

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA ELÉTRICA
VLADIMIR JOSÉ CANDIDO**

**PROPOSTA PARA REESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO
PÚBLICA DE UMA AVENIDA NA CIDADE DE ELOI MENDES COM VISTAS A
OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA NOS ASPECTOS ENERGÉTICO E FUNCIONAL**

**Varginha
2016**

VLADIMIR JOSE CANDIDO

**PROPOSTA PARA REESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO
PÚBLICA DE UMA AVENIDA NA CIDADE DE ELOI MENDES COM VISTAS A
OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA NOS ASPECTOS ENERGÉTICO E FUNCIONAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas, UNIS MG, como pré-requisito para a obtenção de grau de bacharel, sobre orientação do Prof. Me. Josué Alexandre Aquino.

**Varginha
2016**

VLADIMIR JOSE CANDIDO

**PROPOSTA PARA REESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO
PÚBLICA DE UMA AVENIDA NA CIDADE DE ELOI MENDES COM VISTAS A
OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA NOS ASPECTOS ENERGÉTICO E FUNCIONAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas, UNIS MG, como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em 08 /07/2016

Prof. Dr. Vinicius Miranda Pacheco

Prof. Me. Josué Alexandre Aquino

Prof. Me. Ivana Prado de Vasconcelos

OBS.:

Dedico este trabalho a toda minha família especialmente aos meus pais que foram os alicerces para mais esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por mais esta conquista na minha vida. Graças as suas bênçãos foi possível adquirir inúmeros conhecimentos, estabelecer novas amizades, ganhar maturidade e responsabilidade; e superar desafios tanto pessoais como profissionais. Também agradeço a todos os professores, colegas pelo incentivo, companheirismo, amizade e apoio para a superação de todos os obstáculos em que passamos ao longo destes cinco anos. Agradeço também a toda minha família, especialmente aos meus pais, Sr. José Cândido e Sra. Maria Luiza Sarto Cândido, que sempre acreditaram na concretização deste meu sonho e me ensinaram todos os valores imprescindíveis para tornar possível esta conquista. Agradeço também a minha noiva, Lilian Siqueira Evaristo, pelo incentivo, motivação, paciência e apoio nas circunstâncias que demandaram dedicação e abnegação à vida social. A todos vocês, muito obrigado, um grande abraço e que Deus os abençoe.

RESUMO

O tema deste trabalho é o sistema de iluminação pública. O seu objetivo é apresentar uma proposta de melhorias ou mudanças no sistema de iluminação pública da Avenida Dom Pedro II, localizada na cidade de Elói Mendes, Minas Gerais, com o intuito de maximizar sua eficiência no aspecto técnico, econômico, social e ambiental. Para tanto, foi necessário avaliar tanto o sistema vigente como o novo modelo proposto nos aspectos supracitados; comparar o sistema antigo com o moderno; especificar os materiais e equipamentos da instalação para cada tipo de sistema e demonstrar a viabilidade do projeto. A metodologia caracterizou-se pela identificação da classificação da via; da sua classe de iluminação e dos parâmetros que são utilizados para avaliar a qualidade do sistema e são exigidos pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Ainda neste aspecto fez-se necessário analisar as especificações técnicas estabelecidas pela concessionária de energia local tanto para luminária instalada na avenida como para os modelos simulados, avaliar as luminárias no âmbito tecnológico, realizar o levantamento da configuração e dos dados da instalação; e efetuar medições de iluminância, *in loco*, conforme ABNT. Também foram realizadas simulações do sistema de iluminação da Avenida Dom Pedro II no *software LuxSIMON 10*, a quantificação e o orçamento dos materiais e equipamentos da instalação para cada tipo de sistema simulado. O desenvolvimento deste trabalho possibilitou a realização das seguintes afirmações: o sistema vigente é inviável no aspecto técnico, energético, social e ambiental em relação ao sistema proposto. Além disso, há necessidade de modernizá-lo em função de algumas configurações técnicas da instalação que o torna mais suscetível a falhas que podem comprometer o funcionamento do sistema e gerar riscos a segurança de terceiros. Por outro lado, pode-se destacar a eficiência da tecnologia led e os benefícios da sua implantação como a redução do consumo de energia e dos gastos relacionados ao consumo e as manutenções corretivas. Além disso, presume-se uma maior preservação do meio ambiente, o aumento da confiabilidade do sistema e da segurança pública; uma maior valorização do espaço urbano; e conseqüentemente da qualidade de vida dos usuários do sistema. Também se pode afirmar que o investimento apesar de inviável no aspecto econômico representa uma medida que maximiza a qualidade dos serviços prestados no sistema de iluminação pública.

Palavras-chave: Iluminação pública. Tecnologias. Otimização.

ABSTRACT

The theme of this work is the public lighting system. Its purpose is to present a proposal for improvements or changes in the public lighting system Avenue Dom Pedro II, located in Eloi Mendes, Minas Gerais, in order to maximize their effectiveness in technical, economic, social and environmental aspect. Therefore, it was necessary to evaluate both the current system and the proposed new model in the above aspects; comparing the old system with the modern; specify the materials and installation equipment for each system type and demonstrate the feasibility of the project. The methodology was characterized by identifying the category of road; its lighting class and the parameters that are used to assess the quality of the system and are required by the ABNT (Brazilian Association of Technical Standards). Even in this respect it was necessary to analyze the technical specifications established by the local power utility for both luminaire installed on the avenue and to the simulated models, evaluate the fixtures in the technology field, survey the configuration and installation data; and make measurements of illuminance on the spot, according to ABNT. We were also carried out simulations of the Avenue Dom Pedro II lighting system in LuxSIMON 10 software, quantification and budget of materials and installation equipment for each type of simulated system. The development of this work made possible the realization of the following statements: the current system is not feasible in technical aspect, energy, social and environmental sustainability in relation to the proposed system. Moreover, there is need to modernize it due to some technical settings of the installation which makes it more susceptible to failures that can compromise system operation and generate risk the safety of others. On the other hand, we can highlight the efficiency of LED technology and the benefits of its implementation as the reduction of energy consumption and expenses related to consumption and corrective maintenance. Furthermore, it is assumed greater preservation of the environment, increased system reliability and public safety; a greater appreciation of the urban space; and consequently the quality of life of the system users. One can also say that investment despite unfeasible in economic aspect is a measure that maximizes the quality of services in the public lighting system.

Keywords: Lighting. Technologies. Optimization.

LISTA DE FÓRMULAS

Equação (1).....	35
Equação (2).....	35
Equação (3).....	36
Equação (4).....	36
Equação (5).....	37
Equação (6).....	37
Equação (7).....	38
Equação (8).....	38
Equação (9).....	39
Equação (10).....	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Histórico	15
2.2 Regulamentação.....	16
2.2.1 Resolução 414/2010 da Aneel	17
2.2.1.1 Abrangência do Sistema	18
2.2.1.2 Tarifas	18
2.2.1.3 Contratos.....	18
2.2.1.4 Medição	19
2.2.1.5 Faturamento	19
2.2.2 Resolução 505/2001 Aneel.....	19
2.2.3 ABNT NBR 5101/2012	20
2.3 Conceitos Técnicos.....	25
2.3.1 Projetos de IP.....	25
2.3.2 Luz e Visão.....	27
2.3.3 Índice de Reprodução de Cores (IRC).....	31
2.3.4 Fluxo Luminoso (ϕ).....	31
2.3.5 Intensidade Luminosa (I).....	32
2.3.6 Iluminância (E).....	33
2.3.7 Fator de Uniformidade	35
2.3.8 Luminância	37
2.3.9 Eficiência Luminosa (n_w).....	39
2.3.10 Temperatura de Cor Correlata (TCC).....	39
2.3.11 Contraste Negativo	40
2.3.12 Poluição Luminosa	40
2.3.13 Durabilidade	41
2.3.14 Distribuição Fotométrica	42
2.3.14.1 Distribuição Longitudinal.....	42
2.3.14.2 Distribuição Transversal ou Lateral	43
2.3.14.3 Controle da Distribuição no espaço acima de 80° e 90°	45
2.3.15 Configurações Específicas/Especiais	46
2.3.15.1 Disposição dos Postes e Luminárias.....	46
2.3.15.2 Altura das Instalações.....	48
2.3.15.3 Espaçamento dos Postes	48
2.3.15.4 Avanço do Braço	49
2.3.15.5 Ângulo de Saída	49
2.3.15.6 Tipo de Revestimento da Via	49
2.3.15.7 Curvas, Aclives e Declives.....	49
2.3.15.8 Iluminação em áreas específicas.....	50
2.3.15.9 Iluminação para travessia de pedestres.....	50
2.3.15.10 Iluminação pública nas áreas com arborização	51
2.4 Materiais.....	52
2.4.1 Lâmpadas.....	52
2.4.1.1 Lâmpadas Incandescentes.....	53
2.4.1.1.1 Tradicional.....	53

2.4.1.1.2 Halógena.....	55
2.4.1.2 Lâmpadas de Descarga	55
2.4.1.2.1 Lâmpadas a Vapor de Mercúrio	55
2.4.1.2.2 Lâmpadas Mistas	56
2.4.1.2.3 Lâmpadas de Sódio a Alta Pressão.....	56
2.4.1.2.4 Lâmpadas Vapor Metálico	57
2.4.1.3 Lâmpadas Leds	58
2.4.2 Luminárias	59
2.4.3 Braços	60
2.4.4 Reatores	61
2.4.5 Relé Fotoelétrico	63
2.4.6 Capacitores	64
2.4.7 Porta Lâmpadas	64
2.4.8 Novas Tecnologias	64
3 METODOLOGIA.....	66
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.1 Particularidades do Sistema	67
4.2 Análise Luminotécnica	72
4.3 Análise Energética	81
4.4 Análise Econômica.....	82
4.5 Análise Ambiental	89
5 CONCLUSÃO.....	90
REFERÊNCIAS	91
APÊNDICE	

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda conceitos relacionados ao sistema de iluminação pública. O seu objetivo é apresentar uma proposta de melhoria ou mudança no sistema de iluminação pública da Avenida Dom Pedro II, localizada na cidade de Elói Mendes, Minas Gerais, com o intuito de maximizar a sua eficiência no aspecto técnico, econômico, social e ambiental. Para tanto, foi necessário avaliar o sistema vigente e identificar a sua eficiência em tais aspectos; avaliar e apresentar um novo modelo de sistema de iluminação mais eficiente, comparar o sistema antigo com o proposto destacando os pontos positivos e negativos de cada um deles; especificar os materiais e equipamentos do sistema avaliado para cada tipo de instalação e demonstrar a viabilidade do projeto em todas as vertentes.

O sistema de iluminação pública brasileiro caracteriza-se pelos elevados índices de manutenções corretivas e perdas devido à existência de tecnologias obsoletas e com baixa eficiência; e de configurações técnicas inadequadas. O registro cada dia mais frequente de pontos desligados no período da noite e ligados durante o dia em várias áreas das cidades brasileiras torna evidente a confiabilidade e os problemas relacionados com estas falhas. Existem também pontos de iluminação com níveis de iluminância inferiores aos estabelecidos pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), e outros que provocam desconforto visual em virtude da poluição luminosa proveniente de luminárias com controle inadequado da distribuição luminosa ou com lâmpadas superdimensionadas. Além disso, o índice de reprodução de cores (IRC) do atual sistema de iluminação convencional é tão baixo que não garante satisfatoriamente a valorização do espaço urbano, a segurança pública e consequentemente a qualidade de vida das pessoas.

Outra questão preocupante é a manipulação e o descarte das lâmpadas de descarga predominantemente utilizada no atual sistema de iluminação pública. A negligência dos procedimentos regulamentados pelas concessionárias de energia podem causar impactos irreversíveis ao meio ambiente devido à existência de metais pesados como o mercúrio na constituição destas lâmpadas.

É importante mencionar que o aumento das tarifas de energia em função da redução da capacidade de geração de energia elétrica das hidrelétricas brasileiras e a disponibilidade de novas tecnologias mais eficientes e sustentáveis no mercado nacional são algumas justificativas para os investimentos na otimização do sistema de iluminação pública.

A metodologia utilizada neste trabalho baseou-se na identificação da classificação da via, em função do fluxo de pedestres e veículos; da sua classe de iluminação e dos parâmetros que são utilizados para avaliar a qualidade do sistema e são exigidos pela ABNT para a classe de iluminação identificada. Ainda neste aspecto fez-se necessário analisar as especificações técnicas exigidas pela concessionária de energia local tanto para luminária instalada na avenida como para modelos simulados, avaliar as luminárias no âmbito tecnológico, realizar o levantamento da configuração e dos dados da instalação; e efetuar medições de iluminância, *in loco*, conforme ABNT.

Após o levantamento destes dados foram realizadas simulações do sistema de iluminação da Avenida Dom Pedro II no *software LuxSIMON 10*. Devido à indisponibilidade dos arquivos digitais da luminária modelo 1 PLP 1370 do fabricante Polimetal, instalada no sistema, a simulação da iluminação convencional foi realizada com a luminária ALPHA VP NAV150T do fabricante Tecnowatt, cuja características técnicas são compatíveis com a atual especificação exigida pela concessionária de energia local.

Após esta etapa realizou-se a quantificação e o orçamento dos materiais e equipamentos da instalação para cada tipo de sistema simulado.

No capítulo 2 deste trabalho foi mencionado o histórico, a regulamentação da iluminação pública, os conceitos técnicos e os materiais usualmente utilizados neste sistema.

No contexto histórico foi destacado a sua importância, origem, o tipo de iluminação utilizado pelas primeiras civilizações, as circunstâncias que motivaram a sua aplicação em áreas públicas e o desenvolvimento deste sistema na Europa e na América. Também foi realizado um levantamento histórico no âmbito nacional, destacando os principais acontecimentos e os eventos que possibilitaram o seu desenvolvimento.

Na seção correspondente a regulamentação destacaram-se os objetivos do sistema de iluminação pública, os responsáveis constitucionalmente pela sua gestão, os prazos e as dificuldades encontradas no processo de transferência dos ativos para os municípios; a legalidade das tarifas; e as resoluções e normas estabelecidas para o sistema de iluminação pública.

Na seção correspondente aos conceitos técnicos foram divulgadas diversas informações imprescindíveis para elaboração de projetos voltados para iluminação pública. Entre eles podem-se citar os tipos de projetos, os conceitos técnicos relacionados à luz e visão; as grandezas luminotécnicas e as configurações específicas ou especiais aplicadas ao sistema.

Na seção referente aos materiais foram feitos levantamentos e avaliações das tecnologias empregadas no sistema de iluminação pública visando à identificação de soluções mais eficientes e sustentáveis.

No capítulo 3 foi mencionada a metodologia e os recursos utilizados para avaliação do sistema de iluminação pública da Avenida Dom Pedro II.

No capítulo 4 foram apresentados e discutidos os dados obtidos no desenvolvimento da metodologia. Esta discussão foi dividida em aspectos técnicos, energético, econômico e ambiental.

O capítulo 5 destacam-se as conclusões a respeito do sistema de iluminação vigente na Avenida Dom Pedro II e dos modelos simulados; os benefícios com a implantação do sistema led nesta instalação e a viabilidade do investimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico

A evolução da humanidade está diretamente relacionada com a utilização da iluminação natural e artificial. O nível de iluminação, principalmente pública, identifica o grau de desenvolvimento da sociedade da qual a usufrui. Os indícios da utilização da iluminação artificial datam 8.000 A.C. Na Mesopotâmia eram utilizadas lâmpadas de óleo, no Egito antigo foram empregadas velas e séculos depois óleo de baleia por diversos países. A iluminação pública começou a ser utilizada em 1415, na Inglaterra, por solicitação dos comerciantes para o combate ao crime. O primeiro serviço público de iluminação pública foi criado em 1665, em Paris. O sistema utilizava luminárias a azeite e velas de cera e era administrado pela polícia (ELETROBRAS PROCEL, 2013).

Segundo Martins (2011), em 1879, nos EUA, foram implantadas as primeiras lâmpadas elétricas para iluminar vias públicas. Em 1882, Nova York tornou-se a primeira cidade do mundo a ter uma iluminação pública suprida por uma termoelétrica.

Segundo a Eletrobrás Procel (2013), no Brasil, século XVI e início do século XVII, a única iluminação nas vias públicas era dos oratórios.

Em 1763, o Rio de Janeiro, capital do Brasil, era iluminado por precários lampiões e candeeiros alimentados a óleo de peixe (ELETROBRAS PROCEL, 2013).

Em 1794, foram instalados 100 candeeiros e lampiões de azeite nos postes das ruas desta cidade. Estes eram custeados pelo poder público e por particulares. Em 1808, com a vinda da família real para o Brasil, houve a ampliação do sistema com o intuito de combater a criminalidade. O acendimento dos lampiões era realizado, diariamente, pelos escravos. Em 1854, O Barão Visconde de Mauá, implantou a iluminação a gás no Rio de Janeiro, a primeira do Brasil. Em 1874, em Porto Alegre, foi inaugurada a usina do Gasômetro e instalada uma iluminação a gás no entorno do chafariz central, na praça da matriz. A utilização da iluminação a gás perdurou até o início do século XX devido à inconfiabilidade do sistema de iluminação elétrica até este período. Em 1879, foi construída a primeira iluminação pública elétrica do Brasil com a iluminação da Estação Central da Estrada de Ferro Dom Pedro II (Central do Brasil - Rio de Janeiro). Em 1883, foi inaugurado um serviço público de iluminação elétrica na cidade de Campos, Rio de Janeiro. Em 1887, uma usina termoelétrica começou a operar em Porto Alegre e foi criado um serviço municipal de iluminação pública

elétrica que seria replicado em diversas outras cidades. Em 1889, foi inaugurado em Juiz de Fora, Minas Gerais, a usina de Marmelos, a primeira usina hidroelétrica de grande porte na América do Sul. No início do século XX, houve um aumento significativo do potencial de geração de energia elétrica no Brasil em função da construção de novas usinas hidroelétricas como a de Parnaíba (Edgard de Souza) em São Paulo, em 1901; de Fontes, no Rio de Janeiro, em 1907; Pedra (Delmiro Golvea) em Alagoas, em 1913. Conseqüentemente houve uma disseminação da iluminação pública elétrica. (ELETROBRAS PROCEL, 2013).

Segundo Santana (2010), a partir do século XX, a GE (General Electric Company) começa a produzir produtos voltados para o sistema de iluminação pública a fim de atender a demanda do mercado nacional como lâmpadas, em 1921; transformadores, em 1930; e bulbo para lâmpadas, em 1938.

Desde então, iniciou-se o desenvolvimento de novas tecnologias e a busca por melhorias da eficiência e da eficácia dos equipamentos com o objetivo de proporcionar melhores níveis de iluminação nas áreas públicas. Em 1931, foi inventada a lâmpada de vapor de mercúrio. A sua utilização em larga escala ocorreu alguns anos depois devido à necessidade de aprimoramento do protótipo, das limitações tecnológicas da época e dos custos de fabricação. Em 1962, foi inventada a lâmpada a vapor de sódio a alta pressão e em 1964, a de vapor metálico. A produção e aplicação destas lâmpadas em larga escala na iluminação pública aconteceram nos anos 70 e 80. Atualmente, está sendo implantada na iluminação pública a tecnologia led (light emitting diode) que incrementa qualidade luminotécnica, economia, eficiência e sustentabilidade ao sistema. (ELETROBRAS PROCEL, 2013).

2.2 Regulamentação

ILUMINAÇÃO PÚBLICA: serviço que tem por objetivo prover de luz, ou claridade artificial, os logradouros públicos no período noturno ou nos escurecimentos diurnos ocasionais, inclusive aqueles que necessitam de iluminação permanente no período diurno. (Resolução Aneel nº 456, 2000).

Segundo a Eletrobrás Procel (2013) desde 1988, a Constituição Brasileira define a iluminação pública como serviço de interesse local, sendo responsabilidade do município gerir ou delegar a terceiros sua gestão.

A responsabilidade pelos serviços de elaboração de projeto, implantação, expansão, operação e manutenção das instalações de IP é de pessoa jurídica de direito público ou por esta delegada mediante concessão ou autorização, podendo a concessionária prestar esses serviços por meio de celebração de contrato específico para tal fim,

ficando o consumidor responsável pelas despesas. (ELETROBRAS PROCEL, 2013, p.36).

Segundo a Eletrobrás Procel (2013) “Parágrafo único: Quando o sistema de iluminação pública for de propriedade da concessionária, esta será responsável pela execução e custeio dos respectivos serviços de operação e manutenção”.

O artigo 218 da Resolução Normativa nº 414 determina que as Concessionárias devam transferir o sistema de iluminação pública registrada como ativo (AIS) a pessoa jurídica de direito público competente. Desta forma, a Aneel publicou a Resolução nº 587 que define o dia 31 de Dezembro de 2014 como prazo máximo para transferência dos ativos (MOREIRA, 2014).

Atualmente, principalmente nos municípios menores, a gestão da iluminação pública continua sob-responsabilidade das Concessionárias de energia devido as liminares judiciais obtidas pelos órgãos municipais que alegam não ter infraestrutura e recursos financeiros para assumir a administração do sistema (MOREIRA, 2014).

