



## PROPOSTA DE METODOLOGIA DE RETROFIT DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO COM USO TECNOLOGIA A LED: ANÁLISE EM SHOPPING CENTERS

Área temática: Gestão Ambiental e Sustentabilidade

**Mariangela Moura**

[mm\\_arquitetura@globo.com](mailto:mm_arquitetura@globo.com)

**Ana Lucia da Motta**

[anaseroa@hotmail.com](mailto:anaseroa@hotmail.com)

**Mauricio Noya**

[mauricionoya@hotmail.com](mailto:mauricionoya@hotmail.com)

**Resumo:** Os LEDs vêm sendo empregados em inúmeros projetos luminotécnicos principalmente devido a propaladas vantagens em relação às lâmpadas convencionais. No segmento comercial, surgem com grande destaque na iluminação de shopping centers, locais onde predomina forte cultura estética e de efeitos de luz. Apesar disso, persistem dúvidas quanto à tecnologia em si, o modo correto de funcionamento, além de questionamentos quanto ao uso exclusivo do LED em qualquer ambiente ou em retrofits de sistemas de iluminação já existentes. A grande variedade de produtos baseados na tecnologia LED no mercado brasileiro e a ausência de norma ou recomendação de uso desses dispositivos no País reforçam tal perspectiva. Este artigo, baseado em tese de Doutorado da autora, trata da iluminação artificial em edificações comerciais com foco na iluminação de shopping centers. Apresenta metodologia de uso de LED em substituição a lâmpadas tradicionais, considerando parâmetros técnicos e econômicos e propondo avaliação qualitativa e quantitativa. A metodologia é genérica e pode ser empregada em qualquer empreendimento comercial com tipologia igual ou semelhante à dos shoppings centers.

**Palavras-chaves:** Tecnologia LED, Retrofit de sistemas convencionais de iluminação, Metodologia de uso de LED.



## Introdução

Atualmente, a iluminação está relacionada diretamente com o conceito de sustentabilidade, significando melhor aproveitamento da luz natural e menor consumo de energia. Verifica-se, nas novas edificações, o uso de recursos nesse sentido, entre outros, janelas projetadas, privilegiando a incidência da luz exterior e posicionamento da construção em relação ao terreno.

Na iluminação artificial, por outro lado, a escolha de fontes de luz que promovam níveis satisfatórios de conforto lumínico e que atendam às atuais exigências relacionadas aos sistemas contemporâneos ainda é um desafio. A variedade de estudos sobre o tema reforça a necessidade de melhorar a qualidade dos projetos no campo luminotécnico, especialmente em função do notável crescimento do consumo de energia elétrica nas edificações e da constatação de que os sistemas de iluminação artificial são agentes relevantes nesse processo.

De fato, a iluminação representa 20% da energia elétrica consumida globalmente. (GARDE, 2013). No Brasil, as edificações são responsáveis por quase 50% do consumo total de energia elétrica. (MEDEIROS, 2009). Em edifícios comerciais e públicos, sistemas de iluminação artificial e de climatização, os grandes usos finais da energia nesse segmento, representam aproximadamente 64% do consumo de energia elétrica, 44% advindos da iluminação e 20% do condicionamento de ar. (GOULART, 2012). O crescimento de 3,6% do consumo de energia elétrica no Brasil em 2011 foi puxado principalmente pelo setor comercial, responsável por um aumento de 6,3% nesse mesmo ano. (FIGUEIREDO, 2013).

A eficiência energética obtida por meio da redução do consumo de energia é, pois, imperiosa. O quadro atual confronta com diretrizes internacionais e nacionais de uso racional da energia elétrica que visam à efetividade do conceito de desenvolvimento sustentável e preservação ambiental. A tecnologia LED (Light Emitting Diode) de iluminação artificial, considerada o terceiro estágio da evolução da lâmpada elétrica, busca atender a essa perspectiva. Por isso mesmo vem sendo empregada em diferentes ambientes, em especial na iluminação de shopping centers, locais onde predomina forte cultura estética e de efeitos de luz.

A utilização de LEDs, no entanto, não é isenta de problematização. Embora inúmeros projetos luminotécnicos venham empregando lâmpadas LED, principalmente devido a propagadas vantagens em relação às lâmpadas convencionais, persistem dúvidas quanto à tecnologia

em si, seu modo de funcionamento, e questionamentos quanto à substituição de lâmpadas convencionais por esses dispositivos e mesmo seu uso exclusivo em qualquer ambiente. Corroboram tal percepção a existência, no mercado brasileiro, de uma grande variedade de produtos baseados na tecnologia a LED, que apresentam diferentes eficiências luminosas, características luminotécnicas e elétricas. Tais aspectos podem trazer problemas no retrofit de lâmpadas convencionais com LEDs, sinalizando a necessidade de precauções. (KAWASAKI, 2011; BARBOSA, 2013).

Com base em reflexões sobre iluminação artificial, e focando a iluminação de shopping centers, apresenta-se metodologia de uso de LED em substituição a lâmpadas tradicionais, bem como resultados técnicos e econômicos de sua aplicação em três shopping centers de diferentes regiões do Brasil. O objetivo é validar o modelo metodológico proposto, discutir sua adequação, replicação em outras unidades de análise e contribuir para a elaboração de novos estudos que visem à substituição de tecnologias convencionais pela tecnologia a LED.

