COPEL
Companhia Paranaense de Energia

PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO

MANUAL DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

ÓRGÃO EMISSOR: **COPEL DISTRIBUIÇÃO**

SUPERINTENDÊNCIA DE ENGENHARIA DE DISTRIBUIÇÃO - **SED**

DEPARTAMENTO DE NORMALIZAÇÃO GEOPROCESSAMENTO E OBRAS - **DNGO**

DIVISÃO DE NORMALIZAÇÃO E NOVAS TECNOLOGIAS - **VNOT**

Fevereiro de 2012

APRESENTAÇÃO

Recentemente, os assuntos referentes à iluminação pública têm se tornado pauta de muitas discussões em todo o país. As principais motivações para isto são os avanços tecnológicos dos materiais e equipamentos, as alterações nas legislações relativas à administração dos sistemas e a mudança do próprio conceito do que é e quais os objetivos do serviço de iluminação pública.

Diante disso, o presente manual traz um panorama geral sobre o cenário, em especial paranaense, dos assuntos relativos aos sistemas de iluminação pública, aspectos ligados às diretivas da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, a relação entre a COPEL e o Poder Público Municipal, um apanhado sobre as tecnologias disponíveis, uma metodologia básica para elaboração de projetos de iluminação viária, com o objetivo de orientar, em especial, os administradores públicos que estão recebendo os acervos e serão responsáveis pelo gerenciamento e manutenção do sistema.

CHRISTÓVÃO CÉSAR DA VEIGA PESSOA JUNIOR
SUPERINTENDÊNCIA DE ENGENHARIA DE DISTRIBUIÇÃO

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comparativo entre duas fontes luminosas com diferentes IRC's. 6
Figura 2 – Classificação das vias urbanas. 11
Figura 3 – Arranjo unilateral das luminárias. 14
Figura 4 – Arranjo bilateral alternado das luminárias. 14
Figura 5 – Arranjo bilateral oposto das luminárias. 15
Figura 6 – Arranjo empregado em vias com canteiro central. 15
Figura 7 – Modelo tradicional de lâmpada incandescente. 17
Figura 8 – Lâmpada a vapor de mercúrio comum em iluminação pública. 18
Figura 9 – Modelos tubular e ovóide de lâmpadas a vapor de sódio, comumente utilizadas em iluminação pública. 19
Figura 11 – Reator interno. 23
Figura 12 – Modelo de reator externo para lâmpada a vapor de mercúrio de 250W, com tomada para relé fotoelétrico. 23
Figura 13 – Exemplos de modelos de relés fotoelétricos. 25
Figura 14 – Luminária inadequada para utilização em iluminação pública. 26
Figura 15 – Da esquerda para a direita está exemplificado o aumento na eficiencia luminosa das luminárias. Conjunto óptico eficiente. 26
Figura 16 – Um modelo de luminária fechada sem equipamento. 27
Figura 17 – Exemplo de uma luminária integrada. 28
Figura 18 – Braço padrão COPEL tipo BR-1. 29
Figura 19 – Braço padrão COPEL tipo BR-2. 29
Figura 20 – Braço padrão COPEL tipo BR-3. 30
Figura 21 – Via local iluminada unilateralmente com luminárias abertas e lâmpadas a vapor de mercúrio 80W já depreciadas. 31
Figura 22 – Via coletora com canteiro central iluminada com luminárias integradas e lâmpadas a vapor de sódio 250W. 32
Figura 23 – Via coletora iluminada luminárias integradas e lâmpadas a vapor metálico. 32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Temperatura de cor. 5
Tabela 2 – Tipo de tráfico motorizado e de pedestres. 12
Tabela 3 – Limites fotométricos para vias de tráfego motorizado e de pedestres. 13
Tabela 4 – Comparativo entre as tecnologias. 21
Tabela 5 – Limites para distorção harmônica da corrente 34

SUMÁRIO

1. Introdução 1
2. Sistemas de iluminação pública 4
2.1. Definições de termos luminotécnicos 4
2.1.1. Fluxo luminoso 4
2.1.2. Eficiência luminosa 4
2.1.3. Iluminamento ou Iluminância 4
2.1.4. Fator de uniformidade 4
2.1.5. Temperatura de cor 5
2.1.6. Índice de reprodução de cor 5
2.1.7. Vida mediana 6
2.1.8. Distorção harmônica total 6
2.1.9. Fator de potência 7
2.2. Projeto do sistema de iluminação pública 8
2.2.1. Classificação das vias 8
2.2.2. Características luminotécnicas 12
2.2.3. Topologias de iluminação viária 13
2.2.4. Relação entre a COPEL e as Prefeituras 16
2.3. Tecnologias aplicáveis em sistemas de iluminação pública 17
2.3.1. Fontes luminosas 17
2.3.2. Reatores 21
2.3.3. Circuitos de comando 24
2.3.4. Luminárias 25
2.3.5. Braços para iluminação pública 28
2.3.6. Exemplos de aplicação 30
2.3.7. Equipamentos eletroeletrônicos – luminárias com LED’s e economizadores 33
2.3.8. Aquisição de equipamentos para iluminação pública 35
2.4. Padrões de montagem dos sistemas de iluminação pública 36
2.5. Iluminação pública e a arborização urbana 36
3. Referências 38

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Capítulo IV, art. 30, inciso V da Constituição de 1988, a organização e a prestação do serviço de iluminação pública é de responsabilidade do Poder Público Municipal, no entanto, devido à falta de recursos técnicos, humanos e financeiros, vários municípios paranaenses, até o final da década de 90, optaram por transferir esta responsabilidade à COPEL, através de licitações, visto que a concessionária já dispunha de mão-de-obra especializada, além de equipamentos para prover a manutenção destes sistemas.

Administrado pela concessionária de energia elétrica, o sistema de iluminação pública tem seus projetos e especificações de materiais voltados especialmente para eficiência energética, redução de custos e atendimento aos requisitos fotométricos mínimos estipulados em normas, em especial a NBR (Norma Brasileira) 5101:1992. Entretanto, os benefícios de uma iluminação pública eficiente podem ser explorados também no sentido de melhorar a imagem de uma cidade, favorecendo o turismo, o comércio, o lazer noturno, melhorando a segurança pública no tráfego, sendo inclusive um indicador de desenvolvimento da mesma, todos fatores de interesse do Poder Público Municipal. Este conceito, indiretamente proposto na própria Constituição Federal, foi e está sendo resgatado por muitos administradores públicos, favorecidos pela disseminação de conhecimento a respeito de várias alternativas tecnológicas aplicáveis aos sistemas de iluminação pública, apresentadas principalmente por fabricantes e fornecedores do setor.

Com este foco, os acervos e a responsabilidade pela gestão e manutenção dos sistemas de iluminação pública começam a ser devolvidos para as municipalidades, atividade evidenciada principalmente em cidades maiores, e que até o momento vem apresentando bons resultados, inclusive financeiros para os próprios municípios. Em setembro de 2010, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 414/2010, em substituição à Resolução nº 456/2000, que estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica. Dentre várias normativas, é estabelecido no Artigo 218 que os acervos de iluminação pública que estiverem registrados como Ativo Imobilizado em Serviço das concessionárias devem ser transferidos para a pessoa jurídica de direito público, sendo um dos argumentos para isso o determinado na própria Constituição Federal, além de garantir menor tarifa aplicável ao consumo de energia para a iluminação pública, visto que sob a responsabilidade das distribuidoras a tarifa aplicada é a B4b, que é cerca de 9,5% superior a B4a, utilizada onde os acervos pertencem aos municípios, com a finalidade de remunerar os serviços de manutenção e operação.

Continua permitido às distribuidoras de energia prestarem os serviços de operação e manutenção dos sistemas de iluminação, porém mediante concessão ou autorização por parte do poder público municipal.

Segundo a ANEEL, em julho de 2011, 63,8% dos municípios brasileiros já possuíam os ativos de iluminação pública. No Paraná este número é 55%, sendo que a meta da COPEL é devolver os acervos a 100% dos municípios até o vencimento do prazo estipulado na Resolução 414/2010.

Os 393 municípios atendidos pela COPEL totalizam 1.157.139 pontos de iluminação pública com uma carga instalada de aproximadamente 188MW, dados de abril de 2011. Isto equivale, por exemplo, a 11% da capacidade de geração da Usina Hidrelétrica Bento Munhoz da Rocha Neto, conhecida também como Usina de Foz do Areia, a maior usina da Companhia. Portanto é imperativo que os sistemas de iluminação pública devem ser gerenciados de maneira a atender às necessidades das pessoas e ao mesmo tempo serem eficientes do ponto de vista energético, evitando também prejuízos financeiros aos administradores.

Desde a década de 80, várias iniciativas foram tomadas por parte das concessionárias de energia elétrica, prefeituras, CREA's (Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia), e outros agentes do setor, com o objetivo de melhorar a eficiência dos sistemas de iluminação pública e equalizar a qualidade dos serviços prestados, dentre estas se destaca o mais recente programa realizado, o Programa Nacional de Iluminação Eficiente, o ReLuz, implantado no ano de 2000 e finalizado em 2010, desenvolvido pela Eletrobrás - Centrais Elétricas Brasileiras S.A, em que foram previstos investimentos da ordem de R$ 2 bilhões, para melhorar a qualidade e eficiência dos acervos de iluminação pública em todo Brasil. O programa consistia em financiar os projetos de eficientização às concessionárias que, em concordância com as Prefeituras Municipais, executavam os serviços, colaborando com as especificações técnicas dos materiais a serem adquiridos e avaliando os projetos dos sistemas de iluminação.