Segundo o superintendente de Regulação dos Serviços Comerciais da Aneel, os municípios “extremamente pequenos” têm poucos pontos de iluminação pública, característica que os torna menos atrativos para grandes prestadores de serviços desta área. A solução para estas cidades é, conforme o superintendente, a união em consórcios, junto a outros municípios, para que consigam um volume maior de pontos de iluminação e, conseqüentemente, um contrato adequado, com um preço módico (MOREIRA, 2014, p.65).

O artigo 149-A (Emenda Constitucional Nº39, de 2002) permite a cobrança de contribuições para o custeio do serviço de iluminação pública (Cosip) na fatura de energia elétrica.

2.2.1 Resolução 414/2010 da Aneel

A Aneel, órgão regulador e fiscalizador dos serviços de energia elétrica, elaborou a Resolução 456/2000 (atual 414/2010) que trouxe diversas modificações nas portarias criadas pelo DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica) tais como a definição do ponto de entrega, quantidade de horas cobradas diariamente, responsabilidade pelo sistema de iluminação pública, prazos para transferência dos ativos entre outras. A seguir serão mencionados alguns tópicos desta resolução.

2.2.1.1 Abrangência do Sistema

Fornecimento para iluminação de ruas, praças, avenidas, tuneis, passagens subterrâneas, jardins, vias, estradas, passarelas, abrigos de usuários de transportes coletivos, e outros logradouros de domínio público, de uso comum e livre acesso, de responsabilidade de pessoa jurídica de direito público ou por este delegada mediante concessão ou autorização, incluído o fornecimento destinado a iluminação de monumentos, fachadas, fontes luminosas e obras de arte de valor histórico, cultural ou ambiental, localizadas em áreas públicas e definidas por meio de legislação específica, excluído o fornecimento de energia elétrica que tenha por objetivo qualquer forma de propaganda ou publicidade. O conhecimento deste tópico é de extrema importância para o enquadramento tarifário, para a elaboração de projetos e para identificação da responsabilidade sobre o sistema (ELETROBRAS PROCEL, 2013, p.33).

2.2.1.2 Tarifas

A iluminação pública foi enquadrada no subgrupo B4. A tarifação depende do ponto de entrega e do responsável pela gestão do ativo. A diferença tarifária entre elas gira em torno de 9% (ELETROBRAS PROCEL, 2013). São elas:

2.2.1.2.1 B4a

O ponto de entrega é a conexão entre os cabos da luminária e a rede da Concessionária. A gestão e a manutenção do sistema são realizadas pelos municípios (SANTANA, 2010).

2.2.1.2.2 B4b

O ponto de entrega é o bulbo da lâmpada. A gestão e a manutenção do sistema são realizadas pelas concessionárias ou por empresas especializadas através de contrato de concessão para prestação de serviços de iluminação pública (SANTANA, 2010).

2.2.1.3 Contratos

Deve-se mencionar o proprietário das instalações, a forma e condições para prestação dos serviços de operação e manutenção, procedimentos para alteração de carga e cadastro, para revisão dos consumos de energia elétrica em virtude da utilização de equipamentos automáticos de controle de carga, tarifas e impostos aplicáveis; condições de faturamento,

incluindo critérios para contemplar falhas no funcionamento do sistema; condições de faturamento das perdas referidas, condições e procedimentos para o uso de postes e da rede de distribuição; datas de leitura dos medidores, quando houver, de apresentação e de vencimento das faturas (ELETROBRAS PROCEL, 2013).

2.2.1.4 Medição

A Concessionária não é obrigada a instalar equipamento de medição quando o fornecimento esta relacionado com iluminação pública exceto quando o circuito é exclusivo e o consumidor exige a instalação do equipamento (ELETROBRAS PROCEL, 2013).

2.2.1.5 Faturamento

É considerado 360 (trezentos e sessenta) horas o tempo de consumo mensal de energia do sistema de iluminação pública, exceto nos logradouros que exigem iluminação permanente o qual será considerado o consumo referente a 24 (vinte e quatro) horas por dia. O cálculo da energia consumida pelos equipamentos auxiliares tem como base os dados dos fabricantes dos equipamentos ou de ensaios realizados em laboratórios credenciados. A resolução determina que a utilização de equipamentos mais eficientes assim como sistemas de controle de carga obriga a concessionária de energia revisar a estimativa de consumo e determinar a redução da fatura de energia de forma proporcional ao nível de otimização adquirido (ELETROBRAS PROCEL, 2013).

2.2.2 Resolução 505/2001 Aneel

Estabelece os níveis de tensão mínimo e máximo, em regime permanente, em que os equipamentos de iluminação pública podem estar submetidos. Aspectos como a classificação da tensão de atendimento, indicadores individuais de tensão, registros de medições, prazos para regularização dos níveis de tensão também são tratados nesta resolução. A confiabilidade do sistema de iluminação pública está diretamente relacionada com a condição do fornecimento de energia elétrica. Além disso, esta norma deve levar em consideração as interferências e as consequências que os equipamentos da iluminação pública geram no sistema de distribuição de energia das concessionárias (ELETROBRAS PROCEL, 2013).

2.2.3 ABNT NBR 5101/2012

A norma ABNT NBR 5101/2012 é a principal referência com relação a valores quantitativos para projetos de sistemas de iluminação pública (GODOY, 2015). O seu conteúdo determina uma classe de iluminação específica para cada tipo de via, caracterizada por um determinado fluxo de veículos e pessoas, no período noturno. Para cada classe de iluminação é determinado níveis mínimos ou máximos para diversas grandezas como Iluminância média (E_{med}), fator de uniformidade da iluminância (U), luminância média (L_{med}), fator de uniformidade global (U_o), fator de uniformidade longitudinal (U_L), incremento de limiar (TI) e razão das áreas adjacentes à via (SR) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012) por meio do Código de Trânsito Brasileiro classifica os tipos de vias como:

2.2.3.1 Vias Urbanas

Vias com tráfego motorizado e de pedestres que apresentam edificações em suas margens ao longo de sua extensão. São divididas em:

2.2.3.1.1 Via de Trânsito Rápido

Vias exclusivas para o tráfego motorizado que apresentam fluxo elevado de veículos e baixo de pedestres. Além disso, não há predominância de construções ao longo de sua extensão, não possibilita acesso direto a lotes lindeiros, não tem travessia de pedestres e interseções em nível. A velocidade máxima regulamentada é 80 Km/h.

2.2.3.1.2 Via Arterial

Vias exclusivas para tráfego motorizado caracterizado pela elevada velocidade de operação (60 Km/h), por várias faixas de rolamento, cruzamentos em planos distintos ou em nível, quando controlado por semáforos; acessibilidade aos lotes lindeiros, às vias locais e secundárias; estacionamento proibido na pista. Normalmente não há ofuscamento causado pelo trânsito oposto e edificações ao longo da via.

2.2.3.1.3 Via Coletora

Vias exclusivas para o tráfego motorizado que interligam o acesso ou a saída das vias arteriais ou de trânsito rápido às vias locais da cidade com velocidade máxima de 40 Km/h. O seu volume de tráfego motorizado é inferior e acessibilidade superior em relação à via arterial. O fluxo de pedestres é elevado.

2.2.3.1.4 Via Local

Vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial com volume de tráfego pequeno. Geralmente não são semaforizadas. A velocidade máxima regulamentada é 30 Km/h.

2.2.3.2 Via Rural

Popularmente conhecida como estrada de rodagem não apresenta tráfego motorizado exclusivo. São classificadas em:

2.2.3.2.1 Rodovias

Vias pavimentadas destinadas ao tráfego motorizado e de pedestres com ou sem acostamento. Pode haver trechos considerados como urbanos com velocidades específicas para cada tipo de veículo.

2.2.3.2.2 Estradas

Via rural não pavimentada com ou sem acostamento destinado ao tráfego tanto motorizado como de pedestres. Podem apresentar trechos classificados como urbano. A velocidade máxima regulamentada é 60 Km/h.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012) estabelece uma classificação das vias quanto ao fluxo de pedestres no período noturno conforme o quadro 01.

Quadro 01 - Tráfego de Pedestres ^a

Classificação	Pedestres Cruzando vias com tráfego motorizado
Sem tráfego (S)	Como nas vias arteriais
Leve (L)	Como nas vias residenciais médias
Médio (M)	Como nas vias comerciais secundárias
Intenso (I)	Como nas vias comerciais principais

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

NOTA:

^a O projetista deve levar em conta esta tabela, para fins de elaboração do projeto.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012) também estabelece uma classificação das vias quanto ao fluxo de veículos no período noturno conforme o quadro 02.

Quadro 02 - Tráfego Motorizado

Classificação	Volume de tráfego noturno ^a de veículo por hora em ambos os sentidos ^b , em pista única
Leve (L)	150 a 500
Médio (M)	501 a 1200
Intenso (I)	Acima de 1200

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

NOTA: Vias com fluxo inferior a 150 veículos por hora deve-se adotar a classificação leve (L); e intenso (I) para vias com fluxo superior a 2400 veículos por hora.

^a Valor máximo das médias horárias obtidas nos períodos compreendidos entre 18h e 21h.

^b Valores para velocidades regulamentadas por lei.

Os dados mencionados nos quadros 01 e 02 são imprescindíveis para o projetista identificar a classe de iluminação, conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012), que pertence à via. A relação entre o fluxo de pedestres de uma via, e a classe de iluminação é apresentada no quadro 03.

Quadro 03 - Classe de iluminação em função do fluxo de pedestres

Descrição da Via	Classe de iluminação
Vias com fluxo intenso de pedestres no período noturno. São vias localizadas em áreas comerciais.	P1
Vias com grande fluxo de pedestres no período noturno. Passeios de avenidas, praças e áreas de lazer são alguns exemplos.	P2
Vias com fluxo moderado de pedestres no período noturno.	P3
Vias com pouco fluxo de pedestres no período noturno. Geralmente são vias de bairros residenciais.	P4

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

A relação entre o tipo de via, com determinado fluxo de veículos, e a classe de iluminação é apresentada no quadro 04.

Quadro 04 - Classe de iluminação em função do tipo de via e o fluxo motorizado

Tipo de Vias	Volume de Tráfego	Classe de iluminação
Trânsito rápido	Intenso	V1
Trânsito rápido	Médio	V2
Arterial	Intenso	V1
Arterial	Médio	V2
Coletora	Intenso	V2
Coletora	Médio	V3
Coletora	Leve	V4
Local	Médio	V4
Local	Leve	V5

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

No quadro 05 é estabelecida uma relação entre as classes de iluminação, definidos no quadro 04, e os níveis mínimos de iluminância médio e o fator de uniformidade da iluminância conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012).

Quadro 05 - Níveis mínimos de Iluminância Média e Fator de Uniformidade da iluminância (U) para cada Classe de Iluminação

Classe de Iluminação	(E_{med} , mín, lux)	($U = E_{min}/E_{med}$)
V1	30	0.4
V2	20	0.3
V3	15	0.2
V4	10	0.2
V5	5	0.2

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

No quadro 06 é estabelecida uma relação entre as classes de iluminação, definidos no quadro 03, e os níveis mínimos de iluminância médio e o fator de uniformidade da iluminância conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012).

Quadro 06 - Níveis mínimos de Iluminância Média e Fator de Uniformidade da iluminância (U) para cada classe de Iluminação

Classe de Iluminação	(E_{med} , mín, lux)	($U = E_{min}/E_{med}$)
P1	20	0,30
P2	10	0,25
P3	5	0,20
P4	3	0,20

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012) também estabelece uma relação entre as classes de iluminação definidas no quadro 04 e outras grandezas luminotécnicas imprescindíveis para análise da qualidade da iluminação, conforme quadro 07.

Quadro 07 - Requisitos de Luminância média, uniformidade da luminância, incremento limiar e razão das áreas adjacentes para cada classe de iluminação.

Classe de iluminação	(L _{med})	(U _o) ≥	(U _L) ≤	(TI) ^a %	(SR) ^b
V1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
V2	1,50	0,40	0,70	10	0,50
V3	1,00	0,40	0,70	10	0,50
V4	0,75	0,40	0,60	15	-
V5	0,50	0,40	0,60	15	-

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

NOTA:

L_{med}: Luminância média.

U_o: Uniformidade global.

U_L: Uniformidade longitudinal.

TI: Incremento de limiar.

SR: Razão das áreas adjacentes

^a e ^b Valores orientativos assim como as classes V4 e V5.

As classes V1, V2, V3 são obrigatórias para luminância.

2.3 Conceitos Técnicos

2.3.1 Projetos de IP

Segundo Rosito (2009), projetos de eficiência energética em iluminação pública podem ser realizados com recursos próprios dos municípios ou por linhas de financiamento, entre os quais se pode citar o programa Reluz da Eletrobrás. Neste caso, as prefeituras devem entrar em contato com as concessionárias de energia elétrica para a análise do projeto e para o encaminhamento da solicitação do financiamento a Eletrobrás. Poderá ser financiado até 75% do projeto. O restante é de responsabilidade dos municípios ou concessionárias. Os recursos do programa Reluz da Eletrobrás são obtidos por linhas de crédito de Reserva Global de Reversão (RGR). Entre os tipos de projetos, os mais relevantes são os direcionados a eficiência, expansão e a utilização de iluminação especial (ROSITO, 2009). Os procedimentos relacionados com cada tipo serão citados a seguir:

2.3.1.1 Projetos de Eficiência

Primeiramente, faz-se um diagnóstico do sistema atual com o levantamento do número de pontos e suas características. Caso não haja um cadastro atualizado, faz-se um

levantamento de campo. Assim é possível verificar a viabilidade do projeto e o seu custo/benefício. Deve constar no projeto informações como o local de execução, responsável pelo projeto, metas, planejamento, benefícios e prazos, ou seja, o cronograma físico e financeiro. Além disso, devem ser apresentadas as especificações técnicas dos materiais e equipamentos, o projeto luminotécnico de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012) e os procedimentos de instalação e manutenção os quais serão utilizados como referência antes, durante e após a execução do projeto. Após a aprovação do projeto inicia-se a elaboração do edital para aquisição de materiais e contratação de mão de obra. As especificações desses devem estar de acordo com as citadas no projeto. Na etapa de execução é realizada a substituição de todo conjunto que constitui o ponto de iluminação (Lâmpada, luminária, conexões, fiação.etc.) por equipamentos e acessórios mais eficientes. Durante a execução é importante a realização de auditorias para garantir o cumprimento das especificações do projeto. A fase final é caracterizada pela avaliação dos resultados e pela apresentação de relatório final contendo informações minuciosas de todas as etapas executadas assim como o cadastro final de todos os pontos de iluminação.

2.3.1.2 Projetos de Expansão

Segundo Rosito (2009), é viável a utilização de equipamentos de elevada eficiência para evitar futuros gastos com modernização do sistema. Primeiramente, devem-se definir as áreas prioritárias a serem iluminadas e as condições de fornecimento de energia elétrica. Caso não haja rede de média ou baixa tensão no local, para a implantação do sistema de iluminação pública, os recursos necessários para a disponibilização da rede de energia podem ser obtidos pelo programa Reluz. Em seguida, realiza-se o projeto de expansão da rede de energia, caso seja necessário, o projeto luminotécnico, as definições das especificações dos materiais e equipamentos. As outras etapas são similares aos projetos de eficiência.

2.3.1.3 Projetos de Iluminação Especial

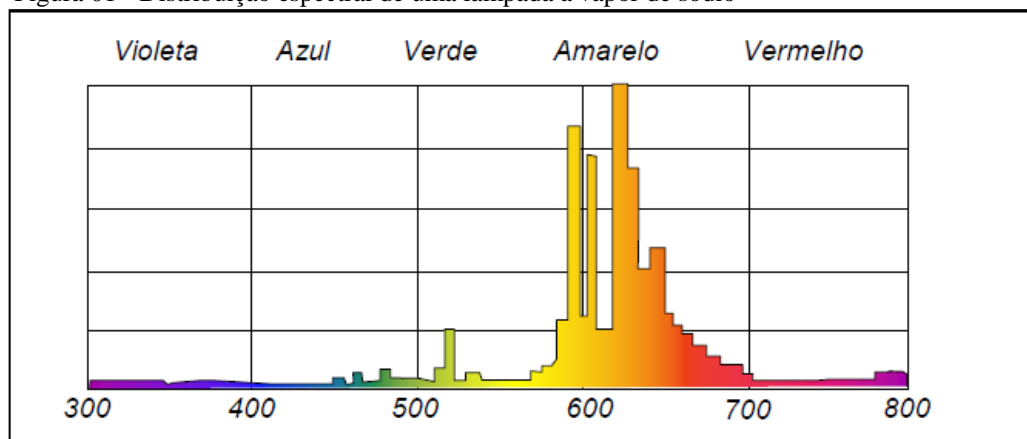
Estes projetos visam à valorização de monumentos com importância histórica e cultural, no período noturno. Eles favorecem o comércio, o turismo e o bem-estar da população (ROSITO, 2009). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012) não define requisitos mínimos para este tipo de iluminação. Assim é necessário recorrer a publicações da

CIE, IESNA ou outros organismos internacionais. Os procedimentos e etapas são similares aos projetos citados anteriormente.

2.3.2 Luz e Visão

A luz é uma onda eletromagnética visível que pertence a uma faixa estreita do espectro eletromagnético, ou seja, entre 380 nm (nanômetros) e 780 nm. Cada fonte de luz emite intensidades e faixas distintas de comprimentos de onda de luz visível e de radiações que estão fora do espectro visível como o infravermelho e o ultravioleta. Isto acarreta características e particularidades específicas para cada fonte de luz. (OSRAM, 2009). A figura 01 ilustra o espectro luminoso de uma lâmpada a vapor de sódio de alta pressão:

Figura 01 - Distribuição espectral de uma lâmpada a vapor de sódio

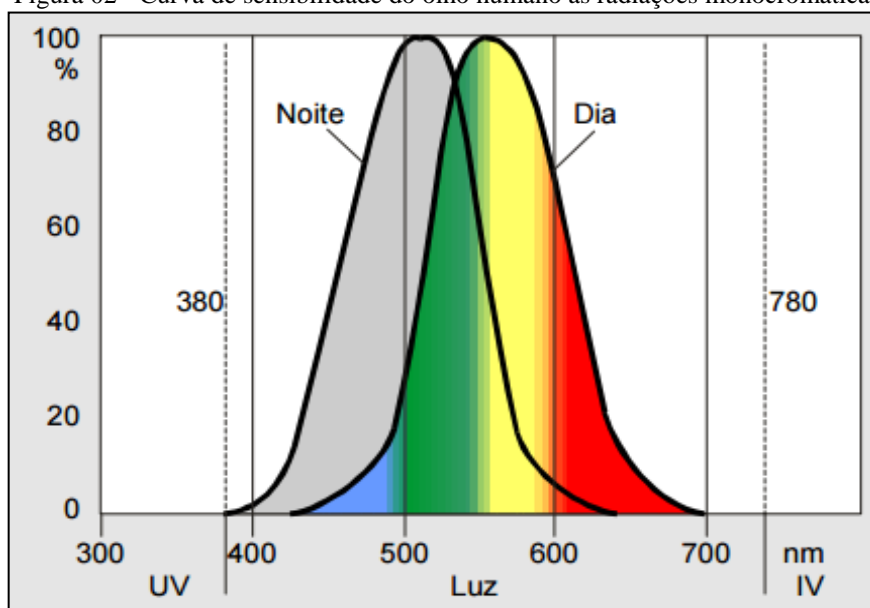


Fonte: (CEMIG, 2012).

A sensibilidade visual com relação ao espectro da luz varia com a intensidade de luz do ambiente. Durante o dia, período que os níveis de luminosidade são elevados, a sensibilidade visual é maior para ondas de luz cujo comprimento esteja na faixa de 555nm (cores verdes amareladas). Este tipo de visão é definido como fotópica. Ambientes providos de pouca iluminação, principalmente à noite, após o período de adaptação da visão, a sensibilidade visual é maior para ondas de luz cujo comprimento de onda esteja na faixa de 507nm (cores verdes azuladas). Neste contexto, a visão é escotópica. (GODOY, 2015).

A curva de sensibilidade do olho humano, ilustrada na figura 02 demonstra de forma dinâmica a variação da sensibilidade visual em função da luminosidade do ambiente e do espectro da luz.

Figura 02 - Curva de sensibilidade do olho humano as radiações monocromáticas



Fonte: (OSRAM, 2009).

A sensibilização ocorre através de células fotossensíveis denominadas cones e bastonetes, localizadas na retina do olho, que ao serem ativados pela luz geram impulsos elétricos que são transportados pelos nervos ópticos até a parte posterior do cérebro, onde são formadas as imagens (PINTO, 2012).

Os cones, localizados na fóvea da retina, são responsáveis pela visão fotópica e caracterizam-se por produzir uma visão central e binocular acima dos 120°; cromática com excelente sensibilidade ao contraste e detalhes. São estimulados por intensidades luminosas superiores a 3,4 cd/m² (PINTO, 2012).

Os bastonetes, localizados do lado de fora da fóvea, estão relacionados com a visão escotópica e produzem uma visão periférica acima de 190°, acromática (cinza) com baixa sensibilidade ao contraste e detalhes. São estimulados por intensidades luminosas inferiores a 0,034 cd/m² (PINTO, 2012).