## **Variáveis relevantes nos atuais sistemas de iluminação artificial**

Eficiência energética é definida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Não se trata da redução do serviço energético, mas da redução do consumo de energia, associada ao uso eficiente e racional da energia elétrica. (LAMBERTS et al, 2008). Frente às demandas por eficiência energética, há variáveis relevantes nos atuais sistemas de iluminação, nomeadamente durabilidade do equipamento, eficiência luminosa, economia e sustentabilidade.

A durabilidade de um produto deve ser analisada em função do tipo de tecnologia empregado. A análise da duração de funcionamento de uma lâmpada varia grandemente com a tecnologia de iluminação, já que as causas de falha são muito diversas. (RIBEIRO, 2010). Embora seja difícil prever a duração de uma lâmpada, uma vez que isso depende de fatores como tensões e correntes de funcionamento, temperatura ambiente, condições de operação etc, existem formas de estimar o tempo de vida de um conjunto de lâmpadas através de testes e medições em determinadas condições. (RIBEIRO, 2010). Para efeito de comparação entre lâmpadas de diferentes tecnologias, utiliza-se o tempo de vida, parâmetro que se refere ao tempo de funcionamento de uma lâmpada até que deixe de operar em condições normais.



A durabilidade é um dos fatores relevantes para a obtenção de sistemas eficientes de iluminação artificial. Lâmpadas com longa durabilidade proporcionam baixa frequência de manutenção e descarte (evitando trocas constantes e atendendo às necessidades do consumidor por maior período de tempo) gerando mais economia, em função da redução do custo operacional, para além da economia eventualmente gerada pela eficiência energética. (BLEY, 2012).

À razão entre o fluxo luminoso total emitido e a potência elétrica total consumida por uma lâmpada dá-se o nome de eficiência luminosa, ou rendimento luminoso, uma das grandezas mais utilizadas em luminotécnica. Defina como o quociente do fluxo luminoso emitido por uma fonte de iluminação e sua potência elétrica absorvida, e sendo expressa em lúmen por Watt (lm/W), a eficiência luminosa pode associar-se a uma lâmpada, a uma luminária ou a todo o sistema de iluminação: seus valores devem referir-se ao processo integral de produção de luz de determinada tecnologia luminotécnica. Trata-se de um indicador de eficiência do processo de emissão de luz utilizada sob o ponto de vista do aproveitamento energético. Daí tratar-se do principal parâmetro de medida da eficácia energética de uma fonte de iluminação, pois avalia a proporção de energia que efetivamente é convertida em luz. (RIBEIRO, 2010).

Atualmente, a tecnologia de iluminação é uma área que engloba não apenas vertentes técnicas provenientes da Engenharia, da Engenharia Elétrica e da Arquitetura, mas, também de áreas importantes como aquelas ligadas à Economia. (RIBEIRO, 2010). Tendo em vista que a iluminação artificial representa 20% da energia elétrica consumida mundialmente, sistemas de iluminação deficientes comprometem a economia tanto do ponto de vista energético – pois com maior eficácia a iluminação se torna mais eficiente evitando desperdícios de energia – quanto do ponto de vista financeiro – devendo-se considerar os custos totais de instalação, operação e reposição. (GREGGIANIN et al, 2013; KALACHE et al, 2013).

Esses custos, além do custo com energia, devem ser levados em conta no uso das tecnologias e dos diferentes sistemas de iluminação. (LOPES, 2014). É preciso verificar se é economicamente viável investir em uma dada tecnologia, mesmo as relativamente mais recentes, na implantação de sistemas de iluminação: nem sempre, apesar de tecnicamente viável, a utilização de determinada tecnologia se mostra economicamente atrativa. (KALACHE et al, 2013).



O conceito de desenvolvimento sustentável concebido nas últimas décadas do século XX possui um sentido holístico que se refere à possibilidade de associar crescimento econômico, social e proteção ambiental numa perspectiva que incorpora o princípio básico da continuidade. Pode ser interpretado sob uma ótica histórico-dialética: na tese, tem-se um modelo de desenvolvimento baseado no consumo crescente de recursos naturais não renováveis, aumento da geração de resíduos, poluição; na antítese, a negação dessa realidade em função do esgotamento dos recursos naturais e degradação ambiental e da qualidade de vida; e na síntese, a emergência de um novo modelo de sociedade que muda o paradigma dominante. (MOTTA e AGUILAR, 2009).

A temática da sustentabilidade insere-se fortemente no debate atual de diferentes campos do saber. Na Engenharia e na Arquitetura, voltadas que são ao ambiente construído, uma parte fundamental desse debate refere-se ao baixo consumo de energia nas edificações, isto é, ao uso eficiente e racional da energia elétrica. (MOTTA e AGUILAR, 2009). Dado que os sistemas de iluminação artificial constituem agentes relevantes no consumo total de energia elétrica das edificações, critérios de sustentabilidade vêm sendo sugeridos para ultrapassar os desafios da mudança de paradigma nesse contexto. Tais critérios consideram o uso de tecnologias e sistemas de iluminação artificial mais eficientes, com vistas à mitigação de impactos ambientais em termos de poluição, emissão de gases na atmosfera, aquecimento global e problemas climáticos.

