

# Tecnologia SSL (WLEDi) em Campi da Universidade de São Paulo

E. C. Burini Junior, *researcher at SICADEE, IEE/USP*, M. O. Jesus, *SICADEE, IEE/USP*; A. G. Kanashiro, *PPGE, IEE/USP*

**Resumo**—Resultados de levantamentos realizados em campo, de experimentos conduzidos em laboratório a partir de diferentes equipamentos para iluminação viária estão apresentados e considerados. Na parte realizada em campo foram amostradas iluminâncias, luminâncias, temperaturas de cor correlata. Na parte laboratorial foram considerados procedimentos: fotométrico e radiométrico rotineiros e experimentais para a determinação de parâmetros de interesse, principalmente, o fluxo luminoso em esfera de Ulbricht e cálculo da eficiência luminosa. Os resultados indicam alguns referenciais importantes, os principais: não ter sido detectada depreciação luminosa significativa ao longo de seis mil horas pela nova instalação com luz branca no campus USP na CUASO; necessidade de avanço experimental para ampliar conhecimentos sobre metodologia e desvios, em particular, com a tecnologia SSL (WLED inorgânico).

**Palavras-chave**— Equipamentos e métodos de medição campo e/ou laboratório; Fonte (de luz) primária; Iluminância; Luminância; Coeficiente de luminância; Educação.

## Lista de abreviaturas

CUASO – Campus da Universidade de São Paulo,  
Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira;  
IEE – Instituto de Energia e Ambiente;  
 $D_{uv}$  – Dimensão sobre isotérmica em espaço  $u'v'$  CIE 1976;  
IP – Iluminação Pública;  
WLEDi - Diodo emissor de luz branca inorgânico  
(*Inorganic White Light Emitting Diode*);  
LVSAP – Lâmpada a Vapor de Sódio a Alta Pressão;  
q – Coeficiente de luminância;  
MVM – Multivapores metálicos (lâmpada);  
PTFE – Politetrafluoretileno (Teflon é uma marca registrada);  
SICADEE - Serviço Técnico de Sistemas de Iluminação,  
Condicionamento Ambiental e Desempenho  
Energético de Edificações;  
SSL – *Solid State Lighting*;  
 $T_{cp}$  – Temperatura de cor correlata;  
USP - Universidade de São Paulo.

## I. INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) proclamou 2015

como sendo o Ano Internacional da luz e tecnologias associadas (IYL 2015). Trata-se de estratégia para promover eventos e ações, por todo o globo, aos novos desafios desta área do conhecimento, particularmente, em temas de energia, educação, agricultura e saúde. A luz está sendo considerada neste início de século elemento transversal no âmbito das ciências e desempenha papel importante no dia a dia do mundo globalizado [1]. A iluminação representa cerca de 20 % do consumo global de eletricidade, segundo a Agência Internacional de Energia. Atualmente a luz está vinculada a capacidade de desenvolvimento das sociedades a partir da habilidade em iluminar eficientemente áreas acessadas pelo ser humano, exteriores e interiores (as moradias e cidades). Ambientes bem iluminados facilitam acesso à educação, a iluminação pode ser instrumento para destacar elementos da arquitetura, e induzir melhoria à qualidade de vida [2].

A tecnologia da lâmpada a Vapor de Sódio a Alta Pressão (VSAP) tem sido dominante na iluminação pública exterior do Brasil nos últimos 25 anos. Atualmente a tecnologia de iluminação a partir da eletroluminescência (do inglês, *Solid State Lighting - SSL*) está sendo introduzida e permitindo o retorno à luz branca; abrindo a possibilidade de melhoria para a eficiência luminosa em uso final (base fotópica), conseqüente redução no consumo de energia elétrica e melhorias na gestão da iluminação viária. A iluminação viária na Universidade de São Paulo, campus Butantã (São Paulo), campus Ribeirão Preto, Pirassununga e São Carlos já incorporaram equipamentos tipo SSL, aproximadamente quinze mil luminárias LEDi (*Light Emitting Diode*, inorgânico) para a iluminação exterior (vias, ruas e áreas públicas como parques de estacionamento). No campus da cidade de São Paulo (CUASO) a nova instalação está em funcionamento desde o mês de Setembro/2013, tendo sido concluída a nova instalação com mais de sete mil unidades de luz elétrica, a luz branca voltou à CUASO. No certame licitatório de luminárias, tipo SSL, entre os requisitos foi estabelecida a eficiência luminosa mínima de 85 lm/W. Cabe ressaltar que até agora não está indicada prescrição para limitar a dose ou mesmo fixado um método simplificado para que a radiação ultravioleta (UV) e a radiação óptica na banda do azul, potencialmente perigosa, emitidas seja por lâmpada, seja por WLEDi, possa ser identificada e/ou avaliada.

A mudança da tecnologia VSAP para WLEDi, aparentemente, da luz amarela (dourada) para a luz branca traz associada a necessidade de que sejam considerados conceitos

E. C. Burini Junior é pesquisador no SICADEE/IEE/USP, Av. Prof. Luciano Gualberto, n. 1289, CEP: 05508-010, Cidade Universitária – São Paulo – SP, Brasil (e-mail: elvo@iee.usp.br). Este trabalho teve suporte parcial do projeto binacional CAPES-SPU sob número 48/2013.

M. O. Jesus é físico e atua no SICADEE/IEE/USP, Cidade Universitária – São Paulo – SP, Brasil (e-mail: mjesus@iee.usp.br);

A. G. Kanashiro é professor junto ao PPGE e EPUSP, atualmente atua como supervisor do SICADEE/IEE/USP (e-mail: arnaldo@iee.usp.br).

relacionados com a sensibilidade visual dos usuários e diferentes espaços cromáticos. O diagrama de cromaticidade (CIE 1931) não é um espaço uniforme, porém, é o espaço que tem sido utilizado com maior frequência para a representação cromática (coordenadas de cromaticidade:  $x$ ,  $y$ ) de fonte tipo WLEDi. Uma especificação do *American National Standards Institute* (ANSI) é destinada ao estabelecimento de limites para a luz branca, a ANSI C78.377-2008 [3] utiliza seis elipses (fonte tipo fluorescente) e oito paralelogramos (tipo LED) no espaço de coordenadas de cromaticidade ( $x$ ,  $y$ ; CIE 1931) para a delimitação das regiões válidas (ver Fig. 1).