Intensidades luminosas entre 0,034 e 3,4 cd/m² acarretam a sensibilização tanto dos cones como dos bastonetes produzindo uma visão denominada mesópica caracterizada pela deficiente discriminação de cores e pelo aumento da percepção das cores vermelhas em relação as azuis (GODOY, 2015). Segundo Iwashita (2011) a visão mesópica é uma visão característica da iluminação pública devido a sua sensibilidade ao espectro da luz não ser constante, ou seja, varia com os níveis de luminosidade do ambiente.

A fotometria era baseada apenas no sistema fotópico até 2010. Atualmente, também se utiliza o sistema fotométrico mesópico que combina a eficiência luminosa fotópica com a

escotópica. O sistema fotométrico mesópico influencia na eficácia luminosa das lâmpadas sobre condições de baixa luminosidade, situação característica da iluminação pública. A relação escotópica / fotópica das fontes utilizadas em iluminação pública revela que os leds de luz branca e as lâmpadas de vapor metálico proporcionam melhor desempenho visual em condições de baixa luminosidade (IWASHITA, 2011).

Outras particularidades da visão humana serão discutidas a seguir:

2.3.2.1 Acomodação ou Adaptação

É a capacidade de ajuste da visão conforme a intensidade de luz do ambiente a fim de se obter uma visão nítida e focalizada de objetos localizados em diferentes distâncias. Uma iluminação pública de baixa qualidade acarreta intercalação entre áreas mais e menos iluminadas (Efeito Zebra). Isto acarreta fadiga do sistema visual e a perda da noção de espaço (LEÃO, 2014).

2.3.2.2 Acuidade

É a capacidade de o olho humano identificar de forma mais rápida e minuciosa os detalhes dos objetos visualizados. Esta diretamente relacionada com a qualidade da iluminação e com a idade do indivíduo (LEÃO, 2014).

2.3.2.3 Persistência

Trata-se da capacidade do olho humano manter a imagem do objeto visualizado na retina por alguns instantes. Este fenômeno é conhecido como memória da retina (LEÃO, 2014).

2.3.2.4 Reflexão

Segundo Godoy (2015), a incidência da luz sobre uma superfície polida acarreta uma reflexão especular (ângulo de incidência é igual ao de emergência) e uma baixa percepção da luz. Contudo, a incidência sobre uma superfície fosca e irregular microscopicamente produz uma reflexão difusa (para várias direções do espaço) desencadeando uma percepção mais

expressiva da luz. O quadro 08 estabelece uma relação entre diversos tipos de materiais e seus respectivos coeficientes de reflexão.

Quadro 08 - Coeficiente de reflexão de alguns materiais

MATERIAL	COEFICIENTE DE REFLEXÃO
Concreto/Cimento	15-40
Gesso	80
Madeira	15-60
Rocha	60
Tijolos	5-25
Vidro transparente	6-8

Fonte: (OSRAM, 2009).

A tonalidade da cor influencia diretamente na refletância (relação entre a luminosidade refletida por uma superfície e o fluxo luminoso que incide sobre ela) dos materiais. O quadro 09 relaciona a tonalidade da cor da superfície em função da sua refletância.

Quadro 09 - Coeficiente de reflexão de alguns materiais

TONALIDADE	REFLETÂNCIA
Muito clara	70%
Clara	50%
Média	30%
Escura	10%
Preta	0%

Fonte: (PROCEL EPP, 2011).

Os conhecimentos dos conceitos sobre luz e visão permitem o dimensionamento adequado dos equipamentos de iluminação e a aquisição de mais segurança e conforto aos usuários do sistema de iluminação pública (LEÃO, 2014).

Emissões significativas de radiações que não sejam luz (infravermelho ou ultravioleta) acarretam o desperdício de energia e danos aos materiais e componentes da própria luminária como ressecamento das juntas de vedação, perda da transparência das lentes e da reflexão dos refletores (AGUILLERA, 2015).

2.3.3 Índice de Reprodução de Cores (IRC)

Segundo Leão (2014), IRC é o grau de fidelidade com que as cores são reproduzidas por uma fonte de luz. Seu valor varia de 0 a 100. Quanto mais próximo deste, mais fielmente as cores serão reproduzidas. No âmbito da iluminação pública, valores condizentes para IRC são iguais a 60. Segundo Bommel (2010), a identificação das pessoas nas vias é maior quando se utiliza lâmpadas que emitem luz branca e possuem um índice de reprodução de cores maior que 50.

Segundo Aguillera (2015) entre as lâmpadas utilizadas no sistema de iluminação pública, as lâmpadas led e multivapores metálicos apresentam os maiores IRC. Esta característica é ilustrada na figura 03.

Figura 03 - Índice de Reprodução de Cores das lâmpadas utilizadas no sistema de iluminação pública



Fonte: (EMPALUX).

2.3.4 Fluxo Luminoso (ϕ)

É a quantidade de radiação emitida, para todas as direções, por uma fonte de luz, capaz de sensibilizar o olho humano na região da visão fotópica. A unidade de medida no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o lúmen (lm) (GODOY, 2015). O transcorrer da vida útil das lâmpadas e ao acúmulo de poeira nas luminárias ou na própria fonte de luz, provocam a depreciação do fluxo luminoso comprometendo o nível de iluminância médio das vias públicas. Para compensar este efeito, no desenvolvimento dos projetos de iluminação pública utiliza-se um fator de depreciação no cálculo das quantidades de luminárias que serão instaladas na via (PROCEL EPP, 2011). Conforme a Cemig 02.118 393f (2010), luminárias com grau de proteção IP55 deve-se utilizar um fator de depreciação igual a 0,80, com grau de proteção IP65, 0,85, e com grau de proteção IP66, 0,90.

O fluxo útil que incide sobre um plano específico também influencia na quantidade de luminárias em um projeto. A grandeza relacionada com este conceito é o fator de utilização. Sua medida revela a eficiência do conjunto lâmpada, luminária e recinto (OSRAM, 2009). A concessionária de energia local estabelece valores específicos para o fator de utilização no âmbito da iluminação pública conforme o quadro 10.

Quadro 10 - Fator de utilização para vias públicas

Porcentagem do Fluxo Útil no Plano (Y)	Fator de Utilização
Y=100%	1
$Y \geq 50\%$	0,75
$25\% < Y < 50\%$	0,60
$Y < 25\%$	0,40

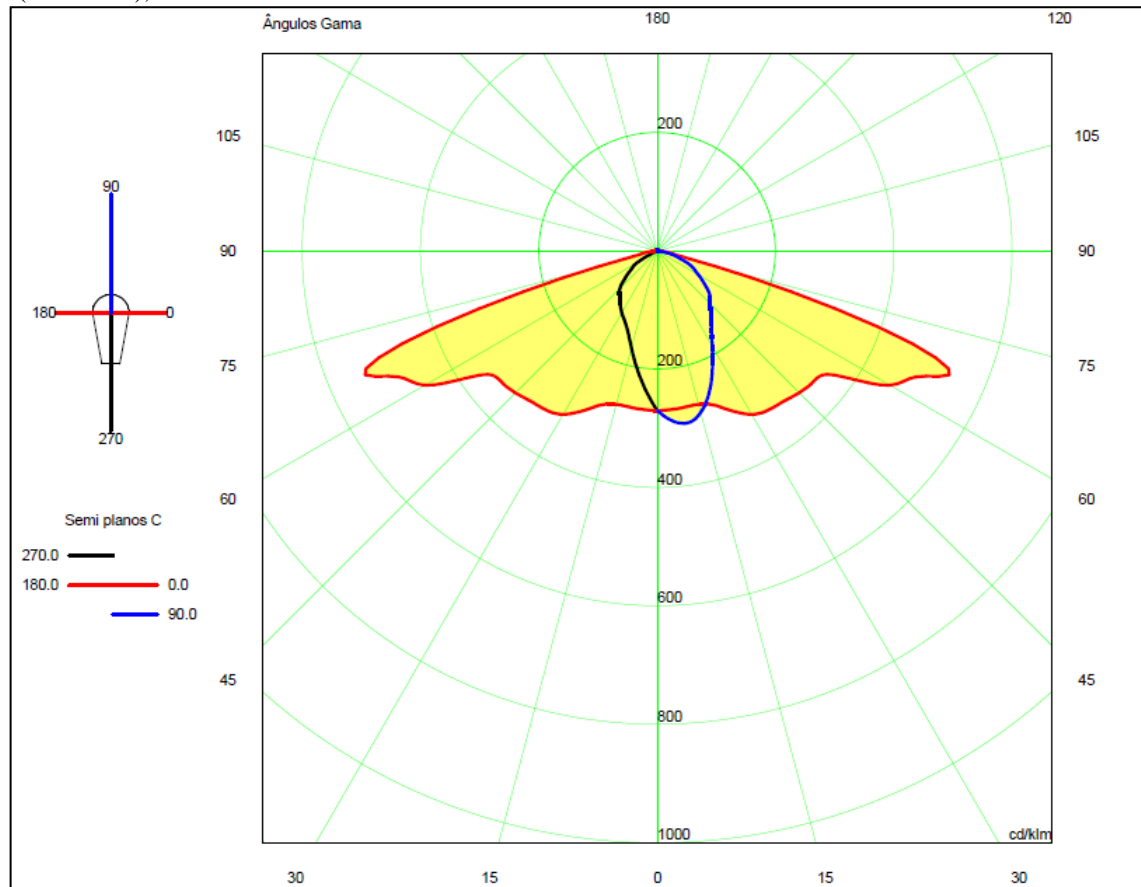
Fonte: (CEMIG, 2012).

2.3.5 Intensidade Luminosa (I)

Segundo Godoy (2015), a intensidade luminosa é a quantidade de radiação de luz emitida para uma determinada direção, dentro de um ângulo sólido unitário (esferorradiano (ângulo no espaço tridimensional)). A soma de todas as intensidades luminosas de uma fonte de luz equivale ao fluxo desta fonte. Sua unidade de medida no SI é a candela (cd) ou lúmen/esferorradiano.

A intensidade luminosa emitida por uma lâmpada ou refletida por uma luminária pode ser representada pela curva de distribuição polar ou luminosa (CDL) que ilustra a quantidade de candelas nas diversas direções do espaço (GODOY, 2015). As CDL são referidas a 1000 lm. Portanto, para se determinar a intensidade luminosa para uma determinada direção via CDL deve-se multiplicar o valor indicado na curva pelo fluxo total da lâmpada e dividir o resultado por 1000 (OSRAM, 2009). A figura 04 representa a CDL de uma luminária fabricada pela Tecnowatt.

Figura 04 - Curva da Distribuição Luminosa nos semi planos C, longitudinal (0° e 180°) e transversal (90° e 270°), da luminária BETA NAV150T



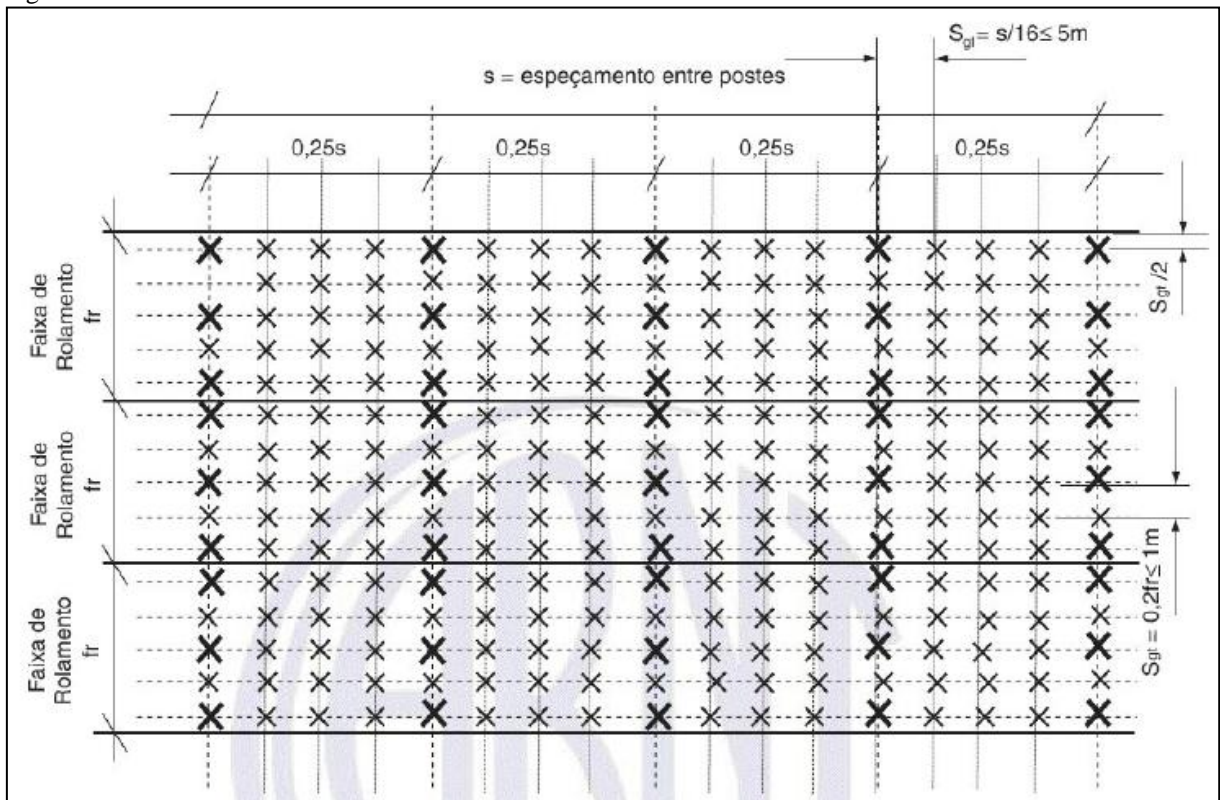
Fonte: (TECNOWATT, 2016).

2.3.6 Iluminância (E)

Conforme Godoy (2015), Iluminância é o fluxo luminoso que incide sobre unidade de superfície. Sua unidade de medida no (SI) é o lúmen/m² ou lux. Conforme Rosito (2009), a iluminância caracteriza-se por não ser uniforme sendo, portanto, calculada pela média aritmética das medidas de iluminância, ao nível da via, dos pontos da malha fotométrica. A medição em campo é realizada através do Luxímetro. Este deve apresentar boa classe de exatidão e estar devidamente calibrado para que não ocorra distorção dos resultados.

A malha fotométrica para realizar simulações via *software* e medições em campo devem atender as exigências estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). A figura 05 ilustra o modelo utilizado tanto para medição como para simulação em *software*.

Figura 05 - Malha fotométrica



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012)

NOTA: X: Ponto tanto para cálculo em *software* como para medição em campo

x: ponto somente para cálculo em *software*

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012) também estabelece que a iluminância mínima (E_{\min}), em uma malha fotométrica, seja igual a 1 lux.

No sistema de iluminação, a relação entre a iluminância média das áreas adjacentes à via (faixa com largura de até 5 metros) e a iluminância média da via (faixa com largura de até 5 metros ou a metade da largura da via) é denominada razão das áreas adjacentes à via (SR). Este parâmetro considera a posição que a luminária deve ser posicionada para permitir a percepção da silhueta do pedestre (contraste negativo) pelo motorista (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

A lei de Lambert ou lei do cosseno determina que a iluminância seja proporcional ao cosseno do ângulo de incidência (ângulo entre a normal da superfície e a direção da luz incidente). Com relação ao afastamento da luminária à superfície a iluminância é inversamente proporcional ao quadrado desta distância (JESUS, 2012). Segundo a Cemig (2012) estas grandezas possibilitam o cálculo da iluminância ponto a ponto utilizando-se a fórmula expressa a seguir:

$$E_P = \frac{I_\alpha \times \cos^3(\alpha)}{d^2} \quad (1)$$

Sendo

E_P : Iluminância (lux) no ponto P.

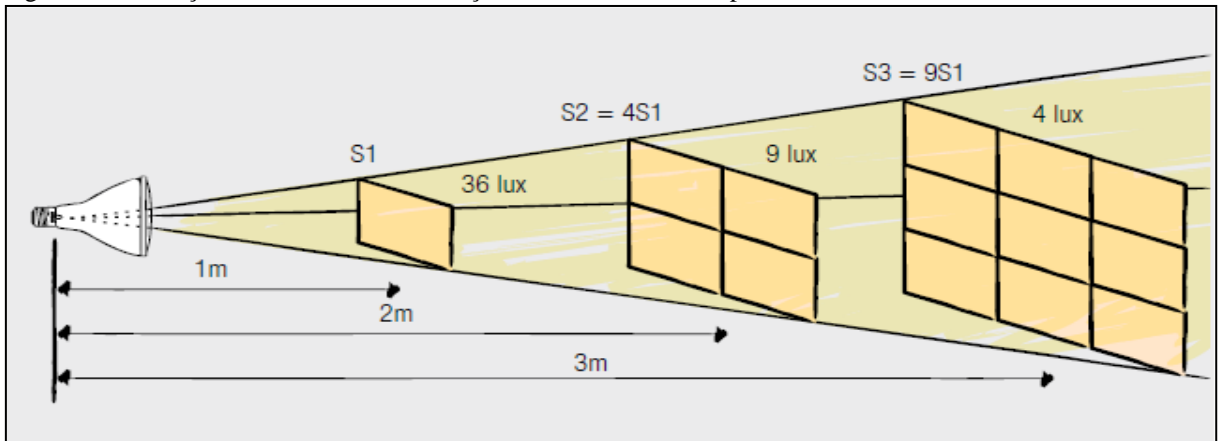
I_α : Intensidade luminosa (cd) de uma única luminária na direção do ponto P

α : Ângulo entre a normal da superfície e a direção da luz incidente no ponto P.

d: Distância, em metros, do ponto de luz em relação ao ponto P da superfície.

A figura 06 ilustra o princípio da lei do inverso do quadrado da distância entre uma fonte de luz e uma superfície de trabalho.

Figura 06 - Variação da iluminância em função da distância entre superfície e luminária



Fonte: (OSRAM, 2009).

2.3.7 Fator de Uniformidade

Segundo Godoy (2015), a uniformidade é a relação entre os pontos menos iluminados e mais iluminados em um plano específico. É um parâmetro imprescindível para aumentar a percepção visual. Pode ser classificado como:

2.3.7.1 Fator de Uniformidade da Iluminância (U)

Razão entre a iluminância mínima (E_{\min}) e a iluminância média (E_{med}) em um plano específico (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

$$U = \frac{E_{\min}}{E_{\text{med}}} \quad (2)$$

2.3.7.2 Fator de Uniformidade da Luminância

É dividido em:

2.3.7.2.1 Fator de Uniformidade Longitudinal (U_L)

Razão entre a luminância mínima (L_{\min}) e a luminância máxima (L_{\max}), na linha paralela ao eixo longitudinal da via, em um plano específico (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

$$U = \frac{L_{\min}}{L_{\max}} \quad (3)$$

2.3.7.2.2 Fator de Uniformidade Global (U_o)

Razão entre a luminância mínima (L_{\min}) e a luminância média (L_{med}) em um plano específico (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

$$U = \frac{L_{\min}}{L_{\text{med}}} \quad (4)$$

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012) estabelece requisitos mínimos para todos os tipos de fator de uniformidade em um projeto luminotécnico para vias públicas. A figura 07 ilustra o fator de uniformidade em uma avenida submetida às condições luminotécnicas distintas.

Figura 07 - Fator de uniformidade distinto para um mesmo circuito de iluminação onde foi empregado lâmpada a vapor de sódio (à esquerda) e led (à direita)



Fonte: (GODOY, 2015).

2.3.8 Luminância

Segundo Leão (2014), luminância é a intensidade luminosa (I) refletida, por unidade de superfície, em direção ao olho de um observador. Isto possibilita a visualização dos objetos. Conforme Godoy (2015), a luminância depende do ângulo de visão entre o plano e o observador e das características da superfície como o coeficiente de reflexão. Sua unidade de medida é candela (cd / m^2). Sua medição é realizada pelo luminancímetro. Pode ser calculada pela equação (5) ou (6) a seguir:

$$L = q(\beta, \gamma) \times E \quad (5)$$

Sendo:

q : Coeficiente da luminância em um ponto

γ : Ângulo de incidência

β : Ângulo entre o plano de incidência e o de observação

L : Luminância

E : Iluminância

$$L = \sum_{i=1}^n \frac{I(C_i, \gamma_i) \times r(\beta_i, \gamma_i)}{h^2} \quad (6)$$

Sendo:

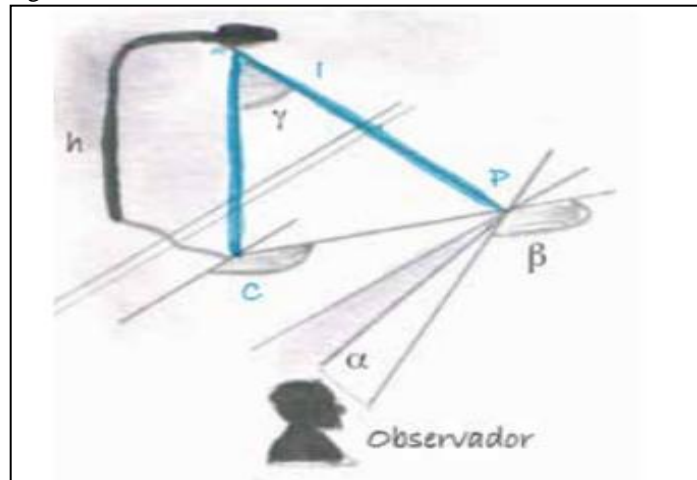
$r(\beta_1, \gamma_1)$: Depende das características do pavimento da via

$I(C_i, \gamma_i)$: Intensidade luminosa recebida em um ponto definido pelo par de ângulos (C_i, γ_i)

h^2 : Altura da luminária
 n : Quantidade de fontes de luz
 L : Luminância

A figura 08 ilustra a relação entre as variáveis envolvidas nas equações (5) e (6).

