluxo luminoso da lâmpada, as dimensões do ambiente e a localização das luminárias nos permite calcular as componentes diretas da iluminância horizontal em um ponto.

Para simulação do ambiente pelo método ponto-a-ponto, o ambiente deve ser subdividido em pequenos quadrantes, como ilustrado na figura 5, com pontos centrais onde são calculados os índices locais através das seguintes equações:

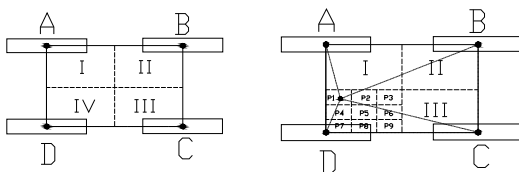


Figura 6: Divisão da malha de pontos

A iluminância em um ponto qualquer pode ser calculada pelas equações 2 e 3 conforme ilustrado na figura 7.

$$E_p = \frac{I \alpha \cdot \cos^3 \alpha}{hm^2} \quad (2)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{d}{hm} \right) \quad (3)$$

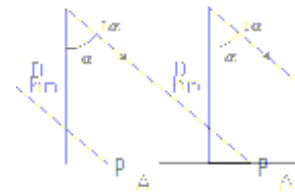


Figura 7: Desenho Esquemático do Método

Após o cálculo dos níveis de iluminância em todos os pontos da malha de pontos, calcula-se os níveis de iluminância médio, máximo e mínimo.

6 RELATÓRIO TÉCNICO COMPARATIVO

O relatório, emitido ao final do processo de cálculo, apresenta um resumo dos resultados dos sistemas de iluminação atual e propostos: potência instalada, tipo de lâmpadas, reatores e luminárias, consumo estimado dos sistemas, fluxo luminoso, etc. Ainda é apresentado uma representação gráfica do cálculo executado pelo método ponto-a-ponto. A figura 8 ilustra esta representação.

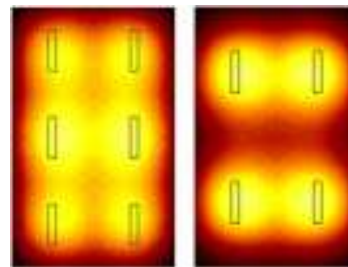


Figura 8: Representação dos níveis de iluminância

Através da representação gráfica, é possível comparar diferentes sistemas de iluminação e verificar se a intensidade luminosa está distribuída de forma uniforme.

O relatório apresenta uma comparação dos consumos de energia, da eficiência dos sistemas e do percentual de redução dos gastos de energia com a implantação dos novos sistemas de iluminação.

7 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Um dos objetivos do I-LUMINA é identificar projetos de eficiência energética que atendam ao critério da ANEEL e que propiciem maior rentabilidade ou menor custo para a empresa. Portanto, foi utilizado um conjunto de técnicas que permitem a comparação entre os resultados para a tomada de decisão.

O processo de avaliação de investimento compreende: levantamento dos investimentos para cada alternativa proposta; enumeração de alternativas viáveis; análise de cada alternativa; comparação das mesmas e escolha da melhor delas. Lembrando que só deverão ser analisadas as alternativas que atenderem aos critérios técnicos.

Ao analisar um possível investimento, deve-se levar em consideração que o mesmo já deslocou capital passível de ser aplicado em outros investimentos que possibilitariam retorno. Portanto, esse investimento para tornar-se atrativo deverá render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco (TMA – Taxa Mínima de Atratividade).

A análise de investimentos é a maneira que temos de antecipar, através de uma estimativa, os prováveis resultados a serem obtidos. Para o desenvolvimento dessa etapa do projeto, foram utilizadas as técnicas: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Tempo de Retorno do Capital Investido (Pay-Back) e Relação Custo Benefício (RCB), Taha, 1996.

O Valor Presente Líquido é um método de fácil elaboração e traz para o presente todas as despesas e receitas de capital esperadas a uma determinada taxa de juros do mercado. O VPL considera o valor do dinheiro no tempo, devido a possibilidade de rentabilidade. O projeto mais rentável será aquele que apresentar o maior VPL.

A Taxa Interna de Retorno define a taxa que torna o valor lucros futuros equivalente ao valor dos gastos realizados com o projeto, ou seja, pode ser considerada como a taxa de remuneração esperada para o capital investido. Consideramos um projeto rentável, quando este apresenta um TIR maior do que a Taxa Mínima de Atratividade.

O Tempo de Retorno do Capital Investido mede o tempo necessário para que a quantia gasta no investimento seja reembolsada. O Pay-Back é a relação entre o fluxo de caixa anual e o investimento inicial. Quanto menor for o seu resultado, mais atrativo será o projeto.

A Relação Custo Benefício de um projeto apresenta a relação entre o custo e os benefícios anualizados de cada uso final em forma de um RCB global do projeto. Este método considera os custos diretos e indiretos do projeto aplicados a um FRC - Fator de Recuperação de Capital, que é definido pela vida útil dos equipamentos e a taxa de desconto da empresa. A ANEEL determina que RCB do projeto deve ser igual ou inferior a 0,80. O projeto mais atrativo será aquele apresentar o menor RCB.

O projeto escolhido deverá ser aquele que se apresentar mais atrativo em dois ou mais métodos de análise econômica, pois a utilização de apenas um desses métodos na seleção do projeto mais atrativo

financeiramente implica numa tomada de decisão sem grande precisão.

O relatório final apresenta os dados dos ambientes analisados, dos sistemas de iluminação, do novo projeto luminotécnico proposto além dos apresentados neste relatório de forma resumida

8 CONCLUSÃO

A metodologia proposta muda fortemente a filosofia de levantamento de dados usada na propeção de projetos de iluminação das concessionárias. O método adotado atualmente prevê um levantamento simplificado em que apenas o número de lâmpadas e o tipo são contabilizadas para cada ambiente e a partir deste dado, é calculado o *retrofit* do sistema, ou seja troca de cada sistema ineficiente por outro eficiente adotando-se como pressuposto que esta troca implicará em atendimento a norma de iluminação.

O sistema proposto viabiliza um levantamento de dados eletrônico para caracterização do sistema atual e de todos os dados necessários para projetar um novo sistema e automaticamente realiza simulações indicando o grau de conformidade do projeto atual além de propor outros dois projetos eficientes que atendam a norma. Ao final do levantamento é realizado um estudo financeiro e um relatório é emitido ao término da visita.

A metodologia proposta reduz a margem de erro nos cálculos de propeção além de oferecer ao consumidor visitado um relatório rico em informação caso o mesmo tenha interesse em efetivar investimentos na troca do seu sistema de iluminação.

9 REFERÊNCIAS

- Ghisi, E. (1997) Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 246p.
- ANEEL (2005). Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética, Ciclo 2005/2006.
- Moreira, V. de Araújo (1999). In: *Iluminação Elétrica*, 189p. Edgar Blucher, São Paulo.
- Marinoski, D. C.; Wesphal, F.S; Lamberts, R. (2003) Desenvolvimento de um algoritmo de cálculo luminotécnico para ambientes através do método ponto a ponto. In: ENAC-COTEDI 2003.
- Taha, P. (1996). Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica da Produção de Surimi. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.