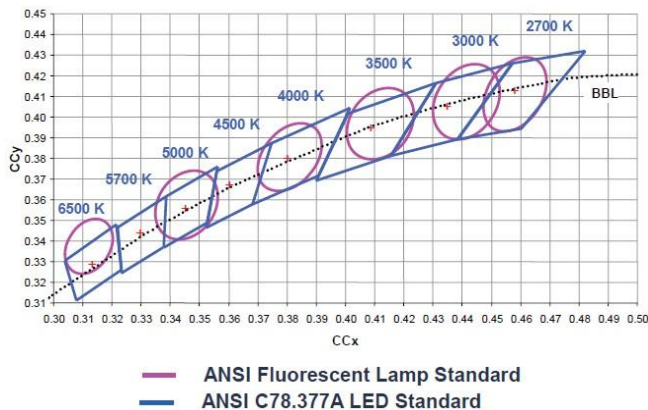


Fig. 1– Diagrama de cromaticidade CIE 1931, em plano cartesiano, contendo o lugar geométrico (Lócus) do corpo negro (*Black Bodie Locus* – BBL) e limites para fontes de luz branca conforme prescrições ANSI [3].

Na Fig. 1 estão apresentados limites de cromaticidades para duas prescrições ANSI no diagrama CIE 1931, as elipses de MacAdam que foram estabelecidas para serem utilizadas com a tecnologia da lâmpada fluorescente, conjuntamente com os paralelogramos que representam os limites definidos para WLEDi [3].

Em breve deveremos ter acesso a parâmetros elétricos dos novos equipamentos para a iluminação viária na CUASO e outros campi, diariamente, os quais serão mantidos em ambiente tipo “nuven”. Existindo acesso, ao menos sobre alguns pontos de luz em área definida possibilitará avaliar metodologia para alteração/redução na saída de luz ou possíveis desligamentos de pontos de luz ou circuitos (talvez no período entre as vinte e três horas - cinco horas). Além da comutação remota e em tempo real de pontos, identificar possível efeito indesejável da instalação de iluminação aos usuários como o ofuscamento é avaliação pretendida sobre melhorias da gestão, em particular, na busca pelo maior conforto dos usuários, redução da luz “perdida” e consumo de eletricidade [4]. Pelo prisma do equipamento alguns temas são considerados “externalidades”, eles deverão receber consideração ao longo dos trabalhos na CUASO num período de alguns anos.

## II. OBJETIVO

O presente artigo apresenta amostragens e considera registros realizados a partir de equipamentos e sistema para iluminação viária. Um foco está sobre requisitos fixados para

iluminação viária, como a revisão da ABNT NBR 5101 [5] e etiquetagem, Portaria INMETRO n. 317 [6], também é buscado identificar propriedades e qualidades de componentes e equipamentos de sistema para iluminação [7]. A partir dos resultados deste trabalho a expansão do conhecimento sobre o novo sistema de iluminação da USP (CUASO), aferir qualidades e confiabilidade de procedimentos para a tecnologia SSL (do inglês, *Solid State Lighting*) são buscados.

## III. METODOLOGIA

Os registros de campo foram coletados após a fase de implantação do projeto na Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira (CUASO), no mês de Novembro/2013, para a iluminação (luz branca) a partir da tecnologia SSL (WLEDi) instalado em lugar das tecnologias VSAP e MVM. As medições iniciais possibilitaram amostrar, além da tecnologia WLEDi, as instalações existentes e que ainda ocorriam durante o período da substituição de equipamentos ao longo das vias. Portanto, três tipos de equipamentos para iluminação foram amostrados na primeira etapa do chamado experimento em campo, o qual foi repetido (transcorridas 6000 horas de energização dos equipamentos WLEDi) e assim, ser possível realizar, sob condições de campo, a primeira avaliação sobre possível depreciação luminosa dos equipamentos instalados. Foi amostrada a iluminância horizontal, ao nível do pavimento viário (rotas de pedestres e veículos); a luminância dos pavimentos, de marcas viárias (faixas para travessia dos pedestres, em ambos os sentidos da Av. Prof. Luciano Gualberto, próximo a entrada do IEE/USP), também de uma placa de material de referência (cor branca, PTFE); a temperatura de cor correlata para caracterização parcial de cada tipo fonte de luz [8]; temperatura (bulbo seco) e umidade relativa dos locais durante os levantamentos. A amostragem realizada em 07/Nov./2013 tornou-se referência para caracterizar a condição inicial do sistema com equipamentos WLEDi, ela foi coletada concomitantemente com outros dois tipos de equipamentos (VSAP e MVM) existentes. A segunda amostragem foi realizada após transcorrido período de 6000 horas de funcionamento (em 18/Abr./2015) do sistema WLEDi na CUASO. Ambas as amostragens são utilizadas para avaliação da taxa de depreciação na saída de luz para a tecnologia WLEDi durante funcionamento em campo e período estimado das primeiras 6000 horas. Nota: Para essa estimativa foi considerado não ter ocorrido intervenções e/ou desligamentos. Para a etapa do trabalho experimental, realizada em laboratório, foi utilizada amostra de luminárias WLEDi (tipos diferentes), sendo um grupo similar aos tipos atualmente instalados na CUASO, e tendo sido amostradas as características elétricas principais e a saída de luz. Outro conjunto de luminárias, cuja informação de origem indica serem similares àquelas fornecidas e instaladas no campus USP na cidade paulista de Ribeirão Preto, constituiu a segunda amostra acessada e avaliada igualmente. Portanto, os dados obtidos no laboratório do SICADEE, apresentados e discutidos neste artigo são representativos de WLEDi e