## **Tecnologia a LED: aspectos histórico-conceituais**

Os Diodos Emissores de Luz (Light Emitting Diodes – LEDs na sigla em inglês) foram desenvolvidos no início da década de 1960, com um diodo emissor de infravermelho. Até 1990, a tecnologia passou a ser economicamente viável, surgiram os primeiros LEDs de alta luminosidade, os de luz azul e os de emissão de luz branca, com consequente início de sua aplicação em iluminação. (RIBEIRO et al, 2012; BURINI JUNIOR e SANTOS, 2013; RAUTEMBERG, 2014).

A tecnologia LED é definida com base nos conceitos de semicondutores e de díodos. Semicondutores são materiais que se comportarem como condutores ou isolantes elétricos. (PINTO, 2013). Painéis eletroluminescentes, diodos a laser, diodos infravermelhos, LEDs e





painéis LED são dispositivos relacionados a essa família. (LOPES, 2014). Já diodo, é todo dispositivo ou componente eletrônico composto por material semicondutor que é alimentado por uma corrente elétrica que transita do cátodo (negativo) para o ânodo (positivo). (SERBENA, 2013). Quando combinados de forma adequada, os semicondutores formam o diodo semicondutor. (RAUTEMBERG, 2014). Os LEDs consistem em componentes eletrônicos (chips) baseados em materiais semicondutores que, quando energizados, têm a propriedade de transformar energia elétrica em luz, emitindo luz visível. A emissão de luz se dá por efeito quântico. (LIMA et al, 2009).

Do ponto de vista construtivo, uma lâmpada LED é basicamente composta por lente plástica protetora, eletrodo, fio de ouro e conexão, dissipador de calor, silicone para proteção contra descargas e o chip LED. (RIBEIRO et al, 2012). Quanto ao funcionamento, diferentemente das tecnologias empregadas nas lâmpadas convencionais, que utilizam filamentos metálicos, radiação ultravioleta e descarga de gases, nos LEDs, a transformação da energia elétrica em energia luminosa é feita na matéria, sendo por isso chamada de iluminação em estado sólido (solid state). (CRICCI e TEIXEIRA, 2013). O modo de gerar luz é a grande diferença desta tecnologia em relação às formas convencionais de iluminação artificial: ao invés de produzi-la por aquecimento de material como ocorre na lâmpada incandescente ou pela ativação de um gás como ocorre na lâmpada fluorescente, no LED a luz é gerada pela ativação de material em estado sólido. (SERBENA, 2013).

Durante várias décadas os LEDs foram utilizados com a única função de indicar o estado de funcionamento de produtos eletroeletrônicos. (RIBEIRO et al, 2012). Posteriormente, tornaram-se fonte luminosa confiável para diversos equipamentos e aplicações por gerar uma única cor ou mais de uma cor dependendo do material utilizado. Com maior potência, passaram então a ser usados como elementos sinalizadores na iluminação de emergência e iluminação pública. (LOPES, 2014). O aparecimento de LEDs de luz branca tornou possível outras aplicações para esses dispositivos, particularmente em ambientes interiores, como o residencial e o comercial. (RAUTEMBERG, 2014).

O uso de LEDs vem se disseminando rapidamente. Estima-se que até 2020 esses dispositivos conquistem 46% do mercado de iluminação comercial, industrial e viária. (SERBENA, 2013). No Brasil, sistemas a LED responderam em 2011 por 10% do mercado de iluminação. Até 2020, estima-se que 75% de todos os projetos de iluminação do mercado bra-



sileiro utilizem LEDs e os 25% restantes sejam divididos entre todas as outras tecnologias existentes. (DIAS e COELHO, 2011). Fala-se, inclusive, que, num futuro próximo, o mercado de iluminação assistirá à substituição total das tecnologias convencionais por LEDs. (FREITAS, 2011).

Certamente, tais previsões ocorrem em função dos novos paradigmas introduzidos por essa tecnologia, que representa uma ruptura na iluminação artificial tradicional. Os LEDs são reconhecidos como precursores de uma nova Era (englobando fontes luminosas, controles e luminárias) graças aos benefícios e vantagens que apresentam em relação às fontes convencionais. (GOIS, 2008). Apesar disso, há desvantagens e fatores limitadores do uso desses dispositivos, como se verá a seguir.

## **Vantagens e desvantagens dos LEDs**

Frequentemente abordadas pela literatura, as vantagens dos LEDs são bastante conhecidas. Dentre elas citam-se: tecnologia inovadora; aplicação variada e flexibilidade de uso devido às formas (design) e dimensões reduzidas; acionamento instantâneo e dimerização; diversidade de ângulos de abertura de fecho; durabilidade e longa vida útil (50.000 horas de vida útil; redução de custos de manutenção/reposição; bom índice de reprodução de cor, qualidade de cor e versatilidade de tons de luz branca; variedade e controle de cores; variação da temperatura de cor; cores saturadas; alta eficiência luminosa; maior eficiência de luz na comparação com outros diodos; alta eficiência energética; maior robustez e melhor rendimento em relação à iluminação convencional; fácil adaptação aos circuitos modernos; convergência digital; maior resistência a vibrações e choques mecânicos (BRAGA, 2008; NOVOA e TOMIOKA, 2009; LIMA et al, 2009; FREITAS, 2010; FREITAS, 2011; KAWASAKI, 2011; BARBOSA, 2013; RAUTEMBERG, 2014).