Figura 08 - Luminância



Fonte: (GODOY, 2015).

NOTA: α é definido pelo campo visual igual a 60 a 160 metros adiante a uma altura de 1,50 metros do solo.

Segundo Godoy (2015), pode ocorrer ofuscamentos no sistema visual devido à utilização de luminárias com controle da distribuição luminosa inadequada. Por isso surgem dois conceitos importantes relacionados à luminância. São eles:

2.3.8.1 Luminância de Velamento (L_v)

Ocorre quando a luz incide, de forma perpendicular, ao plano da linha de visão de um observador, causando desconforto, desorientação e até mesmo uma cegueira temporária. Sua intensidade depende do ângulo entre o centro da fonte de iluminação e a linha de visão e da idade do observador (GODOY, 2015). Segundo o Inmetro (2006), a luminância de velamento é calculada pela seguinte fórmula.

$$L_v = \sum L_{vi} \quad (7)$$

$$L_{vi} = \left\{ 641 \times \left[1 + \left(\frac{A}{66,4} \right)^4 \right] \right\} \times \left(\frac{E_{o-i}}{\theta_i^2} \right) \quad \text{Sendo:} \quad (8)$$

L_v : Luminância de velamento

L_{vi} : Luminância de velamento da i -ésima luminária vista no ângulo θ_i

A: Idade do observador em anos

E_{o-i} : Iluminância, no olho do observador, da i -ésima luminária vista no ângulo θ_i

θ_i : Ângulo entre o centro da fonte de iluminação e a linha de visão

2.3.8.2 Incremento de Limiar (TI)

Segundo Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012), o (TI) limita o ofuscamento que compromete a visibilidade dos objetos em uma via pública. Para tanto é necessário um incremento de luminância na via para o aumento desta visibilidade. É expressa pela seguinte equação:

$$TI\% = 65 \times \frac{L_v}{L_{med}^{0,8}} \quad (9)$$

Sendo:

(L_{med}): Luminância média na via

(L_v): Luminância de velamento

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012) estabelece requisitos mínimos e orientativos para luminância média (L_{med}) e para o incremento de limiar respectivamente em um projeto luminotécnico para vias públicas.

2.3.9 Eficiência Luminosa

Segundo Leão (2014), eficiência luminosa ou rendimento é a relação entre fluxo (lm) emitido para cada unidade de potência (W) consumida por uma fonte de luz. Sua unidade de medida é o lm/W. É um parâmetro imprescindível para diferenciação das tecnologias existentes e para análise da viabilidade dos projetos luminotécnicos.

2.3.10 Temperatura de Cor Correlata (TCC)

Segundo Leão (2014), a temperatura de funcionamento de uma fonte de luz influencia diretamente na aparência da cor da luz. Lâmpadas com temperaturas iguais ou inferiores a 3100 Kelvins (K) apresentam aparência amarelo-alaranjada e são quentes (aconchegante)

enquanto as com Temperaturas superiores a 4000K apresentam aparência branca azulada e são frias (estimulantes). Temperaturas entre 3100K e 4000K apresentam aparência neutra. Segundo Aguilera (2015), a luz branca azulada possibilita melhores condições de reconhecimento facial, percepção de cores e detalhes do que a luz amarelada.

2.3.11 Contraste Negativo

Segundo Rosito (2009), com relação ao tráfego de pedestres além dos requisitos mínimos de iluminância estabelecidos pela ABNT deve-se analisar a questão da capacidade de reconhecimento facial das pessoas. Segundo Godoy (2015), a projeção da luz de forma diferente, para uma mesma fonte de iluminação, cria efeitos diferentes que poderão facilitar ou dificultar o reconhecimento das pessoas e a reação a determinadas situações.

A figura 09 ilustra um exemplo de contraste negativo que impossibilita o reconhecimento facial dos pedestres em uma via.

Figura 09 - Contraste negativo



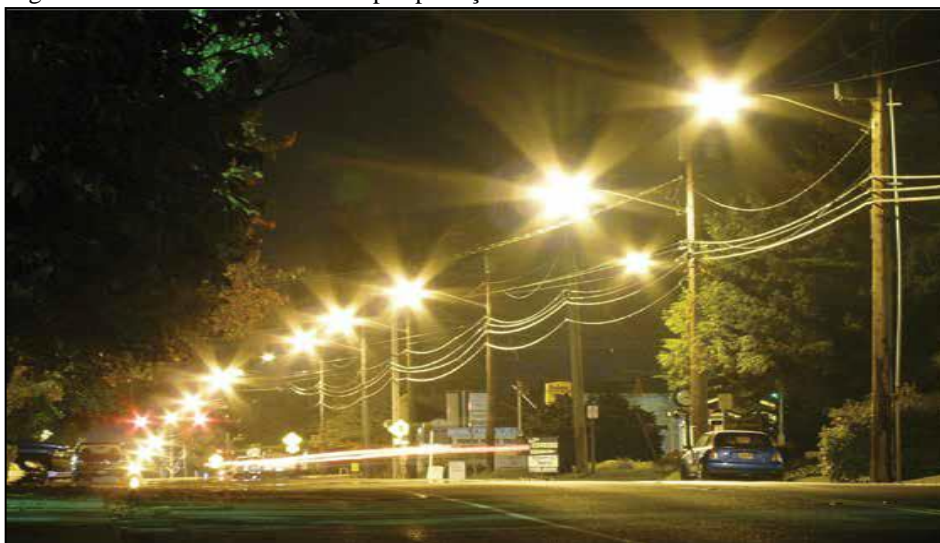
Fonte: (ROSITO, 2009).

2.3.12 Poluição Luminosa

Segundo Rosito (2009), a poluição luminosa é um efeito adverso causado, ao meio ambiente e aos seres humanos, pela luz artificial excessiva ou mal direcionada. É uma característica de projetos luminotécnicos inadequados que não realizam o controle da distribuição luminosa ou apresentam níveis elevados de iluminância.

Segundo a Cemig (2012), a utilização de luminárias de vidro plano, o controle da distribuição luminosa acima dos eixos de 80° e 90° , a redução da potência da lâmpada de tal forma que não comprometa os níveis mínimos estabelecidos para via, e a alteração do ângulo ou direção da montagem da luminária são medidas que reduzem as interferências causadas pelo sistema de iluminação pública. A figura 10 ilustra um cenário típico desta interferência que compromete a visibilidade dos usuários do sistema.

Figura 10 - Ofuscamento causado por poluição luminosa



Fonte: (GODOY, 2015).

2.3.13 Durabilidade

Segundo Rosito (2009), com relação à durabilidade das lâmpadas existem conceitos distintos e importantíssimos para análise de projetos luminotécnicos. As definições são as seguintes:

2.3.13.1 Vida Útil

Corresponde ao tempo, em horas, para que ocorra redução de 30% do fluxo inicial de uma lâmpada.

2.3.13.2 Vida Média

É a média aritmética do tempo de duração, em horas, de um tipo de lâmpada pertencente a uma amostra ensaiada.

2.3.13.3 Vida Mediana

Corresponde ao tempo, em horas, que 50% das lâmpadas ensaiadas permanecem acesas.

2.3.14 Distribuição Fotométrica

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012), a distribuição fotométrica de uma luminária influencia diretamente na qualidade da iluminação pública. Existem variações na largura das vias, na altura das montagens, no espaçamento entre os postes, nos ângulos de saída dos braços que acarretam projetos de distribuição de luz específicos para as luminárias.

A norma determina as seguintes classificações para a distribuição das intensidades luminosas das luminárias em relação à via:

2.3.14.1 Distribuição Longitudinal

Pode ser curta, média ou longa.

2.3.14.1.1 Curta

A máxima intensidade luminosa está localizada entre 1 AM LTV (linhas transversais da via) e 2,25 AM LTV do sistema de coordenadas do diagrama de isocandela¹

¹ Diagrama traçado sobre um sistema retangular de coordenadas contendo uma série de linhas longitudinais (LLV) e transversais (LTV) à via em múltiplos da altura da montagem (AM); e linhas de máxima intensidade e meia intensidade máxima luminosa conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). Ver figura 12.

2.3.14.1.2 Média

A máxima intensidade luminosa está localizada entre 2,25 AM LTV e 3,75 AM LTV do sistema de coordenadas do diagrama de isocandela.

2.3.14.1.3 Longa

A máxima intensidade luminosa está localizada entre 3,75 AM LTV e 6,0 AM LTV do sistema de coordenadas do diagrama de isocandela.

2.3.14.2 Distribuição Transversal ou Lateral

São classificadas como Tipo I, II, III e IV.

2.3.14.2.1 Tipo I

A linha de meia intensidade máxima está localizada entre a LLV (linhas longitudinais da via) 1,0 AM , referente ao lado das casas, e a LLV 1,0 AM, referente ao lado da via, do sistema de coordenadas do diagrama de isocandela.

2.3.14.2.2 Tipo II

A linha de meia intensidade máxima está localizada entre a linha de referência e a LLV 1,75 AM do sistema de coordenadas do diagrama de isocandela.

2.3.14.2.3 Tipo III

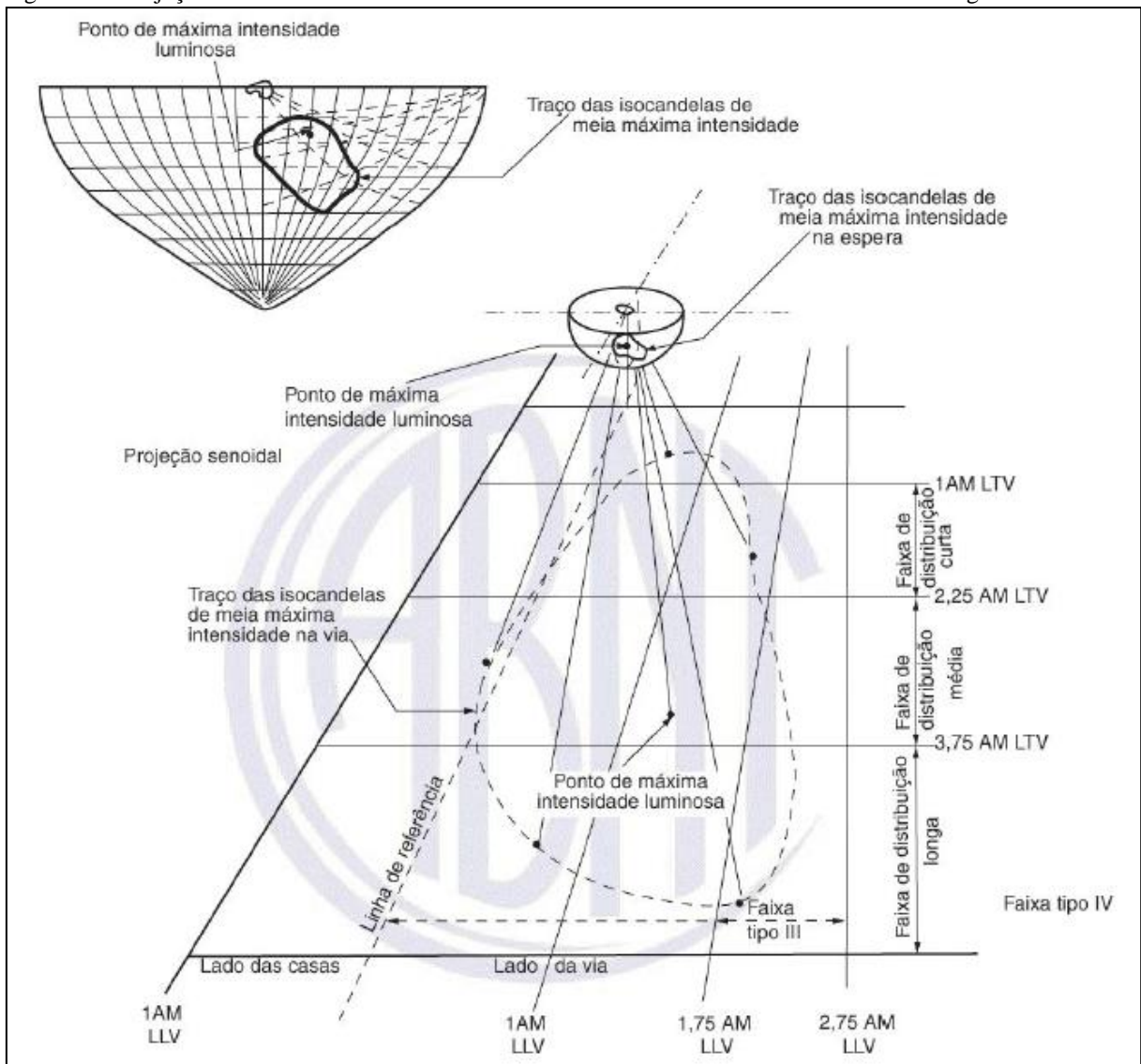
A linha de meia intensidade máxima ultrapassa, parcialmente ou totalmente, a LLV 1,75 AM e não ultrapassa a LLV 2,75 AM do sistema de coordenadas do diagrama de isocandela.

2.3.14.2.4 Tipo IV

A linha de meia intensidade máxima ultrapassa, parcialmente ou totalmente, a LLV 2,75 AM do sistema de coordenadas do diagrama de isocandela.

A figura 11 ilustra as isocandelas de uma luminária, projetada em uma esfera imaginária e na via, cuja classificação de distribuição é tipo III média.

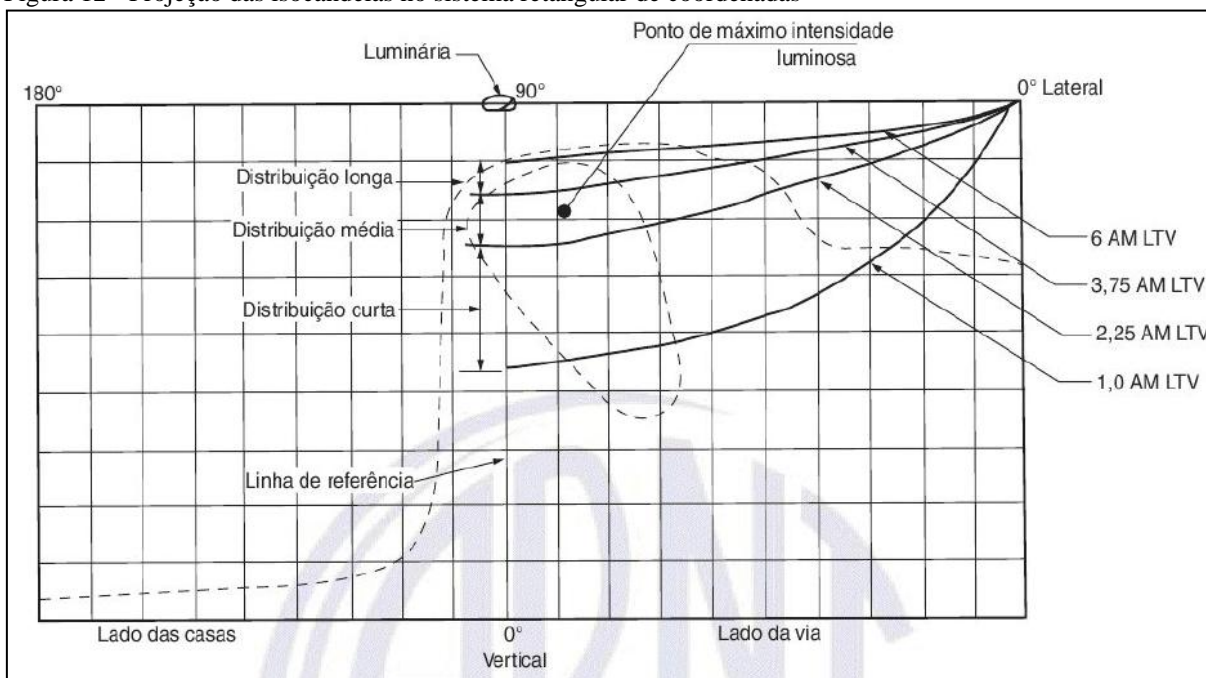
Figura 11 - Projeção das isocandelas de máxima e meia máxima intensidade em uma esfera imaginária e na via



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

A figura 12 ilustra a representação do diagrama de isocandelas no sistema retangular de coordenadas. O modelo apresentado define o tipo de classificação longitudinal da luminária.

Figura 12 - Projeção das isocandelas no sistema retangular de coordenadas



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

2.3.14.3 Controle da Distribuição luminosa no espaço acima de 80° e 90°

2.3.14.3.1 Distribuição Totalmente Limitada

Independente do ângulo vertical analisado, a intensidade luminosa, acima de 90° é nula e acima de 80° não excede 10% dos lumens nominais da fonte de luz utilizada na luminária.

2.3.14.3.2 Distribuição Limitada

Independente do ângulo vertical analisado, a intensidade luminosa acima de 90° não excede 2.5% e acima de 80° não excede 10% dos lumens nominais da fonte de luz utilizada na luminária.

2.3.14.3.3 Distribuição Semilimitada

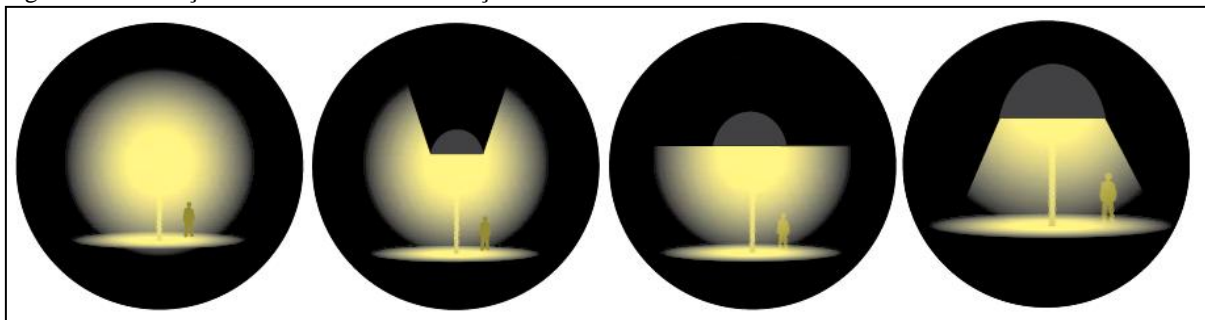
Independente do ângulo vertical analisado, a intensidade luminosa acima de 90° não excede 5% e acima de 80° não excede 20% dos lumens nominais da fonte de luz utilizada na luminária.

2.3.14.3.4 Distribuição Não limitada

Não há limitação da distribuição da intensidade luminosa.

A figura 13 ilustra os tipos de controle de distribuição luminosa das luminárias, utilizadas no sistema de iluminação pública, em ordem crescente de eficiência.

Figura 13 - Variação do controle da distribuição luminosa



Fonte: (COPEL, 2012).

Visando a redução da poluição lumínica do sistema de iluminação pública, recomenda-se a utilização de luminárias com controle de distribuição no mínimo limitada (ROSITO, 2009).

2.3.15 Configurações Específicas/Especiais

Segundo Rosito (2009), nos projetos de iluminação pública devem-se observar as seguintes configurações:

2.3.15.1 Disposição dos Postes e Luminárias

A distribuição da iluminação nas vias públicas pode ser feita de forma unilateral, bilateral alternado, bilateral frente a frente e canteiro central (poste único ou distribuído). A escolha dependerá da razão entre a largura da via e a altura da montagem, da viabilidade e do objetivo do projeto. A característica de cada disposição será descrita a seguir:

2.3.15.1.1 Disposição Unilateral

É a disposição mais utilizada devido à configuração do sistema de distribuição de energia elétrica em média tensão (MT) e Baixa tensão (BT), das concessionárias, nas vias urbanas. É recomendada para vias cuja largura é menor ou igual à altura de instalação das luminárias. Na disposição unilateral, o ângulo de saída do braço da luminária não pode ser superior a 10°.

2.3.15.1.2 Disposição Bilateral Alternada

Este tipo de disposição é indicado quando a razão entre a largura da via e à altura da instalação da luminária esta entre 1,0 e 1,6. Neste tipo de configuração a utilização de luminárias com distribuição transversal inadequada pode causar sombras entre os vãos. Além disso, ângulos de saída não devem ser alterados com o objetivo de alterar resultados luminotécnicos insatisfatórios (ROSITO, 2009).

Segundo Godoy (2015), esta distribuição apresenta custos mais elevados, porém permite níveis melhores de uniformidade. Sua utilização é viável para vias com fluxo médio ou intenso de veículos.

2.3.15.1.3 Disposição Bilateral Frente a Frente

É indicada quando a largura da via for superior a 1,6 vezes a altura de instalação da luminária. É uma disposição características de viadutos e pista de trânsito rápido. Ângulos de saída dos braços iguais ou superiores a 10° podem provocar pontos críticos nas calçadas, em particular, no centro dos vãos. Existem casos em que foram constatados efeito zebra devido à distribuição fotométrica inadequada da luminária.