distintas origens. Dados foram coletados seguindo procedimento corrente do laboratório (SICADEE), em esfera integradora de Ulbricht. As características de interesse amostradas foram as coordenadas de cromaticidade, temperatura de cor correlata, características elétricas e a saída de luz (fluxo luminoso) exclusivamente na condição de energização de tensão nominal (220 V<sub>CA</sub>). Após a parte do trabalho realizada no laboratório SICADEE, pela utilização de esfera integradora (diâmetro nominal de 2 m), sob condições e metodologia normalmente praticada nos serviços que são realizados para terceiros, onde a posição de montagem da luminária é aquela cuja face ativa fica voltada para a “janela da esfera” que acomoda a lâmpada auxiliar foi conduzido experimento onde a posição de montagem da luminária ficou alterada. Houve a rotação, em passos de 90 graus, em torno do eixo vertical de montagem/fixação). As três posições de montagem adicionais, normalmente não utilizadas, foram estabelecidas devido interesse por ampliar conhecimento relativo a possíveis distorções aos resultados que poderão estar sendo introduzidas devido alteração na distribuição espacial da luz, além da presença de anteparos e a significativa alteração na uniformidade da iluminação na parede interna da esfera, que foi observada e é atribuída a natureza da fonte WLEDi (tipo  $2\pi$ ) não isotrópica.

Os registros foram obtidos a partir de diferentes classes de produtos e fornecedores para a tecnologia SSL e uma lâmpada incandescente (1000 W/220 V, nominais), a qual tem sido utilizada como referencial de fluxo luminoso. Cada equipamento SSL foi energizados sob tensão nominal (220 V), foi aguardado período suficiente para a estabilização térmica, sendo ele a única fonte de luz sob avaliação. As características fotométricas e radiométricas foram amostradas, tanto diretamente da fonte de luz primária (luminária e ou lâmpada incandescente referencial de fluxo luminoso) instalada na esfera integradora, quanto para luz refletida por regiões selecionadas da parede interna da esfera pela utilização de equipamento (espectro-radiômetro) marca Minolta, modelo CS-1000. Além do espectro de radiação óptica, amostrada na banda do visível, o radiômetro utilizado dispõe de um software proprietário associado que possibilita acesso, após processamento, a parâmetros, entre eles a luminância, as coordenadas de cromaticidade, a temperatura de cor correlata ( $T_{CP}$ ) e diferença entre temperaturas ( $D_{UV}$ ) que são considerados. Notas: - Quanto maior for o módulo da grandeza denominada  $D_{UV}$ , mais distante, em relação ao lócus de Planck ou corpo negro, encontrar-se-á o ponto (coordenadas) da fonte WLEDi sob consideração;

- A energização e coleta de dados sobre a resposta das novas luminárias CUASO, em diferentes modos de funcionamento (como a dimerização), é atividade pretendida para o futuro próximo; para conduzir avaliação sobre o conteúdo de radiação óptica na faixa denominada da cor azul cor (radiação potencialmente perigosa), um documento IEC para referência é pretendido, o qual ainda não pode ser acessado diretamente; também é de interesse acessar dados sobre as características térmicas da luminária tipo WLEDi, cujas recomendações

estão fixadas em documento norte-americano (IESNA-LM 84) [9]; e

- Para o caso dos dados já amostrados sobre fluxo luminoso, a partir do goniofotômetro informatizado, eles são preliminares (estão sob análise) e por esse motivo não estão discutidos no presente trabalho.

A caracterização visual de instalações está considerada a partir de fotos realizadas e são apresentadas a seguir.

#### IV. RESULTADOS

A mudança da iluminação de VSAP e MVM para WLEDi na CUASO (ver Fig. A.1 a A.5, no Apêndice), aparentemente, está motivando substituição de equipamentos para a tecnologia SSL na vizinhança (ver Fig. 2).

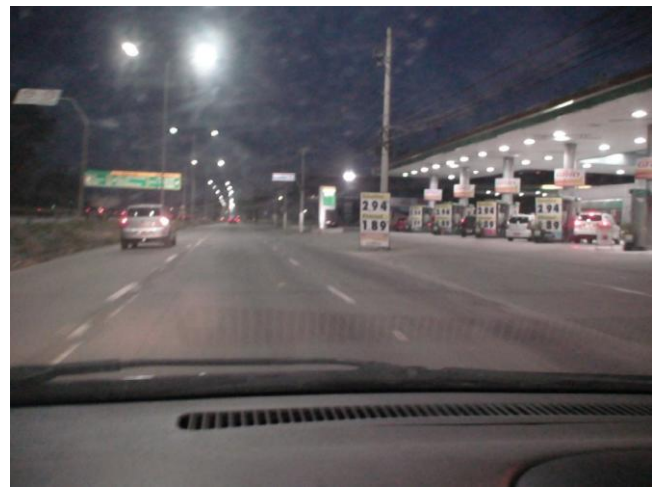


Fig. 2- Via local da marginal do rio Pinheiros, cidade de São Paulo, sentido sul, em aproximação a raia olímpica USP/CUASO, em 18/Abr./2015. Fonte: foto própria.