A compatibilidade dos LEDs com o conceito de sustentabilidade também é ressaltada pela literatura como um benefício, apresentam desempenho ambiental superior na comparação com as tecnologias tradicionais de iluminação artificial devido às seguintes características: usam menor quantidade de material para serem produzidos; não contêm filamentos ou partes em vidro; partes componentes são facilmente separáveis e recicláveis; não emitem substâncias tóxicas ao meio ambiente, por exemplo, de metais nocivos como o mercúrio; não produzem



radiação ultravioleta e infravermelha; são energeticamente eficientes, propiciando baixo consumo de energia com economia de até 80% na comparação com outras tecnologias; Possuem fácil integração com tecnologias fotovoltaicas de geração de energia.

O custo da tecnologia a LED, hoje de duas a três vezes superior ao custo das lâmpadas convencionais, não é fator considerado problema pela literatura, pois seus benefícios criariam um mecanismo de compensação, significando uma relação custo/benefício equilibrada. Ademais, prevê-se a redução dos preços dos LEDs no curto prazo (haveria uma tendência natural de baixa quanto ao seu valor no mercado) devido à crescente evolução e aperfeiçoamento do espectro de emissão de luz do dispositivo, produção em escala e geração de cultura de iluminação. (GOIS, 2008; FREITAS, 2010; FREITAS, 2011; RAUTEMBERG, 2014).

Ou seja, a tecnologia LED reuniria todos os requisitos necessários para substituir as tecnologias convencionais nos sistemas de iluminação. Em contraponto, a literatura também observa aspectos negativos e desafios que ainda se impõem à utilização desses dispositivos. Algumas desvantagens são apresentadas: alto custo de produção e complexidade tecnológica de desenvolvimento, pouco explorada e ainda não totalmente conhecida; qualidade de luz inferior à das lâmpadas convencionais (luz difusa, perda de fluxo luminoso); luminosidade que se degrada com o tempo (depreciação do fluxo luminoso) comprometendo a durabilidade, necessidade de melhorar a relação fluxo luminoso/consumo; calor produzido pelo chip (pouca dissipação térmica) comprometendo a durabilidade; baixo Índice de Reprodução de Cor (IRC); perda de brilho e variação na temperatura da cor com o passar do tempo; lentes que alteram o fecho original da lâmpada implicando em manchas, sombras múltiplas.

A ausência de norma ou recomendação de uso de LEDs de qualidade no Brasil somada à existência de uma variedade de produtos (importados e nacionais) no mercado – com diferentes eficiências luminosas, características luminotécnicas e elétricas e informações técnicas nem sempre confiáveis, suscitando resultados qualitativos diversos – constituem desafios que podem problematizar o uso da tecnologia LED e o retrofit de lâmpadas convencionais por esses dispositivos. (KAWASAKI, 2011; BARBOSA, 2013).





## Iluminação de shopping centers

Na fase de planejamento e construção de um shopping center, o aproveitamento da luz natural é um recurso cada vez mais empregado visando à sustentabilidade ambiental, uma vez que o consumo e os custos com energia elétrica diminuem significativamente. (LOPES, 2012). Alguns shoppings, inclusive, vêm sendo projetados com vistas às certificações de impacto ambiental, incorporando novos conceitos e também alterando os projetos de iluminação no sentido de adotar sistemas mais eficientes e maior integração com a luz natural, momento em que se estabelece a interface com o condicionamento do ar, já que a iluminação natural pode levar calor ao ambiente. (GODOY, 2010).

Embora relevante e muito empregado atualmente, o uso da luz natural não pode ser compreendido como alternativa exclusiva de iluminação de shopping centers seja porque algumas de suas áreas não são alcançadas pela luz exterior, seja em função da necessidade de iluminação no período noturno, seja ainda porque a iluminação artificial cumpre o papel de valorizar o espaço construído, conferindo relevo aos materiais utilizados no revestimento de pavimentos, paredes e tetos e aos elementos de design, tais como mobiliário, e de comunicação visual. (LOPES, 2012).

A iluminação comercial deve atender ao propósito do estabelecimento, considerando um sistema que englobe iluminação geral e iluminação de destaque. Os objetivos de uma boa iluminação comercial são propor níveis de iluminamento adequados ao conforto visual; propor iluminação adequada a cada área do empreendimento; destacar e integrar-se à arquitetura do empreendimento; evitar ofuscamentos; chamar a atenção do cliente/consumidor, gerando interesse; criar uma atmosfera agradável; criar personalidade e identidade e; ser flexível. (FIGUEIREDO, 2013; LATREILLE, 2011).

