

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
USP

Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia
PIPGE
(EP / FEA / IEE / IF)

REFLETÂNCIA, VISIBILIDADE E
LUMINÂNCIA COMO FATORES PARA
MELHORIA DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Elvo Calixto Burini Junior

São Paulo

2002

Elvo Calixto Burini Junior

*REFLETÂNCIA, VISIBILIDADE e
LUMINÂNCIA como FATORES
para MELHORIA da
ILUMINAÇÃO PÚBLICA*

*Tese apresentada ao Programa
Interunidades de Pós-Graduação
em Energia (EP, FEA, IEE, IF)
da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de
doutor em energia*

*São Paulo
Dezembro, 2002*

Elvo Calixto Burini Junior

*REFLETÂNCIA, VISIBILIDADE e
LUMINÂNCIA como FATORES
para MELHORIA da
ILUMINAÇÃO PÚBLICA*

*Tese apresentada ao Programa
Interunidades de Pós-Graduação em
Energia da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
doutor em energia*

Área de concentração: Energia

Co-orientador:

Prof. Dr. Geraldo Francisco Burani

Orientador:

Prof. Dr. Ildo Luís Sauer

São Paulo

2002

Burini Junior, Elvo Calixto
Refletância, visibilidade e luminância
como fatores para melhoria da iluminação
pública. São Paulo, 2002.

320p.

Tese (Doutorado) – Programa Interunidades de Pós-
-Graduação em Energia (EP, FEA, IEE, IF) da Universidade de
São Paulo, 2002.

Orientador: Prof. Dr. Ildo Luis Sauer; e Co-orientador:
Prof. Dr. Geraldo Francisco Burani.

1. Energia Radiante. 2. Visão mesópica. 3. Luminotécnica.
4. Fotometria. 5. Refletômetro. I. Título.

“Esta versão (PDF_02) difere da tese depositada e aprovada na defesa, à qual foram incorporadas modificações sugeridas pela comissão examinadora, devidamente verificadas e aprovadas pelo orientador.”

"Tecnologias, melhor que pareçam maravilhas aos nossos olhos, é quando capacita-nos a realizar aquilo que ainda não era possível"

"A todos que colaboram, mantendo viva a chama que facilita deslocamentos no caminhar para amplidão ao mundo dos conhecimentos. Em particular aos meus Avós, Pai, Mãe, Irmã, Amigos, Esposa, Bianca e Eloise, estrelas mais próximas que conceberam a vida e são o motivo maior da luta pela existência do nosso próximo instante"

Lista de figuras	VI
Lista de tabelas	XIV
Lista de abreviaturas	XV
Lista de símbolos	XIX
Resumo	XXIII
Abstract	XXIV
1 Introdução	1
1.1 Fundamentos e finalidade	7
1.2 Iluminação Pública – IP	12
1.3 Relevância do trabalho	17
1.4 Limitações	21
2 Base metodológica, recursos e métodos	32
2.1 Referencial: visão humana	33
2.1.1 Olhos e percepção	34
2.1.2 Processos	38
2.1.3 Fatores	40
2.2 Medições: fundamentos	45
2.2.1 Visão artificial: fotômetros	46
2.2.2 Conceitos e práticas	48

2.2.3	Medindo radiação óptica visível	50
2.2.4	Luminômetro simples	55
2.2.5	Fotômetro CCD	58
2.2.5.1	Câmera CCD: equipamento escolhido	59
2.2.5.2	Câmeras CCD: etapas para geração do sinal	60
2.2.5.3	Leitura do “pixel”: o sinal numérico	66
2.2.6	Aferição (calibração)	66
2.2.6.1	Calibração de fotômetro convencional	67
2.2.6.2	Calibração de câmera CCD	68
2.3	Iluminação artificial em exteriores	71
2.3.1	O estado da arte	73
2.3.1.1	Normalização técnica	76
2.3.1.2	Registros e medições: da placa em vidro ao “pixel”	80
2.3.2	Equipamentos de IP e seus componentes	84
2.3.2.1	Fonte primária: as lâmpadas elétricas	85
2.3.2.2	Elementos para controles	90
2.3.2.3	Superfície do pavimento	100
2.3.3	Sistemas de IP	105
2.3.4	Metodologias de projeto em IP	107
2.3.4.1	Refletância e luminância da via pública	112
2.3.4.2	Necessidades para um critério de visibilidade em IP	115
2.4	Metodologia experimental para IP	117
2.4.1	Consumo energético e visibilidade	119
2.4.1.1	Instalações	121

2.4.1.2	CUASO/USP (madrugadas)	122
2.4.1.3	Repetição franco-brasileira	130
2.4.1.4	Divulgação realizada	132
2.4.2	Radiância e irradiância em pavimento	133
2.4.2.1	Refletância	134
2.4.2.2	Refletância difusa	136
2.4.2.3	Coeficiente e fator de reflexão	136
2.4.2.3.1	Fator de luminância [radiância]	137
2.4.2.3.2	Coeficiente de luminância [radiância]	138
2.4.2.4	Elementos para referência	140
2.4.2.5	Escala e função de transferência	140
2.4.2.6	Refletômetros	143
2.4.2.6.1	Refletômetro simplificado – <i>Macbeth</i>	143
2.4.2.6.2	Refletômetro angular – Pulz.Moreira	144
2.4.2.6.3	Refletômetro a CCD – RCCD	145
2.5	Temas para trabalhos	146
3	Resultados	153
3.1	Iluminação em exteriores	160
3.2	Fluxo luminoso de pontos de luz	165
3.3	Experimentos: CUASO/USP - Rouen/CETE	169
3.3.1	Iluminância em vias	172
3.3.2	Luminância das vias	176
3.3.3	Coeficiente de luminância das vias	178

3.4	Consumo energético comparativo	181
3.4.1	Cenário: IESNA – RP – 08	181
3.4.2	Cenário: pavimento em concreto	183
3.5	Valor refletométrico	184
3.5.1	Imagem por scanner	185
3.5.2	Referencial: BS 5252	186
3.5.3	Câmera a CCD e tons de cinza	190
3.5.4	Fator de luminância (angular)	192
3.6	Refletância de via urbana	197
4	Conclusões e recomendações	203
4.1	Conclusão: IP	207
4.1.1	IP – cenários e registro de instalação	210
4.1.2	IP: tópico da teoria	214
4.2	Experimento CUASO/USP – Rouen/CETE	216
4.2.1	Fluxo luminoso e potência elétrica	218
4.2.2	Iluminância em vias	218
4.2.3	Luminância das vias	219
4.2.4	Coeficiente de luminância da via	221
4.3	Refletômetros	223
4.3.1	Refletância difusa	224
4.3.2	Fator de luminância (angular)	224
4.3.3	Câmera CCD e tons de cinza	225
4.3.4	Imagem por scanner	226

4.3.5	Fator de luminância	227
4.4	Recomendações	229
4.4.1	Educação	229
4.4.2	Iluminação	230
4.4.3	Equipamentos e instalações	230
4.4.4	Normalização técnica	232
4.4.5	Arcabouço legal	232
4.4.6	Pesquisa e outros trabalhos	233
4.5	Contribuição ao estado da arte	234

Anexos

A	Terminologia e definições	236
B	Aferição de fotômetro	244
C	Compêndio da literatura (refletância, registros, relatório)	245
D	Resultados de avaliações	253
E	Coleção de imagens da IP	285
F	Histórico: 50 anos !	291
G	Esfera integradora especial	292
H	Notas gerais e biográficas do autor	293
I	Teoria sobre o luminancímetro simplificado	297
J	Equação para aferição de câmara digital	301
	Referências bibliográficas	304

Lista de figuras

Figura 1.1 - Situação visual típica do condutor de um automóvel (interior de túnel “mata fria”, sentido saída da Capital).	3
Figura 1.2 - Imagem de simulação com arranjo similar ao utilizado nos experimentos do CUASO/USP e Rouen/CETE.	6
Figura 1.3 - Pavimentos típicos, tipos diferentes: asfalto e concreto (comum no interior de túneis).	9
Figura 1.4 - Instalação de IP com controle pelo desligamento de uma das duas fontes.	13
Figura 1.5 - Limites nominais prescritos para a eficiência luminosa inicial de lâmpadas incandescentes, conforme tensão ou corrente nominais.	19
Figura 1.6 - Registros indicando mudança na temperatura global.	20
Figura 1.7a - A sensibilidade espectral fotópica decomposta.	22
Figura 1.7b - Espectros de absorção por tipo de cone RGB.	22
Figura 1.8 - As respostas fotópica e escotópica, referenciais para ponderação de fator para correção de efeito visual.	23
Figura 1.9a - A iluminação fixa complementada pelos faróis de veículo.	24
Figura 1.9b - Efeito de iluminação de faróis veicular em via molhada.	25
Figura 1.10a - Determinação da emissão luminica a partir de dados de satélite; ilustrado com o caso de St. Louis, USA.	25
Figura 1.10b - A emissão noturna e visível do planeta.	26
Figura 1.11 - Seção transversal de pavimento típico (detalhe de suas possíveis divisões; parte: D, revestimento).	27
Figura 1.12 - Representação da distribuição de intensidade luminosa de fecho incidente, segundo seis diferentes ângulos em relação à superfície de asfalto poroso. À esquerda a situação inicial (pavimento novo) e à direita após 12 meses.	27
Figura 1.13 - Controle da refletância na sinalização viária horizontal.	28

Figura 1.14a - Levantamento espectral da refletância. A linha vermelha representa o comportamento de um tipo de asfalto, enquanto as demais linhas (azul e verde) são de referenciais orgânicos.	29
Figura 1.14b - Levantamento espectral da refletância. A linha azul representa o comportamento de um tipo de concreto, enquanto a linha verde é um referencial utilizado (vegetação seca).	29
Figura 1.15 - Ambiente urbano complexo (diferentes classes de pavimentos em uma mesma via).	30
Figura 1.16 - Vias com marcações e novos tipos: pavimentos (coloridos). À esquerda, da França; à direita da Inglaterra.	30
Figura 1.17 – Base para Colorimetria.	31
Figura 2.1 - O olho, em corte, com a íris, o cristalino (lente) e a retina, seus componentes principais, e detalhe de outros componentes.	34
Figura 2.2 - O olho, a íris.	35
Figura 2.3 - Imagem tomográfica (interna) da caixa craniana, onde (da direita para esquerda) estão localizados o nariz, olhos, nervos ópticos e hemisférios do cérebro humano	36
Figura 2.4 - Definições da sensibilidade espectral do olho humano em função da acomodação imposta por condição (luminosa) do meio ambiente externo	37
Figura 2.5 - Imagem tomográfica da caixa craniana. Na parte superior estão localizados os olhos (recebendo um estímulo luminoso) e na parte mediana e inferior, estão marcadas as áreas com alteração de atividade por consequência do estímulo	38
Figura 2.6 - Ilusão de óptica. Quantos triângulos existem na figura ?	39
Figura 2.7 - Relação entre a acuidade visual e a distância angular do objeto em relação à fóvea	41
Figura 2.8 - A variação da sensibilidade a luz, após exposição em função do tempo. As curvas representam limites de faixa para olhos normais	42

Figura 2.9 - A variação da sensibilidade ao contraste em função da iluminância de fundo. As curvas representam diferentes faixas e conjunto de dados.	43
Figura 2.10 - A variação da sensibilidade limite à modulação da luz em função da sua taxa da cintilação. A curva inferior representa condição cromática e a outra acromática.	44
Figura 2.11a- Processo experimental utilizado para o estudo da relação entre distância e iluminância. Gravura de Pieter Paul Rubens, 1613, in: <i>Photometria</i> , Johann Heinrich Lambert, 1760.	47
Figura 2.11b - Fotômetros, a fonte primária e o plano da medição.	48
Figura 2.12 - A influência das dimensões da fonte primária, em relação à distância do local de sua observação.	49
Figura 2.13 - Reprodução do medidor de visibilidade LM.	51
Figura 2.14a - Conjunto de cabeças fotométricas e fotômetros típicos.	53
Figura 2.14 - Utilização em campo da cabeça fotométrica construída (luminancímetro simples) no refletômetro denominado <i>Macbeth</i> , out. 2002.	56
Figura 2.15 - Curvas com sensibilidade espectral típica de CCD, conforme o sentido da iluminação (frontal ou traseira) e origem ou marca comercial de fabricante.	61
Figura 2.16 - Representação esquemática típica de um fotoelemento CCD.	62
Figura 2.17 - Representação esquemática típica de um conjunto de sensores CCD.	63
Figura 2.18 - Arranjo de filtro: atual (convencional, Bayer) e futuro (super CCD).	64
Figura 2.19 - Imagem similar ao equipamento utilizado neste trabalho para capturar e gravar imagens.	70
Figura 2.20 - Melhor curva ajustada entre relação de acidentes (noturno/diurno) e a luminância média da via.	71
Figura 2.21 - Lâmpadas a descarga em alta pressão (HID).	86

Figura 2.22 - A partição de potência elétrica absorvida da rede em cada um dos 3 tipos de lâmpadas a descarga em alta pressão.	87
Figura 2.23 - Eficiência das principais fontes elétricas artificiais.	88
Figura 2.24 - Reator série externo típico (para lâmpadas HID), instalado em poste com circuito secundário da distribuição de energia elétrica.	91
Figura 2.25- Circuitos típicos para lastro às lâmpadas a descarga (HID), apenas o circuito do item (a) tem ocorrência conhecida no Brasil.	91
Figura 2.26 - Luminárias para lâmpada a descarga do museu da cidade norte-americana de Los Angeles.	93
Figura 2.27 - Luminárias para lâmpada HID, no CUASO/USP, instaladas em altura elevada (20 m), circuito de alimentação subterrâneo e independente dos postes da distribuição de energia elétrica.	94
Figura 2.28 - Relé fotoelétrico convencional para comando da IP, com instalação independente dos postes da distribuição de energia elétrica.	96
Figura 2.29 - O projeto em rodovia holandesa onde foi realizado experimento sobre a variação do fluxo luminoso.	99
Figura 2.30 - Três configurações visuais para classificação do pavimento.	100
Figura 2.31 - Três tipos de distribuição de intensidade luminosa para classificação da refletância.	101
Figura 2.32 - Representação de alterações na superfície de uma via típicas conforme espaçamento da carga agregada, processo e período de utilização transcorrido.	102
Figura 2.33 - Fator de reflexão e temperatura da superfície em função do tipo de pavimento.	103
Figura 2.34 - Diferentes pavimentos, aparentemente, superfícies com refletâncias diferentes.	104
Figura 2.35 - Comportamento da iluminância em serviço.	109
Figura 2.36 - Curvas isolux.	110

Figura 2.37 - Exemplo de pontos para cálculo e medições fotométricas no pavimento de uma via.	111
Figura 2.38 - Refletância (albedo) do pavimento em função do período de vida.	114
Figura 2.39 - Objetos com geometria plana em outro campo de provas.	119
Figura 2.40 - Campo de provas: experimento realizado na USP (fev., 2001).	121
Figura 2.41 - Vistas diurna da via na CUASO/USP onde o experimento foi realizado (à esquerda, do local onde o usuário ficou posicionado; à direita é o sentido oposto). As luminárias são originais da instalação (VSAP 150 W).	123
Figura 2.42 - Alvo colocado sobre a superfície da via durante a realização do experimento.	125
Figura 2.43 - A malha estabelecida entre as luminárias 2 e 3 e indicação das posições que a esfera ocupou.	126
Figura 2.44 - Esfera utilizada sobre superfície (fundo) branca e ao lado uma escala referencial (BS 5252).	127
Figura 2.45 - Vista noturna da via no CUASO: Campus da Universidade de São Paulo, lado oposto à posição dos participantes. <u>Nota:</u> Efeito tempo de exposição alongado foi utilizado nesta foto.	128
Figura 2.46 - Vistas da via onde a segunda parte do experimento foi realizada, na França. À esquerda, o sistema com 50 % do fluxo luminoso e à direita com 100 %.	131
Figura 2.47 - Representação angular relativa, no plano que contém a fonte (1), \hat{a} , o fotelemento (2), \hat{a}' , com a direção da normal (n) à superfície da amostra considerada (3).	138
Figura 2.48 - Representação angular para cálculo da luminância no plano da via, a partir de uma única fonte de luz (luminária) e observador em posição fixada.	139
Figura 2.49 - Carta elaborada (IEC 1146-1, 1994) para determinação da resposta de câmera digital (escala de refletância em tons de cinza neutro).	141

- Figura 2.50 - Via do experimento na CUASO/USP com instalação utilizando lâmpadas com multivapores metálicos (proposta de continuidade do trabalho). No Brasil foram obtidos resultados para análise de desempenho de sistemas, sendo um com MVM 250 W (100 %). 148
- Figura 2.51 – A identificação de desvios na sensibilidade visual humana para diferentes cores. 149
- Figura 2.52 - Variação da elevação no plano da via para um plano de referência arbitrário em função da distância. 151
- Figura 2.53 - Imagem capturada na Av. Prof. Luciano Gualberto, CUASO, USP, em período noturno, ofuscamento desprezível e uniformidade excelente, em 2002. 152
- Figura 3.1 - Refletômetro (esfera integradora especial). 156
- Figura 3.2 – Pavimento da rodovia Anhanguera, tinta branca e placa elaborada com BaSO₄. 159
- Figura 3.3 - Imagens de instalações na CUASO/USP, com artifício para prevenção e resultado de vandalismo. 163
- Figura 3.4 - Imagens de instalações na cidade de São Paulo, Capital, resultado do fim do ciclo de vida de componente. 164
- Figura 3.5 - Relação entre o fluxo luminoso incidente na via e a potência elétrica absorvida da rede pela instalação, tipo VSAP e o controle. 170
- Figura 3.6 - Planta da via onde o experimento foi realizado na CUASO, vista de topo, posições relativas e pontos das medições. 171
- Figura 3.7 - Relação entre a avaliação média dos usuários brasileiros e a iluminância horizontal na superfície da via, em cada uma das 10 posições em que a esfera foi colocada e 4 instalações [MVM 250 W; VSAP (150 e 250) W]. 174
- Figura 3.8 - Relação entre a avaliação média dos usuários (brasileiros e franceses) e a iluminância horizontal na superfície das vias e 5 instalações diferentes. 175
- Figura 3.9 - Relação entre a avaliação média dos usuários brasileiros e a luminância da superfície da via, em cada uma das 10 posições em que a esfera foi posicionada e 4 sistemas diferentes. 177

- Figura 3.10 - Relação entre a avaliação média dos usuários (brasileiros e franceses) e a luminância correlata das vias, em cada uma das 10 posições em que a esfera foi colocada, e 5 sistemas diferentes. 178
- Figura 3.11 - Correlações lineares entre o fluxo luminoso incidente, por unidade de área na superfície, e a luminância no mesmo ponto da via, 10 posições, o observador a 83,15 m e 2 sistemas iluminantes (VSAP) diferentes. 179
- Figura 3.12 - Correlações entre iluminância E, e luminância L da superfície da via na direção do observador, em todas as 10 posições em que a esfera foi colocada para instalações e sistemas iluminantes diferentes. 180
- Figura 3.13 - Trecho norte do Anel viário Mario Covas, em São Paulo. 183
- Figura 3.14 - Pavimento em concreto (pedra com cimento) e asfalto (pedra com piche). Trecho norte do Anel viário Mario Covas, em São Paulo, 2002. 185
- Figura 3.15 - Imagens obtidas com scanner, amostras (01, 02, 03) coletadas de asfalto no Campus da USP, SP, Capital. Escala em cm. 186
- Figura 3.16 - Imagem contendo referenciais (documento original, BS 5252); folha branca de papel comum, A4; ambos sobre asfalto do Campus da USP, SP, Capital e sob IP com MVM. 187
- Figura 3.17 - Estimativas do fator de luminância para asfalto e passeio em concreto, no CUASO/USP, sob IP com VSAP e MVM, equações da calibração do refletômetro a CCD. 189
- Figura 3.18 - Curva para calibração (substrato refletância 84 % e referência KGC18) para controle da resposta da câmera digital CCD [ajustes: F1,6 e (1/100) s.], chamada também de função de transferência. 191
- Figura 3.19 - Imagem da “mascara” em procedimento de aproximação para a captura da cena. 192
- Figura 3.20 - Imagem de pavimento: Anhanguera, S.P. e referencial (papel vergê, cor branca) durante procedimento de medição angular. 193