Além dos aspectos energéticos, que impactam diretamente nos custos de manutenção dos sistemas, os administradores, em especial as prefeituras, devem considerar os impactos que a iluminação pública causam no cotidiano das pessoas e, consequentemente, no desenvolvimento de uma cidade. É importante ressaltar que a gestão não centralizada do serviço de iluminação pública pode resultar em uma discrepância muito grande da qualidade do serviço prestado em diversos municípios, fruto das diferentes competências técnicas e financeiras existentes nas administrações públicas. O

objetivo deste manual é, então, contribuir com as municipalidades servindo como um orientativo geral a respeito dos aspectos técnicos relacionados às configurações dos sistemas de iluminação pública, fomentar a busca por sistemas eficientes, utilização de materiais e equipamentos de boa qualidade, reduzindo insatisfações por parte da população com os serviços prestados, aspectos ambientais, desperdícios de recursos e ainda impactos negativos nas redes de distribuição de energia, no que tange qualidade de energia.

2. SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Nesta seção serão abordados de maneira geral os diversos aspectos relacionados aos projetos de iluminação viária e uma revisão sobre as principais tecnologias disponíveis e aplicáveis para este fim.

2.1. DEFINIÇÕES DE TERMOS LUMINOTÉCNICOS

A seguir serão definidos alguns termos luminotécnicos e elétricos necessários para a compreensão das demais seções.

2.1.1. FLUXO LUMINOSO

O fluxo luminoso pode ser entendido como a quantidade de energia radiante em todas as direções, emitida por unidade de tempo, e avaliada de acordo com a sensação luminosa produzida. A unidade de medida é o lúmen (lm).

2.1.2. EFICIÊNCIA LUMINOSA

A eficiência luminosa é a relação entre o fluxo luminoso emitido pela potência elétrica absorvida, sendo a unidade de medida o lúmen por Watt (lm/W). Este conceito é utilizado para comparar a diferentes fontes luminosas.

2.1.3. ILUMINAMENTO OU ILUMINÂNCIA

Iluminância é a densidade de fluxo luminoso recebido por uma superfície. Por definição a unidade de medida é o lúmen por metro ao quadrado (lm/m²), que pode ser denominada também de lux. A verificação deste parâmetro é fundamental para comprovar a qualidade da iluminação de um determinado local.

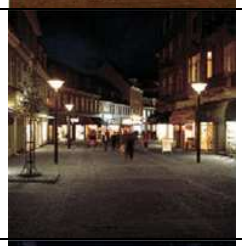
2.1.4. FATOR DE UNIFORMIDADE

O fator de uniformidade é uma relação entre a iluminância mínima e a média de uma determinada área. Resulta em um valor adimensional variando entre zero e a unidade, que indica como está a distribuição da luminosidade na superfície aferida.

2.1.5. TEMPERATURA DE COR

Este parâmetro não está relacionado com o calor emitido por uma lâmpada, mas pela sensação de conforto que a mesma proporciona em um determinado ambiente. Quanto mais alto for o valor da temperatura de cor, mais branca será a luz emitida, denominada comumente de “luz fria” e que é utilizada, por exemplo, em ambientes de trabalho, pois induz maior atividade ao ser humano. No entanto, caso seja baixa a temperatura de cor, a luz será mais amarelada, proporcionando uma maior sensação de conforto e relaxamento, chamada popularmente de “luz quente”, utilizada preferencialmente em salas de estar ou quartos. As fontes luminosas artificiais podem variar entre 2000K (muito quente) até mais de 10000K (muito fria).

Tabela 1 – Temperatura de cor.

Temperatura de cor (K)	Aparência	
<3300	Quente (branco alaranjado)	
De 3300 a 5000	Intermediária (branco)	
>5000	Fria (branco azulado)	

Fonte: adaptado de Indal (2011).

2.1.6. ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR

O índice de reprodução de cor (IRC) de uma fonte luminosa é a medida de cor real de uma superfície e sua aparência a ser iluminada pela fonte artificial. Uma fonte com IRC 100% é a que apresenta as cores de um objeto com a máxima fidelidade. Na Figura 1, é apresentado o mesmo local

sob as mesmas condições, porém iluminado com fontes luminosas diferentes. À esquerda a iluminação é feita por LED's (*light emitting diode* ou diodo emissor de luz) de alto IRC, e à direita com lâmpadas a vapor de sódio em alta pressão com baixo IRC. Nota-se que na segunda situação a definição das cores é prejudicada.

Figura 1 – Comparativo entre duas fontes luminosas com diferentes IRC's.

Fonte: COPEL e GE – *General Eletric* (2011).

2.1.7. VIDA MEDIANA

Tempo após o qual 50% das lâmpadas de uma determinada amostragem, submetidas a um ensaio de vida, deixam de funcionar.

2.1.8. DISTORÇÃO HARMÔNICA TOTAL

Entende-se por distorção harmônica total (THD – *Total Harmonic Distortion*), a relação entre a soma dos valores eficazes de todas as componentes harmônicas de uma determinada forma de onda pelo valor eficaz de sua componente fundamental, expresso normalmente em termos percentuais.

Para este manual, define-se THDi como a distorção harmônica da corrente absorvida por uma carga não linear, em geral equipamentos eletroeletrônicos, em relação à onda senoidal pura com frequência de 60Hz, fornecida pela concessionária. Com relativa intensidade, uma corrente com elevado THDi pode provocar distorções nas formas de onda da corrente e tensão do sistema elétrico, reduzindo a qualidade da energia entregue e prejudicando o funcionamento de outros equipamentos conectados à mesma rede.

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{j=2}^{n} I_j^2}}{I_1} \Rightarrow THDi(\%) = 100 * THDi$$

Em que:

I_j é o valor eficaz da componente harmônica da corrente absorvida pela carga e.

I_1 é a componente fundamental da corrente, com frequência de 60Hz.

THDi(%) é a distorção harmônica total da corrente expressa em valores percentuais.

2.1.9. FATOR DE POTÊNCIA

O fator de potência é definido pela razão entre as potências ativa (P) e aparente (S) de um circuito, resultando em um número adimensional entre zero e um. Quanto mais próximo da unidade for o fator de potência, indica que a energia está sendo consumida de forma mais eficiente, visto que apenas a potência ativa realiza trabalho efetivamente. No entanto, quanto mais próximo a zero indica que a maior parte da energia consumida é reativa, necessária para o funcionamento de elementos armazenadores de energia, como indutores e capacitores, mas que deve ser compensada, pois gera perdas e diversas perturbações no sistema elétrico.

A equação completa para o cálculo do fator de potência é dada por:

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi}{U \cdot I}$$

Onde:

U_1 e I_1 são os valores eficazes das componentes fundamentais da tensão e corrente, respectivamente, de um circuito.

U e I são os valores eficazes totais da tensão e corrente, respectivamente, calculados da seguinte forma:

$$X = \sqrt{\sum_{k=0}^{n} X_k^2}$$

Em que:

X_k é o valor eficaz da componente harmônica que compõe a forma de onda.

cos φ é o co-seno do ângulo φ de defasamento entre a corrente e a tensão.

Na maioria dos casos, as tensões e correntes do sistema elétrico podem ser consideradas senoidais puras, logo seus valores eficazes totais são iguais aos de suas componentes fundamentais. Assim a equação para o cálculo do fator de potência se resume ao co-seno do ângulo φ:

$$FP = \cos\varphi$$

No entanto, há situações no sistema elétrico em que as tensões e correntes não são senoidais puras. Para estes casos a equação geral para o cálculo do fator de potência deve ser utilizada.

Para o cálculo do fator de potência dos equipamentos abrangidos por este manual, deve-se utilizar a equação apresentada na sequência, que é resultado da inserção do conceito da total distorção harmônica da corrente apresentada em 2.1.8. na equação geral, desprezando as possíveis distorções na forma de onda da tensão. Observa-se que, caso a corrente absorvida pela carga seja senoidal pura, o valor de THDi será nulo, e o resultado da equação será apenas o co-seno do ângulo de defasamento entre a tensão e a corrente.

$$FP = \frac{\cos\varphi}{\sqrt{1+THDi^2}}$$

2.2. PROJETO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Nesta seção se pretende apresentar uma metodologia básica para realizar um projeto eficiente de iluminação pública aplicada em vias, baseando-se nos critérios estabelecidos na NBR 5101:1992, que inclusive está em revisão e provavelmente terá uma nova versão publicada em breve. Contudo, vale lembrar que estes critérios são os mínimos necessários para garantir a funcionalidade do sistema, havendo muitas alternativas para melhorar a qualidade da iluminação do ponto de vista de embelezamento urbano, como já discutido anteriormente.

2.2.1. CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS

O ponto de partida do projeto de um sistema de iluminação pública é a classificação da via que se pretende iluminar. Conforme o Código de Trânsito Brasileiro, publicado em 1997, as vias podem ser classificadas da seguinte forma:

a) vias urbanas:

Aquela caracterizada pela existência de construções às suas margens, com presença de tráfego motorizado e de pedestres em maior ou menor escala. Ruas, avenidas, vielas ou caminhos e similares

abertos à circulação pública, situados na área urbana, caracterizados principalmente por possuírem imóveis edificados ao longo de sua extensão.