Nos shoppings, é ampla a variedade de elementos que fazem da luz um dos estímulos ambientais com maiores possibilidades cognitivas, emocionais, funcionais e simbólicas. É que nesses empreendimentos a luz possui poder dramático que se estende muito além da visibilidade do ambiente: ela exalta, particulariza e cria efeitos visuais, incidindo sobre percepções físicas e psicológicas do consumidor. (LATREILLE, 2011). De fato, predomina nesse tipo de empreendimento uma forte cultura estética e de efeitos de luz que exige do projeto de iluminação a criação de espaços interessantes, atrativos e estimulantes. (GODOY, 2010).



Não obstante a iluminação ser fundamental nos shoppings, o segmento é considerado um dos mais intensivos em consumo de energia, com indicadores de consumo mensal por área locável (área efetivamente dedicada às lojas) entre 30kWh/m<sup>2</sup> e 70kWh/m<sup>2</sup>. Considerando em média o consumo de 50kWh/m<sup>2</sup> de área bruta locável, o consumo mensal de energia elétrica dos shopping centers no Brasil atinge 431.854.600kWh. (FIGUEIREDO, 2013). Além disso, é no setor comercial que se identificam os maiores índices de desperdício de energia por excesso de iluminação, iluminação ineficiente, inadequada e dispendiosa do ponto de vista da manutenção. (LATREILLE, 2011).

Eficiência energética é, pois, cada vez mais importante nos shoppings. Novos conceitos que incluem o uso de tecnologias mais avançadas na iluminação comercial podem representar economia significativa na conta de energia elétrica e propiciar uma redução do consumo de energia superior a 20%. (LATREILLE, 2011; GODOY, 2010). Por isso, a substituição de sistemas de iluminação tradicionais por sistemas a LED tem sido uma forte tendência nesses empreendimentos.

A questão é que, frente à ausência de normas ou parâmetros de utilização de LEDs, medições e cálculos para tanto têm sido realizados com base nas normas de uso das lâmpadas convencionais, não oferecendo o suporte necessário para que a decisão de substituir sistemas tradicionais de iluminação pela tecnologia a LED nesses empreendimentos seja segura e efetiva tanto do ponto de vista econômico quanto do luminotécnico. O trabalho de Moura (2015) propôs uma metodologia para uso de LEDs, sumarizada a seguir, com vistas ao preenchimento desta lacuna no Brasil.

## **Metodologia para retrofit de sistemas de iluminação existentes pela tecnologia LED**

A proposta metodológica desenvolvida por Moura (2015) – cuja matriz se orienta pela iluminação existente, gastos com energia, quantidade e qualidade da iluminação, vida útil das fontes de luz, investimento na tecnologia, retorno do investimento, redução da reposição e manutenção dos equipamentos – é composta por etapas e recursos que melhor dimensionam a viabilidade luminotécnica e econômica de implantação de retrofit de sistema de iluminação em shopping center.



Apesar de no trabalho original ter sido testada em três shoppings – nomeadamente, Boulevard Shopping São Gonçalo (localizado no município de São Gonçalo, estado do Rio de Janeiro), Parque Shopping Belém (localizado na capital do Pará) e Shopping Leblon (localizado na cidade do Rio de Janeiro), empreendimentos que apresentam características distintas e perfis diversificados de clientes e usuários – trata-se de metodologia genérica, aplicável em qualquer empreendimento comercial com tipologia igual ou semelhante à dos shoppings centers.

A primeira etapa é a de seleção do ou dos ambientes nos quais se pretende realizar a substituição do sistema de iluminação. Após essa etapa, procede-se ao levantamento dos dados do projeto existente, implicando ter em mãos as plantas luminotécnicas do empreendimento, os cadernos de especificação com dados técnicos das luminárias, fontes de luz utilizadas e memorial de cálculo luminotécnico aplicado. Esses documentos têm relação direta com a terceira etapa da metodologia, que corresponde ao levantamento total dos equipamentos instalados, que devem ser quantificados para utilização posterior nos cálculos do novo projeto de iluminação. (MOURA, 2015).