Figura 3.21 – Levantamento do fator de luminância num plano, em relação ao ângulo de incidência da fonte de luz incandescente e estando o fotoelemento posicionado a 80 graus em relação a normal, amostra da rodovia Anhanguera, S.P., coletada em 27/jun./2001 (Anel viário).	194
Figura 3.22 - Imagens da superfície de vias, capturadas, no procedimento de coleta de amostra.	198
Figura 3.23 - Superfícies de vias durante captura de amostra (inclusa mascara) e resultado do processamento.	199
Figura 3.24 - Resultados do processamento para 3 tipos (superior: concreto <i>withetopping</i> , CUASO/USP; centro rodovia Anhanguera; inferior asfalto CUASO/USP), iluminante: LD.	200
Figura 4.1 – Segurança: capacidade de um poste de IP em absorver a energia cinética durante choque com veículo. À esquerda está representada sugestão de seção transversal para poste próximo de via.	231
Figura C3.1 - Campo de provas na cidade de Guarulhos, São Paulo.	251
Figura C3.2 - Cubo com segmentos coloridos e placa com BaSO ₄ no campo de provas na cidade de Guarulhos, São Paulo.	252
Figura C3.3 - Cubo com segmentos coloridos observado a certa distancia, na cidade de Guarulhos, São Paulo	252
Figuras (E.1 a E.36) – “Diversas cenas ao trabalho sobre IP”	285 a 290
Figura I.1 - Reprodução de alteração projetada para a cabeça fotométrica de um luxímetro; à esquerda vista lateral do tubo com o fotoelemento instalado e à direita vista frontal com definição da área permitida para entrada da luz.	297
Figura J.1 - Dados para calibração da câmera DCR-TRV320 por transferência de escala a partir do luminancímetro LMT 1000, conforme conjunto de controle da exposição e fonte primária incandescente.	302
Figura J.2 - Dados para calibração da câmera DCR-TRV320 por transferência de escala a partir do luminancímetro LMT 1000, conforme conjunto de controle da exposição e fonte primária MVM.	303

Lista de tabelas

Tabela 1 – Refletância difusa para face aleatória de papeis diversos.	156
Tabela 2 – Fator de luminância para ambas as faces de papeis diversos.	158
Tabela 3 – Iluminância média e “eficiência” de instalações, CUASO/USP – Rouen/CETE , ambas sob condição nominal (fluxo luminoso: 100 %).	174
Tabela 4 – Luminância média e “eficiência” de sistemas, CUASO/USP – Rouen/CETE , instalações sob condição nominal (fluxo luminoso: 100 %).	176
Tabela 5 – Dados para comparação entre projetos de IP considerada a influência da refletância conforme tipo de via.	182
Tabela 6 – Resultados de estudo de caso para 3 tipos de pavimentos. ...	184
Tabela 7 – Fator de luminância (angular) médio para a amostra denominada Anhanguera, colhida em 27/jun./2001, no Anel viário SP.	195
Tabela 8 – Fator de luminância de pavimentos.	201
Tabela 9 – Fator de luminância: vários pavimentos típicos de vias no Brasil.	202
Tabela 10 – Fator de luminância médio, 3 tipos de pavimentos (vias no Brasil).	202
Tabela H.1 – Compêndio de critérios para projetos da iluminação de vias públicas, conforme referência.	296

Lista de abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFE	Associação francesa de iluminação (éclairage)
ANSI	<i>American National Standard Institute</i>
AWB	<i>Automatic White Balance</i>
BS	<i>British Standard</i>
BSI	<i>British Standards Institution</i>
CCD	<i>coupled charge device</i>
CEN/TC	Documento técnico do Comitê Europeu de Normalização
CETE	<i>Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement</i>
CIE	Comissão Internacional de Iluminação
COBEI	Comitê Brasileiro de Eletricidade
CUASO	Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira (campus da Universidade de São Paulo na Capital)
DIN	Instituição Alemã de Normalização Técnica
EB	Especificação Brasileira (Norma Técnica)
Eng.	Engenheiro
EPIR RR	Estudo de Planejamento Integrado de Recursos para o Sistema

	Elétrico de Boa Vista, RR
EPUSP	Escola Politécnica da USP
EUA	Estados Unidos da América
GE	fabricante de lâmpada elétrica (marca)
HID	lâmpada a descarga de alta intensidade
HPS 150	lâmpada HID a Vapor de Sódio a Alta Pressão (150 W)
HSV	sistema de coordenadas cromáticas (<i>Hue, Saturation, Value</i>)
IAG	Instituto de Astronomia e Geofísica (USP)
ICB 95%	Intervalo de confiança bilateral, nível de 95 %
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional
IES	<i>Illuminating Engineering Society</i>
IESNA	<i>Illuminating Engineering Society of North America</i>
IEE/USP	Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo
ILUME	(/PMSP) Departamento de iluminação municipal de São Paulo
Intelux	fabricante (da Suíça e Itália) de equipamento para controle do fluxo luminoso de lâmpada elétrica HID (marca)
IP	Iluminação Pública
IRC	Índice de reprodução de cores

ISO	<i>International Standard Organization</i>
LD	Luz do Dia
LD+A	Periódico da IESNA (<i>Light Design and Application</i>)
LF	Lâmpada Fluorescente
LMT	fabricante alemão de equipamento para medição (marca)
MBF	Lâmpada de luz mista
MH	Lâmpada a Multivapores Metálicos
NASA	<i>National Aero Space Administration</i>
NB	Norma Brasileira (Norma Técnica)
NBR	Norma Brasileira Registrada
NTSC	sistema para codificação de sinal de vídeo com cores
NY	New York
P-EB-211	(Estágio Experimental) – Especificação Brasileira (Norma Técnica)
PIPGE	Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia da Universidade de São Paulo e Instituto de Eletrotécnica e Energia
Pixel	<i>picture element</i>
PTFE	(<i>polytetrafluoroethylene</i>) tipo de plástico (conhecido por teflon)
RAM	memória com acesso aleatório

XVIII

RCCD	Refletômetro a CCD
RGB	<i>Red, Green, Blue</i>
RLC	Ressenlaer Lighting Center
RMS	<i>Root mean square</i>
SP	São Paulo
SR	<i>Surround Ratio</i>
TB	Terminologia Brasileira (Norma Técnica)
TC 4-37	Comissão técnica da CIE, <i>Road Transport Lighting for Developing Countries.</i>
TI	<i>Threshold Increment</i>
UNID.	unidades
USP	Universidade de São Paulo
V (ë)	sensibilidade visual média humana em período diurno
V'(ë)	sensibilidade visual média humana em período noturno
VSAP 250	Vapor de Sódio a Alta Pressão 250 W
VMAP	Vapor de Mercúrio a Alta Pressão
www	rede mundial de computadores (<i>world wide web</i>)

Lista de símbolos

A4	especificação de origem alemã para padronização do tamanho de folha de papel, (210 por 297) mm
$\beta_{i,r}$	fator de luminância determinado sob ângulo de incidência (i) e coletado com sensor sob ângulo (r), ambos em relação à normal
$\beta_v; \beta$	fator de luminância
BaSO ₄	Sulfato de Bário
cd.m ⁻²	(cd/m ²); candela por metro quadrado
dsc	código de identificação de arquivo de imagem gravada pela câmera Sony
http://	inicial de um tipo de endereço na rede mundial de computadores
E	iluminância, lux, m.m ⁻²
ϵ_i	ângulo de incidência (ou reflexão) em relação à normal
F	identificador do número que representa a abertura (relação da distância focal pelo diâmetro) do diafragma
GW	Gigawatt
g/m ²	grama por metro ao quadrado
K	Kelvin

XX

km/h kilometro por hora

Kodak fabricante de material fotográfico e imagem (marca)

kW kilowatt (potência)

kWh kilowatt-hora (energia)

L luminância, cd.m^{-2} ; nit

Lab espaço cromático CIELAB, CIE, 1976

m lúmen

mW lúmen por watt

lx lux

m^2 metro ao quadrado

Mg Magnésio

MgO Óxido de magnésio

Mnit Mega-nit

MW Megawatt

$M(=\pi.L)$ emitância, igual ao produto de luminância por (π) 3,141516....

n direção normal (ortogonal) ao plano da superfície

Philips fabricante de lampadas elétricas (marca)

“pixel”	menor elemento de uma imagem em duas dimensões
$q_v; q$	coeficiente de luminância (L/E)
Qo	parâmetro de controle do pavimento
R	parâmetro de correlação
R'	valor refletométrico
R	relação (E/L) de valores médios (“Rapport”)
Reeme	fabricante de luminárias (marca)
Repume	fabricante de luminárias (marca)
R1 a R4	sub classes de pavimento viário
RJ	Rio de Janeiro
\tilde{n}	refletância
\tilde{n}_{dif}	refletância difusa
s	segundo
S, R, N e W	diferentes classes de pavimento viário
SON	lâmpada VSAP
Sony	fabricante de produtos de cine foto, câmera (marca)
T_{cp}	temperatura de cor correlata

TCR – TRV tipo (modelo: 320) de câmera marca Sony

U_l uniformidade longitudinal

U_o uniformidade geral

$V(\ddot{e})$ sensibilidade visual média humana em período diurno

$V'(\ddot{e})$ sensibilidade visual média humana em período noturno

W potência elétrica, watt

\ddot{e}_i ângulo de incidência, em relação a normal da superfície

\acute{o}_m/\ddot{e} relação entre altura (rugosidade) em uma superfície pelo comprimento de onda da radiação eletromagnética incidente (medida diferencial)

% porcentagem

π pi, número irracional (3,141516.....)

40:1 relação 40 por 1 ou 40 dividido de 1

Resumo

A iluminação viária em exteriores é projetada a partir de prescrição normativa de iluminância, a qual está estabelecida para sensibilidade visual adaptada à condição diurna. Na iluminação pública, o procedimento indicado pela norma técnica brasileira, NBR 5101, tem base neste conceito e está centrado na instalação. Não considera visibilidade (a partir da luz útil na direção do usuário), nem propicia oportunidades para redução no consumo de energia.

Neste trabalho foram investigados três fatores que podem agregar melhorias à iluminação pública: REFLETÂNCIA, VISIBILIDADE e LUMINÂNCIA. Foram realizados experimentos, no Brasil, e estabelecidas correlações para visibilidade (respostas de usuários a objeto alvo, posicionado sobre a via), tendo como parâmetros iluminância e luminância. Houve repetição experimental, posteriormente, na França, a qual possibilitou comparação entre sistemas. O resultado das correlações para resposta sobre visibilidade possui conformidade com a lei de Fechner e indica superioridade para luminância, em relação a iluminância. A comparação dos sistemas, por correlação entre luminância e iluminância, coeficiente de luminância, apresentou valor $0,096 \text{ cd.lm}^{-1}$ para o sistema francês (o melhor) e $0,077 \text{ cd.lm}^{-1}$ para o Brasil. Tanto para a capacidade de produzir luz, por potência elétrica da instalação (Vapor de Sódio a Alta Pressão - VSAP, na França 150 W e no Brasil 250 W, nominais), quanto para luminância média produzida, sob condições nominais, os resultados são semelhantes, e acima de três candelas por metro quadrado. Para sistema com tecnologia VSAP 150 W, funcionando abaixo da condição nominal e eficiência fotópica, foi constatada produção de uma candela por metro quadrado e possibilidade de redução no consumo energético pela utilização de pavimento (mantido) com maior coeficiente de luminância.

A segunda etapa da pesquisa realizada, contribuição deste trabalho na área da refletância, consistiu-se na construção e adaptação de refletômetros, incluindo a utilização de câmara digital; na coleta de amostras e na realização de medições. Os fatores de reflexão obtidos para pavimentos indicam existir relação da ordem de 2,2 para o concreto, quando comparado ao asfalto convencional. Para a superfície do pavimento original de rodovia paulista (denominada Anhanguera), consideradas variações angulares de incidência da fonte de luz e observação, 0,2 é o fator de luminância típico determinado (patamar próximo ao dobro do asfalto convencional).

Os resultados alcançados, por este trabalho, foram utilizados em metodologia para medir a capacidade dos sistemas em produzir luminância na direção do observador; possibilita investigar a refletância de superfícies, tanto a partir de amostra física extraída, quanto através de imagem capturada em campo; respaldados em referencial internacional, indicam possibilidade de redução no consumo energético factível pelo incremento (e manutenção) da refletância do pavimento e poderão auxiliar na revisão da NBR 5101, 1992. A adoção dos métodos propostos e disseminação desses procedimentos, nas áreas de projetos e avaliação de desempenho permitirá melhorar a qualidade da iluminação pública para o usuário, reduzir o consumo de eletricidade neste uso e com ênfase, a utilização do conceito de luminância pode permitir reduções das emissões de radiação infravermelha pelos pavimentos, "ilhas de calor", mitigando provável incremento do efeito estufa.

Abstract

The roadway lighting is designed based on the horizontal illuminance level requirement, which is established over the relative spectral sensibility function for photopic vision. In the Brazilian standard for public lighting, the NBR 5101, requirements are based on this illuminance concept centered on lighting installation. It does not make any consideration for the useful light into user's direction (visibility) neither propitiates ways for electric energy savings.

In this research, investigations are made over three key factors that can aggregate improvements to public illumination: reflectance, target visibility and luminance. The experimentations were carried out under Brazilian conditions. Correlations were established between visibility (as the observer's appraisal rating to the visibility of a sphere, set over the road surface) and physical measurements (luminance and illuminance) as parameters. Later, the Brazilian's experiment was repeated in France, whereby lighting system comparison was made feasible. The results of the visibility procedure are in agreement with Fechner's law and indicate a stronger correlation to luminance, than to illuminance. The correlations made between luminance and illuminance, for the compared systems, presented a luminance factor of 0.096 cd.lm^{-1} for the French system (the best) and 0.077 cd.lm^{-1} in the Brazilian systems. The installation capability for light production (High Pressure Sodium - HPS, 150 W in France and 250 W in Brazil, rated values) from electric energy and the mean luminance produced by each system, under rated supply voltage, showed closed results and above three candles per square meter. For a system HPS 150 W technology working below its rated conditions (and under photopic efficacy), one candle per square meter can be produced, and a further energy use reduction can be set with higher (maintained) pavement luminance factor (reflectance).

The second part of the research intends to make a contribution to the reflectance area; it dealt with the constructions and use of reflectometers, including digital imaging camera utilization; field data collection and measurements. The reflectors factor result, measured from pavement, indicates a rate of 2.2 to concrete (when it was related with conventional asphalt). For the original pavement of a major road in the State of Sao Paulo (called Anhanguera), 0.2 is the typical luminance factor (value almost two times more than the conventional asphalt) measured when were considered variations of the light source incidence and observation angles.

The results achieved throughout this research were used in a methodology that can be applied for the measurement of the public illumination system capability in producing luminance in the users direction. It makes further investigations over surface reflectance possibility, not only physically extracted from the pavement in the field, but from digital imaging made from it and can help the review of the NBR 5101, 1992. The adoption of the methodology proposed and the dissemination of the procedures made available from this research to the lighting design and performance evaluation areas could provide better visibility for its users, lower electricity use by lighting installation, and the luminance requirement, could protect the environment by reducing heat emissions, which contribute to a probable increment of the greenhouse effect.

1 Introdução

Esta pesquisa tem como objetivo estudar visibilidade e refletância no âmbito do uso final eficiente de energia em iluminação, particularmente, na Iluminação Pública - IP, também busca colaborar com a utilização do conceito luminância. A refletância expressa a capacidade de uma superfície em restituir a radiação óptica nela incidente, principalmente, infravermelha e luz visível. No processo visual a ser considerado em IP, a superfície do pavimento é a fonte luminosa relevante. As manifestações sobre visibilidade possibilitam consideração direta do interessado, sob situação visual noturna, junto a um sistema (instalação e pavimento). A luminância é grandeza física utilizada, em base fotópica, como representativa do brilho e permeia ambos os fatores apresentados. A verificação da qualidade da iluminação, com base em resposta visual de usuários e considerado o aumento da refletância (coeficiente de luminância) do pavimento, diferentemente quando da utilização da metodologia de iluminância permite ser verificada a possibilidade de redução da energia utilizada sem degradar a visibilidade. A melhoria na eficiência energética pode ser implementada pela utilização de controles, gestão e superfícies mais claras, em relação ao asfalto convencional predominante. A estrutura do trabalho está lastreada em uma introdução de caráter geral (capítulo 1). Uma parte teórica (capítulo 2) onde estão os recursos, métodos, a base metodológica utilizada; duas partes experimentais foram desenvolvidas, mais tecnologia para possibilitar levantamentos sobre refletâncias. Os resultados obtidos estão reunidos no capítulo 3. As considerações finais, conclusões e recomendações (capítulo 4) estão seguidas

por anexos, parte integrante desta etapa escrita do trabalho que é finalizado pela lista de referências bibliográficas coligidas.

Ao conjunto de esforços que estão sendo viabilizados na direção da preservação de recursos naturais vitais no planeta Terra deve ser imaginado estarem incluídos aqueles não diretamente ligados aos “produtos” in natura, qual a água, o ar, solo, a biota florestal; e no âmbito deste trabalho, a iluminação. A opção humana pela utilização da iluminação artificial, as limitações de recurso existentes e o crescente aumento da entropia no campo social têm apontado ser a “sociedade vinte e quatro horas” um caminho possível à restauração de algum nível de organização social, hoje requerido, especialmente, no meio urbano. “Na história das cidades do século XX houve um crime ! O nome da vítima: as vias urbanas a degradação dos espaços públicos abertos, visa o assassinato do corpo vivo das cidades, acabando com o que é fundamental, o que ela representa na história da civilização”; Giancelso Consomi, utilizou palavras fortes como estas para focar atenção sobre este tema. Antes dele, Rykwert, J., havia ressaltado a importância das ruas urbanas: “o componente mais importante da configuração urbana: um padrão que apenas é consumido, estudado, aprendido, encontra-se fixado na memória e é admitido pelo seu uso” (in: Porta, S., 1999). Estas citações são de outras partes do globo terrestre, Itália e EUA, respectivamente, mas trazem impressões semelhantes àquelas que se pode ter em relação a certas localidades conhecidas do Brasil. Elas retratam visão do contexto urbano contemporâneo onde este trabalho de tese encontra-se inserido, sugerem necessidade de colaboração e empenho de todos, em sua própria área de atuação, para reconstrução do que pode ter sido um bem público.

É possível acreditar em algum sucesso na reconstrução planejada dos meios para ligação (como: ruas, avenidas) no retículo do espaço urbano, especialmente da IP de cidades no Brasil (Pamuk, A., et al., 1998, discorre sobre esforços e resultados, neste sentido, para o caso do Rio de Janeiro).

A norma técnica brasileira sobre IP, a NBR 5101, 1992, quando em processo de elaboração incorporou proposta recebida (naquela oportunidade considerada como um desafio) quanto a iluminância mínima em pontos da superfície da via, a qual não deve ser inferior a 1 lux. Numa situação particular, cerca da metade deste valor (em média) poderá ser considerado satisfatório, porém uma especificação técnica não deve ficar restrita a particularidades. Mesmo que requisitos apenas para iluminância encontram-se nela definidos e são considerados os critérios de qualidade para IP. No trabalho de tese, em pauta, estão os registros (ver figura 1.1) dos esforços desenvolvidos para auxiliar a utilização do conceito luminância nas vias iluminadas do Brasil.