I. via de trânsito rápido;

Avenidas e ruas asfaltadas, exclusivas para tráfego motorizado, onde não há predominância de construções. Baixo trânsito de pedestres e alto trânsito de veículos. Aquela caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e em travessia de pedestres em nível, com velocidade máxima de 80 km/h.

II. via arterial;

Via exclusiva para tráfego motorizado, que se caracteriza por grande volume e pouco acesso de tráfego, várias pistas, cruzamentos em dois planos, escoamento contínuo, elevada velocidade de operação e estacionamento proibido na pista. Geralmente, não existe o ofuscamento pelo tráfego oposto nem construções ao longo da via. O sistema arterial serve mais especificamente a grandes geradores de tráfego e viagens de longas distâncias, mas, ocasionalmente, pode servir de tráfego local. Aquela caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade, com velocidade máxima de 60 km/h.

III. via coletora;

Via exclusivamente para tráfego motorizado, que se caracteriza por um volume de tráfego inferior e por um acesso de tráfego superior àqueles das vias arteriais. Aquela destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade, com velocidade máxima de 40 km/h.

IV. via local;

Via que permite acesso às edificações e a outras vias urbanas, com grande acesso e pequeno volume de tráfego. Aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas, com velocidade máxima de 30 km/h.

b) vias rurais:

Via mais conhecida como estradas de rodagem, que nem sempre apresenta, exclusivamente, tráfego motorizado.

I. rodovias;

Via para tráfego motorizado, pavimentada, com ou sem acostamento, com tráfego de pedestres. Este tipo de via pode ter trechos classificados como urbanos com as seguintes velocidades máximas: 110km/h para automóveis, camionetas e motocicletas; 90km/h para ônibus e micro-ônibus; 80km/h para os demais veículos.

II. estradas.

Vias para tráfego motorizado, com ou sem acostamento, com tráfego de pedestres. Este tipo de via pode ter trechos classificados como urbanos. Trata-se de via rural não pavimentada, com velocidade máxima de 60 km/h. Vias de áreas de pedestres são vias ou conjunto de vias destinadas à circulação prioritária de pedestres.

Na Figura 2 é apresentado um esquema geral ilustrando a classificação das vias.

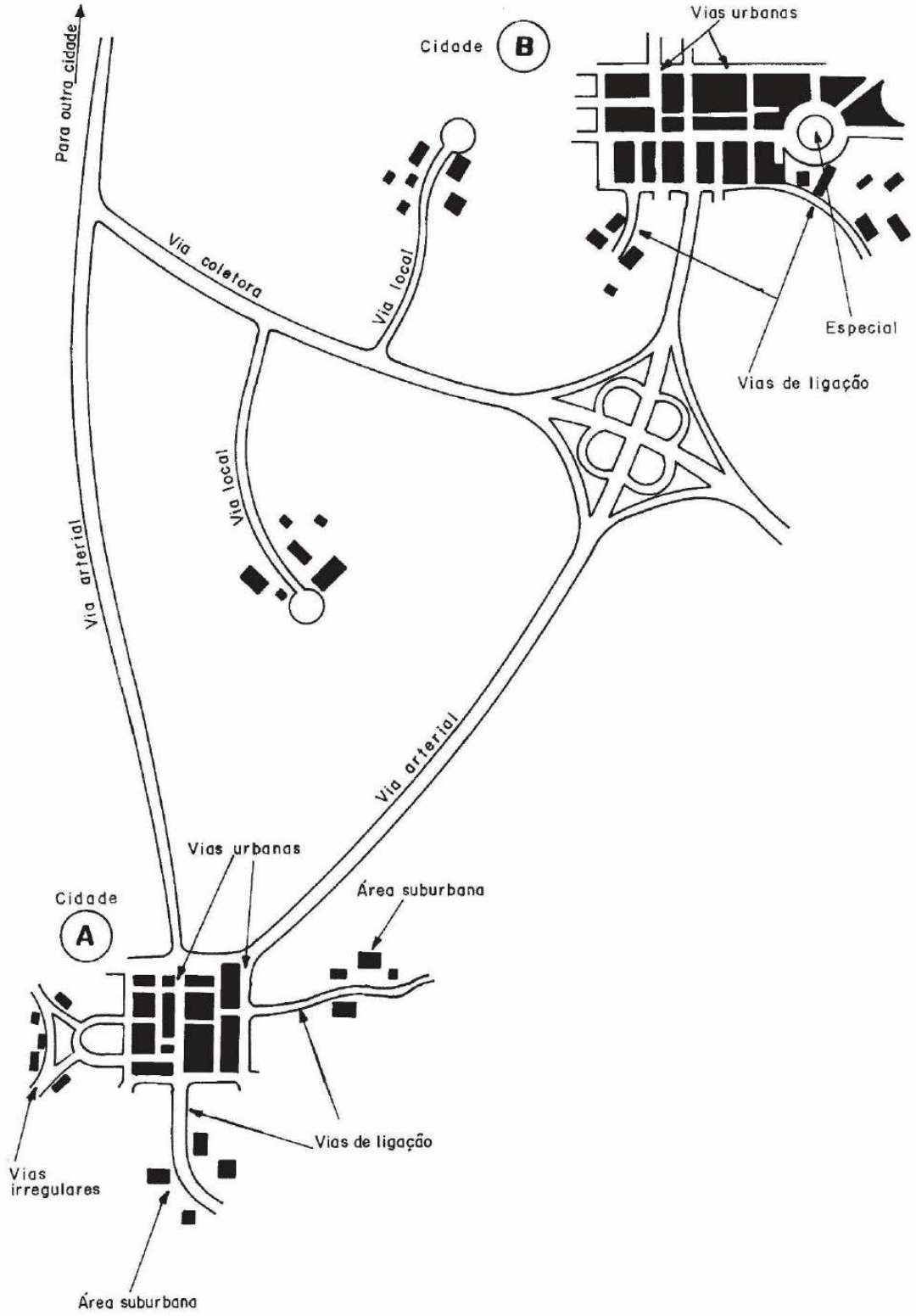


Figura 2 – Classificação das vias urbanas.

Fonte: NBR 5101:1992.

2.2.2. CARACTERÍSTICAS LUMINOTÉCNICAS

Classificada a via, deve-se consultar a NBR 5101:1992 para verificar os níveis de iluminância e os fatores de uniformidades mínimos para cada situação. O tipo do tráfego também deve ser levado em consideração, sendo classificados como: sem, leve, médio ou intenso tanto para pedestres quanto para veículos. Na Tabela 2 são apresentadas as características de cada tipo de tráfego.

Tabela 2 – Tipo de tráfico motorizado e de pedestres.

Classificação	Tipo de tráfego	
	Motorizado*	**Pedestres**
Sem	Até 500	Ocupação em ruas arteriais, exclusivas para o tráfego motorizado
Leve	501 a 1200	Ocupação em ruas residenciais médias
Médio	> 1200	Ocupação em ruas comerciais secundárias
Intenso	---	Ocupação em ruas comerciais principais

*Volume de tráfego noturno de veículos por hora, em ambos sentidos, em pista única.

Fonte: adaptado da NBR 5101:1992.

Feita a classificação da via e determinado o tipo de tráfego, faz-se necessário definir os parâmetros fotométricos adequados para atender a necessidade do local. Na NBR 5101 são estipulados valores mínimos para a iluminância $E_{mín}$ e o fator de uniformidade $U_{mín}$, em função do tipo da via. Estes limites estão resumidos e apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Limites fotométricos para vias de tráfego motorizado e de pedestres.

Descrição da via	Volume de tráfego	$E_{mín}$ (lux)	$U_{mín}$
Vias de trânsito rápido; vias de alta velocidade de tráfego, com separação de pistas, sem cruzamentos em nível e com controle de acesso; vias de trânsito rápido em geral; auto-estradas	Intenso	30	0,4
	Médio	20	0,3
Vias arteriais; vias de alta velocidade de tráfego com separação de pistas; vias de mão dupla, com cruzamentos e travessias de pedestres eventuais em pontos bem definidos; vias rurais de mão dupla com separação por canteiro ou obstáculo	Intenso	30	0,4
	Médio	20	0,3
Vias coletoras; vias de tráfego importante; vias radiais e urbanas de interligação entre bairros, com tráfego de pedestres elevado	Intenso	20	0,3
	Médio	15	0,2
	Leve	10	0,2
Vias locais; vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial	Médio	10	0,2
	Leve	5	0,2
Vias de uso noturno intenso por pedestres (por exemplo, calçadões, passeios de zonas comerciais)		20	0,3
Vias de grande tráfego noturno de pedestres (por exemplo, passeios de avenidas, praças, áreas de lazer)		10	0,25
Vias de uso noturno moderado por pedestres (por exemplo, passeios, acostamentos)		5	0,2
Vias de pouco uso por pedestres (por exemplo, passeios de bairros residenciais)		3	0,2

Fonte: adaptado da NBR 5101:1992.

2.2.3. TOPOLOGIAS DE ILUMINAÇÃO VIÁRIA

Definidos os níveis luminotécnicos, devem-se especificar os materiais a serem utilizados e a topologia de distribuição dos pontos de iluminação, de maneira a atingir os valores mínimos exigidos para cada situação sem perder de vista os custos envolvidos e principalmente diversidade construtiva

do local, como por exemplo as estruturas das redes elétricas existentes, postes, prédios, marqueses, arborização ou quaisquer componentes que possam interferir na montagem do sistema de iluminação. Na sequência são apresentados os arranjos comumente encontrados na montagem de pontos de iluminação em vias. Outras configurações podem ser obtidas com o auxílio de programas específicos para cálculos luminotécnicos, ou a aplicação direta de métodos disponíveis nas literaturas, como por exemplo: método das curvas isolux, método ponto-por-ponto, método do fator de utilização ou do fluxo luminoso, método das iluminâncias. Entretanto, como em vários casos as estruturas das redes elétricas já existem, estas são aproveitadas para montagem dos componentes.