##### IV.1- Amostragens realizadas na CUASO (em campo).

As regiões onde foram realizadas medições da iluminação viária com VSAP, MVM (ano 2013) e WLEDi na CUASO, o elemento referencial para a cor branca (placa de PTFE) e luxímetro utilizados estão indicados (ver Fig. A.1, A.3 a A.5) no Apêndice. Os dados amostrados a partir de equipamentos com tecnologia SSL indicam: a) Temperatura de cor correlata ( $T_{CP}$ ), valores médios para cada experimentos, em (07/Nov./2013) 4,2 k K; e em (18/Abr./2015) 4,3 k K; b) Luminância do pavimento (asfalto), resultado das amostragens de ambos os experimentos  $L > 2$  (cd.m<sup>-2</sup>); c) Luminância da faixa para a travessia de pedestres, ( $L_{FAIXA}$ ) e coeficiente de luminância da faixa ( $q_{FAIXA}$ ),  $L_{FAIXA} = (5 \pm 2)$  cd.m<sup>-2</sup>,  $q_{FAIXA} = 91$  mcd.ℓm<sup>-1</sup>, são valores médios para instalações na CUASO, cuja amostragem foi realizada em 18/Abr./2015 para WLEDi; d) Iluminância, amostragens na Av. Prof. Luciano Gualberto, próximo da faixa para a travessia de pedestres, região do acesso ao IEE/USP, 63 lux (inicial e após 6 kh). A iluminância no plano da via (horizontal) que foi amostrada na CUASO é superior em relação a valores típicos e é considerada elevada em relação a uma faixa observada da literatura (35 a 40) lux [10], porém a

luminância amostrada (média) não é considerada elevada.

#### IV.2- Dados a partir de esfera integradora (diâmetro 2 m).

As Tabs. I.1 a I.3, abaixo, apresentam os registros relativos a cada amostragem realizada a partir de uma “janela” lateral, a terceira janela da esfera integradora considerada.

TABELA I.1

CARACTERÍSTICAS DE RADIAÇÃO REFLETIDA PELA SUPERFÍCIE INTERNA, ESFERA INTEGRADORA (ϕ 2M), AMOSTRADA PELA UTILIZAÇÃO DE LUMINÁRIA WLEDi CÓDIGO LRP #09. FONTE: TAB. III.1, IEE/USP, NT\_04 [11].

Ordem (#)	L <sub>v</sub> (k.nit)	Coordenadas de cromaticidade		T <sub>CP</sub> (K)	D <sub>uv</sub> (x10 <sup>-4</sup> )	Observação (local/elemento)
		x	y			
1	1,916	0,3906	0,3901	3824	32	anteparo menor
2	1,917	0,3906	0,3900	3824	32	anteparo menor
3	0,9418	0,4035	0,4057	3645	68	parede janela
4	0,9136	0,4025	0,4053	3663	68	anteparo maior
5	0,8373	0,4036	0,4067	3650	72	parede anteparo maior
6	0,9206	0,4024	0,4051	3663	68	anteparo maior embaixo

TABELA I.2

CARACTERÍSTICAS DE RADIAÇÃO DIRETA DE DUAS LUMINÁRIAS (WLEDi), IDENTIFICAÇÃO DO CORPO DE PROVA LUMINÁRIA CÓDIGO LRP # 09 E #1223 (ESFERA ϕ 2M). FONTE: TABS. III.1 e III.2, IEE/USP, NT\_04 [11].

Ordem (#)	L <sub>v</sub> (k.nit)	Coordenadas de cromaticidade		T <sub>CP</sub> (K)	D <sub>uv</sub> (x10 <sup>-4</sup> )	Observação (local/elemento)
		x	y			
7	16,02	0,3973	0,4033	3764	73	centro luminária LRP
8	91,28	0,3909	0,3919	3832	40	na linha superior
9	89,37	0,3908	0,3919	3833	40	na linha superior
10	86,07	0,3947	0,3966	3775	50	na 3ª linha M
11	86,07	0,3948	0,3967	3775	51	na 3ª linha E
12	86,07	0,3947	0,3966	3777	51	na 3ª linha M
(*)7	12,55	0,3942	0,3941	3769	41	centro luminária #1223

NOTAS: As seis primeiras linhas correspondem ao corpo de prova (código LRP #09) e a última linha (\*) corresponde a luminária (#1223).

TABELA I.3

CARACTERÍSTICAS DE RADIAÇÃO DIRETA E REFLETIDA A PARTIR DE LÂMPADA INCANDESCENTE 1000 W, REFERENCIAL DE FLUXO LUMINOSO (ESFERA ϕ 2M). FONTE: TAB. III.3, IEE/USP, NT\_04 [11].

Ordem (#)	L <sub>v</sub> (k.nit)	Coordenadas de cromaticidade		T <sub>CP</sub> (K)	D <sub>uv</sub> (x10 <sup>-4</sup> )	Observação (local/elemento)
		x	y			
16	3,953	0,4622	0,4171	2713	27	parede janela
17	4,317	0,4612	0,4171	2726	28	anteparo menor
18	16,71	0,4550	0,4120	2772	14	no filamento 10min.
**19	567,7	0,4682	0,4051	2532	-14	no filamento 15min.
*21	4,247	0,4612	0,4170	2726	28	anteparo maior baixo
*22	4,216	0,4611	0,4170	2727	28	anteparo maior superior
*23	3,578	0,4624	0,4181	2718	31	parede anteparo maior

NOTAS: - A lente macro foi utilizada em todas as aquisições, realizadas em 12/Mar./2015; - (\*\*) O filtro ND foi utilizado na condição, ordem #19, quando o espectro registrado ficou alterado/distorcido acima de 575 nm; - (\*) a partir da ordem # 21 o espectro passou a ter aparência normal.