Figura 1.1 – Situação visual típica do condutor de um automóvel (interior de túnel “mata fria”, sentido saída da Capital). Fonte: Foto do autor, 2001.

Estabelecida a capacitação e a metodologia necessárias, o caminho para a definição de patamares para a luminância fica aberto. A sugestão de valor como $1,0 \text{ cd/m}^2$ (a ser mantido ao longo do tempo entre manutenções e com a melhor uniformidade possível; detalhe na seção 4.2.3); qual o limite superior para uma banda de luminância na IP, em valor não superior a 1 ftL ($3,4 \text{ cd/m}^2$), ver seção 3.3.2, são referenciais que poderão ser utilizados como ponto de partida e que deverão ser avaliados pela sociedade no contexto de uma revisão normativa em curso (NBR 5101, 1992).

No cotidiano atual ou num cenário não muito distante, porém, socialmente modificado pelo menos no que tange a uma redistribuição temporal de atividades que ocorrem no período diurno, dificultando o deslocamento das pessoas e ainda contribuindo para lentidão e congestionamentos no trânsito urbano (talvez pudessem ser realizadas durante a madrugada, por exemplo). Aqui a atenção é dirigida ao privilégio atual da utilização das vias, exclusivo, ao período diurno (sinaliza necessidade de incentivos para atividades, como o traslado de certas cargas, apenas em período noturno), preservando interesses coletivos legítimos e bem conhecidos como controle efetivo das poluições: sonora, olfativa, luminosa (como a luz invasora, Tanner, A. E., 1986). É necessário dispensar cuidados à iluminação pública (fixa), sugerir caminhos para redução do seu consumo energético, evitando-se investimentos com base apenas no menor custo inicial (sem considerar o ciclo de vida e manutenções) e facilitar o deslocamento humano. Isto pode se iniciar através de melhor conhecimento (físico) da IP, passa por exercícios sobre determinação de visibilidade a uma esfera e da refletância do pavimento e poderá contribuir ao estabelecimento de algum nível de controle

(e verificação efetiva) para qualidades eleitas na IP, dentre as quais devem ser explorados necessariamente aqueles relacionados aos temas citados e seu desempenho energético global no período noturno.

O desenvolvimento e a aplicação de metodologia para o conhecimento e avaliação do desempenho energético radiante de um sistema de IP típico, atualmente utilizado é fundamental para a sua qualificação, quer da eficiência energética em serviço, quer da eficácia (visibilidade) aos seus usuários. A consideração das necessidades e interesse do usuário de IP é questão (nova, no Brasil) que este trabalho aborda. Foi utilizada metodologia para que este aspecto pudesse ser quantificado e os resultados de experimento realizado são apresentados e discutidos. No experimento sobre visibilidade o atributo resposta dos usuários, quantificado, foi correlacionado com medições físicas usuais (luminância e iluminância) realizadas em via da CUASO, USP e na cidade de Rouen, França. Na parte do experimento (sobre visibilidade) realizada no Brasil foi utilizado equipamento para diminuição do fluxo luminoso, similar àquele encontrado em projeto realizado na Holanda (Dyno, 1999), tendo sido obtida resposta humana (sete participantes voluntários, não remunerados) sobre visibilidade a uma esfera colocada na superfície da via (ver ilustração na figura 1.2) e foram realizadas medições físicas, em base fotópica, de iluminância e luminância. A relação entre fluxo luminoso incidente na via (por unidade de área, iluminância) e a respectiva potência elétrica absorvida da rede foi determinada para instalações VSAP (150 e 250) W. Estes resultados e os dados relativos a luminância da via na direção dos olhos do usuário estão apresentados na seção 3.3.



Figura 1.2 – Imagem de simulação com arranjo similar ao utilizado nos experimentos da CUASO/USP e Rouen/CETE. Fonte: Scan, 2000.

A condição transitória da adaptação visual humana, presente na faixa de luminância com ocorrência freqüente em IP, permeia o argumento da justificativa à dispersão nos principais dados apresentados na seção 3.3, particularmente figura 3.10.

A partir dos dados de campo, obtidos no Brasil e na França, foi elaborado procedimento cujo resultado caracteriza a IP como um sistema no qual está incluído o pavimento. Uma comparação internacional entre sistema assim definido e produzindo luminância média semelhante como base comum é apresentada (seção 3.3.3) para avaliação do consumo de energia elétrica, e demonstra necessidade de conhecimento e a importância da consideração das características de refletância do pavimento.

A segunda etapa experimental do trabalho tornou-se possível após o

desenvolvimento tecnológico realizado (refletômetros, seção 2.4.2.6 e esfera integradora especial, anexo G) para aferir a capacidade de superfícies (e materiais de interesse) em refletir energia radiante, principalmente, na região visível do espectro eletromagnético. As propriedades de reflexão de superfícies selecionadas, coligidas da literatura, encontram-se reunidas no anexo C-0.

1.1 Fundamentos e finalidade

Uma estratégia utilizada para buscar objetivo desta tese, em contribuir com a introdução efetiva do conceito de luminância em práticas da luminotécnica brasileira, consistiu do planejamento e realização de experimento pioneiro no Brasil (Burini; et al., 2001), que depois foi replicado na França (Bacelar; et al., 2001) para permitir metodologia e suprir necessidade fundamental no campo de pesquisa em IP; os dados sobre a luz fornecida pelas instalações e utilizada pelos seus usuários. Nele o interesse do usuário (consumidor) do sistema de IP foi relacionado a grandezas de medições físicas (usual no Brasil, iluminância; e também não usual, porém de interesse crescente para utilização, a luminância).

A relação entre iluminância e luminância, em certas situações (como na ausência de comportamento especular da superfície considerada) pode ser lastreada pelo conhecimento do fator de reflexão (Dygert, M., 1932; Hardy, A. C., 1936). Para auxiliar o estabelecimento da relação referida se fez necessário desenvolvimento tecnológico e uma segunda parte experimental

para coletar dados sobre o fator de reflexão, a refletância dos pavimentos de vias típicas e que são as superfícies importantes ao estudo. Os dados de interesse foram obtidos a partir de fotômetros convencionais (com metodologia tradicional) e de informação gerada e gravada através de equipamento digital e câmera CCD (Sony DCR-TRV320). O estabelecimento de capacitação local que permite obter, em amostras de campo, informações sobre refletâncias de superfícies, em conjunto com resultados de medições (iluminância e luminância) deverá contribuir para a transição pretendida entre o conceito de iluminância, atualmente praticado na NBR 5101, 1992, para luminância (e talvez no futuro, visibilidade).

Em síntese, na idéia central desse trabalho está a busca por colaborar com a revisão da NBR 5101 e possui aplicação em projeto para iluminação, tanto em consumo de energia quanto aos custos de manutenção associados. Como objetivo específico está a determinação da refletância de pavimentos típicos, particularmente dois tipos diferentes: asfalto e concreto (ver figura 1.3). Isto possibilita considerar resultados de análise energética (quantitativa) comparativa existente e que atribui vantagem (sob este ponto de vista) para superfícies com refletância maior. Intuitivamente, para ser mantida a mesma condição de visibilidade, no caso de um pavimento em asfalto (escuro, ao ser iluminado) deverá ser aplicada maior quantidade de luz (mantidos inalterados os demais elementos) em relação a um pavimento mais claro, por exemplo, o concreto.

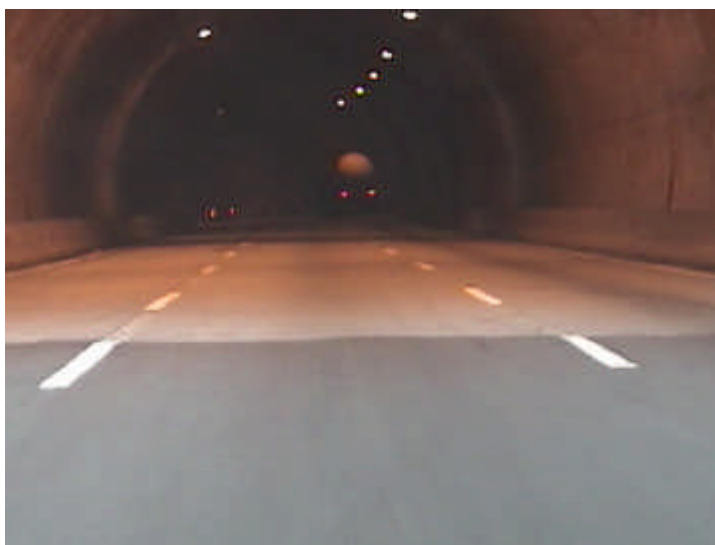


Figura 1.3 – Pavimentos típicos, tipos diferentes: asfalto e concreto (comum no interior de túneis). Fonte: Foto do autor, 2001.

Na literatura norte-americana foram coligidas informações (ver anexo C-0) que indicam certa relação para a refletância média destas duas classes de pavimentos, da ordem do triplo, em favor (de certa tecnologia) do concreto (Murdoch, 1994). Na literatura local (nacional) foram coligidos alguns valores de refletância sem detalhamento (Prado, C., 1961) e outros que estão referidos à “luz branca” (Moreira, V. A., 1976, 1987 e 1999). Além da cor predominante do pavimento, assunto que começa a atrair interesses, ao menos no exterior (França: Brusque, C, 1996a; Frankinet, M.M., et al., 2001), também o tipo do acabamento superficial pode contribuir para uma maior restituição luminosa a favor do usuário. A refletância é informação básica para cálculos de luminância, o que justifica a necessidade da sua determinação para pavimentos típicos utilizados no país, tanto do ponto de vista de segurança quanto técnico-econômico.

Um projeto de IP deve atender a critérios de qualidade e o sistema

resultante, quando em funcionamento, deve possibilitar visibilidade. O conceito de iluminância considera apenas a saída de luz da instalação, que chega em determinados pontos da superfície da via, não considera a luz na direção dos olhos dos seus usuários ou consumidores, tão pouco se esta luz poderá suprir necessidades, como por exemplo produzir informação requerida, utilizando a menor quantidade de energia possível. E também não deve projetar luz em locais indesejados, estas situações de projeção indevida são classificadas como luz invasora, aquela que viola as fronteiras da propriedade alheia causando incômodo. A utilização de requisitos de projeto com base no conceito da luminância poderá propiciar início para algum controle neste sentido. Outro tipo de poluição luminosa, presente em área urbana, é causada por luz perdida ou refletida. Este tipo de poluição ao meio ambiente pode ser percebido melhor quando observado à distância, tem aspecto de certa incandescência no céu, aparentemente, não incomoda aos cidadãos, mas pode trazer problemas aos hábitos do comportamento animal (Rea, 1993) e às observações astronômicas (Isobe, 1996).

Atualmente os sistemas de IP são projetados, implementados e padronizados no país com base em conceito que considera a quantidade de luz incidente no pavimento dos logradouros. A utilização de maior ou menor quantidade de luz está estabelecida (em projeto) apenas em relação a parâmetros como o volume de tráfego e a classificação (localização e importância) da via. As considerações normativas, atualmente presentes na NBR 5101, 1992 não possibilitam considerar a quantidade de luz após incidência nas superfícies de interesse.

O processo da visão pelo olho humano é bastante complexo, depende entre outros da intensidade e conteúdo espectral da radiação recebida. Quando a radiação é proveniente de fonte secundária (por reflexão, em uma superfície, por exemplo) faz-se necessário conhecimento mínimo da característica de reflexão da superfície (é esta característica que condiciona a fração útil da luz incidente) se for pretendido estimar, com exatidão, a quantidade da radiação restituída ao meio, pelo pavimento, com possibilidades de captura pela retina humana, tornando-se informação (em tempo hábil).

No âmbito da NBR 5101, 1992, caso a utilização da luminância como critério de projeto seja incorporado, ter-se-á atendida a necessidade de ser considerada a intensidade luminosa de fonte secundária no processo de visão dos usuários de IP, e existirá mais uma fonte ao entendimento sobre o efeito que resulta uma melhora na capacidade de restituir a luz incidente pela superfície considerada (conceito este que possui idéia similar ao rendimento). A necessidade desse conhecimento (e sua atual indisponibilidade) pode justificar o estágio da normalização nacional pertinente, lastreada apenas no conceito do fluxo luminoso emitido pela fonte primária e que incide sobre as superfícies de interesse¹ (conceito da iluminância). Para vias com superfícies secas e dependendo de seu histórico (condições de uso), ela apresentará diferentes características de resposta à luz incidente: absorção²; reflexão (especular e difusa)².

Notas: ¹- A superfície da via é aqui considerada a região preponderante, basicamente por sua função de “fundo” à cena de interesse e por questão de segurança em relação a objetos (silhueta) e irregularidade; e

² Estas palavras possuem terminologia particular e estão listados no anexo A.

Em campo, geralmente existe predominância de uma dessas características, que sob condições previamente especificadas é genericamente denominada refletância. Se a refletância da superfície considerada for elevada, menor deverá ser a quantidade de luz incidente necessária para produzir efeito equivalente, mantida a eficiência luminosa; ou na condição de superfície com refletância maior, uma diminuição da potência elétrica pode ser realizada para um mesmo efeito visual resultante. As duas superfícies sob consideração terão brilho semelhante.

O desenvolvimento de tecnologia para conhecimento da capacidade de restituição da energia visível, incidente em superfícies relevantes, qual o piso de vias, é importante no campo da iluminação, pois possibilita minimizar recursos investidos em IP.

Utilizando-se somente o conceito de iluminância, a importância da IP fica centrada exclusivamente na instalação, que é uma parte do sistema que deve ser considerado. As fontes secundárias também necessitam ser consideradas em IP, o sistema elétrico é um ator importante para a fonte primária, mas não é único neste cenário energético.

1.2 Iluminação Pública – IP

O trabalho de pesquisa tem na Iluminação Pública – IP seu principal campo de aplicação. Mesmo não dispondo de séries estatísticas (históricas) para análises de interesse, como o consumo, a eficiência e a intensidade energética (Herring, H., 1999).

Caso a IP possa ser comutada somente quando necessária e em diferentes patamares de intensidade (ver figura 1.4), e não está sendo referido apenas o acendimento indevido ou impróprio que ocorre em dias nublados, com disponibilidade de luz do dia em quantidade suficiente, o consumo poderá diminuir. Existe a possibilidade da IP dispor de intensidade dinâmica, variando conforme necessidades estabelecidas, por exemplo, o volume do tráfego (Dyno, 1999), e assim uma maior redução no consumo de energia pode ser obtida.



Figura 1.4 – Instalação de IP com controle pelo desligamento de uma das duas fontes. Fonte: Scan, 2000.

Está ocorrendo uma mudança na IP do Brasil, as lâmpadas VSAP estão sendo montadas em instalações novas. Algumas cidades, como São Paulo, ainda fazem substituição pontual e apenas quando a lâmpada VMAP torna-se inoperante.

A estratégia geral está em reduzir a potência elétrica nominal instalada (talvez incrementando, no instante inicial, os níveis de iluminância em relação aos valores mínimos prescritos em norma), independentemente da quantidade da luz fornecida pela instalação ou que possa agregar eficácia à visibilidade de seus usuários.

Consumidores da IP poderão ficar satisfeitos apenas com o estabelecimento dos pontos de luz ao longo da via. Ao ser buscada a opinião de moradores, após ter ocorrido uma mudança na instalação de IP, foram obtidas respostas positivas de munícipes. Houve relato, no período noturno, como: “quanto mais luz eu acho melhor” (na cidade de São Paulo, Capital); “agora não preciso mais ligar a luz lá dentro, apesar do muro alto, a luz do poste ilumina, e bem, o meu quintal” (cidade de São Carlos, SP). Não existe amostragem, estatisticamente significativa, que permita outras estimativas, nem resposta dessas populações antes da alteração (troca de: VMAP para VSAP) ter ocorrido. São apenas relatos, porém fiéis a uma realidade que pode ser compartilhada por outros munícipes.

Os patamares estabelecidos na NBR 5101 são para instalações novas. As prescrições normativas nem sempre são atendidas (ver medições em Boa Vista, RR; Sauer, I. L., et al., 1999) ou são verificadas atualmente com alguma frequência conhecida (ver anexo F). Não existe exigência ou política (como da cidade de Berkeley nos EUA, por exemplo) para fixação de outro parâmetro como a potência luminosa (diferente da potência elétrica) durante o ciclo de vida da instalação (não existe consideração do ponto de vista de sistema). Quando ocorre, a manutenção é apenas corretiva.

Em determinadas localidades brasileiras, a partir de uma visão técnica, a IP necessita ser alterada. Ela está sendo custeada com recurso público e nem sempre possui desempenhos satisfatórios. A NBR 5101, 1992 encontra-se sob revisão, cujo resultado final poderia induzir o início de mudanças preconizadas (e necessárias) para a situação presente da IP no Brasil. Em tese, se for mantido apenas o critério de iluminância, a iluminação continuará a ter consideração parcial, com exclusividade à instalação e na sua condição inicial. A inclusão do critério de luminância é caminho natural, porém não está consolidado. As principais barreiras identificadas são a falta de tecnologia e conhecimentos, como por exemplo: a refletância de pavimento típico.

A norma técnica brasileira, a NBR 5101, 1992, não possui requisitos sob o ponto de vista da luz emitida (refletida) por unidade de área da superfície da via, a sua luminância. A falta deste conhecimento* é uma barreira que foi identificada tanto junto a alguns que colaboram na revisão deste documento normativo, quanto de elementos que são responsáveis ou elaboram projetos de IP. Apenas requisitos para iluminância mínima e sua uniformidade encontram-se definidos e portando são exigidos ou considerados como critérios de qualidade para projeto e verificação da IP. Uma questão que pode ser formulada é sobre qual deveria ser o valor deste índice, luminância, a sugestão primeira é utilizar como base informações dos sistemas existentes, já instalados e em operação.

Foi identificada referência, na literatura coligida (COBEI, 1985), pela inclusão do conceito de luminância em documento normativo.

Nota: *A ausência de prática local sob o conceito de luminância dificulta as discussões e impede o entendimento, “visualização” de uma escala nesta base. Analogia pode ser feita para a escala métrica, por exemplo.

E também é citada a existência deste tipo de especificação, em outros países e blocos com interesses comuns (como: Comunidade Européia, Argentina, Colômbia, EUA), onde referenciais para luminância estão disponíveis por pelo menos duas décadas (CIE 12.2, 1977; CIE 30.2, 1982; CIE 92, 1992; CIE 115, 1995; RP-8-00/ANSI, 2000; CEN/TC 169 N139E, 1996). Ao incorporar o conceito da luminância ao projeto de IP, a via passará a ser considerada como a principal fonte de luz e do ponto de vista do consumo energético deverá ser levada em conta a capacidade dessa superfície em tornar disponível luz que interessa ao usuário ou consumidor.

Independentemente do critério de qualidade a ser considerado, é prudente primeiro questionar: que ligação existe e como estão relacionadas às necessidades visuais dos usuários (ou consumidores) da IP com luminância e iluminância? Ao ser buscada resposta a esta questão, fundamental, estará sendo considerado (talvez pela primeira vez no Brasil) interesse real e direto dos usuários da via. Também poderá ser comprovada a superioridade de um destes critérios, provavelmente de luminância, a qual depende das características de reflexão da superfície da via.

A solicitação inicial para provimento de IP geralmente está fundamentada em aspectos de segurança (ou talvez no estabelecimento e manutenção de um aparato luminoso para alguma sensação de segurança), estando, obviamente, atrelada a certos custos de capital, de energia (Stark, Richard E., 1986; *City of Los Angeles*, 2001), e numa terceira categoria considerada como externalidade ao sistema de IP, geralmente porque não recebe a necessária consideração, e decorre de fator periférico ou externo (Burini, et al., 1999a, b) que interfere no produto final, qual o pavimento, a

qualidade da energia, a expectativa de vida e depreciação luminosa da fonte primária (e da instalação) ao longo de um período entre intervenções, a frequência das manutenções preventivas e preditivas, e as necessidades visuais dos usuários da IP. O acabamento superficial do pavimento é um item destes fatores, cujo conhecimento e controle pode trazer redução ao custo total (custo do ciclo de vida) de uma dada instalação.