Figura 3 – Arranjo unilateral das luminárias.

Fonte: CPFL (2006).

O arranjo unilateral das luminárias, apresentado na Figura 3, é o mais comumente utilizado, atendendo geralmente a vias coletoras e locais, com largura máxima da pista de rolamento igual ou menor que 9m, com tráfego motorizado leve ou médio.

Figura 4 – Arranjo bilateral alternado das luminárias.

Fonte: CPFL (2006).

Na Figura 4 é apresentado o arranjo bilateral alternado das luminárias. Este sistema é utilizado geralmente em vias com tráfego motorizado intenso e largura de pista de rolamento de até 16m. Para vias com tráfego motorizado intenso e largura de pista de rolamento de até 18m, pode-se empregar o arranjo bilateral oposto, alternativa apresentada na Figura 5. E por fim na Figura 6 é apresentada uma opção para vias em que há um canteiro central.

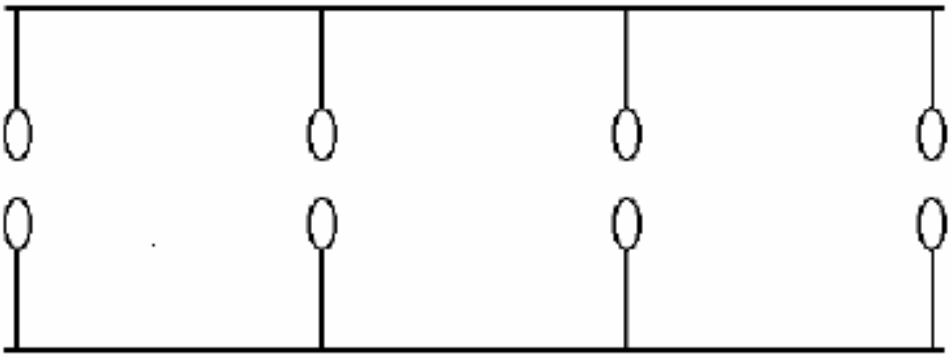


Figura 5 – Arranjo bilateral oposto das luminárias.

Fonte: CPFL (2006).

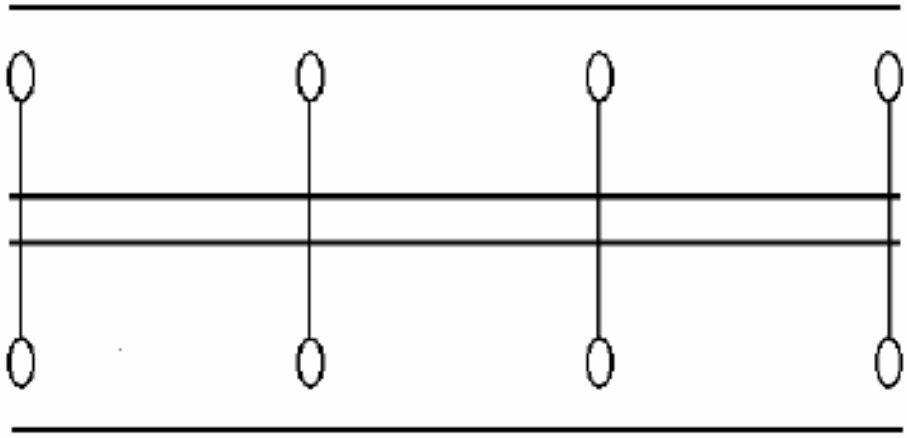


Figura 6 – Arranjo empregado em vias com canteiro central.

Fonte: CPFL (2006).

Além da topologia empregada na configuração do sistema de iluminação, o fluxo luminoso da fonte luminosa e a distribuição fotométrica da luminária são as variáveis restantes e necessárias para concluir o projeto luminotécnico com o intuito de verificar se os níveis de iluminância e fator de

uniformidade definidos pelo critério estabelecido na NBR 5101 foram atendidos. Estas variáveis serão tratadas na seção em que serão discutidas as tecnologias disponíveis para os sistemas de iluminação pública.

Para o projeto de iluminação de espaços públicos com predominância de pedestres, tais como praças, parques, calçadões, não é possível indicar um critério genérico que atenda a todas as situações. Para tanto, cada caso deve ser analisado individualmente. O sistema de iluminação deverá ser projetado com base nas características específicas do espaço público, como por exemplo, a arquitetura local, diferenças de níveis, necessidade de iluminação decorativa para itens como monumentos, jardins, quadras e tipo de uso do local, seja lazer ou comercial.

2.2.4. RELAÇÃO ENTRE A COPEL E AS PREFEITURAS

Conforme apresentado na seção 1. deste manual, está definido pela ANEEL que os acervos de iluminação pública devem ser repassados à pessoa jurídica de direito público. Esta transferência está ocorrendo gradualmente por solicitação da COPEL e em alguns casos pelas próprias prefeituras municipais. Entretanto, com vistas a acelerar este processo, a Companhia determinou que as solicitações de expansão dos sistemas de iluminação pública, em municípios onde os acervos ainda pertencem à distribuidora, só serão efetuadas caso seja feito o repasse dos ativos às municipalidades.

Nas situações em que a responsabilidade pela gestão do sistema de iluminação pública é do município, cabe ao mesmo manter atualizado o cadastro do acervo junto à COPEL, para fins de faturamento, conforme definido no Manual de Instruções Comerciais Título 14 – Módulo 6 – Sistemas de Iluminação Pública. Contudo, com a evolução tecnológica, estão disponíveis no mercado diversos equipamentos que ainda não foram padronizados nacionalmente. Para estes casos, a atualização do cadastro se dará após a comprovação da potência ativa em função da tensão de alimentação do equipamento, medida no ponto de entrega, mediante a ensaios realizados, em laboratórios independentes e de comum acordo com a COPEL, com uma amostra escolhida aleatoriamente dentro do lote fornecido. Não serão aceitos ensaios feitos em protótipos.

A versão original do relatório, com o resultado do ensaio, deverá ser enviada diretamente do laboratório escolhido à COPEL, sendo que a mesma, a seu critério, se reserva o direito de escolher a amostra a ser ensaiada. O valor obtido será utilizado na atualização do cadastro do acervo de iluminação pública.

2.3. TECNOLOGIAS APLICÁVEIS EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Nesta seção serão apresentadas de maneira simplificada algumas tecnologias dos principais equipamentos que compõem os sistemas de iluminação pública, bem como as normativas aplicáveis para a especificação dos mesmos.

2.3.1. FONTES LUMINOSAS

Na sequência serão apresentadas as fontes artificiais de luz comumente utilizadas em iluminação pública.

a) Lâmpada incandescente:

Comercializadas desde 1907, a lâmpada incandescente é a mais popular dentre todas as tecnologias de fontes luminosas disponíveis. A produção da luz ocorre pelo aquecimento de um filamento, normalmente fabricado em tungstênio, por corrente elétrica. Para que não haja a queima precoce do filamento, o mesmo é montado dentro de um bulbo com gases inertes, como o argônio e o nitrogênio.

Figura 7 – Modelo tradicional de lâmpada incandescente.

Fonte: COPEL (2012).

Para os sistemas de iluminação pública esta lâmpada não é indicada devido à sua baixa eficiência luminosa, em torno de 20lm/W, e baixa vida mediana, que é cerca de 1000 horas. No entanto ainda são aplicadas em grande escala em residências, devido principalmente ao baixo custo de aquisição, em comparação com as demais fontes luminosas. Alem disso, o índice de reprodução de cor é de 100% e a temperatura de cor é 2400K, considerada quente, o que proporciona ao ambiente uma maior sensação de conforto.

b) Lâmpada a vapor de mercúrio em alta pressão:

A lâmpada a vapor de mercúrio, comercializada a partir de 1908, tem sua produção de luz através da excitação de gases provocada por corrente elétrica.

Na partida desta lâmpada há a ionização de um gás inerte, em geral o argônio, provocando um aquecimento no bulbo fazendo evaporar o mercúrio e produzindo uma luz amarelada pela migração de elétrons. Na sequência há a ionização do mercúrio e as colisões entre os elétrons livres deste com o argônio produz uma luz azulada, e a composição das duas é o resultado obtido desta lâmpada.

A característica da impedância desta lâmpada após a partida é de alta condutância, sendo necessária a utilização de reatores para limitar a corrente elétrica de alimentação. Estes equipamentos são mais eficientes que as incandescentes e possuem maior vida mediana, sendo muito empregadas em sistemas de iluminação públicas até os dias de hoje.

Figura 8 – Lâmpada a vapor de mercúrio comum em iluminação pública.

Fonte: COPEL (2012).

c) Lâmpada a vapor de sódio em alta pressão:

A lâmpada a vapor de sódio em alta pressão, comercializada a partir de 1955, tem princípio de funcionamento muito similar à vapor de mercúrio, tendo como diferença básica a adição do sódio, e que devido suas características físicas exige que a partida seja feita mediante a um pico de tensão da ordem de alguns quilo Volts com duração da ordem de micro segundos.