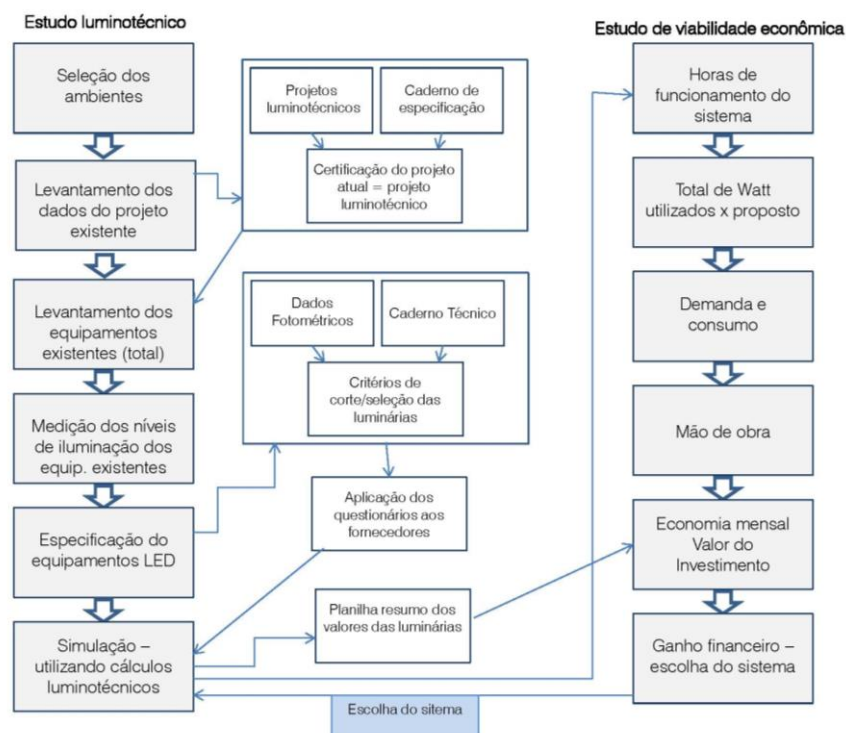
A quarta etapa é de medição dos níveis de iluminação dos equipamentos existentes. Para tanto, deve-se utilizar como parâmetro técnico a norma NBR ISO/CIE 8995-1, de 2013, referente à iluminação de ambientes de trabalho, que substituiu a NBR 5382, de 1985. Recomenda-se nessa fase a conferência da iluminância para aferir in loco os dados informados na memória de cálculo e o nível de depreciação dos equipamentos, utilizando-se como instrumento um luxímetro – o trabalho de Moura (2015) utilizou luxímetro modelo MLM-1011 da empresa Minipa.

Na quinta etapa procede-se à especificação dos equipamentos LED que se pretende utilizar. É a fase mais demorada da metodologia porque necessita de consulta junto a empresas fornecedoras com o objetivo de verificar se a substituição atende às características projetadas no espaço do empreendimento. Engloba levantamento de dados fotométricos, conhecimento e análise de cadernos técnicos e estabelecimentos de critérios de seleção/corte de luminárias (por exemplo, qualidade e quantidade esperada para economia de energia, design de luz e aplicação de questionário aos fornecedores de equipamentos a fim de comparar as informações fornecidas sobre diferentes produtos existentes no mercado). (MOURA, 2015).

A sexta etapa corresponde a simulações de cálculos luminotécnicos com a utilização de softwares, alguns deles, a exemplo do DIALux, apresentando visualização fotográfica do ambiente em três dimensões e baseando-se em normas e padrões internacionais recentes. Tais simulações propiciam a verificação do orçamento de cada fabricante, viabilizando o conhecimento do valor do custo de instalação da nova tecnologia. Essa fase inclui a elaboração de planilha-resumo dos valores (unitário e total) das luminárias a fim de facilitar a análise do cálculo do custo do investimento versus economia em energia e manutenção. (MOURA, 2015).

Todas as informações coletadas nessas seis etapas, que correspondem ao estudo luminotécnico, possibilitam a elaboração de um estudo de viabilidade econômica do retrofit por meio da elaboração de cálculos e planilhas que incluem as seguintes análises: do número de horas de funcionamento do sistema instalado; da relação entre o total de Watts utilizados e o total de utilização de Watts proposto; da relação demanda e consumo; dos custos de reposição do material e de mão de obra; da relação entre economia mensal e valor do investimento; e do ganho financeiro/retorno do investimento. Com isso, será possível selecionar e escolher o sistema a ser empregado. O fluxograma a seguir ilustra todas as etapas da metodologia proposta. (MOURA, 2015).

Fluxograma 1: Etapas da metodologia





## Considerações finais

Grande parte dos sistemas de iluminação artificial ainda em uso efetivamente apresenta aspectos negativos, em especial quanto ao dispêndio de energia elétrica e alto consumo energético, enquadramento que confronta com variáveis consideradas imprescindíveis aos sistemas contemporâneos de iluminação, tais como durabilidade de equipamentos, eficiência luminosa, economia e sustentabilidade. A escolha de fontes de luz que atendam a essas variáveis e que ao mesmo tempo proporcionem níveis satisfatórios de conforto lumínico é, assim, imperiosa.

A tecnologia a LED, atendendo à necessidade de eficiência energética com menor consumo de energia elétrica nos sistemas de iluminação artificial, se apresenta como alternativa consistente para o enfrentamento dessas questões. No Brasil, entretanto, a oferta de uma grande variedade de lâmpadas LED no mercado (com diferentes eficiências luminosas, características luminotécnicas e elétricas) e a inexistência de norma ou recomendação específica para uso desses dispositivos corroboram a necessidade de analisar com cautela a substituição de sistemas convencionais pela tecnologia a LED, somando-se aos aspectos desvantajosos ou limitadores de uso das lâmpadas LED.

De fato, é preciso ponderar sobre a aplicação exclusiva de LEDs em ambientes construídos e sobre o desses dispositivos de forma tecnicamente correta, previamente procedendo a cálculos e medições. Na substituição de um sistema de iluminação existente, é necessário verificar o cálculo efetuado no sistema instalado considerando o projeto inicial que utiliza 100% da iluminação. Ainda nesta etapa, é preciso conferir e medir a iluminância encontrada no local para verificar a perda do sistema com o tempo e a depreciação da iluminação em relação aos 100% iniciais. O sistema de retrofit deve atender aos 100% iniciais ou ao sistema atual com as perdas de utilização. Deve seguir as normas existentes, respeitar os conceitos utilizados na arquitetura do ambiente e ser mais eficiente do que o anterior, buscando a iluminação correta com menos gasto de energia.