2.3.15.1.4 Disposição em Canteiro Central (Poste Único)

Utiliza-se com chicote quando a largura da via é superior a 1,6 vezes a altura de instalação das luminárias e a largura do canteiro central não é superior a 6 metros. Deve ser utilizada com suporte quando a largura da pista é igual ou menor que a altura da montagem e o canteiro central com largura máxima de 3 metros (CEMIG, 2012). É empregada em

diversos tipos de vias e caracteriza-se por possibilitar a flexibilidade na escolha da altura e formato das luminárias (ROSITO, 2009).

2.3.15.1.5 Disposição em Canteiro Central (Postes Distribuídos)

Utiliza-se com chicote quando a largura da via é superior a 1.6 vezes a altura de instalação das luminárias e a largura do canteiro central é superior a 6 metros. Caso o canteiro central tenha esta dimensão, mas a largura da pista seja menor ou igual à altura da montagem deve-se utilizar suporte (CEMIG, 2012). Não é bastante utilizada, no Brasil, devido às configurações das vias. São projetos relativamente caros, mas necessários para a correta iluminação das pistas e não do canteiro central. Em virtude disto, a distribuição fotométrica deste tipo de disposição direciona a luz para frente (ROSITO, 2009).

2.3.15.1.6 Disposição Diferenciada

Em alguns locais específicos é possível utilizar postes com formato de braços e arranjos no topo de postes diferenciados com o intuito de provocar uma caracterização específica da via bem como da sua utilização.

2.3.15.2 Altura das Instalações

A altura pode variar de acordo com o braço de sustentação. Na maioria das vezes, está condicionada pelos tipos de postes, instalados pelas concessionárias, que sustentam os circuitos do sistema elétrico de potência (SEP). Quando há liberdade de projeto, altura da instalação pode variar para obter-se o melhor aproveitamento possível. Recomenda-se que a altura seja igual ou superior à largura constituída pela via e calçada. Outra questão importante que deve ser considerada antes da definição da altura é a disponibilidade de equipamentos e acessórios adequados para realização das manutenções do sistema de iluminação.

2.3.15.3 Espaçamento dos Postes

O espaçamento dos postes instalados pelas concessionárias pode ser inadequado para o projeto luminotécnico. Recomenda-se que o espaçamento seja, no máximo, três vezes a altura

das luminárias instaladas. Se o espaçamento já estiver definido deve-se alterar a altura através da utilização de braços adequados.

2.3.15.4 Avanço do Braço

O avanço do braço em relação à via deve estar de acordo com o tipo de luminária, ângulo de saída e padrões técnicos e estéticos.

2.3.15.5 Ângulo de Saída

Com o desenvolvimento de luminárias com vidro plano, curvo e policurvo não há necessidade de ângulos de saída superiores a 10°. Ângulos superiores a este podem acarretar poluição luminosa nas fachadas de casas e prédios e mau aproveitamento da fotometria da luminária.

2.3.15.6 Tipo de Revestimento da Via

O tipo de revestimento da via e as suas características como cor e refletividade influenciam diretamente na percepção dos contrastes e da sensação da visibilidade que o usuário terá da via.

2.3.15.7 Curvas, Aclives e Declives

Via principal, de trânsito rápido e rural devem atender alguns critérios imprescindíveis para garantir uma visibilidade de qualidade no trânsito. Nas curvas, o eixo das luminárias deve ser perpendicular ao raio de curvatura da via. Quando a extensão da curva for inferior a 1000 metros, deve-se utilizar a posteação no lado interno da curva com o intuito de reduzir o risco de abalroamento. Esta medida possibilita a redução da altura da montagem. Quando a extensão da curva for superior a 1000 metros, utiliza-se posteação unilateral à esquerda da curva para evitar desorientação do motorista. Nos aclives e declives a inclinação da luminária deve ser a mesma da pista de rolamento (CEMIG, 2012).

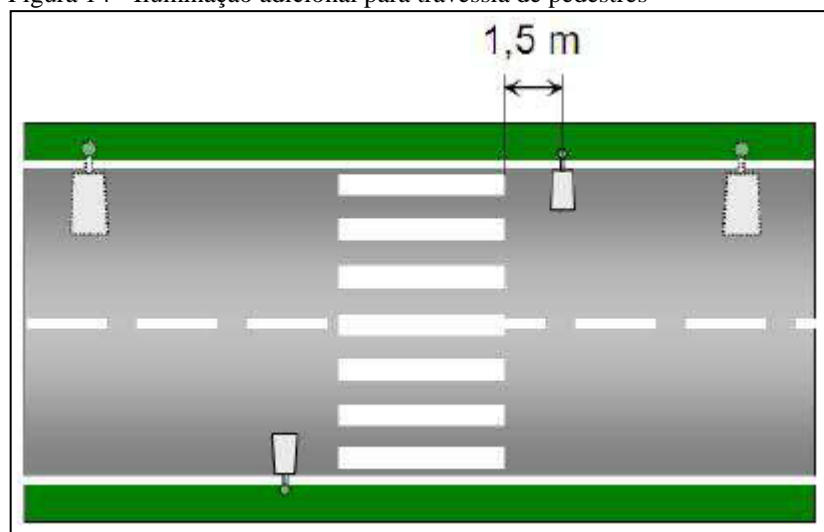
2.3.15.8 Iluminação em áreas específicas

Segundo a Cemig (2012) projetos novos de iluminação pública exige a utilização de luminárias com vidro plano, devido a sua maior durabilidade e menor nível de poluição luminosa. Contudo, algumas áreas com potencial estratégico para comunidade como escolas, hospitais, áreas de segurança pública e com elevados índices de criminalidade e vandalismo recomenda-se a utilização de luminárias com refrator em policarbonato. Áreas históricas que utilizam rede de distribuição subterrânea devem utilizar luminárias tipo lampião colonial, devidamente aprovada pelo IPHAN (Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional).

2.3.15.9 Iluminação para travessia de pedestres

Travessias distantes da esquina identificadas com sinalização vertical e horizontal podem receber iluminação adicional. Instala-se um poste de aço de 5 metros em cada lado da travessia de tal forma que fique defasado 1,5 metros do início da faixa de pedestre. É recomendado o emprego de lâmpada com temperatura de cor diferente da fonte utilizada no sistema de iluminação principal. Também se pode utilizar este sistema em cruzamentos urbanos com fluxo elevado de pedestres desde que não prejudique a sinalização viária e a visibilidade dos usuários da via (CEMIG, 2012). A figura 14 ilustra o padrão de iluminação adicional utilizado para travessia de pedestres.

Figura 14 - Iluminação adicional para travessia de pedestres

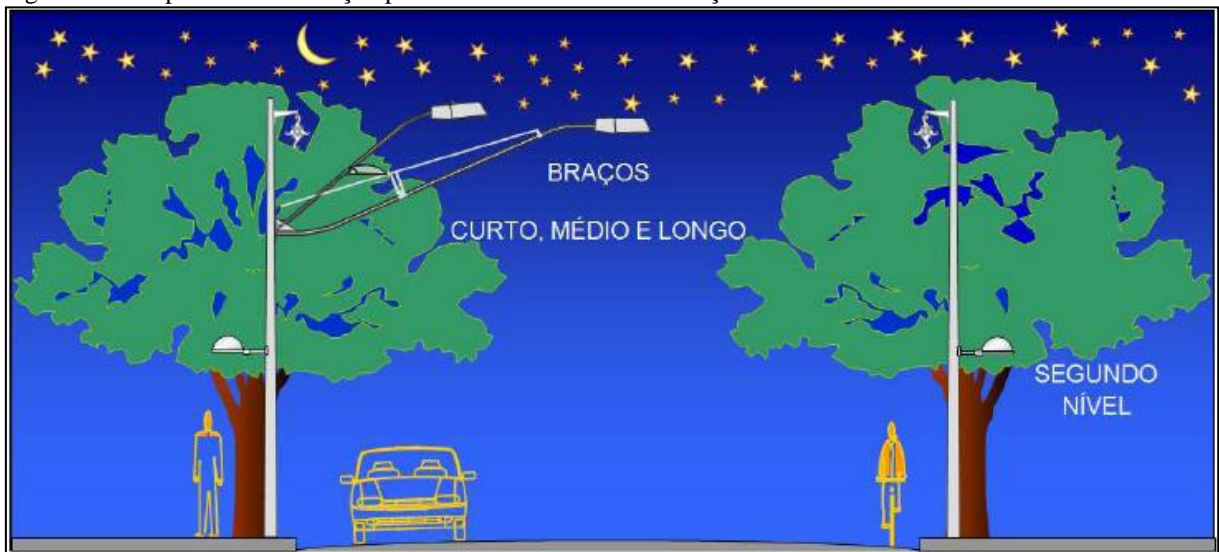


Fonte: (CEMIG, 2012).

2.3.15.10 Iluminação pública nas áreas com arborização

Existem medidas que possibilitam a compatibilização do sistema de iluminação pública com áreas arborizadas. Entre elas pode-se citar a utilização de braços e suportes com alturas e projeções diferenciadas, que permitem um ajuste da posição da luminária com relação à arborização do local; e a execução de podas. Vias com até 12 metros de largura permitem a utilização de braços longos de forma unilateral. Caso a pista tenha uma largura máxima de 10 metros, os braços podem ser posicionados em ângulo com a via para que a luminária fique posicionada sobre o eixo da pista. Se as medidas citadas não forem suficientes para garantir a segurança para o fluxo de pedestres, deve-se complementar o sistema de iluminação com luminárias em segundo nível (CEMIG, 2012). Algumas alternativas mencionadas anteriormente são ilustradas na figura 15.

Figura 15 - Proposta de iluminação para vias com intensa arborização



Fonte: (CEMIG, 2012).

Segundo a Cemig (2012) pode-se utilizar a equação 10 descrita a seguir para definir as linhas de poda dos ramos que comprometem a iluminação; a posição e a distância dos postes em relação às árvores existentes; e a arborização das áreas públicas.

$$Z = H - ((AL \text{ ou } AT) \times D) \quad (10)$$

Sendo:

Z: Altura mínima de um galho

H: Altura da montagem da luminária

AL: 0,26 (cos 75°) – (sentido longitudinal)

AT: $0,57 (\cos 60^\circ)$ – (sentido transversal)
 D: Distância mínima do galho de menor altura

A figura 16 ilustra a relação entre as variáveis envolvidas na equação 10.

Figura 16 - Projeção da desobstrução da iluminação no sentido longitudinal



Fonte: (CEMIG, 2012).

2.4 Materiais

Segundo Eletrobrás Procel (2013), o sistema de iluminação é constituído basicamente por lâmpadas, reatores, luminárias, relés fotoelétricos. Estes componentes sofreram diversas modificações desde o seu desenvolvimento com o objetivo de aumentar a eficiência e eficácia do sistema. A seguir serão detalhadas as características destes equipamentos.

2.4.1 Lâmpadas

Segundo Eletrobrás Procel (2013), existem três grupos de lâmpadas que são divididas em incandescentes (tradicional e halógena), descarga (baixa pressão e alta pressão) e eletroluminescentes (Leds e Oleds). O quadro 11 apresenta os dados referentes à utilização de cada tipo de lâmpada no sistema de iluminação pública em 2008.

Quadro 11 - Distribuição das lâmpadas de iluminação pública no Brasil

Tipo de lâmpada	Quantidade	Porcentagem
Vapor de sódio	9.294.611	62.93%
Vapor de mercúrio	4.703.012	31.84%
Mista	328.427	2.22%
Incandescente	210.417	1.42%
Fluorescente	119.535	0.81%
Multivapor metálico	108.173	0.73%
Outras	5.134	0.03%
Total	14.769.309	100%

Fonte: (CASTRO; LUCIANO, 2012).

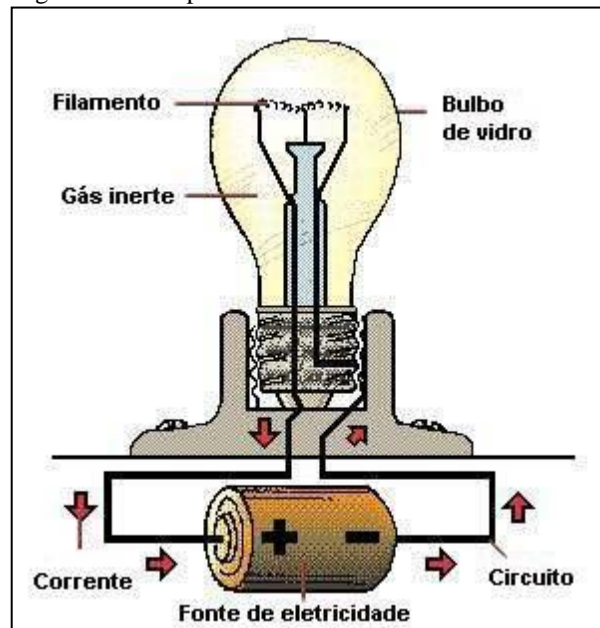
A seguir serão analisadas as características, especificações e particularidades de cada tipo de lâmpada, normalmente utilizada no sistema de iluminação pública.

2.4.1.1 Lâmpadas Incandescentes

2.4.1.1.1 Tradicional

Segundo Leão (2014), este tipo de lâmpada é constituído de uma base metálica, um filamento, geralmente de Tungstênio, gases inertes (Nitrogênio ou Argônio) e bulbo (incolor ou leitoso). A função dos gases é evitar a queima precoce do filamento enquanto o bulbo leitoso a redução de ofuscamento. Quando uma corrente elétrica percorre o filamento ocorre à produção de infravermelho (calor) em maior parcela e luz em menor parcela. A figura 17 ilustra os componentes principais de uma lâmpada incandescente.

Figura 17 - Lâmpada incandescente



Fonte: (LEÃO, 2014)

Caracteriza-se por apresentar um fluxo luminoso estável ao longo da sua vida útil, uma ótima reprodução de cores, temperatura quente, baixa eficiência luminosa e custo elevado de manutenção. É uma lâmpada inviável para iluminação pública. O quadro 12 relaciona algumas destas características de forma quantitativa.

Quadro 12 - Característica das Lâmpadas incandescentes

Potência (W)	100, 150 e 200
Eficiência luminosa (lm/W)	14 a 17
Vida mediana (h × 1000)	1
Temperatura de cor (K)	2700
Índice de reprodução de cores (%)	100

Fonte: (CASTRO; LUCIANO, 2012).

Segundo a Eletrobrás Procel (2013), devido ao desenvolvimento de tecnologias mais eficientes foram criadas restrições quanto à fabricação e comercialização de lâmpadas incandescentes visando à redução do consumo de energia no país.

2.4.1.1.2 Halógena

Segundo Leão (2014), apresenta o mesmo princípio de funcionamento da incandescente tradicional diferenciando somente na utilização de gases halógenos (Iodo, Cloro e Bromo) que aumentam a vida útil do filamento. Com relação a incandescente comum apresenta maior fluxo luminoso, luz mais branca e uniforme, dimensões menores, maior eficiência energética e vida mediana. O quadro 13 relaciona algumas destas características de forma quantitativa.

Quadro 13 - Característica das Lâmpadas Halógenas

Potência (W)	100, 150 e 200
Eficiência luminosa (lm/W)	20 a 25
Vida mediana (h×1000)	2 a 4
Temperatura de cor (K)	3200
Índice de reprodução de cores (%)	100

Fonte: (LEÃO, 2014).

2.4.1.2 Lâmpadas de Descarga

Segundo Rosito (2009), são lâmpadas que produzem luz através da ionização de gases inertes e vapores metálicos que estão contidos em um tubo de descarga (invólucro translúcido). Utilizam equipamentos auxiliares como reatores, capacitores e ignitores para a maioria dos modelos. São divididas em baixa pressão e alta pressão. Os modelos normalmente utilizados na iluminação pública serão apresentados a seguir.

2.4.1.2.1 Lâmpadas a Vapor de Mercúrio

Segundo Rosito (2009), a luz é produzida pela ionização de um gás composto principalmente de Argônio e Mercúrio. Necessita de equipamento auxiliar (reator) para o seu funcionamento. A luz produzida tem cor branco-azulada. Apresenta um bom IRC e uma depreciação elevada do fluxo luminoso ao longo da sua vida mediana. Pode ser utilizada tanto em luminárias abertas como fechadas. O quadro 14 relaciona algumas características de forma quantitativa.

Quadro 14 - Característica das Lâmpadas a vapor de mercúrio

Potência (W)	80, 125, 250 e 400
Eficiência luminosa (lm/W)	44 a 55
Vida mediana (h×1000)	9 a 15
Temperatura de cor (K)	3550 a 4100
Índice de reprodução de cores (%)	40 a 55

Fonte: (CASTRO; LUCIANO, 2012).

2.4.1.2.2 Lâmpadas Mistas

Segundo Rosito (2009), este tipo de lâmpada mescla características da lâmpada incandescente com a de vapor de mercúrio. É constituída de um tubo de descarga, contendo mercúrio, em série com um filamento de Tungstênio cuja função é produzir um fluxo luminoso incandescente e limitar a corrente da lâmpada (não há necessidade de reator). Caracteriza-se pela baixa eficiência luminosa e pelo IRC bastante considerável. O quadro 15 relaciona algumas características de forma quantitativa.

Quadro 15 - Característica das Lâmpadas mistas

Potência (W)	160, 250 e 500
Eficiência luminosa (lm/W)	20 a 27
Vida mediana (h×1000)	6
Temperatura de cor (K)	3600 a 4100
Índice de reprodução de cores (%)	60

Fonte: (CASTRO; LUCIANO, 2012).

2.4.1.2.3 Lâmpadas de Sódio a Alta Pressão

Segundo Rosito (2009), até 2009, era considerada a lâmpada mais eficiente. Construtivamente a diferenciação com relação à lâmpada de mercúrio dá-se pela adição de Sódio. Caracteriza-se pela cor amarelada, pelo baixo índice de reprodução de cores (IRC), pela pequena variação do fluxo luminoso ao longo da sua vida mediana e pela necessidade da utilização de reator (limitador de corrente), ignitor (geram uma tensão em torno de 4500 V para dar a partida na lâmpada) e capacitor (correção do fator de potência) para o seu funcionamento exceto àqueles modelos que só usam o reator especificado para lâmpada de

mercúrio de alta pressão. Neste caso, apresentam menor eficiência e durabilidade. O quadro 16 relaciona algumas características de forma quantitativa.

Quadro 16 - Característica das Lâmpadas a vapor de sódio

Potência (W)	70, 100, 150, 250 e 400
Eficiência luminosa (lm/W)	140
Vida mediana (h×1000)	16 a 32
Temperatura de cor (K)	1900 a 2100
Índice de reprodução de cores (%)	20

Fonte: (ROSITO, 2009).

Segundo Leão (2014), é o tipo de lâmpada mais utilizada no sistema de iluminação pública devido ao baixo custo, a elevada vida mediana e ao tempo de acionamento baixo (30 segundos (s)).

2.4.1.2.4 Lâmpadas Vapor Metálico

Segundo Rosito (2009), a luz é produzida através de uma descarga elétrica em um tubo contendo gases com iodetos metálicos. Mescla algumas características positivas da lâmpada a vapor de sódio com a lâmpada a vapor de mercúrio. Caracteriza-se pelo ótimo IRC, pela elevada eficiência luminosa, pela produção de luz branca e brilhante, pela elevada vida mediana, pela necessidade de equipamento auxiliar (reator e ignitor (quando não há dispositivo no interior da lâmpada para gerar pulsos iguais a 4500 Volts)). O quadro 17 relaciona algumas características de forma quantitativa.

Quadro 17 - Características das Lâmpadas a vapor metálico

Potência (W)	70, 150, 250 e 400
Eficiência luminosa (lm/W)	100
Vida mediana (h×1000)	15
Temperatura de cor (K)	4000 a 6000
Índice de reprodução de cores (%)	60 a 93

Fonte: (ROSITO, 2009).

Segundo Rosito (2009), alguns estudos revelam que nos ambientes característicos da iluminação pública, o olho humano tem maior sensibilidade ao espectro de luz gerado pela lâmpada a vapor metálico em relação à de vapor de sódio.

2.4.1.3 Lâmpadas Leds

Segundo Leão (2014), o led é formado pela junção de semicondutores do tipo N com o tipo P. Este é dopado com impurezas aceitadoras (átomos trivalentes), que se caracteriza pela predominância de lacunas, enquanto aquele é dopado com impurezas doadoras (átomos pentavalentes), cuja predominância é de elétrons. A polarização direta do componente, através de uma fonte de tensão, desencadeia a recombinação entre as impurezas e a liberação da energia pertencente ao elétron na forma de fótons de luz (eletroluminescência). Além disso, a tecnologia led apresenta várias vantagens entre as quais se podem citar:

- a) Melhor controle da distribuição da luz;
- b) Maior vida mediana;
- c) Elevada eficiência luminosa;
- d) Ótima reprodução de cores;
- e) A redução do fluxo não compromete o funcionamento da lâmpada;
- f) Elevada resistência a impactos e vibrações;
- g) Controle do fluxo através da dimerização;
- h) Acionamento instantâneo;
- i) Gera pouco resíduos nocivos ao meio ambiente seja na produção ou descarte final;
- j) Não utiliza mercúrio;
- k) Opera em baixa tensão, fato que garante segurança ao usuário;
- l) Dispensam equipamentos auxiliares (reatores e ignitores);
- m) Elevada versatilidade, variedade e flexibilidade de cores;
- n) Baixo consumo de energia;
- o) Não emitem radiação infravermelha e ultravioleta;
- p) Reincidência menor de manutenções.