Atualmente é a tecnologia mais eficiente para aplicação em sistemas de iluminação pública, sendo largamente empregadas. Inclusive, uma das principais ações do Programa Reluz, citado em 1. , foi a substituição de várias lâmpadas incandescentes e a vapor de mercúrio pelas a vapor de sódio. A grande desvantagem desta fonte luminosa é seu baixo índice de reprodução de cor (IRC), e a cor amarelada da luz emitida.

Figura 9 – Modelos tubular e ovóide de lâmpadas a vapor de sódio, comumente utilizadas em iluminação pública.
Fonte: COPEL (2012).

d) Lâmpada a multivapores metálicos:

Esta lâmpada, comercializada a partir de 1964, é uma evolução da tecnologia a vapor de mercúrio, sendo fisicamente semelhante a vapor de sódio. O princípio é o mesmo, porém a adição de iodetos metálicos, conferiu à fonte luminosa maior eficiência luminosa e IRC. A luz produzida é extremamente brilhante, realçando e valorizando espaços; por estes motivos esta lâmpada é empregada em sistemas de iluminação pública em locais em que se busca também o embelezamento urbano.

e) Lâmpada fluorescente de indução magnética:

Esta tecnologia foi desenvolvida recentemente e o princípio básico de funcionamento é a excitação do mercúrio e dos gases nobres em seu interior através da aplicação de um campo magnético externo oscilante de altíssima freqüência, da ordem de 250kHz. Devido à sua alta vida mediana, em torno de 60000 horas, esta fonte luminosa pode ser utilizada em lugares de difícil acesso, como por exemplo túneis. No entanto, devido ao alto custo e as baixas potências disponíveis (menores que 200W), a aplicação em iluminação viária ainda é inviável.

f) LED:

Tem-se observado a crescente evolução da tecnologia das luminárias para iluminação pública utilizando como fonte luminosa o LED. Diferentemente das lâmpadas incandescentes ou de descarga, que emitem luz através da queima de um filamento ou pela ionização de alguns gases específicos, o LED produz sua luminosidade, basicamente, através da liberação de fótons provocada quando uma corrente elétrica flui através deste componente. Por se tratarem de fontes luminosas com facho de luz bem direcionado, livres de metais pesados, com alta vida mediana, cerca de 50.000 horas, alta eficiência – cerca de 80lm/W, resistentes a vibrações, elevado IRC, e com flexibilidade na escolha da temperatura de cor, há a expectativa de que os equipamentos empregando estes componentes sejam no futuro a alternativa mais viável para sistemas de iluminação. No entanto, atualmente o custo elevado, a falta de normativas a respeito e o desconhecimento do real desempenho de todo o conjunto tornam a aplicação em larga escala inviável.

Na Tabela 4 é apresentado um resumo com as principais características das fontes luminosas utilizadas em sistemas de iluminação pública, apresentadas nesta seção. Os valores indicados são apenas uma referência para comparação entre as tecnologias.

Atualmente, a COPEL utiliza as lâmpadas a vapor de sódio em alta pressão, especificadas na NTC (Norma Técnica COPEL) 810040, em novas instalações de iluminação pública, ou em substituição a sistemas pouco eficientes como as lâmpadas incandescentes. A norma nacional vigente para estes equipamentos é a NBR IEC (*International Electrotechnical Commission*) 60662:1997 – Lâmpadas a vapor de sódio.

A COPEL também conta com a NTC 810039, na qual estão especificadas as lâmpadas a vapor de mercúrio em alta pressão, utilizadas em eventuais manutenções nos sistemas de iluminação pública

mais antigos, onde ainda existem equipamentos com esta tecnologia. Nestes casos não é recomendável a substituição por sódio, pois a discrepância entre as fontes luminosas é muito grande, podendo causar ofuscamentos além de esteticamente não serem adequadas para operarem próximas, haja vista a grande diferença na temperatura de cor e IRC. Também não se faz necessária a substituição das lâmpadas a vapor de mercúrio em parques de iluminação já existentes, pois a eficiência luminosa e a vida mediana destas não são tão inferiores aos das lâmpadas a vapor de sódio, além do custo de aquisição ser inferior. A norma nacional vigente para estes equipamentos é a NBR IEC 60188:1997 - Lâmpadas a vapor de mercúrio de alta pressão.

Tabela 4 – Comparativo entre as tecnologias.

Tecnologia	Temperatura de cor (K)	IRC (%)	Eficiência luminosa (lm/W)	Vida mediana (horas)
Incandescente	2700	100	10-20	1000
Vapor de mercúrio	3000-4000	40-55	45-58	9000-15000
Vapor de sódio	2000	22	80-150	18000-32000
Vapor metálico	3000-6000	65-85	65-90	8000-12000
Indução	4000	80-90	80-110	60000

Fonte: adaptado de Guerrini (2007) e Silva (2006).

2.3.2. REATORES

As lâmpadas, cujos princípios de funcionamento se baseiam na produção de luz pela excitação de gases, têm uma característica de acionamento elétrico mais elaborado que as incandescentes, por exemplo, que se comportam como resistências puras e funcionam conectadas diretamente a rede elétrica. Em geral, antes de entrarem em funcionamento, a carga das lâmpadas de descarga é enxergada pela alimentação como um circuito aberto, com altíssima impedância, no entanto depois de ionizado os gases, a impedância atinge valores muito baixos, fazendo com que a lâmpada se comporte como um curto circuito.

Para vencer a alta impedância inicial da partida, algumas lâmpadas são dotadas internamente de eletrodos auxiliares, que é o caso, por exemplo, da lâmpada a vapor de mercúrio. Em outros casos, como por exemplo a lâmpada a vapor de sódio, é necessário aplicar por um curto período, da ordem de

micro segundos, uma elevada tensão, que pode chegar a alguns quilo Volts. Para isto é comumente utilizado um componente chamado ignitor.

Após o acendimento da lâmpada de descarga, sua impedância cai a valores muito baixos. Então, para que limitar a corrente de alimentação, é utilizado um reator. Basicamente existem duas tecnologias disponíveis para reatores, os magnéticos e os eletrônicos.

Os reatores eletrônicos são fontes chaveadas em alta frequência, da ordem de quilo Hertz, que controlam a corrente de alimentação da lâmpada. Estes equipamentos, diferentemente dos reatores magnéticos, dispensam o uso de ignitores e de grandes capacitores externos para a correção do fator de potência. Possibilitam também o controle de outros parâmetros elétricos da lâmpada, conferindo maior vida útil para a mesma e maior rendimento em todo o conjunto. Contudo, devido ao alto custo e a menor robustez, se comparado ao magnético, ainda não foram amplamente empregados.

Os reatores magnéticos são indutores dimensionados para operarem na frequência da rede elétrica. Podem ser subdivididos em externos e internos, dependendo da aplicação. Os externos são geralmente fixados na estrutura de sustentação e se necessário possibilitam a conexão com os relés fotoelétricos. Junto com o indutor, no interior do reator são instalados o ignitor e um capacitor para correção do fator de potência.

Um fator muito importante na especificação dos reatores magnéticos é o seu rendimento, pois depende diretamente da qualidade da matéria-prima utilizada nos fios de cobre e chapas de ferro silício, do processo produtivo e da otimização do projeto do indutor. O uso de reatores com baixo rendimento aumenta o consumo de energia do ponto de iluminação desnecessariamente. Com vistas na eficiência energética, o Ministério de Minas e Energia publicou em dezembro de 2010 a Portaria Interministerial nº 959, que determina um valor máximo admissível para as perdas dos reatores magnéticos, utilizados em lâmpadas a vapor de sódio em alta pressão e a vapor metálico, fabricados e comercializados no Brasil. Segundo a portaria, a data limite para a comercialização, por parte de atacadistas e varejistas, de equipamentos que não atendam as determinações é 31 de dezembro de 2012, para os fabricantes e importadores o prazo é 30 de junho de 2012 e a fabricação e importação será permitida até 31 de dezembro de 2011.

Na COPEL a preferência é pela utilização de luminárias integradas e consequentemente reatores internos, pois simplificam a manutenção visto que todos os componentes necessários ficam instalados na luminária. As especificações da Companhia para os reatores externos para lâmpada a

vapor de sódio estão na NTC 810042, já para os internos é utilizada a NTC 810038. As perdas especificadas nestas normas já estavam em conformidade, e em alguns casos, são até mais rígidas do que o exigido na Portaria 959. A norma nacional vigente para estes equipamentos é a NBR 13593:2011 - Reator e ignitor para lâmpada a vapor de sódio a alta pressão — Especificação e ensaios.

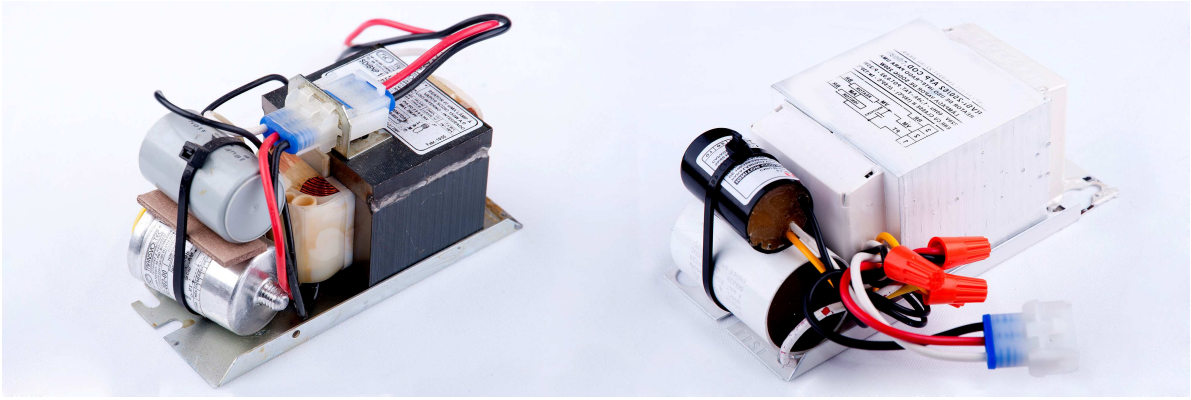


Figura 10 – Reator interno.