Os cálculos devem ser verificados e experimentados com vários equipamentos de diferentes fornecedores para atender aos índices e normas indicados para a escolha do melhor produto na substituição do anterior. Nesse processo, é necessário guardar o histórico e a me-





mória de cálculo em planilhas comparativas para posterior utilização no cálculo financeiro do investimento.

Recomenda-se que o caderno de especificações se torne um documento obrigatório para qualquer projeto de iluminação, uma vez que informa as características da fonte de luz utilizada (composição dos equipamentos, tamanho, corpo físico, ângulos, candelas, lúmens, temperatura de cor e índice de reprodução de cor), permitindo assim uma análise correta do sistema existente e sua substituição pela tecnologia LED. As características técnicas das luminárias existentes descritas neste caderno e a memória de cálculo serão utilizadas na pesquisa de equipamentos de LED possibilitando a comparação de sistemas para substituir o atual.

A etapa de seleção e especificação dos equipamentos para substituir o projeto de iluminação existente é a fase mais demorada da metodologia devido à dificuldade de atender aos mesmos requisitos utilizados com novos equipamentos que apresentem as mesmas conformidades aplicadas ao sistema instalado e ainda as características técnicas descritas nos catálogo dos fabricantes de LED com semelhanças às luminárias existentes, descritas no caderno de equipamentos. As luminárias selecionadas devem atender às medições e cálculos do sistema anterior e ainda apresentar economia de energia. Para tanto, cada luminária escolhida necessita de simulações e cálculos com o uso de softwares que comprovem a iluminação desejada e substituam o sistema com eficiência.

A metodologia proposta destacou a importância de cálculos e simulações nos sistemas de iluminação para atender a índices mínimos necessários, considerando iluminação correta, qualidade, quantidade e uniformidade na distribuição das fontes de luz. Destaca-se que, devido à ausência de normas, os fabricantes de equipamentos devem efetuar práticas de controle de eficiência com qualidade no processo de trabalho em seus produtos, tais como: eficácia (lúmens por Watt), potência medida (Watt), temperatura de cor correlacionada (CCT), índice de reprodução de cor (IRC) e fator de potência.

Nas planilhas de viabilidade econômica, os equipamentos selecionados devem ser submetidos a todas as etapas, sendo organizadas em tabelas auxiliares, como potência do equipamento e do equipamento auxiliar, total de Watts, consumo em Kilowatts utilizado no sistema, hora de funcionamento do sistema por dia e por ano. No funcionamento do sistema deve-se considerar as diferentes tarifas utilizadas para o cálculo do consumo de energia, tanto



para tarifas aplicadas em diferentes regiões do Brasil como também valores diferenciados por hora de utilização (demanda na ponta, demanda fora de ponta, consumo na ponta e fora de ponta).

Todos os gastos (com energia, manutenção do sistema e reposição de equipamentos) devem ser contabilizados. Custos operacionais com material e mão de obra para o funcionamento do sistema devem apresentar economia na reposição das luminárias e na hora utilizada para manutenção dos sistemas de iluminação tendo em vista a maior duração dos equipamentos aplicados no retrofit. Após os cálculos de economia gerados nos novos sistemas e a seleção dos equipamentos para simulação dos cálculos luminotécnicos, a escolha do melhor sistema deve considerar não só o valor do investimento, que às vezes pode ser mais baixo na reposição dos equipamentos, mas também o consumo da energia (Watt). Características técnicas como durabilidade e índice de reprodução de cor devem ser analisados para a definição do equipamento, que pode apresentar maior valor. É dizer, o investimento pode ser mais elevado no início, porém apresentará maior economia ao longo da vida útil.

Espera-se que a metodologia proposta possa contribuir com outros estudos acadêmicos da área, viabilizando a continuidade das pesquisas e a ampliação do conhecimento já sistematizado, bem como com os conhecimentos de profissionais atuantes no setor luminotécnico.



## Referências

BARBOSA, A.C. A Evolução dos LEDs. **Revista Lume Arquitetura**, edição 63, São Paulo, agosto/setembro de 2013.

BLEY, F.B. LEDs versus lâmpadas convencionais: viabilizando a troca. **Revista IPOG Especialize**, n. 3, pp. 01-24, Goiânia, maio de 2012.

BRAGA, N.C. Problemas no uso dos LEDs. **Revista Saber Eletrônica**, São Paulo, fevereiro de 2008.

BURINI JUNIOR, E.C.; SANTOS, E.R. Nanoeletrônica: dispositivos eletroluminescentes para iluminação artificial. **Revista Lumière Electric**, vol. 15, n. 182, pp. 62-70, junho de 2013.

CRICCI, A.; TEIXEIRA, R.R.G. Tecnologias utilizadas na iluminação residencial e comercial. In: VASCONCELLOS, L.E.M.; LIMBERGER, M.A.C. (orgs.). **Iluminação Eficiente: iniciativas da Eletrobras Procel e Parceiros**. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2013.