A IP deve ser considerada de maneira integrada, e não ficar restrita a uma visão simplista que observa apenas o custo inicial e de substituição de componentes (manutenção corretiva) da instalação. Este procedimento não agrega sustentabilidade e deveria ser combatido devido à baixa qualidade e custo total mais elevado do resultado final. A qualidade do serviço (para alguns, a luz fornecida), diminui de forma contínua, enquanto a potência instalada ou a energia consumida (e tarifada) flutua, acompanhando a tensão elétrica da rede local, em torno de mais de um valor de moda (mais freqüente) da tensão elétrica. Mesmo considerada a condição da visão fotópica, o custo por unidade de luz produzida (lúmen) fica crescente.

1.3 Relevância do trabalho

A partir dos resultados deste trabalho é pretendida contribuição para o estabelecimento de lastro à utilização, na IP do Brasil, do conceito luminotécnico de luminância. A busca pela ampliação de conhecimentos em

iluminação, particularmente à normalização técnica³ em Iluminação Pública, sintetiza parte da relevância desta labuta. A utilização do conceito de luminância, em prescrição normativa para projeto de iluminação significa maior proximidade com o processo visual humano (por contraste ou diferença entre luminâncias). Assim, a discussão sobre eficiência energética poderá ser ampliada (com dimensão de sistema), contribuindo para o tema não continuar restrito apenas à fonte primária e à instalação. São analisadas possíveis melhorias no sistema de IP, identificadas a partir de referencial gerado pelo desempenho aferido, como aquele atualmente praticado, mantendo qualidades na busca pela redução da energia elétrica utilizada na IP.

Fato que pôde ser observado junto ao setor de iluminação brasileiro, quando ainda predominava a tecnologia incandescente, ilustra mudança tecnológica ocorrida para este tipo de fonte de luz artificial onde não é verificada prioridade à questão da eficiência energética (Burini; Andrade, 2000). Trata-se da migração entre o circuito tipo série (corrente elétrica constante), utilizado na IP quando a eficiência das fontes primárias era superior, sob condições nominais, para o circuito paralelo atual (tensão elétrica “constante”) onde a eficiência luminosa foi reduzida, para detalhes sobre valores nominais de eficiência luminosa segundo potência de lâmpada ver figura 1.5.

O foco das pesquisas que foram realizadas neste trabalho esteve concentrado na investigação de tecnologias ausentes e que são elementos de limitação à eficiência energética em uso final.

Nota:³- No ano 2001 foi constatada interrupção nas atividades do COBEI, entidade com mérito reconhecido, que abrigava documentação técnica e dava suporte à área normativa referida.

Uma característica do referencial tecnológico atual está nos projetos para IP serem realizados com base exclusiva no conceito de iluminância; a lâmpada VSAP está sendo instalada em lugar da VMAP, em várias localidades, sem alteração da luminária, sem registros da sua vida útil efetiva e da depreciação luminosa do sistema VSAP em campo (Burini; 1996).

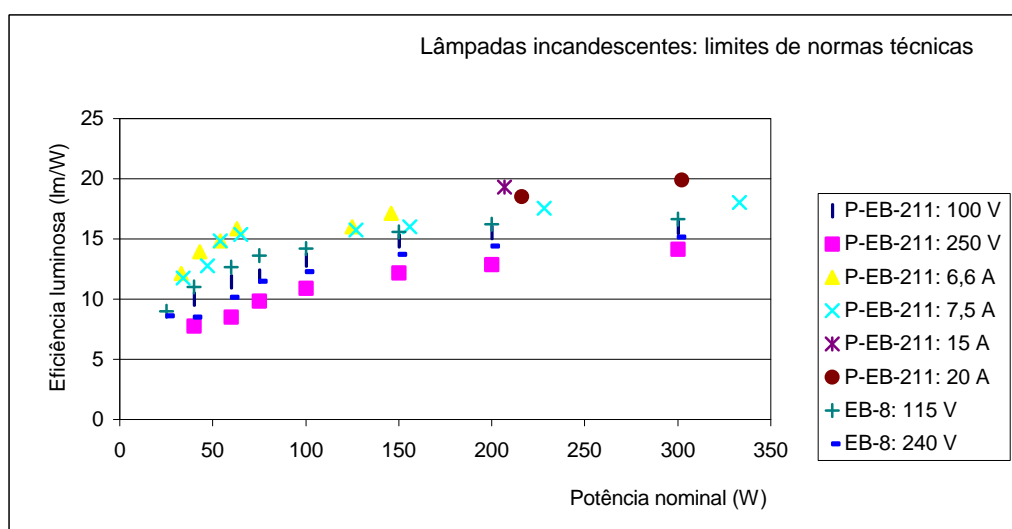


Figura 1.5 - Limites nominais prescritos (P-EB-211, 1965; EB-8, 1982; EB-211, 1986) para a eficiência luminosa inicial de lâmpadas incandescentes, conforme tensão ou corrente nominais.

Dados deste tipo são importantes para que a competitividade entre estas tecnologias possa ser estimada tanto sob condições nominais, quanto na hipótese da lâmpada VSAP ser utilizada sob condições não usuais, conforme recomendação do fabricante (existe restrição à sua vida útil na utilização em rede elétrica com flutuações de tensão da ordem de $\pm 5\%$ e reator tipo série).

A sinalização horizontal (pintura de faixas e o uso de esferas vítreas) tem função auxiliar importante à IP, porém não terá consideração aprofundada no trabalho aqui introduzido, que deverá ter maior fixação em desenvolvimento

tecnológico para conhecimentos sobre tipos disponíveis de pavimentos (como exemplo, asfalto e concreto) para conferir lastro a análise comparativa de desempenho (na condição seca) sob a utilização do sistema iluminante. Outra possibilidade é a situação com modificação da potência elétrica (redução), porém com o sistema produzindo visibilidade, considerada suficiente, aos seus usuários.

Alteração ao padrão atual dos pavimentos escuros de vias tem recebido atenção de segmentos da comunidade científica (Akbari, H., et al., 2001) pois provoca mudança na emitância térmica, localmente, e pode ser fator de influência em mudanças de temperaturas ocorridas (inclusive período diurno), a nível global, conforme está apresentado na figura 1.6.

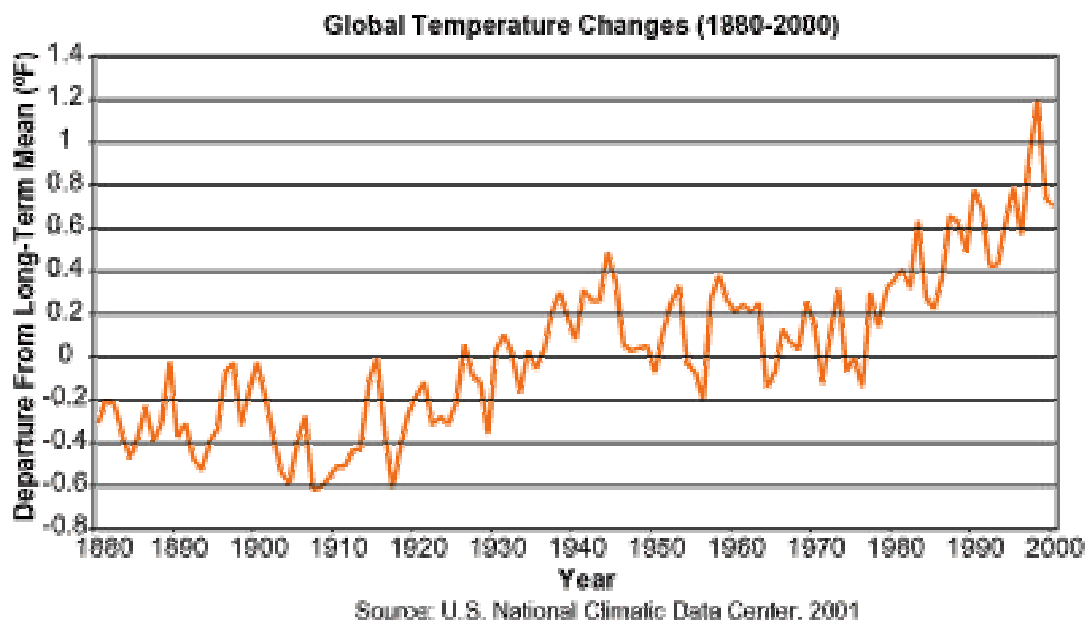


Figura 1.6 – Registros indicando mudança na temperatura global.

A questão da poluição luminosa, luz ejetada no espaço (Isobe, 1996), é assunto sob discussão em fórum internacional (CIE).

Os efeitos locais também trazem problemas que podem ser indicação de projetos inadequados (AQB, 1998), ausência de controle competente e legislação adequada.

1.4 Limitações

Nesta parte estão indicados assuntos externos ou periféricos que estão relacionados ao tema em foco, porém não são aqui considerados prioritários e/ou não receberão tratamento dedicado.

A relação entre IP e segurança (Painter, K., 1996) ou sensação de segurança; as pressões exercidas (qual disputas por fragmentos do mercado, Seburn, T. J., 1964) pelos interesses comerciais a determinadas classes de equipamentos para IP; a preferência exclusiva ao uso dos postes (“cabide”) destinados à distribuição de energia elétrica e que podem acarretar restrições ao projeto (espaçamento, altura da montagem, uniformidade diminuta), principalmente na majoração da potência elétrica instalada (típico quando o vão, entre postes é elevado), iluminação em túneis, visão de máquina, processos sofisticados para tratamento de imagens, fatores para correção da eficiência luminosa (considerada outra condição visual fixada), considerações detalhadas sobre o farol dos veículos, radiometria, colorimetria, e outras aplicações aos desenvolvimentos aqui realizados. Estes são exemplos de assuntos relacionados ao tema central deste trabalho, porém externos (ou externalidades) no contexto do objetivo principal, mas que poderão constituir

tema importante a outros trabalhos ou exercícios. Alguns desses tópicos estão apresentados como ilustração antes do encerramento desta seção.

O aprofundamento da discussão sobre as teorias (Guth, S. L., 1991) para o funcionamento dos receptores presentes no olho humano, conforme ilustrado na figura 1.7 também é tema que não será desenvolvido neste trabalho.

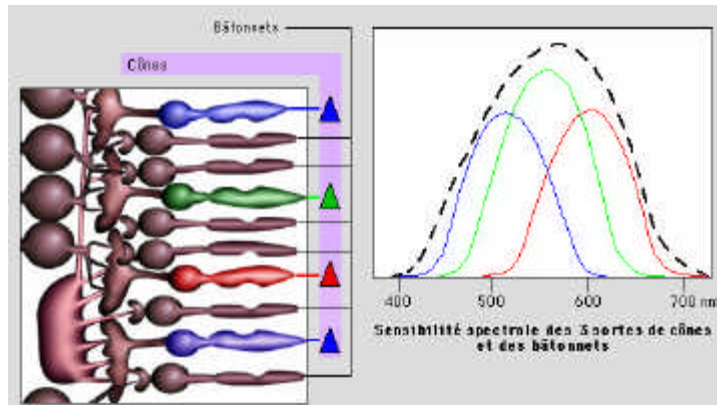


Figura 1.7a – A sensibilidade espectral fotópica decomposta (3 tipos de cones e os bastonetes). Fonte: Telesun RFV-INSA Lyon, 1997.

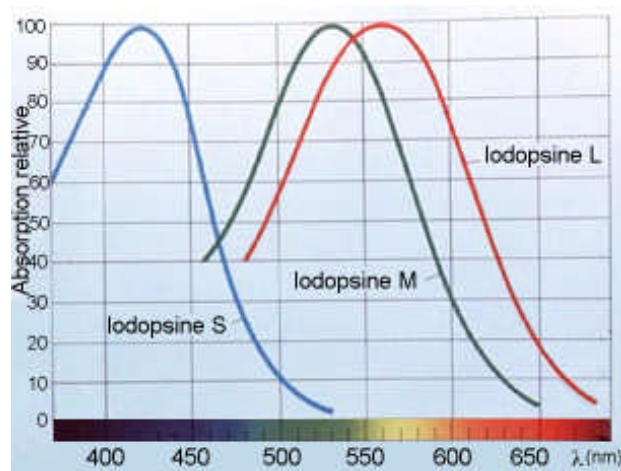


Figura 1.7b – Espectros de absorção por tipo de cone (“iodopsine: L, M e S”) RGB. Fonte: TPE, 2002.

A diferença observada entre a indicação de instrumentos, medição física, e a luz percebida, basicamente devido à resposta visual humana apresentar diferentes comportamentos, inclusive as variações da distribuição de energia espectral da fonte. Aqui é citado como exemplo a situação em uma noite com lua “cheia” e céu limpo, quando é possível dispensar a necessidade da IP artificial, quer em termos de capacidade visual (através de olhos considerados normais) ou em registros históricos (ILUME, PMSP) de época em que óleo de baleia era queimado para igual finalidade (situação com acendimento facultativo). Em exteriores, alguns projetistas já começaram a considerar, sob o prisma de eficiência energética no uso final, fatores de correção para minimizar diferenças visuais observadas (Walerczyk, S., 2002). A consideração do deslocamento fotópico/ escotópico, ver figura 1.8, é um dos caminhos utilizados em propostas aos fatores de correção.

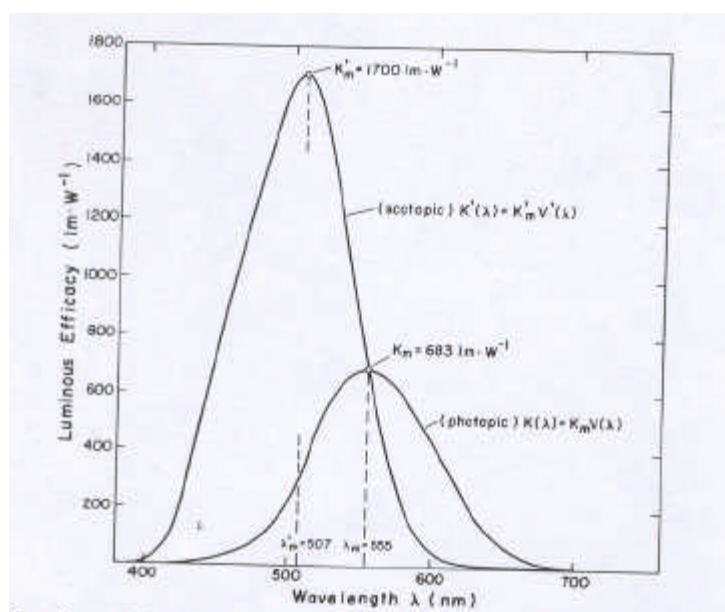


Figura 1.8 – A respostas fotópica e escotópica, referencial para ponderação de fator para correção de efeito visual. Fonte: Wyszecki, G; Stiles, W. S., 1982.

Em IP, geralmente não é feita consideração sobre a contribuição de fontes (que não estão fixas) como a luz de faróis dos automóveis.

Os faróis e as lanternas, quando em funcionamento, agregam efeito positivo à IP, basicamente, devido a questões de segurança e uso de energia. É o efeito de sinalização provocado pela intensificação da componente horizontal da iluminação, nos momentos de maior necessidade, como na presença a um veículo próximo a um cruzamento ou na travessia da via por um pedestre, por exemplo. Alguns autores (Murdoch, 1994; Theeuwes, J. et al., 1997; Lux América, 2000) fazem considerações sobre a utilização destes dispositivos e medidas para minimizar o ofuscamento. Duas situações típicas estão apresentadas na figura 1.9. A figura 1.9b inclui o efeito da presença de líquido na superfície da via, geralmente água, outra externalidade aos objetivos deste trabalho.



Figura 1.9a – A iluminação fixa complementada pelos faróis de veículo.

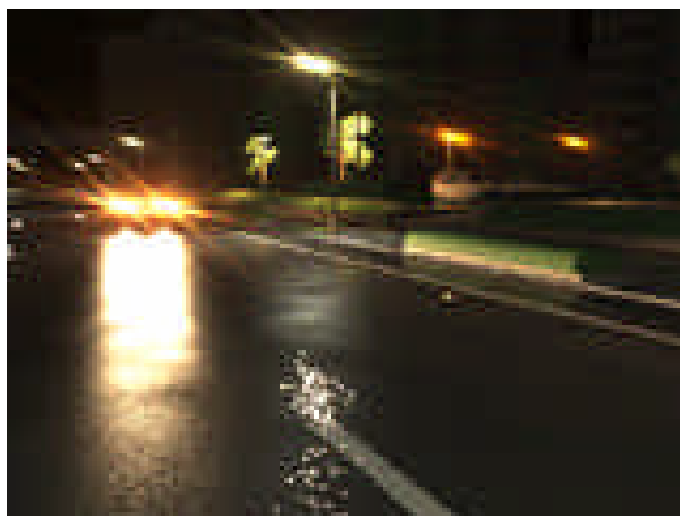


Figura 1.9b – Efeito da iluminação de faróis veicular em via molhada.

Também é considerada externalidade informação de satélite e o seu processamento, em imagem, que tem sido utilizado para correlacionar o consumo energético de cidades e a luz por elas ejetada no espaço. A figura 1.10a traz da literatura um estudo de caso, realizado para a cidade de St. Louis, USA, enquanto a figura 1.10b encontra-se disponível para interesse similar em amplitude global.

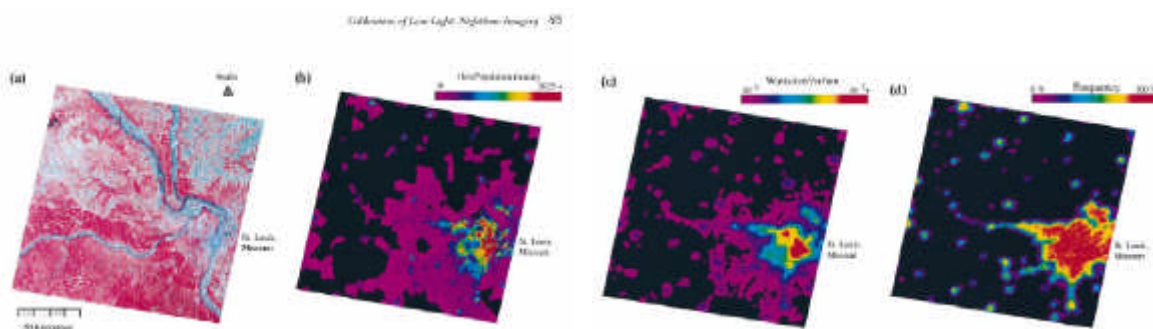


Figura 1.10a – Determinação da emissão lumínica a partir de dados de satélite; ilustrado com o caso de St. Louis, USA. Fonte: Elvidge, C. D.; et al., 1999.



Figura 1.10b – A emissão noturna e visível do planeta. Fonte: NASA.

Outras externalidades no âmbito deste trabalho são: a inclusão do efeito da polarização da luz (que traz sugestão ao controle de ofuscamento por faróis) e aspectos relativos ao meio ambiente, como os rejeitos perigosos contendo Hg. Mesmo que este tenha relação mais significativa (em função da quantidade/volume de unidades) com as lâmpadas fluorescentes, no setor comercial e residencial, em função da dispersão geográfica das ampolas vítreas. O estabelecimento e implantação de programa para reciclagem do Hg (Moreira, J. R.; et al., 1994), independentemente do setor “gerador” ainda é motivo de alguma preocupação.

O estudo de cada uma das diversas partes necessárias a um pavimento não será realizado. A figura 1.11 exhibe uma seção transversal de pavimento típico, onde a parte de interesse neste estudo é a face externa do revestimento.