Fonte: COPEL (2012).

Figura 11 – Modelo de reator externo para lâmpada a vapor de mercúrio de 250W, com tomada para relé fotoelétrico.

Fonte: COPEL (2012).

2.3.3. CIRCUITOS DE COMANDO

No início do desenvolvimento dos sistemas de iluminação pública, o acionamento dos circuitos era feito por uma pessoa designada para tal. Hoje, devido a enorme quantidade de pontos de iluminação, esta prática é inimaginável. Então, ao longo dos anos vários equipamentos foram desenvolvidos e aperfeiçoados para efetuar esta tarefa automaticamente.

Popularmente no mercado há diversos equipamentos disponíveis para comutar uma carga automaticamente, tendo como referência um horário pré-determinado, movimento ou nível de iluminância. Como o objetivo principal da iluminação pública é prover luz aos ambientes públicos no período noturno, os sensores baseados em níveis de iluminância foram amplamente empregados, também por apresentarem baixo custo. A estes equipamentos se dá a nomenclatura de relé fotoelétrico.

Os relés fotoelétricos podem ter princípios de funcionamento denominados térmicos, magnéticos e eletrônicos. O acionamento por princípio térmico se dá através da deformação de lâminas bimetálicas, devido à passagem de uma corrente elétrica, que só ocorre quando o nível de iluminância atinge valor suficiente para sensibilizar o sensor fotoelétrico. No relé magnético é utilizada uma chave eletromecânica, que alterna a posição de seus pólos através da força gerada por um campo magnético induzido por uma corrente elétrica fluindo em sua bobina; esta corrente também é originada pela sensibilização da célula fotoelétrica. Relés com acionamento eletrônico também utilizam chaves eletromecânicas, porém a corrente de acionamento das chaves provém de circuitos eletrônicos que, a partir das alterações da fotocélula, podem ser projetados de maneira a prover temporizações, proteções de sobrecorrentes e sobretensões ou estresses na própria chave, conferindo maior durabilidade ao equipamento.

Figura 12 – Exemplos de modelos de relés fotoelétricos.

Fonte: COPEL (2012).

Devido ao baixo custo de fabricação e razoável durabilidade, os relés com acionamentos magnéticos e eletrônicos são os mais utilizados atualmente nos sistemas de iluminação pública, tanto para comandos individuais quanto para comandos em grupo de circuitos. Na COPEL estas duas tecnologias estão padronizadas através da NTC 810035, e na grande maioria dos casos são utilizados para comandos individuais de pontos de iluminação. A expectativa é em breve utilizar apenas os relés com acionamento eletrônico, caso se confirme melhora na relação custo e benefício. A norma nacional vigente para estes equipamentos é a NBR 5123:1998 - Relé fotelétrico e tomada para iluminação - Especificação e método de ensaio.

2.3.4. LUMINÁRIAS

Inicialmente as luminárias tinham por função apenas servir de sustentação e interface de conexão entre as lâmpadas e a rede elétrica. Na Figura 13 é apresentada uma luminária antiga e inadequada, utilizada em iluminação pública, nesta situação é possível observar que a fonte luminosa está exposta a intempéries e outros agentes como vandalismo, insetos, além de não prover o direcionamento do fluxo luminoso adequado para o local onde se deseja iluminar.

Figura 13 – Luminária inadequada para utilização em iluminação pública.

Fonte: COPEL (2012).

Objetivando aumentar a eficiência luminosa da luminária, foram desenvolvidos diversos tipos de conjuntos ópticos, com a função de direcionar a maior parte do fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas para iluminar apenas as áreas de interesse, reduzindo consequentemente a poluição luminosa causada pela dispersão de luminosidade, exemplificada na Figura 14. Ainda hoje se encontram muitas luminárias que têm um conjunto óptico razoável, porém são abertas, deixando as lâmpadas expostas a choques térmicos e incidência de insetos, reduzindo sua vida útil. Então, evoluindo o conceito de projeto das luminárias, foram desenvolvidos equipamentos fechados em materiais poliméricos ou vidro, exemplificado na Figura 15.

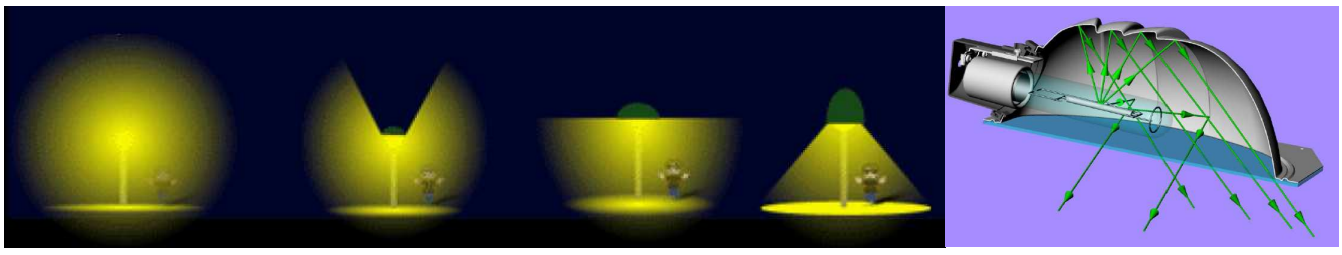


Figura 14 – Da esquerda para a direita está exemplificado o aumento na eficiencia luminosa das luminárias. Conjunto óptico eficiente.

Fonte: Indal (2011).

Com a luminária apresentada na Figura 15, os equipamentos necessários para o funcionamento da lâmpada – reatores e relés fotoelétricos – devem ser instalados nos postes. Além da poluição visual causada pelos próprios equipamentos e as fiações, a distância física entre estes e a luminária dificulta a manutenção, visto que em caso de falhas, todos os componentes devem ser verificados. Frente a isto, a mais recente evolução no projeto das luminárias, são equipamentos que, além do dimensionamento adequado do conjunto óptico e proteção das lâmpadas, têm espaço interno suficiente para instalação dos reatores e na parte superior uma tomada para os relés fotoelétricos, ilustrado na Figura 16, denominada popularmente de luminária integrada.

Figura 15 – Um modelo de luminária fechada sem equipamento.

Fonte: COPEL (2012).

A COPEL ainda utiliza as luminárias fechadas sem equipamento, especificadas na NTC 810037, no entanto a preferência é pelo uso de luminárias integradas, sob NTC 810038. A norma nacional para ambos os equipamentos é a NBR 15129:2004 Luminárias para iluminação pública - Requisitos particulares.

Figura 16 – Exemplo de uma luminária integrada.

Fonte: COPEL (2012).

2.3.5. BRAÇOS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Os braços para iluminação pública são equipamentos metálicos e têm por funções básicas servirem de sustentação para as luminárias e de eletroduto para a fiação necessária para a conexão do ponto de iluminação à rede elétrica.

No que diz respeito à distribuição de luminosidade, o ângulo de fixação da luminária em relação à horizontal, proporcionada pelo braço, tem fundamental importância, pois pode comprometer o desempenho do conjunto óptico. Sendo assim as especificações de ambos equipamentos devem estar de acordo neste quesito. A COPEL utiliza braços com inclinação de 15º.

Os braços devem ser suficientemente resistentes mecanicamente para suportar o peso das luminárias e também os esforços provocados pelas mesmas sob ação de ventos ou chuvas, além de serem fabricados em materiais com proteção contra corrosão.

Existem infinitas possibilidades de construção de braços para iluminação pública, dependendo da necessidade. No entanto, para a maioria dos casos a COPEL utiliza basicamente os três tipos apresentados a seguir, especificados na NTC 810044:

a) Tipo BR-1:

Aplicáveis para a instalação de luminárias do tipo LM-1R e LM-70, com lâmpadas de sódio até 70W.

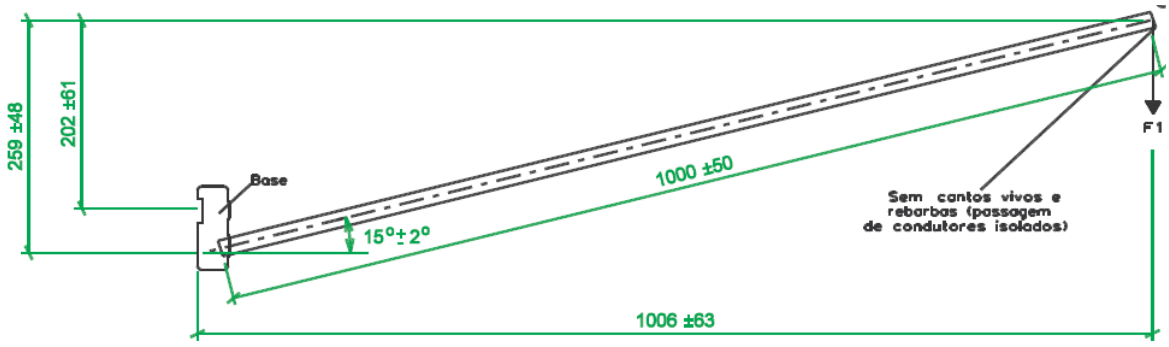


Figura 17 – Braço padrão COPEL tipo BR-1.