Algumas características quantitativas são apresentadas no quadro 18.

Quadro 18 - Característica dos leds

Potência (W)	30 a 300
Eficiência luminosa (lm/W)	100
Vida mediana (h×1000)	50
Temperatura de cor (K)	2500 a 6000
Índice de reprodução de cores (%)	90

Fonte: (ROSITO, 2009).

Segundo Godoy (2015), a operação dos leds, sobre temperatura elevada, reduz significativamente o seu fluxo luminoso. A solução é a utilização de aletas metálicas nas luminárias para que haja o resfriamento por convecção. Além disso, os distúrbios e os transientes, nos sistemas elétricos, comprometem o desempenho dos drivers que controlam o funcionamento da luminária led. Isto gera a necessidade de utilização de dispositivos de proteção.

2.4.2 Luminárias

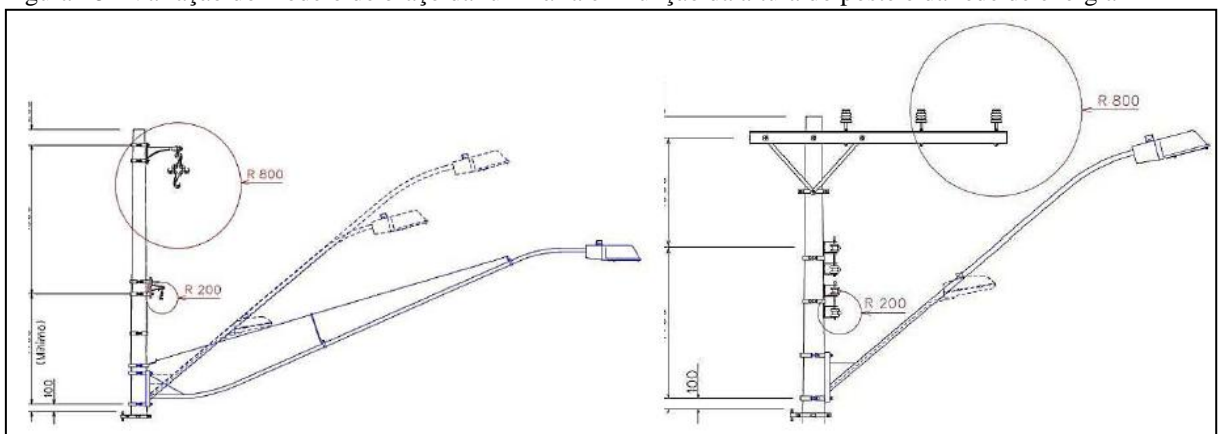
Segundo a Eletrobrás Procel (2013), as luminárias tem a função de proteger a lâmpada contra intempéries, atos de vandalismo, acúmulo de poeira e insetos. Além disso, a luminária é imprescindível para garantir uma distribuição luminosa de qualidade e uniforme; e uma ventilação adequada para manter a temperatura de operação nos limites estabelecidos. Até os anos 90, as luminárias do sistema de iluminação pública brasileira caracterizavam-se pelo baixo rendimento luminotécnico (entre 40% e 55%), pela geração de poluição luminosa (dispersão da luz), pela falta de proteção aos componentes (lâmpadas, reatores etc.), pela rápida depreciação e baixa eficiência energética (utilização de mais de uma lâmpada por luminária). Este cenário mudou quando o Brasil incentivou a instalação de empresas multinacionais no país. Isto acarretou o desenvolvimento de luminárias com refletores de alto rendimento e com equipamentos incorporados. Segundo Rosito (2009), a publicação da ABNT NBR 15129, em 2004, foi fundamental para a evolução das luminárias. A atualização desta norma e a criação de programas de avaliação de conformidade possibilitaram expressivos ganhos técnicos como rendimento luminotécnico médio entre 75% e 80%; aumento da eficiência da distribuição fotométrica; grau de proteção mínima igual a IP65 para o conjunto ótico e IP44 para o compartimento com equipamentos auxiliares; resistência mecânica e segurança elétrica. Segundo Castro e Luciano (2012), deve-se evitar o

direcionamento incorreto das luminárias para que não ocorra poluição luminosa. Para limitar os ofuscamentos, devem-se utilizar luminárias com intensidade luminosa reduzida, entre 80° e 90°. Além disso, é importante atentar para limpeza periódica das luminárias fechadas para evitar a redução do fluxo luminoso. Luminárias inadequadas diminuem significativamente a qualidade da iluminação e demandam lâmpadas de maior potência fato que acarreta maior consumo de energia. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012) estabelece as classificações das distribuições de intensidades luminosas das luminárias em relação às vias.

2.4.3 Braços

Segundo a Copel (2012), os braços tem a função de dar sustentação à luminária e ao mesmo tempo proteger os condutores, que serão conectados a rede de energia, contra intempéries e ações mecânicas. Devem ser resistentes para suportar o peso das luminárias e os esforços provocados pela ação dos ventos. A proteção contra corrosão (galvanização) é fundamental para uma durabilidade em torno de 20 anos. Segundo Rosito (2009), a qualidade da iluminação depende da aplicação de um modelo adequado ao tipo de luminária que será utilizada. Fatores como ângulo de saída interferem no aproveitamento da fotometria da luminária e no nível de poluição luminosa. Por isso, devem-se utilizar ângulos não superiores a 10°. Segundo a Cemig (2012) a variação da altura do poste e do tipo de rede utilizada para o fornecimento de energia elétrica acarreta na utilização de braços de sustentação específicos. A figura 18 ilustra um sistema de iluminação instalado em um poste de 11 metros com rede de média tensão (MT) protegida e isolada (figura à esquerda) e outro em poste de 10 metros com rede de média tensão nua (figura à direita).

Figura 18 - Variação do modelo de braço da luminária em função da altura do poste e da rede de energia



Fonte: (CEMIG, 2012).

Segundo a Cemig (2012), as luminárias instaladas nos braços e suportes não podem ultrapassar o eixo longitudinal da pista de rolamento (metade da pista), a fim de obter um fluxo útil maior na pista.

2.4.4 Reatores

Segundo Castro e Luciano (2012), os reatores são equipamentos auxiliares que tem a função de limitar a corrente de funcionamento da lâmpada. Existem dois tipos de reatores para iluminação pública. Trata-se dos eletrônicos e eletromagnéticos.

Segundo a Copel (2012) os reatores eletrônicos são fontes chaveadas que operam em frequências elevadas que dispensam o uso de ignitores (geram uma tensão em torno de 4500 V para dar a partida na lâmpada) e capacitores (corrigem o fator de potência). Apresenta ótimo rendimento e custo elevado. Sua característica garante uma vida mediana maior à lâmpada.

Os reatores eletromagnéticos são indutores que operam na frequência da rede. Alguns modelos demandam ou não, o ignitor e o capacitor, para o seu funcionamento. Esta característica construtiva está em função do tipo de lâmpada utilizada.

Segundo Rosito (2009) existem modelos de reatores que possibilitam o uso externo, interno, subterrâneo e integrado.

2.4.4.1 Reator Externo

É utilizado quando a luminária não possui compartimento para reator interno. Sua estrutura é formada por um caneco pintado ou galvanizado e um núcleo que é envolto por uma resina.

2.4.4.2 Reator Interno

É utilizado quando há um compartimento à parte, integrado à luminária, e destinado ao alojamento do reator. Geralmente o seu custo é menor em relação ao reator externo.

2.4.4.3 Reator Subterrâneo

Projetado para instalações subterrâneas cujo local não oferece segurança para a utilização externa ou interna. É utilizado em luminárias ornamentais encontradas em praças e parques.

2.4.4.4 Reator Integrado

Utilizado no interior das luminárias fechadas. Geralmente, o núcleo do reator não é envolto em resina. Nos últimos anos foi desenvolvido um kit removível constituído pelo reator, ignitor e capacitor que facilita a manutenção do ponto de iluminação. A figura 19 apresenta um modelo de reator integrado utilizado no sistema de iluminação pública.

Figura 19 - Reator integrado (Kit removível)



Fonte: (ROSITO, 2009).

O rendimento e o fator de potência são as principais especificações dos reatores da iluminação pública. O primeiro está relacionado com as características dos condutores e das chapas de material ferromagnético que constituem o núcleo do reator. Segundo Castro e Luciano (2012) o dimensionamento inadequado do reator provoca a redução da vida útil e da eficiência luminosa da lâmpada assim como o aumento das perdas. O fator de potência influencia tanto nas perdas como na operação das lâmpadas. Valores baixos causam o efeito estroboscópico (frequência da radiação luminosa é igual ao número de imagens captadas multiplicadas pela frequência de rotação de um objeto). Este fenômeno impede que o olho humano detecte um movimento rotativo (objeto aparenta estar parado).

Segundo Castro e Luciano (2012) a redução das perdas nos reatores é possível com a utilização de condutores com melhor condutividade elétrica e de materiais, como ligas amorfas ou nonocristalinas (Nanoperm®), no núcleo.

2.4.5 Relé Fotoelétrico

Segundo Rosito (2009), trata-se de um dispositivo, conhecido popularmente como relé ou fotocélula, muito utilizado devido ao acionamento individual dos pontos de iluminação do sistema de iluminação pública. A sua função é controlar o funcionamento da lâmpada através do nível de luz natural no ambiente. Se o nível for baixo (noite ou dia intensamente nublado), a lâmpada será mantida acesa. Caso contrário à lâmpada ficará apagado. Segundo a Copel (2012) existem três tipos de relés disponíveis no mercado que se diferenciam pelo princípio de funcionamento. Classificam-se como térmicos, magnéticos e eletrônicos.

2.4.5.1 Relé Térmico

O acionamento da lâmpada ocorre quando o relé, sensibilizado pela baixa iluminância, permite a passagem de corrente elétrica sobre um material bimetálico que sofre uma deformação.

2.4.5.2 Relé Magnético

O acionamento da lâmpada ocorre quando o relé, sensibilizado pela baixa iluminância, permite a passagem de corrente elétrica sobre uma bobina cujo campo magnético altera a posição de uma chave eletromecânica.

2.4.5.3 Relé Eletrônico

O acionamento da lâmpada ocorre quando o relé, sensibilizado pela baixa iluminância, disponibiliza corrente elétrica a um circuito eletrônico que não apenas controla as chaves eletromecânicas, mas também realiza proteção contra sobrecorrente e sobretensão; temporizações e o desligamento da lâmpada em caso de falha. Estas características

possibilitam uma vida útil maior de todos os componentes do ponto de iluminação. Além disso, o consumo de energia do relé eletrônico é menor e o grau de proteção é maior.

Segundo a Copel (2012) os relés magnéticos e eletrônicos são os mais utilizados no sistema de iluminação pública brasileira em função dos custos de fabricação e durabilidade.

Segundo Rosito (2009), a norma ABNT NBR 5123/98 regulamenta os requisitos mínimos de qualidade dos relés. O atendimento a estas especificações técnicas aumentam a confiabilidade do sistema e reduzem significativamente desgastes aos equipamentos da IP, custos com manutenção e consumo de energia.

2.4.6 Capacitores

Segundo Rosito (2009) o capacitor tem a função de correção do fator de potência do reator. Este parâmetro deve ter um valor mínimo igual a 0.92. Normas internacionais estabelecem uma expectativa de vida de dez anos para os capacitores e reatores. Caso haja falha no capacitor o reator passa a ter fator de potencia natural desencadeando aumento das perdas e do consumo de energia reativa; e um possível efeito estroboscópico. As normas IEC 61048 e IEC 61049 regulamentam as características técnicas dos capacitores que são pré-requisito para obtenção do selo Procel/Inmetro.

2.4.7 Porta lâmpadas

Segundo Rosito (2009), apesar do custo relativamente baixo, a utilização de porta lâmpadas de baixa qualidade podem causar o aumento das manutenções, das perdas e o comprometimento da segurança elétrica da luminária. A norma NBR IEC 60238 avalia itens como torque máximo, corrente e tensão de operação, dimensões, resistência à umidade, corrosão, calor, isolamento entre outros.

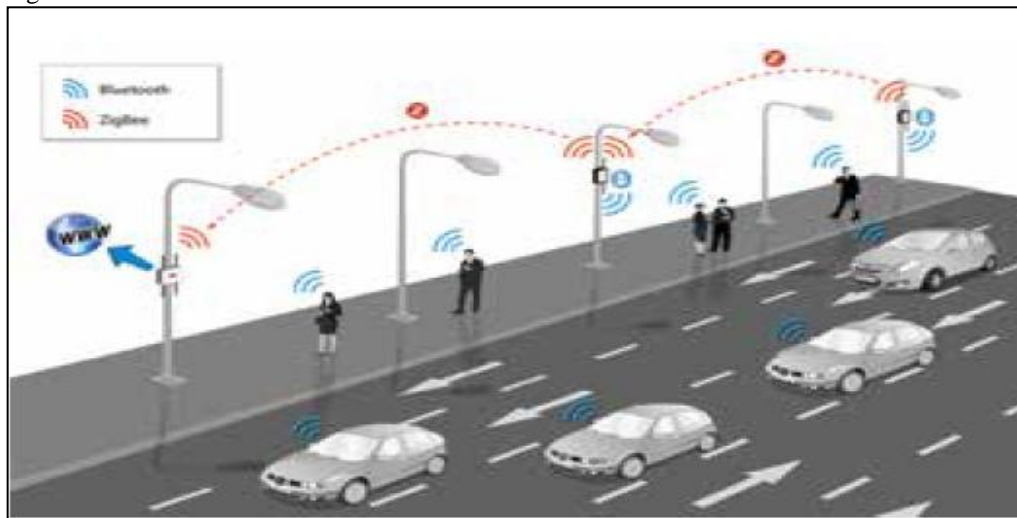
2.4.8 Novas Tecnologias

Segundo a Eletrobrás Procel (2013) existem tecnologias e sistemas digitais que permitem a comunicação remota com as luminárias via rede ou cabo, possibilitando o acionamento manual ou automático, a identificação de falha (lâmpada acesa ou apagada), a dimerização do sistema e a medição das grandezas elétricas (tensão, corrente, consumo etc.).

Este modelo é característico do sistema de telegestão. Caracteriza-se pela elevada eficiência e confiabilidade do sistema.

Segundo Godoy (2015) a integração das tecnologias digitais ocorrerá com o desenvolvimento das cidades inteligentes ou *smart cities*. Neste sistema os pontos de luz funcionaram como receptores e transmissores de informações. As luminárias se comunicaram entre si determinando soluções para o sistema. A figura 20 ilustra o sistema *smart cities*, que adiciona funcionalidades e serviços diferenciados à iluminação pública (GODOY, 2015).

Figura 20 - *Smart Cities*



Fonte: (GODOY, 2015).

3 METODOLOGIA

A aquisição dos dados que serão apresentados e discutidos no capítulo 4 procedeu com a realização da seguinte metodologia: Análise da norma NBR 5101/2012 para identificação do tipo de via, da sua classe de iluminação e dos parâmetros utilizados para avaliar a qualidade da iluminação. Além disso, foram analisadas as especificações técnicas estabelecidas pela concessionária de energia local tanto para as luminárias instaladas como para simuladas. Também se realizou o levantamento, em campo, dos equipamentos e configurações do sistema; medições dos níveis de iluminância em algumas áreas específicas da Avenida Dom Pedro II, simulações do sistema no *software* LuxSIMON10; a quantificação e o orçamento dos materiais e equipamentos da instalação para cada tipo de sistema simulado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Particularidades do Sistema

A avenida em estudo é uma via coletora com fluxo intenso tanto para veículos como para pedestres, no período da noite. Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012) é classificada como uma via tipo V2 e P2 com relação ao fluxo de veículos e pedestres respectivamente. Os níveis mínimos e máximos, dos parâmetros utilizados para análise da qualidade da iluminação para estas classes de iluminação são mencionados no quadro 19.

Quadro 19 - Valores das grandezas luminotécnicas utilizadas para avaliação da qualidade da iluminação pública

Classe de iluminação	E_{med} ≥	L_{med} ≥	U ≥	U_0 ≥	U_L ≤	TI %	SR
V2	20	1,50	0,30	0,40	0,70	10	0,50
P2	10	-	0,25	-	-	-	-

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

Nota: E_{med} : Iluminância média

L_{med} : Luminância média

U: Uniformidade da iluminância

U_0 : Uniformidade global

U_L : Uniformidade longitudinal

TI: Incremento de limiar

SR: Razão das áreas adjacentes

A concessionária de energia local realizou a gestão do sistema de iluminação da Avenida Dom Pedro II até o dia 31 de Dezembro de 2014 e durante este período estabeleceu diversas especificações técnicas para os equipamentos que constituem o sistema de iluminação. A especificação 02.118 CEMIG 393e (2008) ² define as especificações para as luminárias para iluminação pública. No item 4.3 desta norma, é estabelecido o tipo de classificação da distribuição luminosa, conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992), para cada luminária que utiliza uma potência específica para a lâmpada a vapor de sódio. O quadro 20 relaciona estes dados:

² Foi atualizada em Maio de 2010 com a edição da especificação 02.118 CEMIG 393f (2010). Esta especificação não informa detalhadamente a classificação fotométrica exigida para as luminárias.

Quadro 20 - Classificação fotométrica das luminárias conforme a ABNT 5101

Classificação Fotométrica	Luminária para lâmpada VS de 70 W	Luminária para lâmpada VS de 100 W	Luminária para lâmpada VS de 150 W	Luminária para lâmpada VS de 250 W	Luminária para lâmpada VS de 400 W
Distribuição transversal	Tipo II				
Distribuição longitudinal	Média				
Controle	Semi limitada	Semi limitada	Limitada		

Fonte: (CEMIG 02.118 393e, 2008).

Nota: VS: vapor de sódio

A luminária utilizada no sistema de iluminação vigente é do fabricante Polimetal, modelo 1 PLP 1370. Segundo o fabricante, a classificação fotométrica entre outras características desta luminária estão de acordo com as exigências da especificação 02.118 CEMIG 0393c (2002). Esta norma utiliza a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992)³ como referência para definir a classificação fotométrica da luminária. O quadro 21 relaciona os dados técnicos desta luminária.

³ A classificação fotométrica da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992) sofreu algumas alterações e a inclusão de novas definições com a publicação da nova ABNT NBR 5101 em 2012.

Quadro 21 - Dados técnicos da luminária 1 PLP 1370

Distribuição Transversal	Tipo II
Distribuição Longitudinal	Curta ou Média ⁴
Controle	Limitada
Lâmpada	Vapor de sódio tubular 150 W
Grau de proteção	IP65 para o grupo óptico e IP33 para o compartimento de equipamentos auxiliares
Mês/Ano de fabricação	09/2003
Refletor	Chapa de alumínio polido quimicamente, anodizado e selado
Rendimento	75%
Refrator	Vidro plano temperado
Peso	11 Kg

Fonte: Polimetal.

A figura 21 apresenta a luminária utilizada no sistema de iluminação da Avenida Dom Pedro II.

⁴ O autor não teve acesso a esta informação. Sabe-se que na especificação anterior (02.118 CEMIG 393b (1999)) à atendida pela luminária, exige que a distribuição longitudinal seja curta, enquanto a especificação (02.118 CEMIG 393e (2008)) posterior a sua fabricação exige que seja média.

Figura 21 - Luminária 1 PLP 1370



Fonte: O autor.

A especificação 02.118 CEMIG 572d (2010) estabelece as características técnicas das luminárias para lâmpada a vapor de sódio tubular de 150W. O quadro 22 menciona os principais requisitos.