DIAS, R.S.; COELHO, C.R.M. Aplicação de lâmpadas a LED em um projeto de iluminação de um galpão industrial. **Revista de Controle e Automação**, pp. 01-07, Belém, IESAM, 2011.

FIGUEIREDO, T.G.C.C. Iluminação de lojas de shopping centers – o uso de lâmpadas vapores metálicos aliando estética com eficiência energética. **Revista IPOG Especialize**, n. 5, vol. 1, pp. 01-23, Goiânia, julho de 2013.

FREITAS, L. LampLEDs: de tendência à realidade. **Revista Lumière**, n. 160, pp. 46-51, São Paulo, agosto de 2011.

\_\_\_\_\_. A Era dos LEDs. **Revista Lumière**, n. 143, pp. 72-79, São Paulo, março de 2010.

GARDE, G.P. Sistema de iluminação LED: conceito, histórico & perspectivas. **XIX Congresso Brasileiro de Floricultura e Plantas Ornamentais & VI Congresso Brasileiro de Cultura de Tecido de Plantas**. Recife, 21 a 25 de outubro de 2013.

GODOY, P. Shopping: iluminação criteriosa e eficiente. **AECweb Revista Digital**. Novembro de 2010. Disponível em: [http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/shoppingiluminacao-criteriosa-e-eficiente\\_3276\\_0\\_1](http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/shoppingiluminacao-criteriosa-e-eficiente_3276_0_1) Acesso em outubro de 2014.

GOIS, A. **LEDs na Iluminação Arquitetural**. Rio de Janeiro: Lighting Now, 2008.

GOULART, S. **Sustentabilidade nas Edificações e no Espaço Urbano**. Apostila da Disciplina Desempenho Térmico de Edificações. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (Labeee), UFSC, 2012.

GREGGIANIN, C.A. et al. Estudo comparativo entre lâmpadas: incandescentes, fluorescentes compactas e LED. **Revista Espaço Energia**, edição 18, pp. 19-27, Curitiba, abril 2013.

KALACHE, N. et al. Análise comparativa de sistemas de iluminação – viabilidade econômica da aplicação de LED. **XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP**. Salvador, 08 a 11 de outubro de 2013.

KAWASAKI, J.I. Precauções no retrofit com LEDs. **Revista O Setor Elétrico**, edição 65, pp. 122-123, São Paulo, junho de 2011.

LAMBERTS, R. et al. **Sustentabilidade nas Edificações**: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2008.

LATREILLE, A. Iluminação em lojas de roupas femininas. **Revista Lume Arquitetura**, vol. 49, pp. 48-56, São Paulo, 2011.

LIMA, A.L. et al. O uso de LEDs em semáforos de trânsito: um estudo da viabilidade técnico-econômica. **Revista Energia Alternativa**, Ano 1, n. 3, pp. 42-51, São Paulo, 2009.

LOPES, L.B. **Uma Avaliação da Tecnologia LED na Iluminação Pública**. 2014. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

LOPES, M. Que Haja Luz! Projetos arquitetônicos sustentáveis estabelecem harmonia entre luz natural e conforto térmico para os shopping centers. **Revista Shopping Centers**, n. 167, pp. 28-34, São Paulo, Abrasce, março de 2012.

MEDEIROS, H. Etiquetagem energética classifica edificações. **Revista Finestra**, n. 56, São Paulo, março de 2009.

MOTTA, S.R.F.; AGUILAR, M.T.P. Sustentabilidade e processos de projetos de edificações. **Revista Gestão & Tecnologia de Projetos**, vol. 4, n. 1, pp. 84-119, São Paulo, maio de 2009.

MOURA, M. de. **Iluminação**: análise de cenários utilizando a tecnologia LED. 2015. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.

NOVOA, L.M.; TOMIOKA, J. Estudo da estrutura do White Light Emitting Diode – White LED. **II Simpósio de Iniciação Científica da Universidade Federal do ABC**. Santo André, 23 a 27 de novembro de 2009.

PINTO, D.Z. **Aplicação de LEDs de Luminescência Branca para Iluminação**. 2013. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.



PINTO, R.A. **Projeto e Implementação de Lâmpadas para Iluminação de Interiores Empregando Diodos Emissores de Luz (LEDS)**. 2008. 138 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

RAUTEMBERG, A. **LEDs na Iluminação: onde, quando, como e por quê?** Rio de Janeiro: Lightingnow, outubro de 2014.

RIBEIRO, T.S.A.P. **Luminotécnica: métodos de avaliação**. 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade do porto, Porto, 2010.

RIBEIRO, A.C.C. et al. O emprego da tecnologia LED na iluminação pública. **Revista Exacta**, vol. 5, n. 1, pp. 111-132, Belo Horizonte, 2012.

SERBENA, H.J. **Plataforma de Luminária LED para Habitação de Interesse Social**. 2013. 203 f. Dissertação (Mestrado em Design do Setor de Artes Comunicação e Design) – Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SOUZA, E.P.N. **Iluminação nas Áreas de Hall e Circulação de Shopping Center: Maceió Shopping, um estudo de caso**. 2010. 135 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.