Fonte: COPEL (2009).

b) Tipo BR-2:

Aplicáveis para a instalação de luminárias do tipo LM-100, LM-150, LM-250 e LM-3, com lâmpada a vapor de sódio de até 250W.

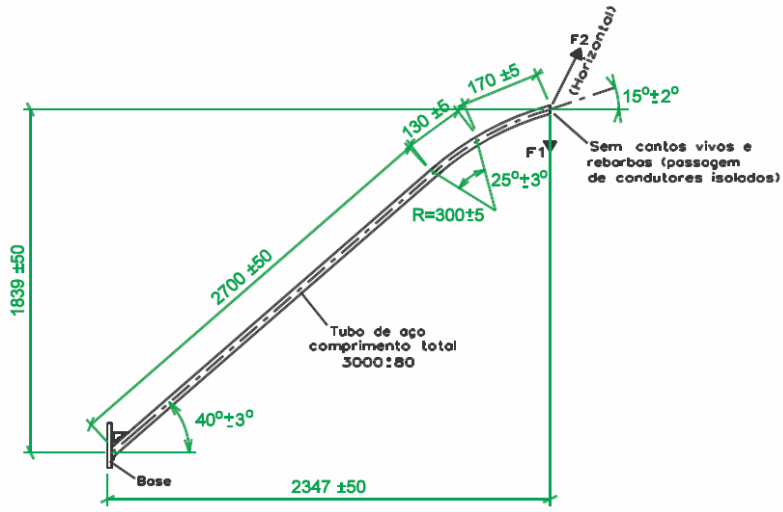


Figura 18 – Braço padrão COPEL tipo BR-2.

Fonte: COPEL (2009).

c) Tipo BR-3:

Aplicáveis para a instalação de luminárias do tipo LM-400 e LM-8, com lâmpada a vapor de sódio de 400W.

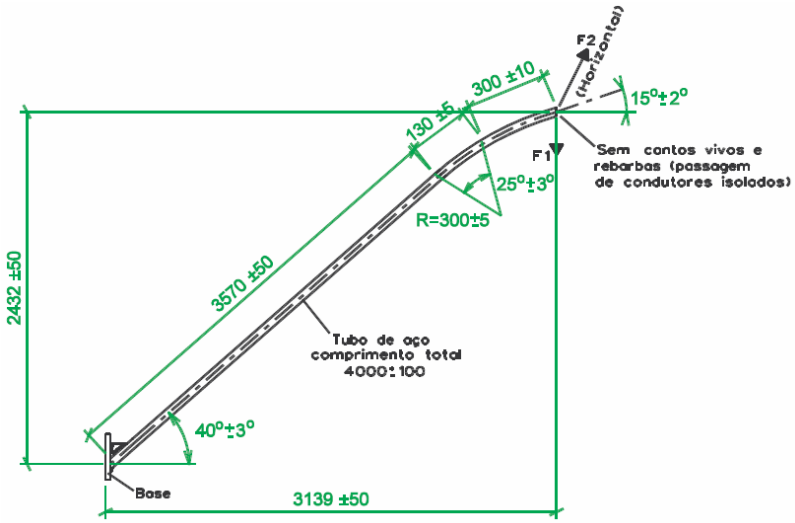


Figura 19 – Braço padrão COPEL tipo BR-3.

Fonte: COPEL (2009).

Atualmente não há normas nacionais específicas para os braços de iluminação pública. No entanto, existem várias normas relativas aos produtos de ferro ou aço fundido, que são aplicáveis a estes equipamentos. Provavelmente na próxima versão da NBR 8159:1984 – Ferragens Eletrotécnicas para Redes Aéreas, Urbanas e Rurais de Distribuição de Energia – serão padronizados alguns modelos de braços.

2.3.6. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Na sequência serão apresentados alguns exemplos de aplicação dos equipamentos descritos anteriormente, com o objetivo de evidenciar o resultado de boas e más práticas nos projetos e manutenção dos sistemas de iluminação pública.

Na Figura 20 é apresentado uma via local com iluminação deficiente. O arranjo da disposição das luminárias é unilateral. As lâmpadas utilizadas são a vapor de mercúrio de 80W, depreciadas e instaladas em luminárias abertas com braços tipo BR-1. Observa-se que entre os pontos de iluminação existem regiões mais escuras, produzindo um efeito conhecido por “zebramento”,

Uma via coletora iluminada de maneira eficiente é apresentada na Figura 21. Nesta situação são utilizadas luminárias integradas instaladas em braços do tipo BR-2, com lâmpadas a vapor de sódio de 250W. Os pontos de iluminação estão no canteiro central. É possível notar que a distribuição da luminosidade é uniforme inclusive nas calçadas.

Um exemplo de iluminação utilizando lâmpadas a vapor metálico é apresentado na Figura 22. Observa-se uma significativa melhora na definição das cores do local, em comparação com a situação da Figura 21. Isto é consequência direta das características físicas de cada tecnologia de fonte luminosa resumida na Tabela 4, visto que o IRC das lâmpadas a vapor metálico se situa entre 65% e 85%, valor elevado se comparado aos 22% dos equipamentos a vapor de sódio. É utilizada a topologia unilateral nas pistas de rolamento destinadas aos veículos e bilateral alternada para as pistas exclusivas para o tráfego de ônibus.

Figura 20 – Via local iluminada unilateralmente com luminárias abertas e lâmpadas a vapor de mercúrio 80W já depreciadas.

Fonte: COPEL (2011).

Figura 21 – Via coletora com canteiro central iluminada com luminárias integradas e lâmpadas a vapor de sódio 250W.

Fonte: COPEL (2011).

Figura 22 – Via coletora iluminada luminárias integradas e lâmpadas a vapor metálico.

Fonte: COPEL (2011).

2.3.7. EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS – LUMINÁRIAS COM LED'S E ECONOMIZADORES

Como base para a especificação de qualquer material ou equipamento, sugere-se buscar informações prioritariamente nas normativas oficiais publicadas por organismos regulamentadores, como a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, por exemplo. Caso não existam normas para um determinado equipamento, como ainda é o caso das luminárias com LED's e dos economizadores, alguns cuidados, mencionados a seguir, devem ser tomados para minimizar a possibilidade de aquisição de produtos de baixa qualidade no que tange a pelo menos seu desempenho elétrico, o que pode acarretar em problemas na rede elétrica na qual estarão instalados, comprometendo inclusive o funcionamento de outros equipamentos conectados à mesma rede.

Na ausência de uma normativa efetiva, o desempenho funcional de equipamentos de iluminação pública podem ser estudados a partir de testes de durabilidade, em campo ou que simulem as reais condições de operação. Já a verificação do desempenho elétrico deve ser feita avaliando no mínimo dois parâmetros básicos: a distorção harmônica total da corrente absorvida (THDi) e o fator de potência (FP).

O primeiro parâmetro a ser verificado é o THDi, apresentado em 2.1.8. A propagação de uma corrente com elevada THDi na rede elétrica pode afetar o funcionamento de outros equipamentos conectados ao sistema, especialmente os de características eletrônicos e de precisão, próximos a fonte de distorção através de interferências eletromagnéticas ou ainda por ruídos propagados por condução. Há também a possibilidade de as capacitâncias e indutâncias presentes na rede formarem circuitos ressonantes nas frequências das componentes harmônicas da corrente distorcida, gerando picos de corrente e sobretensões prejudicando outros componentes do sistema elétrico.

Portanto, recomenda-se, que medida no ponto de entrega, a distorção harmônica total da corrente consumida pelo equipamento não seja superior a 33% de sua componente fundamental (60Hz). Esta recomendação é uma adaptação do critério estabelecido na IEC 61000-3-2:2005, e deve ser verificada para todos os valores de tensão de alimentação especificados pelos seus respectivos fabricantes ou fornecedores. Também é possível utilizar diretamente a tabela de referência para os equipamentos de iluminação, constante na norma supracitada, em que são limitados os valores de THDi para cada ordem específica de harmônico gerado, haja visto que cada componente harmônica tem seu efeito particular e indesejável na rede elétrica.

Tabela 5 – Limites para distorção harmônica da corrente

Ordem da componente harmônica (n)	Máximo valor eficaz da componente harmônica da corrente expresso em termos percentuais (%) da componente fundamental (60Hz)
2	2
3	30xFP*
5	10
7	7
9	5
11 ≤ n ≤ 39 (apenas os harmônicos ímpares)	3

* O máximo valor admitido é trinta multiplicado pelo fator de potência absoluto da carga, que pode assumir valores entre zero e um.

Nota: a composição deste valores, considerando um fator de potência de 0,92, resulta em uma distorção harmônica total máxima de 33%.

Fonte: adaptado da norma IEC 61000-3-2 (2005).