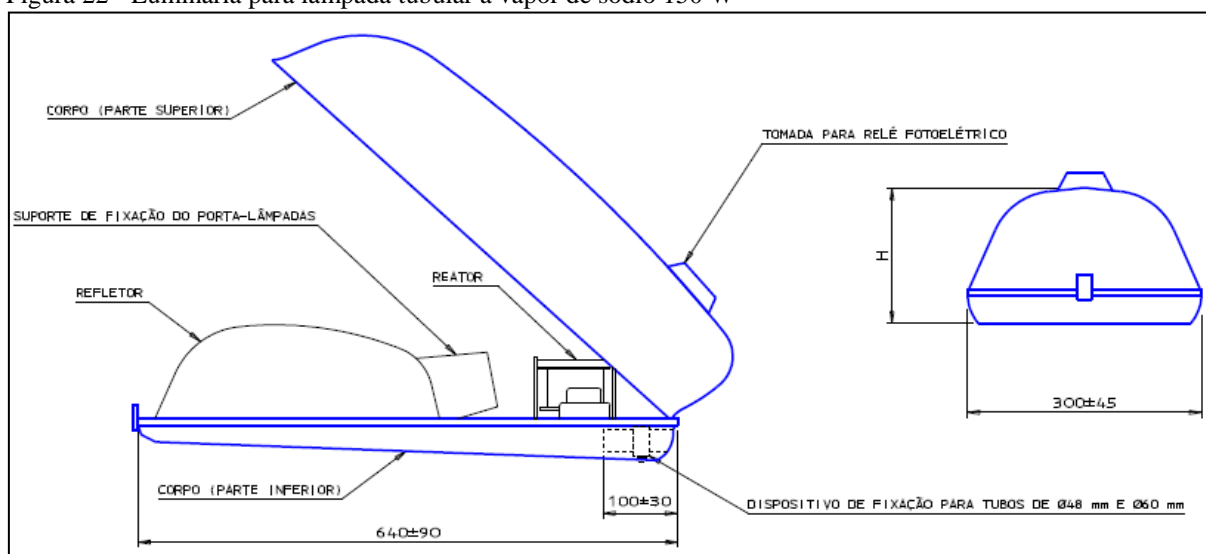
Quadro 22 - Requisitos exigidos para luminária para lâmpada a vapor de sódio 150 W

Refrator ou Difusor	Vidro plano temperado ou policarbonato transparente
Corpo e alojamento	Liga de Alumínio
Refletor	Chapa de alumínio com espessura mínima de 0,9 mm e teor de pureza mínimo de 99,5%
Porta lâmpadas	Porcelana reforçada com rosca E-40 (liga de cobre)
Rendimento	75% (mínimo)
Grau de proteção	IP66 (Grupo óptico) ≥ IP44 (Alojamento para equipamentos auxiliares)

Fonte: (CEMIG 02.118 572d, 2010; CEMIG 02.118 393f, 2010).

A figura 22 ilustra o modelo de luminária, atualmente exigido pela concessionária de energia local, para lâmpada a vapor de sódio tubular de 150 W.

Figura 22 - Luminária para lâmpada tubular a vapor de sódio 150 W



Fonte: (CEMIG 02.118 572d, 2010).

Os ensaios fotométricos que são realizados no goniofotômetro (utilizado para identificar a distribuição luminosa e o fluxo luminoso emitido pela luminária) com luminárias equipadas com lâmpada a vapor de sódio de 150 W devem atender aos requisitos citados no quadro 23.

Quadro 23 - Configurações utilizadas como base para o ensaio de uma luminária, que utiliza lâmpada a vapor de sódio de 150 W, no goniofotômetro.

Altura da montagem em (milímetros)	8500
Espaçamento entre postes (metros)	35
Projeção horizontal do braço de IP	2820
Ângulo de saída do braço de IP ⁵	10°

Fonte: (CEMIG 02.118 393f, 2010).

Segundo a Cemig (2012) existem variações estéticas dos modelos das luminárias fornecidas pelos diversos fornecedores, contudo, o desempenho das luminárias deve ser o mesmo em virtude da condição de atendimento a todas as especificações técnicas exigidas pela concessionária de energia local.

Conforme a Cemig (2012) as lâmpadas de 150 W devem ter um fluxo luminoso de 17.500 lm e uma vida média de 32.000 horas. O reator para lâmpadas a vapor de sódio de 150 W deve apresentar perda máxima igual a 22 W e um fator de potência igual a 0,92.

⁵ Todas as especificações que antecedem a 02.118 CEMIG 393f (2010) adotavam o ângulo de saída igual a 15°.

No levantamento, em campo, dos equipamentos e das configurações do sistema de iluminação pública da avenida analisada foi identificado, nos locais onde ocorreram as medições de iluminância, uma despadronização da instalação em virtude das variações da interdistância entre os postes, da largura das calçadas, da largura da pista e da distância do poste ao meio fio.

O sistema apresenta extensão igual a 1,1 Km, disposição bilateral alternada e 72 luminárias.

4.2 Análise Luminotécnica

No dia 26 de Março de 2016, período em que a lua estava na sua fase minguante, realizou-se medições de iluminância em três locais distintos da Avenida Dom Pedro II. As informações destes locais podem ser analisadas nos apêndices deste trabalho. O equipamento utilizado foi um luxímetro do fabricante Yu Fong, que possui uma variação de precisão igual a + ou - 3%. A figura 23 ilustra este aparelho.

Figura 23 - Luxímetro utilizado para realizar as medições de iluminância.



Fonte: O autor.

Foram registrados 15 medições em cada pista de rolamento e 5 medições em cada calçada pertencente a cada local avaliado conforme as instruções estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012) O quadro 24 contém os níveis de iluminância em cada ponto, a iluminância média e a uniformidade da iluminância de cada setor pertencente à área 1.

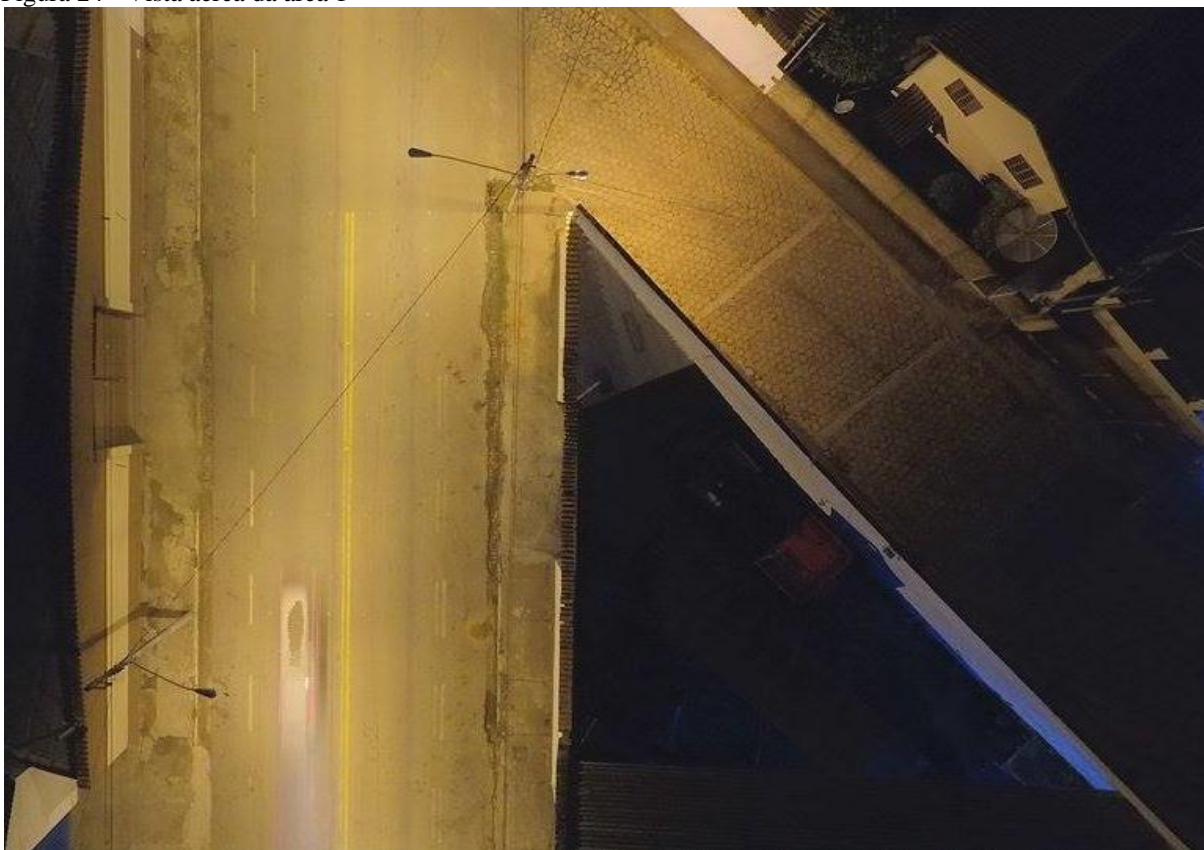
Quadro 24 - Avaliação luminotécnica da área 1

ÁREA 1							
Setor	Pontos de medição					E_{med}	U
Calçada B	19,5	8,5	9,5	6,4	6,6	10,1	0,63
Pista B	33	21	12,5	8,5	7,7	26,12	0,29
	44	32,3	21,4	19,3	17,3		
	42,1	37,3	31,7	33	30,7		
Pista A	34,5	30	30,9	37,5	36,5	23,1	0,35
	18,5	17,9	19,2	31	33		
	8,3	8,1	8,6	15	17,5		
Calçada A	6,6	6,4	6,9	10,9	2,1	6,58	0,32

Fonte- O autor.

A figura 24 exibe a vista aérea da área 1 que está localizada no trecho inicial da Avenida Dom Pedro II.

Figura 24 - Vista aérea da área 1



Fonte: O autor.

Analisando os dados registrados no quadro 28 percebe-se que na calçada A, o nível de iluminância média está abaixo do valor mínimo exigido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). A uniformidade neste setor atende aos requisitos da norma. O menor valor registrado na calçada A é uma consequência da sombra formada no poste que contém a luminária.

Os valores registrados na pista A atendem as exigências da norma, contudo a diferença em relação aos limites estabelecidos pela norma é pequena.

A iluminância média e a uniformidade, na pista B, estão acima e abaixo do exigido pela norma respectivamente. A variação da iluminância média e da uniformidade desta pista com relação à pista A deve-se à influência de uma iluminação proveniente de outra luminária, instalada no mesmo poste que contém a luminária da calçada B, contudo direcionada para a rua que faz cruzamento com a via analisada. O registro de um valor elevado de iluminância, em um ponto da calçada B, também está relacionado com a influência dessa luminária. Isto contribuiu para que os níveis de iluminância média e uniformidade da calçada B atendessem aos requisitos exigidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012).

O quadro 25 contém os níveis de iluminância em cada ponto, a iluminância média e a uniformidade da iluminância de cada setor pertencente à área 2.

Quadro 25 - Avaliação luminotécnica da área 2

ÁREA 2							
Setor	Pontos de medição					E_{med}	U
Calçada B	10	13,5	9,5	7,7	6,4	9,42	0,68
Pista B	25,3	21,5	13,2	8,9	8,9	28,21	0,32
	41,5	45,5	28	21,4	20		
	45	44,5	32,4	33	34		
Pista A	37,3	32,6	29,5	38,6	39,3	25,79	0,35
	22,4	19,3	21,6	36	37		
	10	9	11	18,9	24,3		
Calçada A	6,3	5,6	6,6	9,7	11	7,84	0,71

Fonte: O autor.

A figura 25 exibe a vista aérea da área 2 que está localizada no trecho central da Avenida Dom Pedro II.

Figura 25 - Vista aérea da área 2



Fonte: O autor.

A área 2 sofre influência apenas da iluminação proveniente do sistema de iluminação da avenida analisada. A iluminância média e a uniformidade de ambas as calçadas estão respectivamente abaixo e acima do estabelecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012).

A iluminância média e a uniformidade das pistas A e B atendem aos requisitos da norma, contudo, não são expressivos com relação aos limites mínimos exigidos.

O quadro 26 contém a iluminância em cada ponto, a iluminância média e a uniformidade da iluminância de cada setor pertencente à área 3.

Quadro 26 - Avaliação luminotécnica da área 3

ÁREA 3							
Setor	Pontos de medição					E _{med}	U
Calçada B	140,9	152	29	7,3	5,1	66,86	0,076
Pista B	102,6	117,5	17	9	5	37,38	0,13
	63,8	43,1	15,6	12,4	11		
	53,5	45,2	25,8	20	19,2		
Pista A	45	44,1	26	22,2	18,2	22,69	0,38
	31,5	27,5	18,2	18,6	20,4		
	19,6	14,2	8,6	13,4	12,9		
Calçada A	14	9,1	9	9,1	9,3	10,1	0,89

Fonte: O autor.

A figura 26 exibe a vista aérea da área 3 que está localizada no trecho final da Avenida Dom Pedro II.

Figura 26 - Vista aérea da área 3



Fonte: O autor.

Na área 3 a iluminação da fachada de uma loja comercial influencia consideravelmente nos níveis de iluminância de alguns pontos da calçada B e da Pista B. Nestes setores a iluminância média atende aos limites estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012), mas a uniformidade fica comprometida devido a discrepância entre os valores registrados para iluminância.

A iluminância média e a uniformidade da pista A e da calçada A atendem as exigências da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012), contudo, os valores para iluminância média não são expressivos com relação aos limites mínimos estabelecidos pela norma.

Também foram realizadas simulações das áreas avaliadas no *software LuxSIMON 10* da empresa Tecnowatt, fornecedora de luminárias para concessionária de energia local. Devido à indisponibilidade dos arquivos digitais da luminária modelo 1 PLP 1370 do fabricante Polimetal, realizou-se simulações do sistema convencional com a luminária ALPHA VP NAV150T do fabricante Tecnowatt, cuja características técnicas são compatíveis com a atual especificação exigida pela concessionária de energia local. Algumas destas características estão relacionadas no quadro 27.

Quadro 27 - Dados técnicos da luminária ALPHA VP NAV150T

Distribuição transversal	Tipo II
Distribuição longitudinal	Média
Controle	Limitada
Lâmpada a vapor de sódio	150 W tubular (temperatura de cor, 2000K; vida útil, 32.000h e índice de reprodução de cores igual a 25).
Difusor	Vidro plano ou policurvo temperado
Refletor	Alumínio polido quimicamente, anodizado e selado
Grau de proteção	IP66 tanto para o grupo óptico como para o alojamento para equipamentos auxiliares
Rendimento	87,81%
Fonte de alimentação	220 Vac
Peso	3,5 Kg

Fonte: Tecnowatt.

As áreas avaliadas também foram simuladas com as luminárias leds da linha NATH S do fabricante Tecnowatt. O modelo que proporcionou os melhores resultados luminotécnicos para a avenida em questão é a NATH S 40L 950 mA 120W NEMA II. Os seus dados técnicos estão relacionados no quadro 28.

Quadro 28 - Dados técnicos da luminária NATH S 40L 950mA 120W NEMA II

Distribuição transversal	Tipo II
Distribuição longitudinal	Curta
Controle	Totalmente limitada
Lâmpadas	40 leds /120 W (temperatura de cor, 5000 K; vida útil, 60.000 h e índice de reprodução de cores maior que 70)
Difusor	Vidro plano liso
Grau de proteção	IP66 tanto para o conjunto óptico como para o alojamento do Driver
Rendimento	100,37%
Dissipação de calor	Aletas no próprio corpo da luminária
Fonte de alimentação	176-305Vac (50/60 Hz) / Drive 950mA Dimerizável (0 - 10V)
Fator de potência	>0,95
Peso	6 Kg

Fonte: Tecnowatt.

As simulações das áreas avaliadas com as luminárias ALPHA VP NAV150T (ver apêndice 1, 3 e 5) tornam evidentes as discrepâncias entre os níveis de iluminância proporcionados por esta tecnologia em relação à iluminância das luminárias do sistema vigente. Entre os prováveis motivos pode-se destacar a diferença tecnológica das luminárias (nível de proteção, rendimento, tipo de refletor etc.), a depreciação do fluxo luminoso das lâmpadas em função da sua vida útil, o acúmulo de poeira nas luminárias do sistema e os ganhos proporcionados pelas especificações técnicas estabelecidas para cada luminária (ângulo de saída, tipo de distribuição luminosa etc.).

As simulações tornam evidentes as variações dos resultados luminotécnicos da instalação em função da falta de padronização da configuração do sistema (largura da via e da calçada; interdistância dos postes, distância do poste ao meio fio).

As luminárias ALPHA VP NAV150T garantem o atendimento de todos os parâmetros exigidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012) exceto quanto aos níveis de uniformidade da luminância longitudinal (U_L) o qual ficou acima do limite utilizado como referência.

A utilização de lâmpadas de 100 W com fluxo luminoso ⁶ igual a 10.700 lumens nas luminárias ALPHA VP NAV150T proporcionam níveis de iluminância médio, tanto para pista de rolamento como para as calçadas, não expressivos em relação aos valores mínimos exigidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). Neste contexto, o projeto se torna inviável devido à possibilidade da depreciação do sistema que é causada pela redução da vida útil das lâmpadas e o acúmulo de poeira nas luminárias. Além disso, a utilização de lâmpadas com menor fluxo luminoso implica a necessidade de um número maior de luminárias.

As simulações das áreas avaliadas com as luminárias NATH S 40L 950 mA 120W NEMA II (ver apêndices 2 ,4 e 6) garantem o atendimento de todos os parâmetros exigidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). Os níveis de iluminância e luminância tanto em alguns pontos isolados como nos valores médios são inferiores aos projetados pela luminária ALPHA VP NAV150T, entretanto os valores registrados em cada ponto ao longo da área avaliada são condizentes com a norma vigente e não são discrepantes em relação à iluminância média do setor avaliado proporcionando uma maior uniformidade, eficiência e qualidade da iluminação do sistema. Além disso, os níveis de poluição luminosa do sistema Led são inferiores aos valores registrados para o sistema convencional. É importante mencionar que a aplicação do ângulo de saída ⁷ igual a 15° na luminária ALPHA VP NAV150T causa um aumento do efeito da poluição luminosa na instalação.

4.3 Análise Energética

O sistema de iluminação da avenida analisada utiliza 72 luminárias em uma extensão de 1,1 Km. A gestão e manutenção deste sistema são realizadas por uma empresa terceirizada contratada pelo município de Elói Mendes, MG. Conseqüentemente a tarifa de energia aplicada pela Concessionária de energia local é a B4b. Segundo esta companhia de energia o valor da tarifa de energia varia com a bandeira tarifária aplicada em um determinado período do ano. Considerando-se o mês de Maio de 2016 como referência para calcular a conta de energia, a bandeira tarifária aplicada para o grupo B4b é a verde e o custo atual por kWh é R\$ 0,30585. O sistema de iluminação avaliado não é otimizado e não possui tecnologia que possibilite a dimerização do sistema. Conseqüentemente, o tempo de consumo de energia

⁶ Segundo a CEMIG (2012) o fluxo luminoso das lâmpadas de 100 W é igual a 10.700 lumens.

⁷ Luminárias que atendem a especificação 02.118 CEMIG 393f, (2010) utilizam ângulo de saída igual a 10°. Qualquer especificação anterior a esta estabelece ângulo de saída igual a 15°.

considerado é igual a 360 horas mensal conforme a Resolução 414 (2010) da Aneel. O quadro 29 relaciona o tipo de luminária instalada com a sua quantidade, a potência total do sistema, em kW, com relação à lâmpada utilizada na luminária; o consumo de energia mensal em kWh, a tarifa de energia em R\$/kWh para o grupo B4b e o valor mensal da conta de energia do sistema de iluminação da avenida Dom Pedro II.

Quadro 29 - Avaliação energética do sistema

Luminária	Quantidade	Potência total instalada (kW)	Consumo de energia mensal (kWh)	Tarifa de energia B4b (R\$/kWh)	Conta de energia (R\$)
1 PLP 1370 (150W)	72	10,8	3.888	0,30585	1.189,15
NATH S 40L 950mA 120W	72	8,64 ⁸	3.110,4	0,30585 ⁹	951,32

Fonte: O autor.

As informações tratadas no quadro 31 demonstram que o consumo e a conta de energia elétrica sofrem uma redução de 20% com a implantação da luminária NATH S 40L 950 mA 120W NEMA II no sistema de iluminação avaliado.

4.4 Análise Econômica

A quantificação dos materiais (exceto daqueles que compõem a rede de distribuição primária e secundária da concessionária) da instalação para cada tipo de sistema que pode ser utilizado na Avenida Dom Pedro II deve levar em consideração as recomendações da seção 3.1.1 referente aos projetos de eficiência. Neste contexto, deve-se realizar a substituição de todo conjunto pertencente ao sistema de iluminação.

A rede secundária de energia em baixa tensão que alimenta o circuito de iluminação analisado é convencional (nua) em um trecho que contém 50 postes e isolada no outro constituído por 22 postes. As ligações na rede de energia e o aterramento das ferragens da iluminação pública em primeiro nível devem estar de acordo com as padronizações de

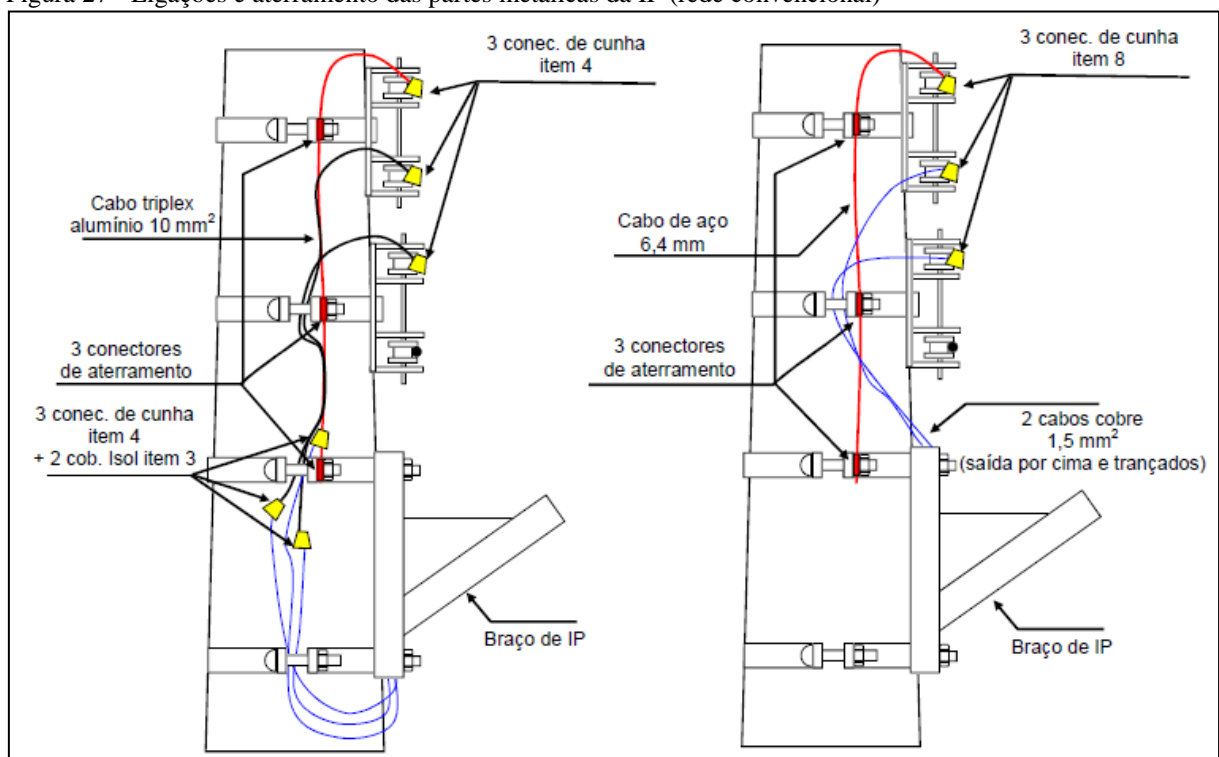
⁸ Pode ser inferior devido à possibilidade da dimerização do sistema.