Para a lâmpada incandescente 1000 W/220 V (nominais), referencial de fluxo luminoso, considerado o diagrama de coordenadas de cromaticidade ou espaço CIE 1976 (u',v'), e os registros sem ter sido utilizado o filtro atenuador “neutro” (ND), existe consistência em relação ao lugar geométrico definido para a isotérmica de iluminante na condição de 2700 K e desvio lateral compatível em relação ao círculos com raio: 0,0055 (ver Fig. A.6, no Apêndice). A utilização de filtro tipo ND revelou alteração no espectro amostrado e desvio significativo na T<sub>CP</sub> da ordem de 200 K (ver Tab. I.3). Assim, a utilização do filtro ND com lâmpada tipo incandescente não é recomendado, pois pode introduzir distorções (atenuação) significativas no espectro amostrado. Para ambos os tipos de luminárias WLEDi USP foi observado espectro de emissão com formato bastante próximo. Isto pode indicar utilização de dispositivo WLEDi com origem/fabricante semelhante. A T<sub>CP</sub> pode ser classificada, a priori, em 4000 K, porém, é possível sugerir diferentes caminhos ópticos (espessura de lente) devido aos desvios D<sub>uv</sub> identificados com radiação direta. Para a radiação refletida na parede interna da esfera, em relação à radiação direta foi possível identificar aumento de +20 unidades no D<sub>uv</sub> (caso da radiação refletida).

A lâmpada incandescente utilizada não possui a T<sub>cp</sub> correspondente ao iluminante tipo A (2856 K) padrão CIE.

Em relação à luminância média e uniformidades calculadas a partir dos dados de radiação refletida em superfícies do interior da esfera integradora e que constam das Tabs. I.1 e I.3, eles estão apresentados pela Tab. II.

TABELA II

LUMINÂNCIA MÉDIA E UNIFORMIDADE DE RADIAÇÃO REFLETIDA A PARTIR DE LÂMPADA INCANDESCENTE 1000 W (LI) E LUMINÁRIAS WLEDi (ESFERA INTEGRADORA COM DIÂMETRO NOMINAL DE 2 M).

Equip.	L <sub>med</sub> (k.nit)	L <sub>min</sub> /L <sub>med</sub>	L <sub>max</sub> /L <sub>min</sub>	Observação (FAIXA, k.nit)
LED	(1,2±0,5)	0,69	2,3	(0,83 – 1,91)
LI	(4,0±0,3)	0,90	1,2	(3,6 – 4,3)

A radiação da lâmpada incandescente amostrada após ter sido refletida em regiões selecionadas da parede interna da esfera revelou luminância média superior ao triplo da luminância média das luminárias WLEDi consideradas. A uniformidade observada para a radiação da lâmpada incandescente 1000 W, referencial de fluxo luminoso (esfera ϕ 2m) é superior em relação ao WLEDi, em particular a relação máxima/mínima. A baixa uniformidade de luminância da radiação refletida para luminária com distribuição não isotrópica e anteparo com dimensão elevada, em relação ao diâmetro nominal (2 m) da esfera integradora deverão ser sistematicamente investigados, particularmente, em relação a introdução/majoração de erros na avaliação de rendimento, determinação de fluxo luminoso e eficiência luminosa.

Em relação à estimativa do fluxo luminoso e cálculo da eficiência luminosa, a partir dos dados de potência elétrica



absorvida da rede e leituras de fotômetro instalado atrás de janela da esfera (equipada com difusor), e quatro diferentes posições de montagem (P1 a P4), das duas luminárias utilizadas no experimento, os valores obtidos durante a amostragem estão apresentados pela Tab. III.

TABELA III

FLUXO LUMINOSO ( $\Phi$ ) E EFICIÊNCIA LUMINOSA ( $\epsilon$ ) PARA LUMINÁRIAS WLEDi A PARTIR DE ALTERAÇÃO NA MONTAGEM, ROTAÇÃO NO EIXO DE SUSTENTAÇÃO E REF. FLUXO UMA LÂMPADA INCANDESCENTE 1000 W/220 V (ESFERA  $\phi$  2M).

Equip.	$\phi$ (tm)	EFICIÊNCIA (lm/W)	Observação
LED #8	(4,7 $\pm$ 0,1)	85	POSIÇÃO 1 (P1)
LED #8	(5,2 $\pm$ 0,2)	91	POSIÇÃO 2 (P2)
LED #8	(5,7 $\pm$ 0,2)	101	POSIÇÃO 3 (P3)
LED #8	(5,2 $\pm$ 0,2)	92	POSIÇÃO 4 (P4)
LED #1223	(4,7 $\pm$ 0,1)	88,5	POSIÇÃO 1 (P1)
LED #1223	(5,0 $\pm$ 0,2)	95	POSIÇÃO 2 (P2)
LED #1223	(5,6 $\pm$ 0,2)	110	POSIÇÃO 3 (P3)
LED #1223	(5,1 $\pm$ 0,2)	100	POSIÇÃO 4 (P4)

**NOTAS:** - Na posição (P1) a face ativa da luminária está voltada para a janela da lâmpada auxiliar; - As demais posições são para rotação no sentido anti-horário, em passos de 90 graus; - O referencial de fluxo luminoso está afetado de incerteza estimada e não inferior a 3 %.

Na estimativa do fluxo luminoso, uma faixa com amplitude da ordem de 20 % foi verificada, independentemente, da posição de montagem e tipo de luminária LED. No caso da eficiência luminosa e posições P3 e P4, uma diferença relativa da ordem de 9 % é observada; e na situação das posições P1 e P2 tal diferença diminui para 4 % em favor do equipamento/luminária identificada pelo código LED#1223.

#### IV.3- Referenciais coligidos da literatura acessada.

O primeiro documento coligido sobre a padronização, por parte dos fabricantes de equipamentos que produzem luz branca pela tecnologia Solid State Lighting (SSL), faz classificação a partir das coordenadas de cromaticidade e está datado com o ano 2008 (ANSI C78.377-2008) [3]. Após transcorridos dois anos o documento referido recebeu revisão. As variações possíveis na cor da luz emitida, branca, que poderão ocorrer durante o período de utilização da tecnologia SSL (lâmpada WLEDi) necessita ser capturada, em particular, quando a aplicação ocorre na iluminação de interiores. A cromaticidade poderá ficar alterada, o desvio ser "percebido" e não aceito pelo usuário.