O levantamento detalhado da distribuição angular de intensidade luminosa (ou refletância) de amostra de pavimento também não é pretendido.

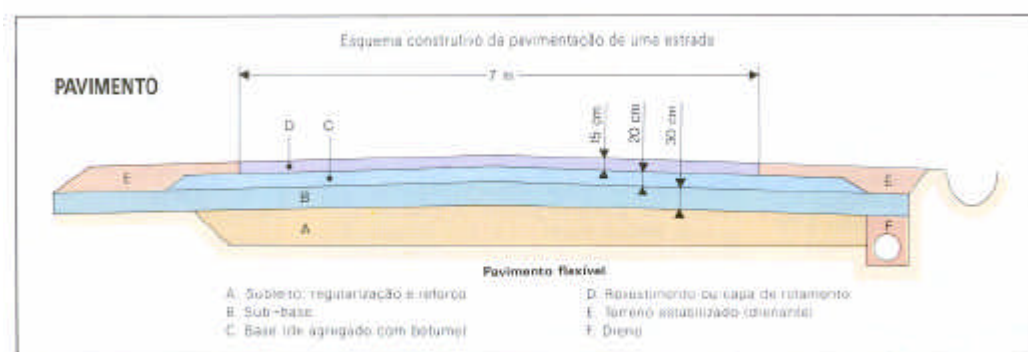


Figura 1.11 – Seção transversal de pavimento típico (detalhe de suas possíveis divisões; parte: D, revestimento). Fonte: Larousse, 1995.

A figura 1.12 exibe duas seqüências de seis imagens, cada qual para fecho de luz com ângulo de incidência alfa (alfa igual 90 graus é a direção da normal ao plano da superfície). Para uma diminuição no ângulo de incidência em relação à direção da normal (90 graus) e aumento no período de utilização do pavimento verifica-se aumento para o fecho de luz restituído.

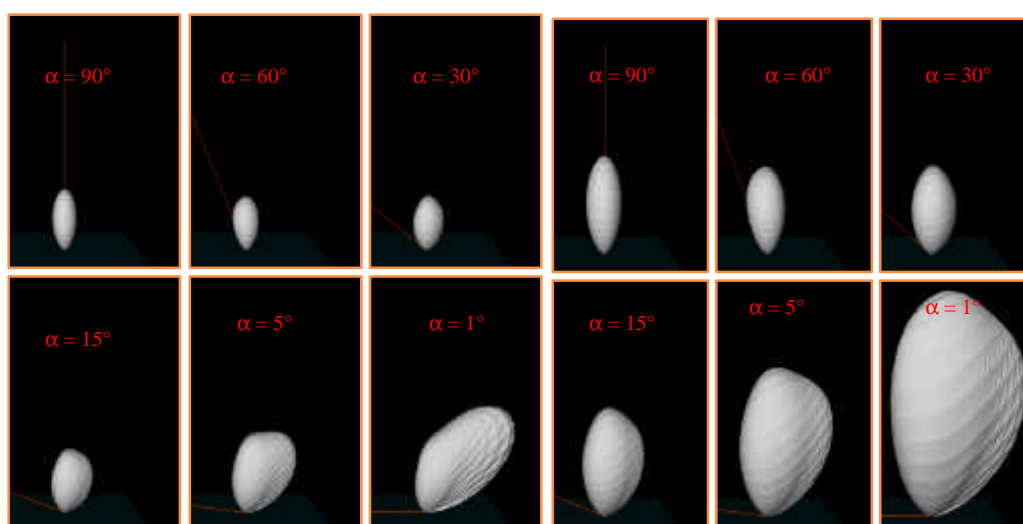


Figura 1.12 – Representação da distribuição de intensidade luminosa de fecho de luz incidente, segundo seis diferentes ângulos (alfa: 1; 5, 15, 30; 60 e 90; unidade grau) em relação à superfície de asfalto poroso. À esquerda: situação inicial (pavimento novo) e à direita após 12 meses de uso. Fonte: Scan, 2000.

O controle da refletância na sinalização viária pode ser uma aplicação futura do desenvolvimento realizado. Na figura 1.13 é apresentado detalhe de equipamento comercial existente no mercado exterior (Alemanha e EUA), sendo utilizado em campo, para o controle da sinalização viária horizontal. Também são externalidades: radiometria, levantamentos espectrais da refletância ou convencionalmente realizadas a partir de espectrofotômetro. Atualmente, informações deste tipo podem ser acessadas na www.

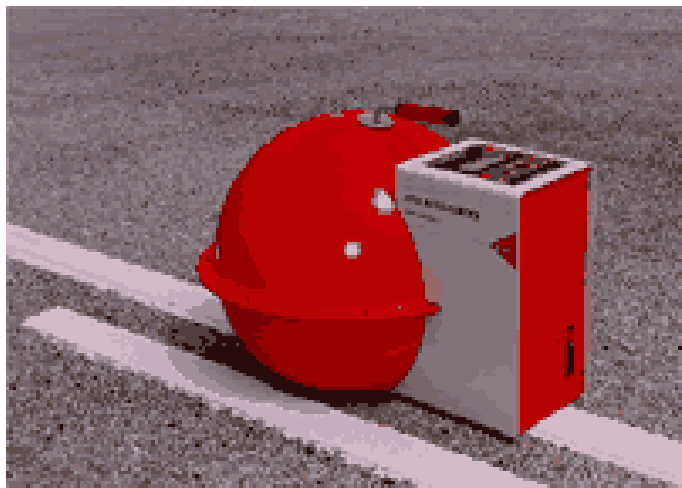


Figura 1.13 – Controle da refletância na sinalização viária horizontal (detalhe de equipamento comercial numa aplicação possível). Fonte: QD 30, 2000.

Com a finalidade de enriquecer a coleção de valores para refletância coligidos (ver anexo C-0), na figura 1.14 são apresentados dados sobre a refletância espectral para duas superfícies de interesse.

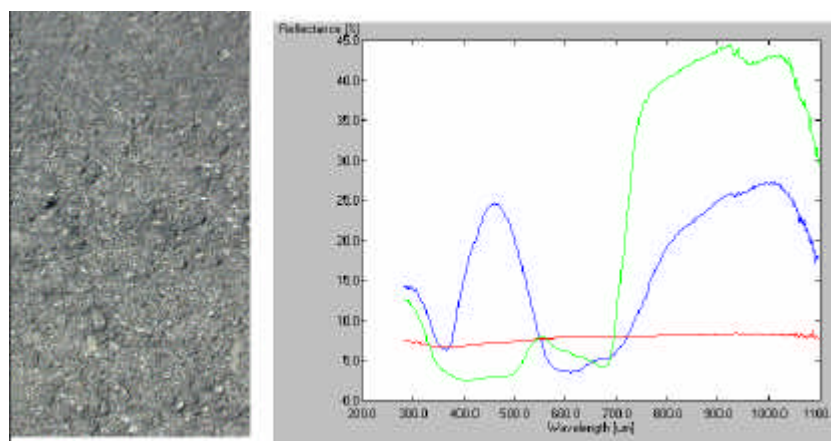


Figura 1.14a – Levantamento espectral da refletância. A linha vermelha representa o comportamento de um tipo de asfalto, enquanto as demais linhas (azul e verde) são de referenciais orgânicos (folhas de árvore, natural e após estar seca) utilizados. Fonte: HSR, 2002.

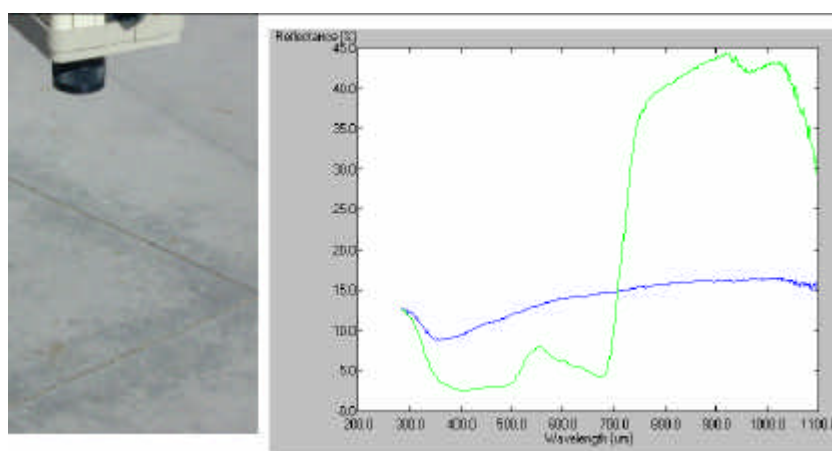


Figura 1.14b – Levantamento espectral da refletância. A linha azul representa o comportamento de um tipo de concreto, enquanto a linha verde é de referencial utilizado (vegetação seca). Fonte: HSR, 2002.

Existem situações complexas no ambiente urbano, onde podem existir diferentes classes de pavimentos, em trecho singelo da via, conforme ilustrado na figura 1.15, situação que o trabalho em pauta não irá abordar.



Figura 1.15 – Ambiente urbano complexo (diferentes classes de pavimentos em uma mesma via).

Os pavimentos de vias que receberam carga de diferentes cores, como pode ser verificado em alguns países europeus para sinalização (ver figura 1.16), não serão considerados.



Green pavement where bike lane intersects vehicle lane, France.

Bus lane colored pavement, England.

Figura 1.16 – Vias com marcações e novos tipos: pavimentos (coloridos). À esquerda, da França; à direita da Inglaterra. Fonte: Scan, 2000.

A realização de colorimetria, determinação de coordenadas de cromaticidade, também é tema que não será desenvolvido, pois existe necessidade de referencial para calibração, cuja réplica impressa está apresentada na figura 1.17.



Figura 1.17 – Base para colorimetria. Foto realizada pelo autor.

Os efeitos (positivos ou negativos) do resultado deste trabalho, sobre terceiros (excluindo-se os usuários e o responsável por prover o serviço de IP), é outro conceito também utilizado para externalidades (Pigou in: Rosa, L. P., et al., 1995) aos objetivos introduzidos deste trabalho de tese, e quando relevantes estarão abordados nos capítulos pertinentes.

2 Base metodológica, recursos e métodos

Este capítulo é dedicado ao estabelecimento de uma base teórica a esta comunicação do trabalho de tese. Nele são considerados conhecimentos identificados e que poderão contribuir à adequação e melhor controle ao uso final da energia elétrica para iluminação, principalmente, em exteriores de países em desenvolvimento.

A quantidade reduzida de conhecimento quantitativo, em relação ao desempenho de sistema típico de IP em campo é uma lacuna que foi identificada e necessita ser suprida. Muito pouca informação sistematizada existe ou está disponível a este respeito. A substituição (ou simples troca) de elemento(s) inoperante(s) do sistema é a característica principal identificada para o estágio atual. O pretendido deslocamento para estágio onde se possa verificar aumento de eficácia neste uso final da energia elétrica, necessariamente, precisa de conhecimento referencial em relação ao desempenho dos sistemas atuais. As principais informações obtidas estão apresentadas neste capítulo, após terem sido abordados dois temas considerados importantes no contexto deste trabalho, a visão humana e fundamentos para medições. O capítulo é encerrado com a fixação de temas para trabalhos científicos (talvez de tese) que são considerados de importância ao desenvolvimento da luminotécnica no Brasil.

2.1 Referencial: visão humana

O brilho visual ou aparente de uma fonte de luz não depende somente de quantidade e direção da radiação por ela emitida, também da sua composição espectral e é função de condições peculiares de observação como direção e sensibilidade espectral visual daquele que a observa.

O sistema visual humano é extremamente sofisticado, complexo e fascinante. Quando examinado em detalhes, em base eletro-psicológica, torna-se aparente o papel dominante da teoria de Maxwell (James Clerk, 1831-1879) para modelar seu funcionamento acromático e a teoria de Hering para o funcionamento em base cromática segundo Fulton, J. T., 2002 (*Processes in animal vision*).

O campo da fotometria foi desenvolvido sobre a premissa de ser aditiva a mistura das cores da luz. Esta diretiva, dita básica, não se aplica à percepção do brilho, apenas à luminosidade da cena. Principalmente, em razão da resposta visual humana variar sob diferentes intensidades de luz e entre observadores. Na realização de certos procedimentos fotométricos é necessário haver conhecimentos sobre a definição e acuidade do observador utilizado. Um exemplo disso está no sistema CIE de fotometria física que especifica procedimento para avaliação quantitativa de radiação óptica, em termos de duas funções de eficiência luminosa espectral (para observador padrão) fotópica ou diurna e escotópica ou noturna (ver figura 1.8). Sistemas assim constituídos permitem determinações da fonte luminosa, independentemente da composição espectral da radiação sob consideração. Porém, a verificação sobre os desvios deste funcionamento, em instrumentos,

não pertence a qualquer tipo de prática conhecida ou que possa ser considerada comum no Brasil.

2.1.1 Olhos e percepção

A interface física do processo visual humano é realizada pelos olhos. A íris, o cristalino e a retina são os seus componentes principais (detalhes de outros componentes e analogia com câmera na figura 2.1). Deles apenas a íris está aparente (ver figura 2.2).

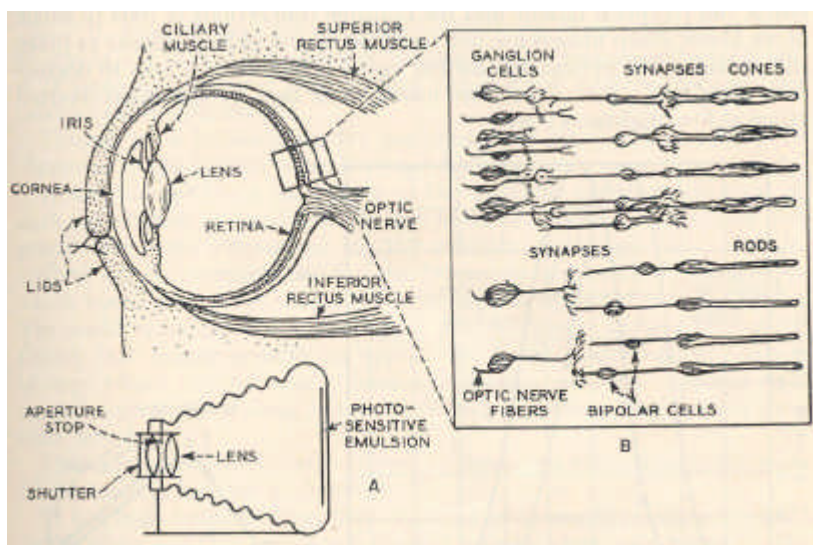


Figura 2.1 – O olho, em corte, com a íris, o cristalino (lente) e a retina, seus componentes principais, e detalhe de outros componentes. Fonte: IES

Handbook, 1947.

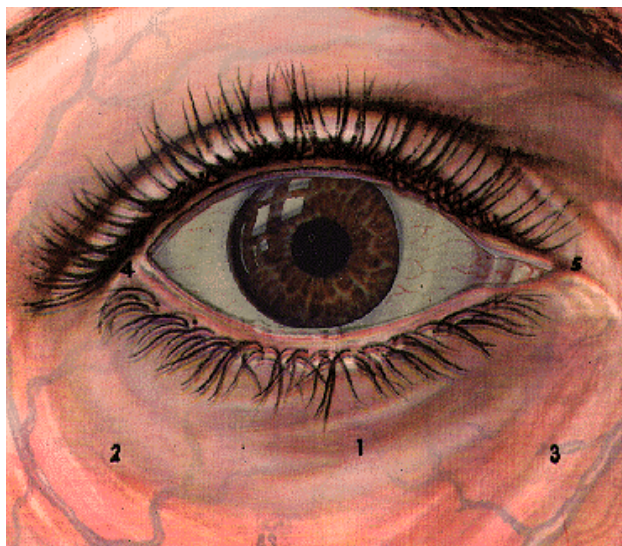


Figura 2.2 – O olho, a íris. Fonte: OLS&HF, 2001.

A função básica destes componentes pode ser visualizada através da analogia com o diafragma, as lentes e o elemento fotossensível (que pode ser, entre outros, um filme fotográfico) de uma câmera. Ao mudar o diâmetro de sua abertura central, a íris (qual um diafragma) permite o controle da área (de entrada) que a luz deve ultrapassar para atingir, adequadamente focada, as regiões fotossensíveis (retina) no lado de seu interior. O nervo óptico interliga (no ponto cego) e conduz as impressões (sinais) da retina ao cérebro. A figura 2.3 apresenta uma imagem tomográfica deste conjunto, ao qual é atribuída a percepção visual.

Quando um objeto está colocado em frente a olhos normais, a sua imagem é formada em região central e posterior destes olhos, na fóvea (chamada visão central), onde existe grande quantidade de receptores, mais sensíveis a radiação policromática (cones) e que permitem ótima resolução

visual.

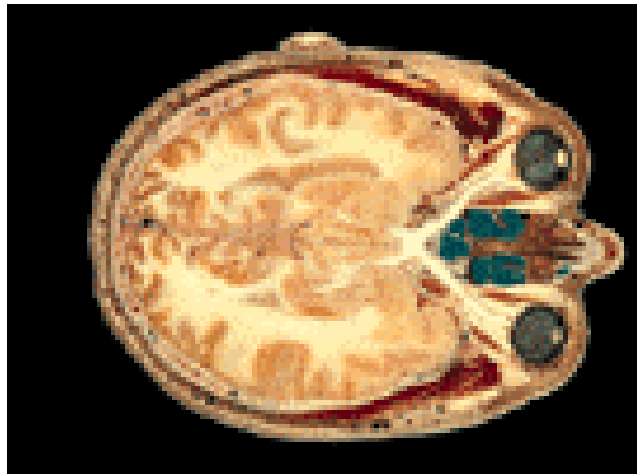


Figura 2.3 – Imagem tomográfica (interna) da caixa craniana, onde (da direita para esquerda) estão localizados o nariz, olhos, nervos ópticos e hemisférios do cérebro humano. Fonte: VHRS, 2001.

A este tipo de receptor, chamado de cone, está associada a sensibilidade visual diurna ou **visão fotópica** e o discernimento de detalhe. Sua sensibilidade é diretamente proporcional a **intensidade luminosa**, sendo muito baixa durante o período noturno, da ordem de 10^{-2} ftL* e deixa de existir a $(10^{-3}$ ftL)*. Para outro tipo de receptor denominado bastonete, que se encontra distribuído pela retina, está associada a sensibilidade visual noturna ou **visão escotópica**. Eles são considerados ativados a partir da acomodação visual em ambiente a 10^{-2} ftL* e não permitem discernimento adequado de cor. Nesta condição predomina a capacidade de visão periférica e a identificação através de contorno (silhueta) passa a ser dominante.

Notas: O tipo itálico em negrito é indicativo de respeito terminológico, conforme indicado no anexo A; * ftL: *foot-Lambert* é unidade inglesa para luminância (1 ftL igual a $3,43\text{cd/m}^2$). Foi utilizada em lugar de cd/m^2 , SI, ou nit, porque facilita a apresentação da escala de valores referida e por razão histórica.

A relativa larga banda intermediária, entre as condições de luz ambiente, a partir da qual fica validada a definição fotópica ou escotópica e alguns outros mecanismos já conhecidos (como o controle da íris) propiciam discussões para buscar a fixação de uma condição de sensibilidade intermediária, a mesópica, ainda não consolidada. A figura 2.4 repete as duas curvas apresentadas (figura 1.8) e introduz uma terceira curva para modelar a sensibilidade visual humana. Esta curva intermediária é proposta que foi apresentada por pesquisadores em Troy, EUA (LRC, 2002).

Independentemente da condição de acomodação que o observador está adaptado, da intensidade ou banda espectral da radiação óptica, o estímulo efetiva-se para o observador quando alguma alteração é percebida a partir da iluminação.