⁹ Projetos de eficiência obrigam as concessionárias de energia impor tarifas de energia inferiores aos valores convencionais. O autor não teve acesso a estes dados.

concessionária de energia local. As ligações e o aterramento das ferragens do sistema instalado na avenida atende uma padronização anterior à utilizada atualmente. Na primeira existe uma quantidade maior de condutores de Cobre ($1,5 \text{ mm}^2$) no braço da luminária, conexões intermediárias entre a rede de energia e a luminária; e cabo multiplexado de alumínio utilizado para ligações e aterramento.

A figura 27 ilustra a padronização antiga (à esquerda) e atual (à direita) assim como a quantificação de alguns materiais para um ponto de iluminação alimentado por rede secundária de energia convencional.

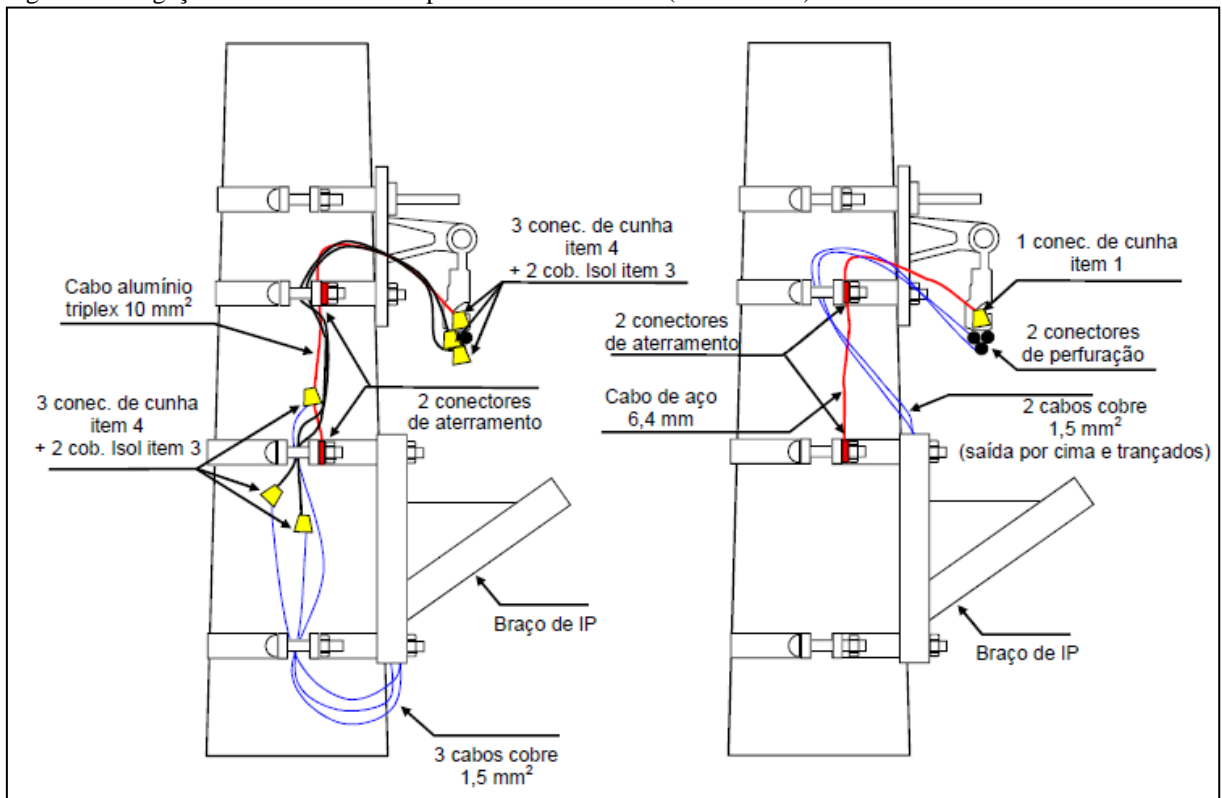
Figura 27 - Ligações e aterramento das partes metálicas da IP (rede convencional)



Fonte: (CEMIG 02.111-TD/AT-2032a, 2012).

A figura 28 ilustra a padronização antiga (à esquerda) e atual (à direita) assim como a quantificação de alguns materiais para um ponto de iluminação alimentado por rede secundária de energia isolada.

Figura 28 - Ligações e aterramento das partes metálicas da IP (rede isolada)



Fonte: (CEMIG 02.111-TD/AT-2032a, 2012).

Caso a Avenida Dom Pedro II estivesse equipada com luminárias modelo ALPHA VP NAV150T, da empresa Tecnowatt, o quadro 30 corresponderia à lista de materiais deste sistema de iluminação.

Quadro 30 - Lista de materiais do sistema de iluminação equipado com as luminárias Alpha simuladas

Item	Material / Equipamento	Quantidade total
01	Luminária ALPHA VP NAV 150T	72 un
02	Lâmpada 150W a vapor de sódio (17.500 luméns)	72 un
03	Kit (reator, ignitor, capacitor)	72 un
04	Fotocélula (220 V _{CA} , 10 A)	72 un
05	Base para fotocélula 10 A	72 un
06	Conector tipo cunha de cobre	172 un
07	Conector perfurante isolado CDP-70 (Derivação 1,5 -10mm)	44 un
08	Braço (médio)	72 un
09	Cinta de aço 230 mm	144 un
10	Cabo 1,5 mm ² de cobre XLPE 750V	1.152 m
11	Cabo de aço MR (6,4 mm) 7 fios	123.4 m
12	Conector para aterramento de ferragens de IP	194 un

Fonte: O autor.

Caso a Avenida Dom Pedro II estivesse equipada com luminárias modelo NATH S 40L 950 mA 120W NEMA II, da empresa Tecnowatt, o quadro 31 corresponderia a lista de materiais deste sistema de iluminação.

Quadro 31 - Lista de materiais do sistema de iluminação equipado com as luminárias Nath S simuladas

Item	Material / Equipamento	Quantidade total
01	Luminária NATH S 40L 950 mA 120W NEMA II	72 un
02	Fotocélula (220 V _{CA} , 10A)	72 un
03	Base para fotocélula 10 A	72 un
04	Conector tipo cunha de cobre	172 un
05	Conector perfurante isolado CDP-70 (Derivação 1,5 -10mm)	44 un
06	Braço médio	72 un
07	Cinta de aço 230 mm	144 un
08	Cabo 1,5 mm ² de cobre XLPE 750V	1.152 m
08	Cabo de aço MR (6,4 mm) 7 fios	123.4 m
09	Conector para aterramento de ferragens de IP	194 un

Fonte: O autor.

Após a quantificação dos materiais da instalação para cada tipo de sistema o próximo procedimento foi caracterizado pelo orçamento dos seus custos. A Tecnowatt disponibilizou os preços dos reatores e das luminárias. Os outros preços foram fornecidos por uma empresa terceirizada que realiza a instalação e manutenção do sistema de iluminação pública em várias localidades da região do sul de Minas Gerais.

O quadro 32 mostra o custo total do sistema de iluminação da Avenida Dom Pedro II equipada com as luminárias ALPHA VP NAV150T.

Quadro 32 - Custo da instalação com a luminária Alpha simulada

Item	Material / Equipamento	Quantidade Total	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
01	Luminária ALPHA VP NAV 150T	72 un	235,75	16.974,00
02	Lâmpada 150W a vapor de sódio (17500 luméns)	72 un	17,49	1.259,28
03	Kit (reator, ignitor, capacitor)	72 un	50,085	3.606,12
04	Fotocélula eletrônica (105 - 305 V)	72 un	17,50	1.260,00
05	Base para fotocélula 10 A	72 un	10,17	732,24
06	Conector tipo cunha de cobre	172 un	3,42	588,24
	Conector perfurante isolado CDP-70 (Derivação 1,5 -10mm)	44 un	3,50	154,00
07	Braço (médio)	72 un	90,38	6.507,36
08	Cinta de aço 230 mm	144 un	14,03	2.020,32
09	Cabo 1,5 mm ² de cobre XLPE 750V	1.152 m	1,12	1.290,24
10	Cabo de aço MR (6,4 mm) 7 fios	123.4 m	2,43	299,86
11	Conector para aterramento de ferragens de IP	194 un	0,60	116,40
Custo Total (R\$)				34.799,06

Fonte: O autor.

O quadro 33 mostra o custo total do sistema de iluminação da Avenida Dom Pedro II equipada com as luminárias NATH S 40L 950 mA 120W NEMA II.

Quadro 33 - Custo da instalação com a luminária Nath S simulada

Item	Material / Equipamento	Quantidade Total	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
01	Luminária NATH S 40L 950 mA 120W NEMA II	72 un	1.785,605	128.563,56
02	Fotocélula eletrônica (105 – 305 V)	72 un	17,50	1260,00
03	Base para fotocélula 10 A	72 un	10,17	732,24
04	Conector tipo cunha de cobre	172 un	3,42	588,24
05	Conector perfurante isolado CDP-70 (Derivação 1,5 -10mm)	44 un	3,50	154,00
06	Braço médio	72 un	90,38	6.507,36
07	Cinta de aço 230 mm	144 un	14,03	2.020,32
08	Cabo 1,5 mm ² de cobre XLPE 750V	1.152 m	1,12	1290,24
09	Cabo de aço MR (6,4 mm) 7 fios	123.4 m	2,43	299,86
10	Conector para aterramento de ferragens de IP	194 un	0,60	116,40
Custo total (R\$)				141.523,22

Fonte: O autor.

Os dados demonstram que o custo da implantação do sistema led é aproximadamente 4 vezes superior que o sistema convencional. Entretanto, tal medida implica redução dos gastos com equipamentos auxiliares e lâmpadas a vapor de sódio que são substituídos com maior frequência. Apesar da falta de acesso aos dados que possibilitariam a quantificação das manutenções e dos custos vinculados a estes serviços para ambos os sistemas sabe-se que a vida útil da iluminação led é 1,875 vezes maior que a convencional.

A instalação da luminária Nath S simulada possibilitará uma redução do custo anual atrelado ao consumo de energia igual a R\$ 2.853,96 (dois mil oitocentos e cinquenta e três reais e noventa e seis centavos). Consequentemente, presume-se um payback em torno de 49,58 anos com a implantação deste sistema. Conforme a seção 2.2.1.5 deste trabalho, a dimerização do sistema de iluminação pública e a utilização de tecnologias mais eficientes, obriga a concessionária a realizar a revisão o tempo de consumo estipulado para o sistema assim como redução das tarifas de energia. Estas particularidades possibilitam a aquisição de um retorno financeiro inferior ao citado anteriormente.

4.5 Análise Ambiental

O objetivo deste trabalho não é quantificar os impactos no meio ambiente que estão relacionados com o sistema de iluminação pública, mas identificá-los e posteriormente discuti-los à medida que seja possível avaliar as vantagens e desvantagens atreladas a cada sistema simulado.

Sabe-se que a manipulação e o descarte incorreto das lâmpadas de descarga, que contêm metais pesados como o mercúrio, causam danos irreversíveis ao meio ambiente. Assim sendo, fabricantes, fornecedores e prestadores de serviços que atendem as demandas do sistema avaliado devem adotar procedimentos compatíveis com as normas estabelecidas pela concessionária de energia local. As multas aplicadas em função das negligências ou o descumprimento destes procedimentos não reduz de forma efetiva os riscos de acidentes.

As lâmpadas empregadas no sistema convencional emitem tanto as radiações do espectro visível como as radiações na faixa de onda correspondente ao ultravioleta e o infravermelho. Estas causam não apenas danos a alguns componentes que constituem a luminária como o ressecamento das juntas de vedação e redução da transparência do refrator, mas também geram riscos e danos ao meio ambiente.

As lâmpadas leds não possuem mercúrio ou outros metais pesados e não emitem radiações ultravioleta e infravermelha. Neste sentido pode-se presumir uma redução significativa dos impactos ambientais com a implantação das luminárias NATH S 40L 950 mA 120W NEMA II no sistema de iluminação da Avenida Dom Pedro II.

5 CONCLUSÃO

A avaliação do sistema vigente torna evidente a sua inviabilidade no aspecto técnico, energético, social e ambiental em relação ao sistema proposto. A inconformidade dos níveis de iluminância nas calçadas de algumas áreas avaliadas, a existência de um fluxo luminoso depreciado nas pistas de rolamento, o consumo de energia, os riscos gerados ao meio ambiente e os problemas ligados ao sistema convencional comprovam esta questão. Além disso, existem configurações técnicas no sistema avaliado que o torna mais suscetível a falhas que podem comprometer a sua operação e gerar riscos a segurança de terceiros. Esses levantamentos confirmam a necessidade da reestruturação deste sistema.

As simulações demonstram que a luminária Nath S simulada representa uma solução que garante o atendimento de todos os parâmetros exigidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. Além disso, pode-se presumir que a sua implantação no sistema de iluminação da Avenida Dom Pedro II possibilita a aquisição de ganhos imprescindíveis para a instalação como a redução da demanda de energia e dos gastos públicos; a preservação do meio ambiente, o aumento da confiabilidade do sistema, da segurança pública e da valorização do espaço público. Desta forma tem-se uma perspectiva de aumento da qualidade de vida dos usuários do sistema.

Entretanto, a inviabilidade do retorno financeiro proporcionado com a implantação da tecnologia led representa um fator limitante para o investimento. Contudo, deve-se destacar que a prestação de qualquer serviço público deve ser caracterizada pela qualidade dos serviços e a satisfação dos usuários. Desta forma, cabe ao setor público quebrar alguns paradigmas e fazer com que o fator benefício prevaleça sobre a variável custo. Neste contexto, fica evidente a viabilidade da reestruturação do sistema de iluminação pública da avenida avaliada com as luminárias NATH S 40L 950 mA 120W NEMA II.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5101**: Associação Brasileira de Normas Técnicas. Iluminação pública – procedimento. Rio de Janeiro, 2ª ed, maio 2012. 35p.

AGUILLERA, Marco Antônio. Ampliação e remodelação da iluminação pública. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 110, mar. 2015.

BOMMEL, Wout Van. Espectro das fontes de luz e os níveis baixos de iluminação. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 50, mar. 2010.

COPEL, Distribuição. **Manual de iluminação pública**. Paraná, fev. de 2012.

CEMIG. **ND 3.4**. Projetos de iluminação pública. Belo Horizonte, nov. 2012.

CEMIG. **Tarifas de energia 2016**. Disponível em https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx. Acesso em: 05 de maio de 2016.

CEMIG. **02.118 393b**. Especificação técnica das luminárias para iluminação pública. Belo Horizonte, fev. 1999.

CEMIG. **02.118 393e**. Especificação técnica das luminárias para iluminação pública. Belo Horizonte, abr. 2008. 39p.

CEMIG. **02.118 393f**. Especificação técnica das luminárias para iluminação pública. Belo Horizonte, maio 2010. 42p.

CEMIG. **02.111-TD/AT-2032^a**. Alterações do padrão para ligação e aterramento definitivo de ferragens da iluminação em primeiro e segundo nível. Belo Horizonte, set. 2012.

CEMIG. **02.118 572d**. Luminárias para lâmpadas a vapor de sódio 150 W tubular. Belo Horizonte, maio 2010.

CASTRO, Felipe Nóbrega de; LUCIANO, Benedito Antônio. Eficiência energética em sistemas de iluminação pública. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 81, out. 2012.

ELETROBRAS PROCEL. **Iluminação Eficiente**: Iniciativas da Eletrobrás Procel e parceiros/ Organizadores: Eduardo Menandro de Vasconcellos e Marcos Alexandre Couto Limberger. Rio de Janeiro, 2013. 266 p.

GODOY, Plínio. Conceitos fundamentais I. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 108, jan. 2015.

GODOY, Plínio. Conceitos de iluminação urbana. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 109, fev. 2015.

GODOY, Plínio. Fotometria básica. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v.110, mar. de 2015.

GODOY, Plínio. Qualidade na iluminação urbana. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 111, abr. 2015.

GODOY, Plínio. Fontes de luz. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 112, maio 2015.

GODOY, Plínio. Led. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 113, jun. 2015.

GODOY, Plínio. Luminárias com leds. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 114, jul. 2015.

GODOY, Plínio. Iluminação pública. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 115, ago. 2015.

GODOY, Plínio. Iluminação urbana. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 116, set. 2015.

IWASHITA, Juliana. Visão mesópica e o impacto na iluminação pública. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 68, set. 2011.

INMETRO, INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Fotometria de luminárias. Simpósio Brasileiro de Iluminação Eficiente (SIMPOLUX) 10, 2006. **Anais...**, 2006. Disponível em:

http://abilux.com.br/pdf_simpo/fotometriadeluminarias.pdf. Acesso em: 25 de abr. 2016.

JESUS, Marcelo de Oliveira. Curvas fotométricas. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 73, fev. 2012.

LUMINOTÉCNICA EMPALUX. Disponível em: <http://www.empalux.com.br/?a1=1> Acesso em: 19 de out. 2015.

LEÃO, Marcus Vinicius Silva. **Eficientização do Sistema de Iluminação Pública**: estudo de caso da Avenida Luís Viana Filho. 2014. 68f. Monografia (Graduação) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Salvador, 2014.

MOREIRA, Bruno. Iluminação pública: de quem é a responsabilidade? **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 96, jan. 2014.

MARTINS, Juliana. O papel social da luz urbana. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 69, out. 2011.

OSRAM. Iluminação: Conceitos e projetos. [2009a]. Disponível em:

http://joinville.ifsc.edu.br/~luis.nodari/Luminot%C3%A9cnica/Manual%20de%20Luminot%C3%A9cnica%20Osram/Manual_Luminotecnico_-_parte_01.pdf. Acesso em: 05 abr. 2016.

OSRAM. Iluminação: Conceitos e projetos. [2009b]. Disponível em:

http://joinville.ifsc.edu.br/~luis.nodari/Luminot%C3%A9cnica/Manual%20de%20Luminot%C3%A9cnica%20Osram/Manual_Luminotecnico_-_parte_02.pdf. Acesso em: 05 abr. 2016.

OSRAM. Iluminação: Conceitos e projetos. [2009c].

http://joinville.ifsc.edu.br/~luis.nodari/Luminot%C3%A9cnica/Manual%20de%20Luminot%C3%A9cnica%20Osram/Manual_Luminotecnico_-_parte_03.pdf. Acesso em: 05 abr. 2016.

PINTO, Rinaldo Caldeira. Introdução à iluminação pública. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 72, jan. 2012.

PROCEL EPP. **Eficiência energética nos prédios públicos**. Manual de iluminação. Eletrobrás, Rio de Janeiro, ago. 2011.

POLIMETAL LIGAS E METAIS. Disponível em: http://polimetal.com.br/ilu_publica.php. Acesso em: 08 de Maio de 2016.

ROSITO, Luciano Haas. Origens da iluminação pública do Brasil. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 36, jan. 2009.

ROSITO, Luciano Haas. Vias públicas. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 37, fev. 2009.

ROSITO, Luciano Haas. Componentes da iluminação pública. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 38, mar. 2009.

ROSITO, Luciano Haas. Componentes da iluminação pública: parte II. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 39, abr. 2009.

ROSITO, Luciano Haas. Projeto de iluminação pública. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 41, jun. 2009.

ROSITO, Luciano Haas. Projetos de eficiência energética em iluminação pública. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 42, jul. 2009.

SANTANA, Rosa Maria Bonfim. **Iluminação pública**: uma abordagem gerencial. 2010. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Salvador-UNIFACS, Salvador, 2010.

TECNOWATT, Iluminação. Produtos 2016. Disponível em http://tecnowatt.hospedagemdesites.ws/?page_id=5. Acesso em: 10 mar. de 2016.