O segundo parâmetro que se deve verificar é o fator de potência (FP), pois assumindo valores muito baixos, pode causar os seguintes problemas na rede elétrica:

a) Aumento na corrente que flui através do neutro, causando sobreaquecimento nos condutores.

b) Distorção na tensão de alimentação do sistema, afetando o funcionamento de outros equipamentos conectados a rede.

c) Redução da capacidade de fornecimento da energia ativa, pois a energia reativa solicitada por cargas com baixo fator de potência também demanda ocupação dos condutores.

d) Aumento das perdas nos transformadores. Além do aumento da corrente que flui através do neutro, outra fonte de perda, ocasionada por cargas com baixo fator de potência, é a elevação das correntes de fuga.

e) Com característica capacitiva, um baixo fator de potência pode ocasionar sobretensões.

Assim sendo, medido no ponto de entrega, o fator de potência do equipamento não pode ser inferior a 0,92, conforme a Resolução Normativa nº 414 de 2010 – ANEEL, e deve ser verificado para

todos os valores de tensão de alimentação especificados pelos seus respectivos fabricantes ou fornecedores.

Como se trata de equipamentos de características eletroeletrônicas, a verificação do fator de potência só será eficaz se a medição for realizada utilizando analisadores de qualidade de energia, pois a medição tradicional deste parâmetro, que avalia apenas o ângulo de defasamento entre a tensão e a corrente, desconsidera o efeito das distorções harmônicas (THDi). Além disto, a verificação de ambos os parâmetros deve ser feita em laboratórios independentes.

2.3.8. AQUISIÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Devido ao grande número e diversidade de fabricantes e fornecedores de equipamentos para iluminação pública e ao fato de que a maioria das instituições responsáveis pela gestão do sistema é de administração pública, o processo de aquisição dos materiais se torna um dos pontos chaves para se garantir a qualidade dos mesmos.

Segundo a Lei Federal nº 8.666, junho de 1993, os processos de aquisição para empresas públicas devem ser feitos via licitação, em que o critério de escolha dos fornecedores é, em geral, o menor preço. Então, deve haver alguma estrutura para se garantir que os equipamentos adquiridos atendam a requisitos mínimos de qualidade.

Para contornar este problema, recomenda-se que pelo menos três ações básicas de motivação técnica sejam tomadas em concordância com os processos licitatórios, listadas a seguir:

a) Especificação técnica

Nesta etapa se deve estudar profundamente o que se deseja adquirir, observar as normativas vigentes, e elaborar uma especificação de maneira a contemplar a funcionalidade principal, características físicas desejadas para o equipamento em questão e os ensaios necessários para verificar a qualidade do mesmo.

b) Pré-qualificação

Em geral, os equipamentos destinados à iluminação pública necessitam de pelo menos alguns meses para serem avaliados de forma adequada. Então, para que isto não implique em atrasos nos processos licitatórios, recomenda-se que os fornecedores ou fabricantes sejam avaliados antes das licitações através de, por exemplo, testes em campo com amostras, atestados de fornecimentos,

apresentação de relatórios de ensaios realizados em laboratórios independentes que comprovem o atendimento dos equipamentos à especificação elaborada.

O objetivo deste processo é limitar a participação nas licitações apenas para os fornecedores ou fabricantes com protótipos pré-qualificados. Com isto, é possível ter uma noção prévia das características dos equipamentos que possivelmente serão adquiridos.

c) Inspeção de recebimento

Nas normas nacionais vigentes são especificados vários ensaios de recebimento, possíveis de serem realizados em tempo hábil, para verificar a qualidade dos materiais, reduzindo as chances de que, mesmo havendo uma pré-qualificação dos protótipos, sejam fornecidos equipamentos similares aos previamente avaliados, porém de baixa qualidade.

Um fator que pode dificultar a inspeção de recebimento é a falta de recursos humanos para executá-la. Uma alternativa viável para isto é solicitar, na especificação do equipamento a ser adquirido, a realização dos ensaios de recebimento em laboratórios independentes, sendo apresentados apenas os laudos.

2.4. PADRÕES DE MONTAGEM DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Devido à grande diversidade de equipamentos existentes para aplicação em iluminação pública, é impossível estipular um padrão de montagem que abranja a todas as situações. No entanto, para os materiais apresentados nas seções anteriores, a COPEL dispõe em seu banco de dados um conjunto de NTC's – a partir da 848500 até 848688 – relativas à montagem dos mesmos.

Nestas normas são apresentados detalhadamente os posicionamentos dos componentes envolvidos na montagem do sistema de iluminação pública, as diversas possibilidades de arranjos de montagem indicada para cada situação ou topologia escolhida para o projeto do sistema, as listas de materiais necessários para cada configuração e os espaçamentos mínimos de segurança a serem respeitados entre os equipamentos e a rede elétrica.

2.5. ILUMINAÇÃO PÚBLICA E A ARBORIZAÇÃO URBANA

A arborização urbana, caracterizada pela vegetação que compõe o cenário ou a paisagem das cidades, tem uma função fundamental na melhoria da qualidade de vida da população, proporcionando aos municípios benefícios ecológicos, estéticos, econômicos e sociais. No entanto, em especial as

árvores de médio e grande porte competem fisicamente com a arquitetura, com as estruturas de rede elétrica, telefonia e a iluminação pública.

Na relação entre a iluminação pública e a arborização, além da interferência desta no funcionamento das redes elétricas, a obstrução das luminárias é um fato que deve ser tratado minuciosamente, pois pode comprometer a eficiência e qualidade do serviço de iluminação. Existem equipamentos específicos para aplicação em locais densamente arborizados, no entanto a ação mais efetiva é o planejamento cuidadoso e a manutenção adequada da arborização.

Para tanto, com o objetivo de auxiliar os municípios a planejar a arborização urbana e minimizar os conflitos das árvores com as redes aéreas e consequentemente com a iluminação pública, a COPEL criou o Programa de Responsabilidade Socioambiental de Arborização Urbana. Com este programa a Companhia pode firmar convênios com os municípios interessados, mediante anuência da Casa Civil do Estado do Paraná, visando a substituição de árvores inadequadas sob redes de energia. Os municípios interessados em aderirem ao programa, devem apresentar um plano de arborização para a COPEL. Em cada um dos cinco escritórios regionais da concessionária, há técnicos florestais que poderão melhor orientar as prefeituras interessadas na parceria, e em sua página oficial, cujo endereço é www.copel.com, está publicado o Guia de Arborização de Vias Públicas, que tem por objetivo oferecer informações técnicas e práticas sobre espécies mais indicadas para utilização em projetos de embelezamento e paisagismo nas vias públicas, orientando o processo de escolha de espécies de maneira a minimizar, no futuro, conflitos com as redes de distribuição de energia.

3. REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 5101** – Iluminação pública. 1992.

ANEEL. **Nota técnica n° 021/2011-SRC/ANEEL**, de 25 de agosto de 2011. Disponível em: <www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2011/049/documento/nt-021_2011_art_218.pdf> Acesso em: outubro de 2011.

ANEEL. **Portaria Interministerial nº 959**, 9 de dezembro de 2010. Disponível em: <www.aneel.gov.br/cedoc/pri2010959.pdf> Acesso em: outubro de 2011.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 414**, 9 de setembro de 2010. Disponível em: <www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf> Acesso em: outubro de 2011.

BRASIL. **Constituição**, 1988.

BRASIL. **Lei nº 8.666**, 21 de junho de 1993.

BRASIL. **Lei nº 9.503 – Código de Trânsito Brasileiro**, 23 de setembro de 1997. Diário Oficial da União de 24 de setembro de 1997.

COPEL. **Arborização de vias públicas. Guia para os municípios**. 2008. Disponível em: <www.copel.com/hpcopel/guia_arb/> Acesso em: outubro de 2011.

COPEL. **Manual de instruções comerciais nº 14 – Módulo 6: Iluminação Pública**. Documento interno. 2009.

COPEL. **Norma Técnica COPEL nº 810044 – Braços de Iluminação Pública**. 2009. Disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcArquivos.nsf/53FB6DE69DDFD5B30325758A006FE37F/$FILE/ntc810044.pdf> Acesso em: novembro de 2011.

CPFL Energia. **Projeto – Iluminação Pública**. 2006. Disponível em: <www.cpfl.com.br/LinkClick.aspx?fileticket=hfMh4LMEWHk%3D&tabid=310&mid=1083> Acesso em: outubro de 2011.

GUERRINI, Délio Pereira. **IluminaçãoTeoria e Projeto**. 1º Edição. São Paulo: Érica Ltda, 2007.

MARTINS, José M. V. **Eficiência energética em iluminação pública**. 2002. 218 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, 2002.

PALESTRA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA. Curitiba: Indal. 2011.

PORTUGAL, Secretaria de Estado da Energia e da Inovação, Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento, Associação das Agências de Energia e Ambiente, Agência para a Energia, EDP Distribuição, Lighting Living-Lab, Centro Português de Iluminação Pública, Associação Nacional de Municípios. **Eficiência energética na iluminação pública – documento de referência**. 2011. Disponível em: <www.renewable.pt/SiteCollectionDocuments/RNAE_DocReferencia_EficienciaEnergetica_IluminacaoPublica_Jan2011_2.pdf> Acesso em: outubro de 2011.

SCHULZ NETO, Willy. **Iluminação Pública**. Série de cadernos técnicos da agenda parlamentar. CREA-PR. Disponível em: <www.creapr.org.br/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=533:iluminacao-publica&id=37:cadernos-tecnicos> Acesso em: outubro de 2011.

SILVA, Lourenço L. F. de. **Iluminação pública no Brasil: aspectos energéticos e institucionais**. 2006. 172 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.