Na Fig. A.7 (ver Apêndice) estão apresentadas coordenadas de cromaticidade (x, y) para algumas fontes tipo WLEDi acessadas amostradas. Elas foram plotadas no espaço CIE 1931, juntamente com a indicação do lugar geométrico e valores destacados para a  $T_{cp}$  sobre a curva do corpo negro (*Planck Locus*). As marcas correspondentes aos equipamentos WLEDi USP são aqueles circunscritos pela linha tracejada e os três pontos (cruzes) correspondem a outros equipamentos WLEDi para IP amostrados.

Para tratar tema de interesse, ou seja, ocorrendo uma

variação cromática da luz branca emitida pela fonte (SSL, WLEDi), considerado o diagrama CIE 1976 e o lócus de Planck como referencia, partindo da região onde a cor verde está representada (parte superior do diagrama), um movimento na direção da cor vermelha (e/ou suas matizes, parte inferior do diagrama referido), o desvio que pode ocorrer, em relação ao lócus de Planck (ou curva do corpo negro) é uma figura de mérito que já está definida (e expressa) como um desvio incremental ou delta uv ( $D_{uv}$ ). O valor  $D_{uv}$  sobre a curva do corpo negro possui valor nulo (por definição é igual a zero), enquanto que no sentido da cor verde assume valor convencionalmente positivo ( $D_{uv}$ ), e, inversamente, no sentido da cor vermelha  $D_{uv}$  possui valor negativo convencionalmente. Nas direções que são paralelas a curva do corpo negro, o desvio cromático é caracterizado por um delta  $T_{cp}$ , apenas em módulo (ou do inglês: *Correlated Color Temperature, CCT*). Ambas as variações definidas para as faixas ( $D_{uv}$  e  $T_{cp}$ ) constitui fronteiras para qualificação sobre a emissão de radiação visível pela tecnologia SSL que conduz a cor branca e com base em coordenadas de cromaticidade [3]. Ao utilizar esse tipo de especificação (um par de dados), é possível considerar o tema cor branca no diagrama de cores CIE adequadamente, sendo possível verificar a existência de aderência em relação aos limites prescritos. A CIE possui proposta para definir a  $T_{cp}$  de fonte para luz branca tipo SSL que difere do documento ANSI já referido [3], a qual utiliza cinco círculos (ver Fig. A.6) com tamanho do raio definido [12].

Algumas avaliações de interesse sobre fontes WLEDi que ainda não puderam ser tratadas são: resistência à radiação ultravioleta (UV, conforme documento ASTM G154); índice de reprodução de cores (IRC); efeito não visual da radiação óptica e na faixa da cor azul (radiação potencialmente perigosa); ofuscamento; características térmicas como temperaturas dos pontos quentes [6]; uniformidade a partir de planilhas sobre iluminância e luminância [5]; possível emissão/perturbação eletromagnética, conforme ocorrência relatada na literatura [13], a depreciação acelerada do fluxo com montagem em estufa e ou câmara climática.

#### V. CONCLUSÕES

Dados obtidos no laboratório do SICADEE/IEE/USP são representativos de diferentes equipamentos/tecnologias tipo SSL (WLEDi). Para possibilitar uma discussão em relação a metodologia que tem sido utilizada dados foram coletados sob as condições e prática corrente do laboratório (SICADEE), em esfera integradora de Ulbricht. Foram realizadas determinações radiométricas de fonte incandescente (1000 W-220V, nominais), utilizada como referencial para determinação de fluxo luminoso e diferentes luminárias SSL, tanto para radiação direta quanto refletida. A emissão luminosa foi coletada já pré-processada, a partir de software residente no espectro radiômetro modelo CS-1000. Para os dois tipos de luminárias USP avaliadas (CUASO e Ribeirão Preto) foi verificado, visualmente, espectros de emissão

bastante próximos. Isto pode indicar a utilização, em ambas, dispositivos WLEDi com origem/fabricante semelhantes. A  $T_{CP}$  amostrada pode ser classificada, a priori, como 4000 K.

A diferença entre a temperatura de cor correlata amostrada para WLEDi em campo (valor médio) e em laboratório apresentou diferença não superior a 500 K.

Foi considerada uma alternativa para comparar a emissão de luz branca por fontes WLEDi. Apenas a  $T_{cp}$  da fonte WLEDi não é suficiente para caracterização unívoca da luz branca emitida. A grandeza  $D_{UV}$  foi considerada e deve ser utilizada conjuntamente com a  $T_{CP}$  para a caracterização da luz branca de dispositivo tipo WLEDi. Essa metodologia considera como referencial o lócus de Planck ou corpo negro.

Para a amplitude de variação do fluxo luminoso, estimado em experimento com alteração na posição de montagem (quatro diferentes posições em torno do eixo de sustentação), o desvio observado alcançou amplitude da ordem de 20 %, independentemente, da posição de montagem e tipo de luminária WLEDi instalada. Para a eficiência luminosa, uma diferença relativa não superior a 9 % foi observada em favor de uma das luminárias utilizadas (código LED #1223).

Ações visando melhor caracterizar os dispositivos WLEDi, em particular, identificação de emissão na banda da luz azul e UV, devido aos possíveis efeitos não visuais da radiação óptica, deverão ser implementados.

## VI. APÊNDICIE

Enquanto estava ocorrendo a mudança da iluminação na CUASO, VSAP para WLEDi, a Fig. A.1 apresenta vista noturna quando ainda havia poste em concreto, com braço em curvatura na parte superior (VSAP) e os postes metálicos (implantação do WLEDi).