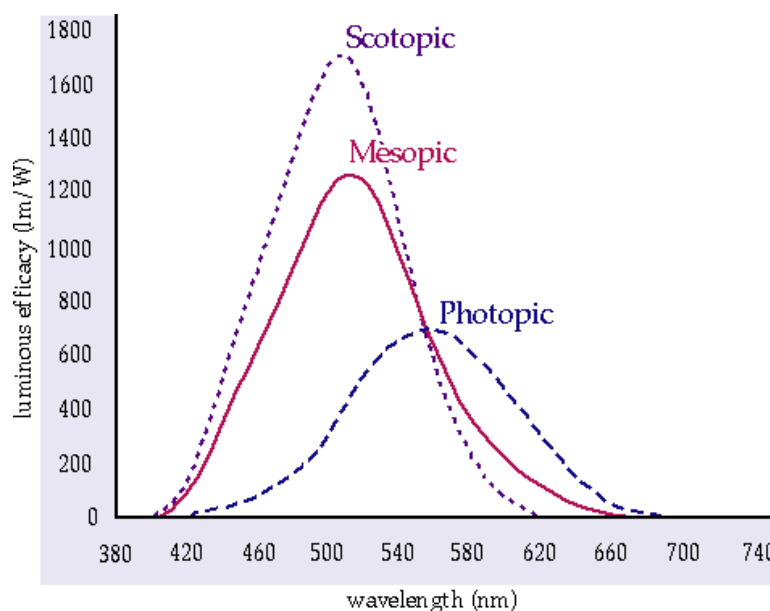


Figura 2.4 – Definições para a sensibilidade espectral do olho humano em função da acomodação imposta por condição (luminosa) do meio ambiente externo. Fonte: LRC, 2002.

A figura 2.5 permite visualizar evidências físicas para a constatação acima citada. Ela representa condição parcial (estática) de situação (seqüência de imagens) onde ocorre impressão visual ou estímulo aos olhos e as conseqüentes alterações de atividades cerebrais decorrentes desse estímulo.

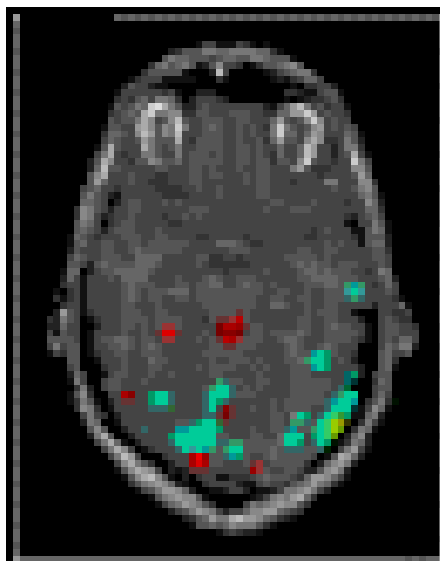


Figura 2.5 – Imagem tomográfica da caixa craniana. Na parte superior estão localizados os olhos (recebendo um estímulo luminoso) e na parte mediana e inferior, estão marcadas as áreas com alteração de atividade por conseqüência do estímulo. Fonte: VHRS, 2001.

2.1.2 Processos

Ainda que a visão possa ser o sentido pelo qual as pessoas normais podem receber a maioria das informações sobre o ambiente exterior, alguns autores como Cayless, 1983; Jenkins e White, 1976, fazem lembrança sobre o que é chamado por ilusões ópticas, como ilustração de quão falsas ou não

reais estas informações podem ser.

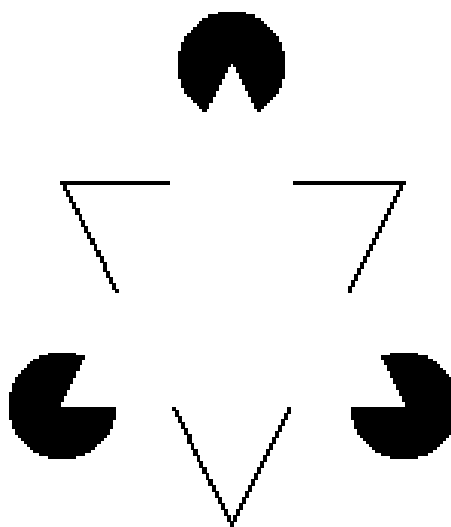


Figura 2.6 – Ilusão de óptica: Quantos triângulos existem na figura? Fonte: Cayless, 1983.

Existe pesquisador que considera o olho essencialmente como um “instrumento quântico”. A energia dos fótons alcança nossos cérebros como corrente elétrica, porém a conversão desta corrente no que é chamada visão (e mesmo a teoria sobre o processo de sua geração junto aos receptores localizados na retina) ainda possui entendimento parcial no meio científico, sendo motivo de intensas pesquisas neste campo do conhecimento (Holladay, L.L., 1926, 1927; Knoll, H.A, 1946; Wyszecki, G; Stiles, W. S., 1982; Grind, W. A., et al., 1999).

Uma transição repentina entre patamares de iluminação diferentes, como pode ocorrer após a entrada num túnel, durante o meio dia, o espalhamento indevido de luz pelo humor aquoso de um olho jovem e a degradação de sua transmitância ao longo do período da vida humana são exemplos de processos que levam ao ofuscamento com perda parcial ou total

(cegueira momentânea) da visão.

A curva da sensibilidade cromática relativa, determinada com base na seleção entre vários conjuntos de olhos humanos, dois métodos diferentes, campo visual central e luminância elevada, encontra-se adotada, internacionalmente, como representativa da sensibilidade luminosa relativa, a visibilidade do observador padrão CIE para rastreabilidade da sensação visual humana diurna na fotometria física, $V(\lambda)$. Na região ou condição fotópica, desde que sejam utilizados instrumentos cuja resposta espectral esteja conforme $V(\lambda)$, a fotometria de fontes com diferentes respostas espectrais não introduz discrepâncias entre o brilho subjetivo (ou percebido) e a luminância (brilho físico). Porém, fora da região fotópica a correspondência (entre brilho subjetivo e um dado valor de luminância) é dependente da distribuição espectral de forma variada, e dentro da faixa de Purkinje⁴, em modo que depende do valor da luminância (Walsh, 1953). Fatos como estes levaram à introdução de um conceito denominado ***luminância equivalente***, para que pudesse ser feita a diferenciação necessária.

2.1.3 Fatores

A capacidade ou acuidade visual humana, em geral, está referida em termos de menor ou maior visibilidade a determinado objeto visado ou alvo.

Nota:⁴ - O chamado efeito Purkinje pode ser observado quando duas superfícies, por exemplo, uma azul e a outra vermelha, estão sob iluminação normal e apresentam brilho aparente equivalente. Ao ser reduzida a iluminação presente, de modo a poder ingressar na região escotópica, deverá ser observado brilho maior da superfície azul em relação à vermelha.

A influência do tamanho do objeto alvo é um dos fatores a considerar, cuja variação está apresentada na figura 2.7. Nela a notação 20/20 é referente a acuidade visual normal e o aumento do “denominador” indica redução visual.

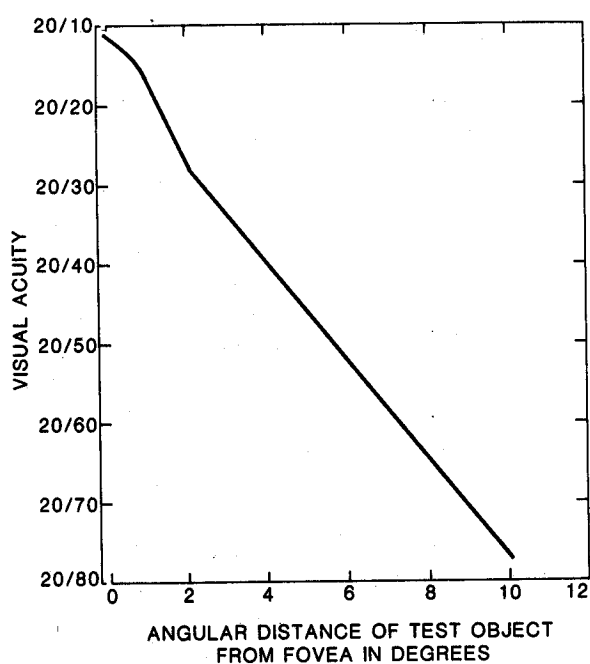


Figura 2.7
– Relação entre a acuidade visual e a distância angular do objeto em relação à fóvea.

Nota: O eixo das ordenada utiliza notação devida a Snellen, quanto pior a acuidade visual (maior será o denominador desta notação) maior o tamanho do objeto que poderá ser reconhecido. Fonte: Rea (IESNA), 1993.

Na literatura, ao serem buscados qualificativos sobre o termo visibilidade, o primeiro que emerge tem lastro ou está relacionado com a transmitância do meio, geralmente, o ar ou densidade atmosférica, **visibilidade meteorológica** (3.11.20.1, conforme TB-23, 1991), com aplicação em auxílios visuais na área de transportes não convencionais (aéreo, marítimo e fluvial). Casos onde a visibilidade é fator operativo limitante, sendo avaliada em metros. Em meio terrestre (ou transporte convencional), na ausência de fenômeno atmosférico

marcante (como chuva ou neblina intensa), a visibilidade não é referida em termos semelhantes. Na iluminação artificial, acima da chamada frequência crítica (*flicker*), em período noturno, existem outros fatores de acomodação, adaptação (ver figura 2.8) e limitação visual, além da diferença de brilho, como a abertura da pupila, o tamanho da área iluminada; o produto entre o ângulo sólido que esta área fica submetida e seu brilho (para uma determinada abertura de pupila), ou seja, a quantidade de luz que atravessa a íris.

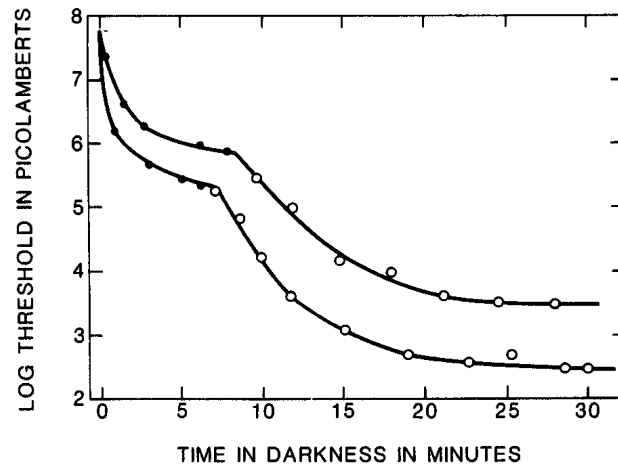


Figura 2.8 – A variação da sensibilidade a luz, após exposição, em função do tempo. As curvas representam limites de faixa para olhos normais. Nota: O eixo das ordenadas utiliza notação LOG como indicativa da escala ser logarítmica. Fonte: IESNA, 2000.

A sensibilidade ao contraste (diferença de luminâncias adjacentes) é fator muito importante no processo visual. Alguns resultados experimentais de pesquisas pioneiras neste campo do conhecimento estão apresentados nas

curvas da figura 2.9. As curvas expressam a variação da sensibilidade ao contraste em função da variação da luminosidade de fundo, segregada para visão através de receptores denominados cones e dos bastonetes e mostra a diferença nas taxas de variação. Ênfase deve ser dada para a saturação da sensibilidade quando a vizinhança da cena considerada fica no escuro.

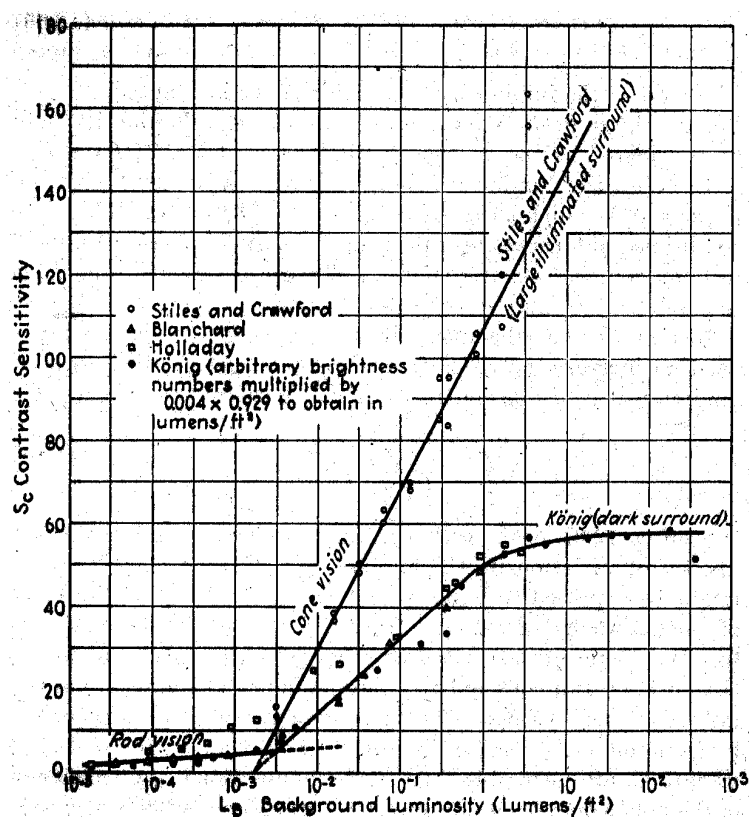


Figura 2.9 – A variação da sensibilidade ao contraste em função da iluminância de fundo. As curvas representam diferentes faixas e conjunto de dados. Fonte:

MOON, P., 1936.

Outro fator que deve ser citado é aquele relacionado à persistência visual ou taxa da cintilação. Na figura 2.10 está apresentada a variação da sensibilidade humana limite à modulação da luz, em função da taxa da cintilação. A curva inferior representa condição cromática e a outra acromática. Isto significa que

a partir de determinada frequência a pulsação não mais terá sua variação percebida; sob condições normais o sinal luminoso parecerá contínuo.

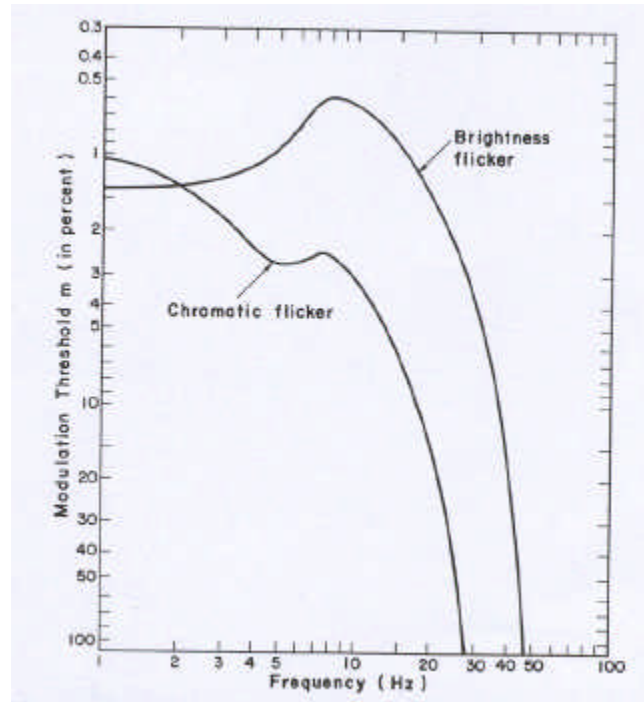


Figura 2.10 – A variação da sensibilidade limite à modulação da luz em função da sua taxa da cintilação. A curva inferior representa condição cromática e a outra acromática. Fonte: IESNA, 2000.

A interface entre reprodução de tons e visão é um fator relevante no contexto deste trabalho. Houve necessidade de ser elaborada uma escala de tons de cinza para a calibração de sistema idealizado. O ponto de ligação importante está na estimativa da refletância. Das informações recebidas do mundo exterior, através da visão, são maioria absoluta aquelas que provêm de fonte secundária, por reflexão, possuem menor luminância, tanto em valor absoluto quanto em escala relativa.

2.2 Medições: fundamentos

Neste trabalho foi elaborada metodologia para registro e medições comparativas aplicadas à área de iluminação, para ser replicada com facilidade junto aos usuários, em potencial, e utilizada como alternativa em relação a fotômetro convencional (hoje muito pouco utilizado). Também é buscada a minimização de barreiras que poderão impedir a difusão da tecnologia abordada. Nesta seção são abordados alguns fundamentos de medição física clássica, por instrumentos convencionais (Dows, C. L., 1936; Thornton, W. A., 1973; IES Guide, 1975; Thornton, W. A. et al., 1980) e buscado o estabelecimento de base para avaliações utilizando-se câmera CCD. A utilização de imagem fotográfica para gerar conhecimento sobre a iluminação ou sua distribuição não é ferramenta nova, está citada na literatura por vários autores, entre os quais estão: Mees, C. E. Kenneth, 1952; Walsh, J. W. T., 1953, 1954 e Keitz, H. A. E., 1971; Travis, J. C. et al., 1995.

Os fundamentos para medição, em fotometria clássica (fotópica), geralmente, são introduzidos a partir da escolha em definir, primeiro, intensidade luminosa ou fluxo luminoso (TB-23, 1991). Ainda que a definição de intensidade luminosa esteja associada a condições bastante peculiares (certa fração da irradiação da platina em estado de solidificação), existe relativa complexidade para sua realização. Operacionalmente a intensidade luminosa é grandeza direcional característica da fonte luminosa, podendo ser reproduzida e disseminada com relativa facilidade a partir de lâmpada incandescente (iluminante A, padrão CIE). No passado, outros materiais e procedimentos foram utilizados para o estabelecimento do referencial

intensidade luminosa, tanto quanto para a sua quantificação. O conceito de intensidade luminosa possui aplicabilidade direta na representação da fonte por um campo vetorial e nos cálculos luminotécnicos. Iniciando desta maneira, a definição de fluxo luminoso fica bastante simplificada, podendo ser a integral ou soma, em todo o espaço, da distribuição de intensidade luminosa da fonte considerada.

2.2.1 Visão artificial: fotômetros

Os equipamentos utilizados para avaliação da energia radiante, óptica, de sistemas iluminantes, na região do visível (quantidade de luz), por longo período estiveram lastreados diretamente nas condições visuais dos seus usuários no instante da determinação. Os fotômetros por comparação visual simples foram os primeiros instrumentos utilizados para quantificar a radiação visível; depois vieram os fotômetros físicos, “visão artificial”, com sensores a válvulas eletrônicas (Arruda, P. R., 1949; Walsh, J. W. T., 1954); o selênio e depois o silício os seguiram. Estes últimos permitiram certa independência entre os resultados das medições e a necessidade de observadores treinados (particularmente benéfica a setores fabris). A relativa variabilidade de resultados, lentidão e erros inevitáveis por fadiga visual em processos, sobretudo em meio à produção industrial crescente nas décadas iniciais do século passado, foram fatores importantes para o abandono dos fotômetros por comparação visual (ver figura 2.11a). Atualmente predominam os fotômetros físicos, baseados no fenômeno fotoelétrico e sensor (fotodiodo) em silício, apesar da baixa sensibilidade (mA/lx), em relação a outros cristais

dopados, como por exemplo o sulfeto de cádmio ou seu precursor nesta aplicação específica, o selênio.



Figura 2.11a – Processo experimental utilizado para o estudo da relação entre distância e iluminância. Gravura de Pieter Paul Rubens, 1613, in: *Photometria*, Johann Heinrich Lambert, 1760. Fonte: Book review, 2002.

Células a partir do silício são largamente utilizadas, devido sua baixa dependência com a variação de temperatura (típico 0,1%/grau Celsius); sua maior imunidade à umidade, superexposição à radiação e melhor linearidade em relação ao selênio, que teve utilização praticamente abandonada. Os fornecedores de fotômetros geralmente apresentam informação, nos seus manuais de instruções, sobre a existência de correção da resposta espectral em relação ao observador padrão CIE (correção de cor) e quanto ao ângulo de incidência da radiação (correção do cosseno). Aspectos que normalmente não são verificados quando da sua aferição (calibração) exclusiva contra iluminante A (CIE).