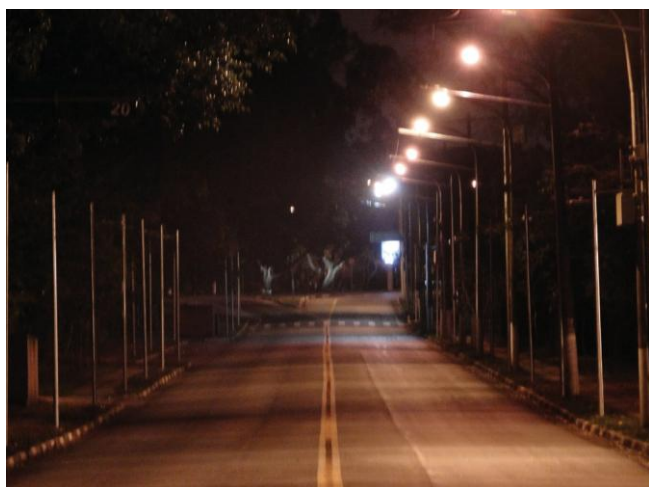


Fig. A.1- CUASO/USP, Av. Prof. Almeida Prado, sentido HU, ano 2013. Fonte: foto própria.

Na Fig. A.1, lado esquerdo, estão implantados postes metálicos para a iluminação de via para os pedestres. Ambas as tecnologias (VSAP e LED) da iluminação na CUASO, estão presentes na imagem apresentada pela Fig. A.2. (fase de implantação).



Fig. A.2- CUASO/USP, situação com VSAP na Praça Ramos de Azevedo, e WLEDi na Av. Prof. Luciano Gualberto, ano 2013. Fonte: foto própria.

Na Fig. A.3 é apresentada a região da CUASO e uma das faixas para travessia de pedestres, uma das regiões onde ocorreram os levantamentos em campo.

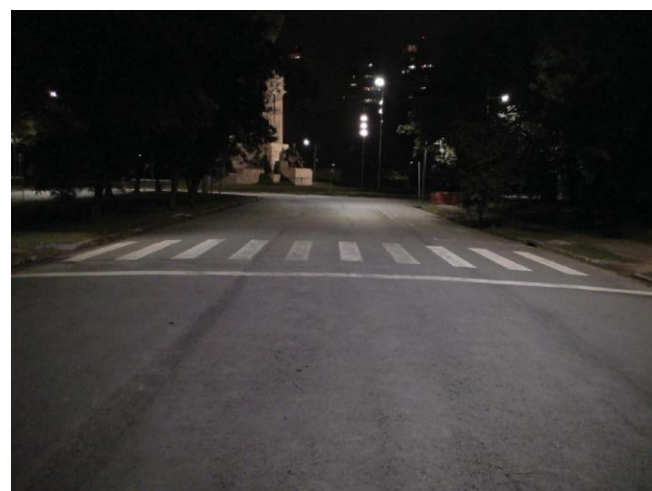


Fig. A.3- CUASO/USP, Av. Prof. Luciano Gualberto, ao fundo a Praça Ramos de Azevedo, ano 2015. Fonte: foto própria.

Na Fig. A.4 é apresentada outra região, a segunda faixa para travessia de pedestres onde ocorreram amostragens na CUASO/USP, iluminação tipo SSL (WLEDi), Av. Prof. Luciano Gualberto, lado IEE/USP, em Abr./2015.



Fig. A.4- Região de amostragem na CUASO/USP, iluminação tipo SSL (WLEDi), Av. Prof. Luciano Gualberto, lado IEE/USP. Fonte: foto própria, em Abr./2015.

Nota-se que as correções realizadas no pavimento não são acompanhadas da necessária repintura das marcas viárias. Este descompasso poderá ser corrigido. Um ponto de medição, durante a coleta da iluminância no plano da via, está apresentado pela Fig. A.5, quando o sensor (e equipamento) está posicionado sobre uma das marcas viárias consideradas.



Fig. A.5- Posição do sensor de luz e referência da cor branca (placa PTFE 10x10cm) junto a faixa para pedestres, quando a iluminância foi amostrada na CUASO/USP, equipamento iluminante tipo SSL (WLEDi), Av. Prof. Luciano Gualberto. Fonte: foto própria, em Abr./2015.

Na Fig. A.6 é apresentada proposta CIE (ano 2014), resumidamente, são cinco círculos cujo raio é constante e possui o valor de  $(55 \times 10^{-4})$  para definição sobre limite de coordenadas de cromaticidade para a  $T_{cp}$  da fonte WLEDi [12].

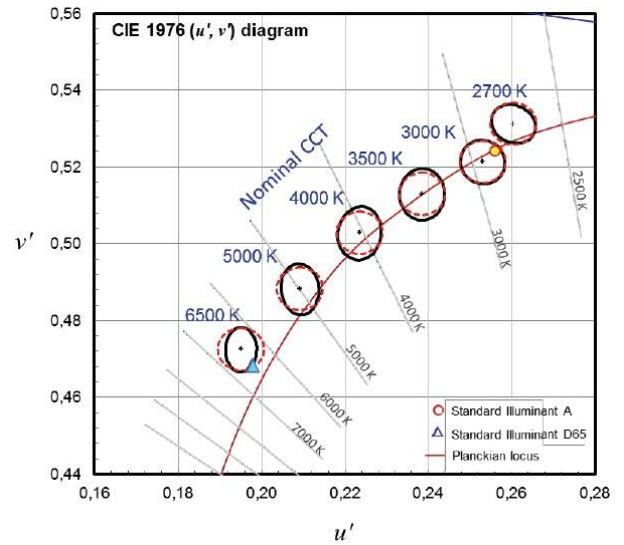


Fig. A.6- Diagrama de coordenadas de cromaticidade, espaço CIE 1976 ( $u', v'$ ), indicando o lugar geométrico relativo a radiação do corpo negro (*Planck Locus*) e indicação de dois iluminantes (ponto cor amarela e triângulo cor azul), linhas de igual temperatura; as elipses de MacAdam e os cinco círculos (raio  $55 \times 10^{-4}$ ) propostos para limite de cromaticidade/definição da  $T_{cp}$  da fonte. Fonte: [12].

Coordenadas de cromaticidade amostradas para diferentes equipamentos tipo WLEDi para IP estão apresentados pela Fig. A.7.

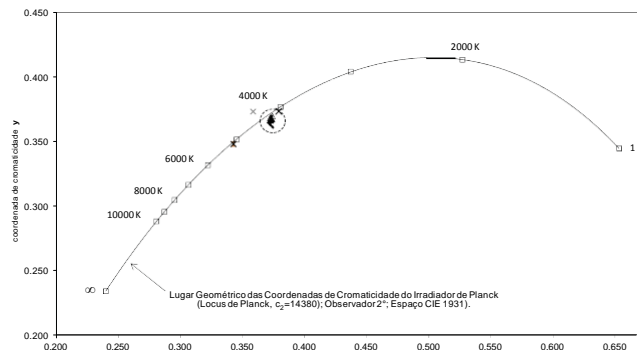


Fig. A.7- Diagrama com coordenadas de cromaticidade, espaço CIE 1931 ( $x, y$ ), indicando o lugar geométrico e valores para a  $T_{cp}$  sobre a curva do corpo negro (*Planck Locus*) e coordenadas para equipamentos WLEDi (os pontos circunscritos pela linha tracejada são luminárias USP; a três cruzes indicam outros equipamentos WLEDi para IP).

## VII. AGRADECIMENTOS

Aos funcionários do IEE/USP, particularmente ao Eng. Rinaldo e Márcio pela colaboração, ao Eng. Enea (Prefeitura da CUASO) pelo fornecimento de amostras e ao apoio da CAPES através do projeto binacional n. 048-13.



## VIII. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Ano Internacional da Luz e das Tecnologias baseadas em Luz (International Year of Light and Light-based Technologies – IYL, ONU, UNESCO. Disponível em: <http://ww.unesco.org/new/pt/brasil/abouthis-office/prizes-and-celebrations/2015-international-year-of-light/>, acessado em 20/Mar./2015.
- [2] Light in the Built Environment. Disponível em: <http://www.light2015.org/Home/WhyLightMatters/Light-in-the-Built-Environment.html>, acessado em 20/Mar./2015.
- [3] American National Standards Institute (ANSI) NEMA ASNLG C78.377-2008, Specifications for the Chromaticity of Solid State Lighting Products, 17p., (2008).
- [4] BURINI JUNIOR, et al. Uma proposta de Iluminação Pública Inteligente. Trabalho apresentado na 5ª Conferência Pan-Americana de Iluminação – Lux América 2000, São Paulo, 2000.
- [5] ABNT NBR 5101 Iluminação pública – Procedimento, 35p., Abr., 2012.
- [6] Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO, Consulta Pública, Portaria INMETRO n. 317 (de 01/Jul./2015). <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002271.pdf>.
- [7] BURINI JR, E C et al Iluminação Pública Eletroluminescente na Universidade de São Paulo, trabalho apresentado nas XI Jornadas Argentinas de Luminotécnica, Luz 2013. ISBN 978-987-1881-44-4.
- [8] BURINI JR, E C et al Avaliação em Sistemas para Iluminação Viária na Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira. XII Conferência Panamericana de Iluminação - Lux América 2014.
- [9] LM-84-14 Approved Method for Measuring Lumen and Color Maintenance of LED Lamps, Light Engines, and Luminaires, 6p., 2014.
- [10] Distribuição Projetos de Iluminação Pública, ND 3.4, Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, Diretoria de Distribuição e Comercialização, 2012.
- [11] BURINI JUNIOR, E. C. Caracterização da Emissão de Luz Branca por fonte LEDi e INC., primeira minuta, 12/Abr./2015, Quarta Nota Técnica, IEE/USP, São Paulo, Brasil (mimeo).
- [12] CIE Technical Note 001:2014 "Chromaticity Difference Specification for Light Sources. 5p., [http://files.cie.co.at/738\\_CIE\\_TN\\_001-2014.pdf](http://files.cie.co.at/738_CIE_TN_001-2014.pdf).
- [13] Relatório GDE: 2012-2013 - LABRE – Liga de Amadores Brasileiros de Rádio Emissão. p.12-13, Dezembro 2013. Acesso em 10/Jul./2015. Disponível em: <http://www.labre-rj.org.br/qt/GDE%20Relatorio%202012-2013.pdf>.

## IX. BIOGRAFIAS



**Elvo Calixto Burini Junior** é graduado pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP (1984), mesmo local onde concluiu o curso de especialização em Mecânica Fina (1985). Recebeu o grau de Mestre (1993) e Doutor em Energia pela USP (2002). A experiência profissional inclui atividades de engenharia no setor privado e público, setor de normalização técnica nacional e internacional; ensino e formação de pessoal. Iluminação moderna está incluída entre os principais

campos de seu interesse. Atualmente é coordenador das atividades de ensino e pesquisa no Serviço Técnico de Sistemas de Iluminação, Condicionamento Ambiental e Desempenho Energético de Edificações (SICADEE), na Divisão Científica de Planejamento, Análise e Desenvolvimento Energético / IEE/USP.



**Arnaldo Gakiya Kanashiro** graduou-se em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo em 1979. Obteve o título de Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 1995 e 2001, respectivamente. É professor do Programa de Pós-Graduação em

Energia do IEE/USP e tem especial interesse em estudos de eficiência energética e em temas na área de iluminação. Atualmente ocupa o cargo de Supervisor do Serviço Técnico de Sistemas de Iluminação, Condicionamento Ambiental e Desempenho Energético de Edificações (SICADEE), na Divisão Científica de Planejamento, Análise e Desenvolvimento Energético do IEE/USP.



**Marcelo de Oliveira Jesus** é Físico formado pela Universidade de São Paulo em 2005, possui curso de Gestão Ambiental pelo IEE-USP em 2012, trabalha no laboratório de Fotometria do Instituto de Energia e Ambiente desde 1992, atuando nas áreas de prestação de serviço, pesquisa e ensino. É ainda auditor interno da qualidade do IEE-USP desde 2003.