Neste ponto é importante tornar saliente o maior afastamento que

passou a existir entre o valor numérico, resultante de uma medição física realizada e a sua respectiva validação, com base nas necessidades ou efeitos visuais por parte do observador (não estando considerada apenas a introdução de correção com base na resposta espectral média de um observador “padrão” fotópico, CIE 15, 1971 e CIE 38, 1977; porém um conjunto de fatores, aqui simplesmente denominado capacidade visual ou visibilidade).

A figura 2.11b introduz o diferencial de visada entre dois tipos de fotômetros físicos, luxímetro (que capta radiação com incidência angular ampla e com atenuação) e luminancímetro (geralmente com visada colimada), conforme o tipo da medição requerida.

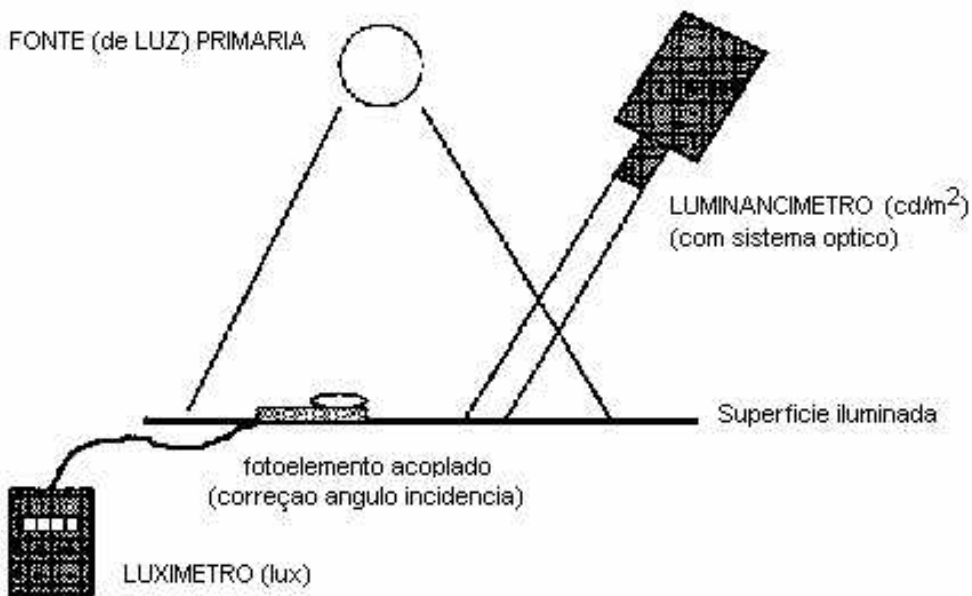


Figura 2.11b – Fotômetros, a fonte primária e o plano da medição.

2.2.2 Conceitos e práticas

Uma maneira prática para ser feita a determinação da intensidade luminosa de uma fonte luminosa, considerada puntiforme, numa determinada direção, está em serem realizadas medições da iluminância (E) produzida pela fonte em distâncias crescentes e conhecidas desta fonte e fazer uso da lei conhecida como inverso do quadrado da distância (IQD). No limite, ou a partir de certa distância da fonte, o produto entre a iluminância e a distância relativa, em relação à fonte (d), ao quadrado ($E \cdot d^2$), assume um valor assintótico (ou “constante”), numericamente igual à intensidade luminosa da fonte na direção considerada (ver figura 2.12 para considerar a influência das variações nas dimensões da fonte primária em relação à distância do “observador” quando for necessário).

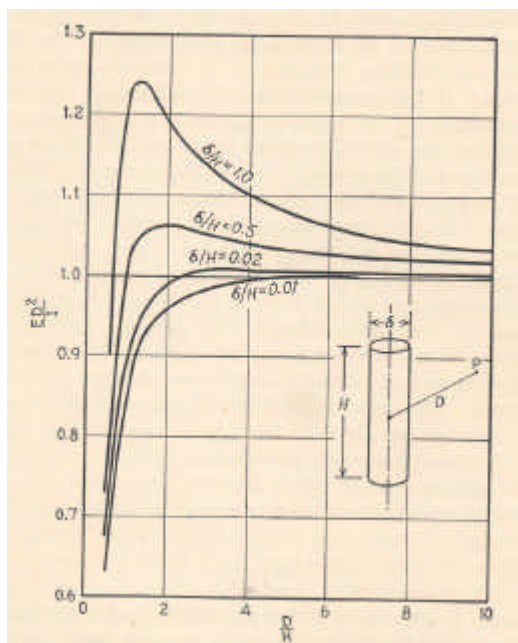


Figura 2.12 – A influência das dimensões da fonte primária (na lei IQD), em relação à distância do local de sua observação. Fonte: MOON, P., 1936.

Conhecida a distribuição espacial da intensidade luminosa de uma

fonte, conforme já mencionado, por cálculo integral pode ser feita a determinação do seu fluxo luminoso emitido. Em certos casos este tipo de determinação fica simplificado com a utilização do fotômetro integrador ou esfera de Ulbricht.

2.2.3 Medindo radiação óptica visível

Na determinação da luminância de uma fonte primária ou uma superfície emissora extensa, pode-se interpor entre ela e o sensor utilizado um anteparo opaco que possua uma pequena abertura (em relação à área ativa do sensor), cuja área possa ser conhecida com exatidão suficiente e fazer uso de um procedimento convencional para determinação da intensidade luminosa (como por exemplo, acima descrito).

Uma superfície especular (espelho) não é exemplo de superfície Lambertiana, a qual caracteriza-se como difusor (ou refletor) perfeito, isto significa que a sua emissão (ou reflexão) luminosa ocorre com distribuição espacial tal que a luminância resultante independe da sua posição em relação ao observador (“restrição” de luminância). Esta condição ideal, estabelecida por Johann Heinrich Lambert (1728-1777), pode ser aproximada por muitas superfícies reais, particularmente aquelas que não apresentam “brilho” direcional predominante. Em termos de distribuição de intensidade luminosa, em relação ao ângulo de observação, pode ser verificada a partir da equação:

$$I(\theta) = I_n \cos \theta \quad (1)$$

Onde:

θ é o ângulo de observação em relação à direção perpendicular a superfície (sua normal) e

I_n é a intensidade luminosa na direção da normal.

Esta é uma aproximação de verificação exequível, caso necessário, a partir de levantamento fotométrico apropriado. Como a luminância pode ser definida pela razão entre intensidade luminosa na direção de observação e área aparente da superfície considerada (que também varia com taxa igual da intensidade luminosa), para o caso de superfície lambertiana infinita, a luminância torna-se invariante.

O primeiro instrumento, coligido na literatura, destinado à medição de visibilidade (com escala empiricamente calibrada) é devido a Luckiesh-Moss - LM, 1942 (ver figura 2.13 onde está apresentada na parte superior uma vista externa do instrumento e abaixo os discos graduados, com transmitância variável que ficam montados em seu interior).

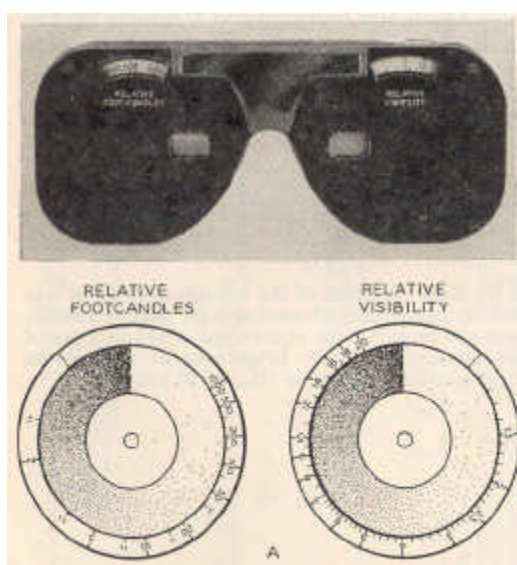


Figura 2.13 – Reprodução do medidor de visibilidade LM. Fonte: Barrows, W. E., 1951.

Ele tem princípio com base no limiar de observações, pela redução da transmitância do meio (disco) posicionado entre os olhos do observador e o objeto alvo⁵ (Barrows, W.E., 1951). Ao ser girado o disco desempenha função análoga a uma mudança no nível da iluminação do local ou meio considerado.

Em geral, a interpretação do que está indicado pela escala de um fotômetro⁶ convencional, tem relação com a componente ortogonal (ao plano do fotoelemento) do fluxo luminoso incidente, amostrado através da parte (área) ativa de sua cabeça fotométrica. Estas cabeças apresentam variedade, relativamente grande, quanto ao seu diâmetro, com relação diretamente proporcional à sensibilidade requerida e posicionamento na superfície ou plano de interesse. Dependendo das dimensões envolvidas, a iluminância, grandeza que possui caráter individual com localização pontual pode ser tratada através de análise vetorial usual, campo vetorial. Alguns fotômetros típicos, inclusive modelos históricos (os mais antigos), acompanhados de características e respectivos princípio de funcionamento estão apresentados na literatura (para detalhe é indicado o capítulo três, Moreira, V.A., 1976, que utiliza bibliografia a partir de 1953 e faz alguma referência ao que chama de “Curva Internacional de Luminosidade Espectral Relativa” para a “correção de cor” e sobre a “correção do cosseno” como características de “bons luxímetros”).

Notas: ⁵- As barras paralelas, comuns em cartazes utilizados em oftalmologia, foram os objetos alvos utilizados para calibração do LM. Caso estes objetos sejam observados a uma distância de 1,6 m, o valor numérico associado corresponde ao ângulo visual, em minutos, submetido pelo comprimento das barras ou pelo comprimento do espaço entre as barras (Barrows, W. E., 1951);

⁶- No Brasil o termo predominante é luxímetro (devido sua escala ter sido aferida com base no S.I., lux (abreviatura, lx); no sistema inglês a unidade ainda bastante utilizada, culturalmente, é o *footcandle*, fc (a relação entre estas unidades, 1 fc vale 10,76 lx).



Figura 2.14a – Conjunto de cabeças fotométricas e fotômetros típicos.

Fogle, M. E., 1936 reportou existência comercial com sucesso, no início dos anos 1930, de fotômetro modelo Photronic (Weston), equipado com sensor a estado sólido (ver figura 2.14a, ambas as fotocélulas externas, em linha no primeiro plano, e o novo filtro, na cor verde à esquerda, “solid glass Visual Correction color filter”). Este mesmo autor também apresenta fatores para corrigir a indicação do instrumento, em função do tipo de fonte primária (com e sem o uso deste novo filtro) e citou as desvantagens de outros tipos de filtros, anteriormente desenvolvidos (como daquele que utilizava líquido, para o caso de equipamentos comerciais portáteis, e a permeabilidade ao infravermelho pelos filtros do tipo gelatina colorida). A utilidade funcional do filtro (ou conjunto de filtros) é produzir sinal instrumental compatível com a sensibilidade espectral do olho humano normal. Outra citação relevante daquele mesmo autor foi: “Desde que a exatidão da célula, visualmente corrigida, seja conhecida é possível verificar a exatidão (o funcionamento) de

um fotômetro, em poucos minutos, em um único ponto da sua escala, a partir de um iluminante incandescente (tungstênio) padrão e o instrumento, com garantia, poderá ser utilizado sob fontes cuja medição é demorada e possui incerteza elevada (quando determinada sob método visual ordinário), como néon e mercúrio”. Anteriormente à utilização destes filtros, a prática comum era a utilização de fator para correção, em função do tipo de fonte primária, procedimento que não é eficaz seja na presença de mais de um tipo de fonte primária ou em interiores, principalmente quando a refletância das superfícies, em desempenho análogo, traz alteração do espectro da radiação emitida. A verificação de conformidade do filtro não é realizada, segundo procedimentos conhecidos, nas aferições/calibrações de luxímetros no Brasil. Assumir (sem qualquer verificação) que equipamentos deste tipo possuem correção adequada poderá conduzir a erros significativos. Assim, a prática indicada (e que ainda é utilizada) está no fator para correção, conforme escala e tipo de fonte primária sob consideração. É enfatizada a observação de que este método não é adequado para situações onde ocorre contribuição parcial de fontes diferentes. Situação análoga ocorre com instrumental para colorimetria, quando outros filtros (azul e vermelho) são utilizados. Independentemente de não estar disponível a informação sobre o erro, em relação à resposta espectral fixada (ou ideal para cada filtro), um sistema deste tipo (similar às câmeras digitais atuais, que geram imagens coloridas) poderá agregar sinais com informações. No caso de câmeras coloridas pode estar disponível até mais dois outros canais de sinal do espectro visível da radiação eletromagnética amostrada. Nas condições deste trabalho, as determinações foram realizadas com superfícies suficientemente planas e cor neutras, isto é,

sem prevalência acentuada da intensidade luminosa do sinal de um canal (da câmera digital colorida utilizada como fotômetro) sobre os demais canais.

2.2.4 Luminancímetro simples

O luminancímetro (simplificado, sem sistema óptico com lentes) utilizado neste trabalho é produto de desenvolvimento próprio. Na solução adotada para amostrar luminância foi utilizado um fotômetro (luxímetro) convencional, o qual recebeu modificação através da instalação de um colimador na parte de sua cabeça fotométrica. Um desenho (com duas vistas) indicando detalhe construtivo para a montagem do primeiro protótipo (colimador e sensor) está apresentado no anexo I, figura I.1. A configuração adotada teve origem em necessidade do uso de colimador para minimizar o efeito de sombra do próprio sensor, e base em configurações consolidadas por outros luminancímetros (Weston 1931, e Gossen). No caso de medição, em valor absoluto, ao valor numérico da leitura do instrumento deverá ser aplicado fator de conversão (para correções: espectral e efeito de parede interna do tubo) conforme a escala utilizada. A validação do protótipo pode ser feita a partir de referencial transferido de um luminancímetro calibrado ou utilizando-se luxímetro e superfície difusora calibrados.

Na figura 2.14b está apresentada uma aplicação do luminancímetro simples elaborado, sendo utilizado como a parte sensora do refletômetro idealizado e denominado Macbeth (ver seção 2.4.2.6.1).

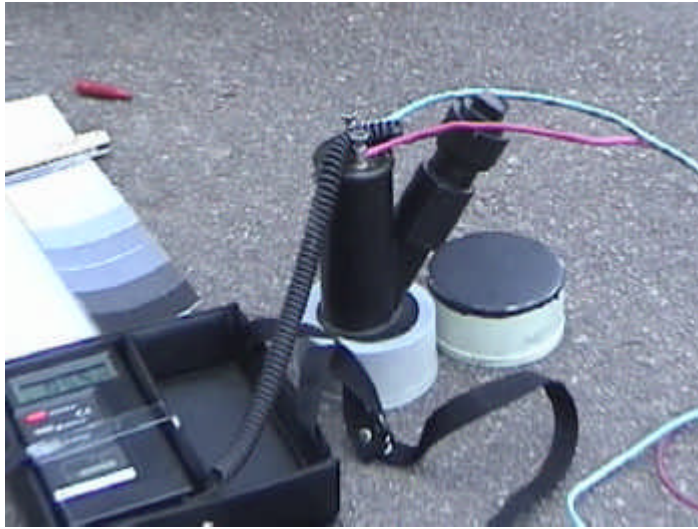


Figura 2.14 – Utilização em campo da cabeça fotométrica construída (luminômetro simples) no refletômetro denominado Macbeth, out. 2002.

O resultado da teoria para a escolha das dimensões do tubo, através do caminho que envolve a lei conhecida como Inverso do Quadrado da Distância (IQD) à fonte e a definição de luminância, razão entre intensidade luminosa pela área aparente da fonte (considerado o ângulo entre a normal da superfície e a intensidade do fecho) está apresentado no anexo I. Outro caminho, coligido da literatura especializada, Moon, P., 1936, apresenta a equação (2), abaixo transcrita (apenas um ajuste necessário ao sistema internacional foi realizado),

$$L = [(Lu^2 + Ri^2) \cdot E / (\pi \cdot Ri^2)] \quad (2)$$

Onde: Lu é o comprimento útil do tubo utilizado;

Ri [(1/2).Di] é a metade do diâmetro interno do tubo utilizado; e

E é a iluminância, leitura do instrumento utilizado.

Esta expressão tem forma similar ao resultado apresentado pela equação I.1 (quando $2R_i = D_i$). Moon, P., 1936 apresenta a equação 2 em forma de um somatório de parcelas, uma série. Isto facilita a tarefa do dimensionamento geométrico com base num erro admissível e previamente especificado. A condição de fonte luminosa com área “infinita” ($2R_i \gg L_u$), quando comparada com L_u , ou seja, eliminando (L_u), a equação 2 transforma-se num caso especial e particular, assim escrito:

$$L = E/\pi \quad (3)$$

Observações: (a) **Emitância** ($M=\pi.L$); (b) No caso particular deste desenvolvimento, a equação (3) chama a atenção como auxiliar a mudança normativa (NBR 5101, 1992) preconizada porque está relacionando, diretamente, E com L. Porém, não é verdade que a relação (L / E) sempre é constante. Tratando-se de superfície difusora, cuja refletância vale (ρ), poderá ser verificada relação importante abaixo,

$$L = \rho.E/\pi \quad (4)$$

2.2.5 Fotômetro CCD

Uma mudança no campo da fotometria está em curso a mais de uma década (Rea, M. S.; Jeffrey, I.G, 1990; Rykowski, Ron, 1994; Lewin, Ian; O'Farrell, John, 1999). As fotometrias de intensidade luminosa das luminárias, por exemplo, não mais necessitam de salas com grandes dimensões lineares. Sistemas utilizando câmeras digitais já estão disponíveis, comercialmente, para este atendimento. Porém, estes sistemas possuem preços bastante elevados, se comparados ao fotômetro convencional. Estes tipos de câmeras são equipamentos que permitem a gravação de imagens, digitalmente, ou seja não utilizam filmes nem o tradicional processo de revelação⁷. Um conjunto de informações da cena de interesse, depois de capturado, fica armazenado em meio magnético (como um disquete para microcomputador, fita) ou em “cartão” de memória RAM. A gama de equipamentos disponíveis que permitem obter uma “imagem digitalizada” é grande, e o método não é único. Existe a possibilidade da utilização de equipamentos denominados scanners⁸, até câmeras bastante sofisticadas que utilizam técnicas de controle da temperatura do fotelemento, em alguns casos impondo resfriamento intenso, na busca pelo aumento da sensibilidade.

Notas: ⁷- A terminologia usual deste setor tem base na área da fotografia convencional, onde poderá ser encontrada a terminologia básica (disponível em: <http://www.tudosobretv.com.br/planos/>; http://www.brasilindoor.hpg.ig.com.br/foto/curso/*.html; e (http://www.sunspotphoto.com/*/*.html); e

⁸- O documento normativo inglês BS 5489, 1992 apresenta imagens com 4 tipos diferentes de pavimentos (para finalidade de classificação). Antes de dispor da câmera foi utilizado um scanner para reproduzir tais imagens, e assim teve início a implementação do desenvolvimento por imagem digital realizado neste trabalho.

Alguns recursos elevam bastante o custo para obtenção de informação/dados por meio de imagem, podendo torná-lo até proibitivo, como num passado pouco distante.

2.2.5.1 Câmera CCD: equipamento escolhido

A disponibilidade do tipo de câmera, a facilidade de sua interface com um microcomputador, e o seu preço, entre outros fatores de ordem técnica são os requisitos preponderantes; por esse motivo recebem tratamento particular nesta seção. Alguns tópicos, sobre a parte técnica, já são encontrados em trabalhos relacionados com robótica, “visão” em máquinas, alguns gerados na EPUSP (visão para seguir uma linha no solo e automação de processos, Silva, R. A. B.; et. al., 1999; Fiorante, G. R., 2001).

A construção de sistema dedicado como o MÉLUSINE (Brusque, C. e Hubert, R., 1996), com arquitetura modular utilizando câmera de fabricante já tradicional, por exemplo como o americano COHU (serie 4910, com resposta espectral relativa, predominante na região do visível) não representa solução de interesse. Basicamente, a estratégia estabelecida foi à utilização de equipamento portátil, comercial (e demais razões já expostas).

A faixa de valores de preços para luxímetros convencionais, praticada no mercado local foi o principal referencial estabelecido para um limite superior máximo para o preço da câmera pretendida (menor que 10 vezes; 6,6 foi o valor que na prática ocorreu). A opção recaiu sobre o modelo TCR-TRV 320, Sony, custo na faixa de US\$ 900 (valor este sem a inclusão de acessórios: bateria extra, tripé, filtros para atenuação, memória RAM 16 Mb; e fitas para

gravação; adquiridos em setembro, 2000). Este equipamento permite até dois modos para armazenamento da imagem ou do registro (gravação em RAM, no modo câmera fotográfica ou em fita 8 mm, modo filmadora). Além do atendimento ao que fora previamente estabelecido, tais recursos aumentam a segurança quanto ao acesso da informação buscada e possibilitam maior flexibilidade.

2.2.5.2 Câmeras CCD: etapas para geração do sinal

As câmeras digitais CCD são equipadas com sensor a estado sólido, geralmente silício, cuja sensibilidade espectral de resposta (ou conversão) à radiação incidente situa-se próxima àquela dos fotômetros convencionais de tipo semelhante. A informação sobre a sensibilidade do CCD também pode ser encontrada com denominação de eficiência quântica. Esta curva de eficiência, apresentada em forma relativa (ou porcentual) à radiação incidente, informa sobre a fração espectral do sinal luminoso que deverá ser transformada em sinal elétrico (informação) correspondente, dependendo da região do espectro (sua "cor") que ele está localizado. Na figura 2.15 são apresentadas curvas para sensibilidade típica de CCD, conforme o sentido da iluminação (frontal: convencional ou traseira que evita o "sombreamento" de regiões como aquelas que foram metalizadas para os contatos), origem ou marca comercial de fabricante.

O diferencial básico entre o sensor dos fotômetros convencionais (luxímetros) e o CCD pode ser ilustrado pela analogia do que ocorre em microeletrônica quando é utilizado processo construtivo denominado por

integração em larga escala (do inglês, LSI) em relação a um método convencional.

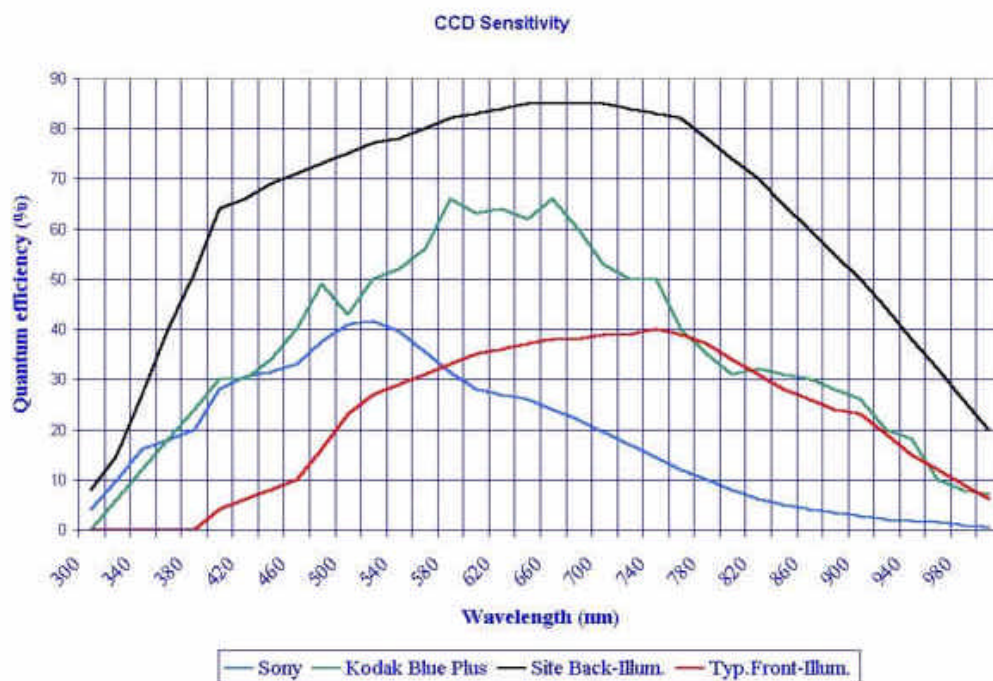


Figura 2.15 – Curvas com sensibilidade espectral típica de CCD, conforme o sentido da iluminação (frontal ou traseira) e origem ou marca comercial de fabricante. Fonte: AP Series, 2002.

Enquanto os luxímetros possuem fotoelemento único⁹ o CCD possui quantidade bastante elevada de fotoelementos e preço da mesma ordem de um luxímetro pode ser encontrado. Uma possibilidade de utilização alternativa para o CCD é a mudança no sentido da iluminação, de tradicional (ou frontal) para reversa (ou traseira).

Nota: ⁹ - No passado, o uso de múltiplos sensores foi técnica utilizada para aumento da sensibilidade sem necessidade de agregar dispositivo de amplificação e fonte de energia externa.

Isto permite evitar perdas, por sombreamento, impostas pelas áreas do contato na parte frontal. Outra técnica recente permite a construção de sensores que não necessitam mais utilizar filtros coloridos convencionais para separação de banda espectral ou correção de distribuição espectral (como a do observador padrão), Rieve, A. F., et al., 2000. Sensores representativos do modelo frontal (tradicional) possuem a curva de sensibilidade típica deslocada para a região de comprimentos de onda mais elevados. Dependendo da transmitância do conjunto dos filtros utilizados junto aos sensores e da distribuição espectral da radiação de interesse, diferentes tempos de exposição poderão ser requeridos para gerar sinais de mesma amplitude ou intensidade. Quando referência for feita ao sensor CCD de uma câmera digital, geralmente terá sido referido arranjo na forma matricial, com m por n elementos fotossensíveis individuais, em silício, os chamados “pixels”. A figura 2.16 ilustra o que foi convencionalmente chamado por “pixel”, apresentando elemento individual segregado de sensor CCD típico, composto basicamente pela área ativa (fotodiodo) e a parte do contato elétrico (vista frontal).

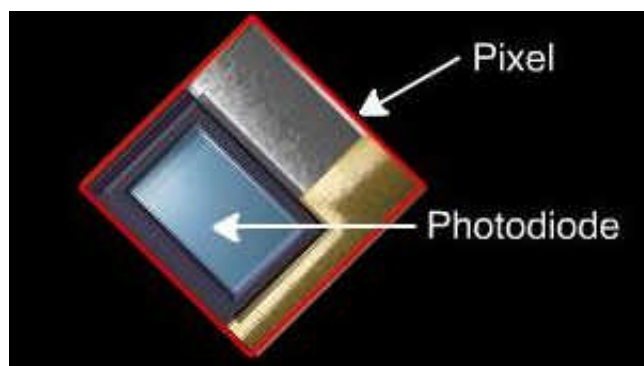


Figura 2.16 – Representação esquemática típica de um fotoelemento CCD.

Fonte: Super CCD, 2000.

Sobre cada “pixel” pode ter sido colocado, convenientemente, filtro colorido (R, G, B). Na figura 2.17 é apresentada uma configuração típica (conjunto de elementos individuais, conforme figura 2.16).

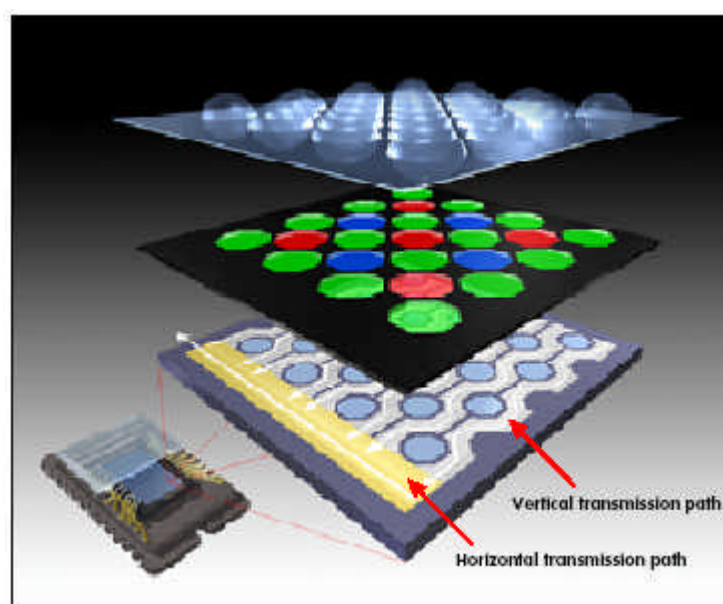


Figura 2.17 – Representação esquemática típica de um conjunto de sensores CCD. Fonte: Super CCD, 2000.

Na figura 2.18 estão apresentados dois exemplos de configurações dos filtros, especialmente distribuídos em um modo conveniente, como aquele conhecido como método Bayer (convencional; McMahon, J., 1999) e de um outro que está em desenvolvimento, o Super CCD, 2000. O diferencial do Super CCD, em relação ao CCD atual é a maior densidade de sensores em área equivalente, isto pode incrementar a resolução da imagem gerada. Estes arranjos de filtros são elaborados a partir da premissa de que o olho humano obtém a maioria das informações em luminância, a partir das radiações correspondentes a uma região do espectro (que por simplificação aqui é

denominado verde, obtido com uso de filtro desta cor) e que a resolução da imagem é percebida por diferenças na resolução da luminância¹⁰. Este é um assunto amplo e complexo que não faz parte deste trabalho (para detalhes ver: Wyszecki, G; Stiles, W. S., 1982; Schanda, et al., 2002).

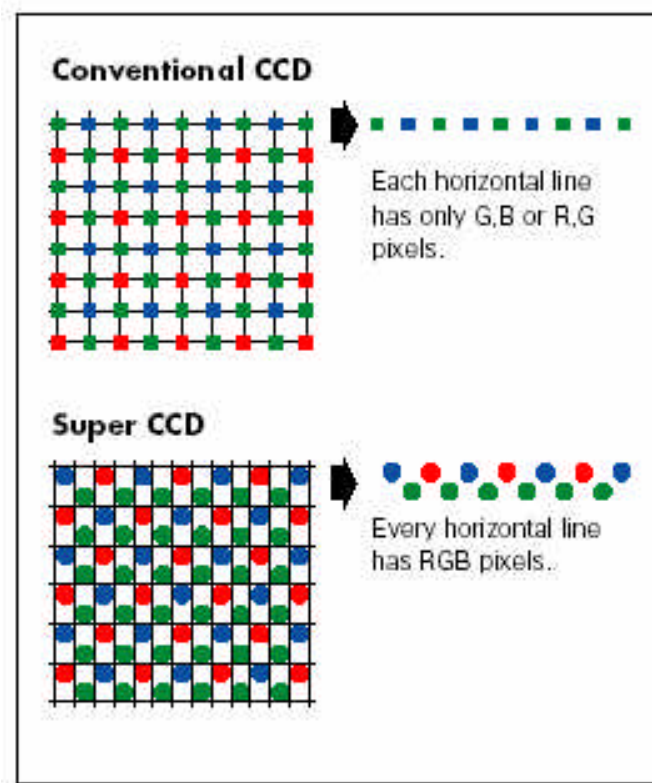


Figura 2.18 – Arranjo de filtro: atual (convencional, Bayer) e futuro (super CCD). Fonte: Super CCD, 2000.

Nota: ¹⁰- A outra possibilidade teórica é a discriminação por comprimento de onda (λ) ou cor.

Ao ser apresentada uma visão das principais etapas de processo típico para formação de imagem, referência deve ser feita também a etapa chamada de correção gama (necessária para permitir ajustes durante a reprodução ou processamento da imagem, conforme o meio utilizado) e ao balaço da cor branca (*Automatic White Balance* - AWB), aplicados antes do término do processo que gera o sinal digital básico e que poderá ser atuado, por exemplo, através de controles de um monitor de vídeo ou software para processamento de imagem. O AWB pode introduzir distorção significativa (por realimentação), dependendo do tamanho, localização, conteúdo de campos da cena, controles de exposição e a temperatura correlacionada de cor (T_{cp}) do iluminante utilizado. A realimentação, ao atuar, independentemente do iluminante, pode impor condição para a otimização da imagem¹¹. Nas imagens que foram capturadas, no âmbito deste trabalho, sob diferentes iluminantes (distribuições espectrais distintas, como fluorescente, VSAP, MVM, VMAP, incandescente e luz do dia), cuidados foram tomados (uso de referenciais com refletância conhecida) para não permitir influência significativa deste tipo de distorção.

Ao trabalhar com informações da imagem, após terem sido convertidas a valores numéricos não foi verificada necessidade da utilização de qualquer função particular para ponderação (NTSC, Vídeo Digital, HSV, CIE Lab, RMS) na geração do “canal” luminância. Para caracterizar o “canal” luminância foi utilizada a média aritmética, simples, dos três canais disponíveis, ou seja com filtro: *Red, Green e Blue* (R, G e B).

Nota: ¹¹- No caso de toda a cena ou campo da imagem estar tomado por um difusor uniforme, na cor branca e ser alterada a T_{cp} do iluminante, a realimentação deverá atuar, independentemente do iluminante, impondo a condição, requerida por uma superfície conforme explicitado ($R=G=B$).

2.2.5.3 Leitura do “pixel”: o sinal numérico

Das ferramentas utilizadas neste trabalho, alguns softwares “abertos” foram utilizados, pois facilitam a tarefa de ler o valor numérico do “pixel”, através de procedimento relativamente simples. A possibilidade de tornar transparente ao usuário o valor numérico do pixel, teoricamente existe há mais de 20 anos (Heckbert, Paul S, 1980), porém esteve sob dependência de procedimentos que não estavam acessíveis. Neste trabalho o acesso ao valor numérico do pixel foi possível, inicialmente, através de software desenvolvido para área de ensino, obtido junto a Universidade de Washington, METIP, 2000. Depois dele foram utilizados outros softwares, que se tornaram disponíveis (MATLAB5.3, PictureGear 4.1 lite, Showimage). A função básica dos softwares utilizados é facilitar o trabalho com arquivos de imagens e possibilitar a “leitura do valor do pixel”, transformando informação latente, contida num arquivo digital (álgebra booleana) em dado numérico decimal processado. O procedimento para quantificar o sinal de luz resulta numa matriz retangular, no caso de informação de canal único, geralmente de sinal em preto (valor numérico zero) e branco (valor numérico 255); ou três matrizes análogas (R, G, B) caso das câmeras com sinal de saída em cores. A validação do procedimento que inclui a transformação citada e uso de software está apresentada na seção 3.5.3 (e seção 3.5.2).

2.2.6 Aferição (calibração)

Esta parte do trabalho é dedicada a etapa de verificação instrumental.

E crítica é aqui feita às mudanças, sem justificativa, na terminologia local, principalmente quando existe cultura desenvolvida durante décadas. Um exemplo é o caso do termo aferição que foi mudado para calibração.

2.2.6.1 Calibração de fotômetro convencional

Em algumas etapas deste trabalho foram utilizados luxímetros que possuem filtro para correção da resposta espectral. Este procedimento foi devido a dois motivos particulares: os procedimentos estabelecidos na NBR 5101, 1992 impõem tal necessidade e porque é desejado manter rastreabilidade ou elo entre os resultados deste trabalho e referenciais conhecidos, disseminados, e internacionalmente aceitos. O referencial considerado foi o luminancímetro marca LMT 1000, emprestado junto ao CETE, França, cuja última aferição foi realizada na Alemanha em janeiro de 2001. Os resultados de duas calibrações (tendo havido manutenção na fotocélula original) realizadas pelo autor estão apresentadas no anexo B. Estes resultados evidenciam diferença bastante significativas entre as respostas fornecidas pelo instrumento, em duas oportunidades (datas) e métodos diferentes, em relação aos referenciais utilizados, indicando falta de conformidade absoluta com resposta considerando conformidade com a curva definida para observador padrão com sensibilidade espectral diurna, $V(\lambda)$, e a necessidade de serem aplicados distintos fatores para correção, conforme o tipo de fonte utilizada. Para valores absolutos, esta situação é similar àquela que ocorria no passado e está referida na bibliografia, quando eram utilizados sensores, em geral em selênio, sem filtro corretivo e o fabricante ou fornecedor

idôneo disponibilizava tabela com valores para correção.

2.2.6.2 Calibração de câmera CCD

Mees, C. E. Kenneth, 1952; Walsh, J. W. T., 1954 e Keitz, H. A. E., 1971 e Jenkins, Francis, A.; White, H. E., 1976 são autores que apresentam equações similares, as quais expressam relação entre a luminância (brilho de determinada área) de um objeto (L) e o valor da intensidade de iluminação (E) correspondente, exclusivo da luz proveniente dos elementos na imagem formada. Quando a equação referida representa de forma simplificada um processo gerador de imagem e é escrita para a determinação da luminância (de forma a isolar L) é obtido:

$$L = K \cdot E \cdot F^2 \quad (5)$$

Onde:

L : luminância do objeto (nit);

K : constante de ajuste, em função do equipamento utilizado;

E : (iluminância da imagem, em lux) valor de “pixel”;

(f: distância focal);

(d: diâmetro do diafragma); e

F: abertura (f/d).

No caso de fotografia em papel, a iluminância da imagem tem relação com a quantidade ou densidade de material impresso ao término do processo.

Para uma constante de multiplicação convenientemente ajustada, em função do equipamento utilizado, “E” por analogia (similar à densidade do negativo fotográfico) pode acomodar valor proveniente de escala de valor de “pixel”. Aqui cabe um parêntesis explicativo. No caso particular da exclusiva determinação do fator de luminância (refletância) é admissível alterar a imagem, convenientemente (por exemplo através de software), dado que o objetivo tradicional da fotografia (que geralmente é produzir no cérebro do observador sensação análoga à da cena original) não necessita ser atendido.

A partir de trabalho para determinação da luminância da abóbada celeste Dumortier, D., 2001 apresentou equação (ver anexo J) para a calibração de uma câmera digital (similar ao equipamento que foi utilizado neste trabalho), em luminância, incluindo variável referente à “velocidade” (movimento) do obturador. Ele considerou a claridade do “pixel” (em escala de zero a cem, e transformação para separação da componente de interesse, a luminância, num sistema a cores, RGB) e luminância respectiva da cena, parametrizados com valores da relação entre velocidade do obturador dividida pela abertura do diafragma (ao quadrado). O equipamento utilizado neste trabalho (Sony DCR-TRV320, ver figura 2.19) permite funcionamento no modo câmera para captura de imagem, disponibilizado-a em formato de arquivo (para computador digital, tamanho 640 por 480 “pixels”, extensão: jpg) tanto monocromático quanto no sistema colorido, RGB, com registros básicos da: “velocidade” do obturador (tempo que permanece aberto; informado o denominador de fração cujo numerador é um, em segundos), abertura (equivalente do diafragma, número após a letra F), atenuação “eletrônica”; AWB, além de data e horário. Tais informações são utilizadas como

parâmetros no processo de medição e aferição. A exposição e o foco funcionam em modo manual ou automático.



Figura 2.19 – Imagem similar ao equipamento utilizado neste trabalho para capturar e gravar imagens (Sony DCR-TRV320).

Assim, a quantidade de luz possível de ser capturada de uma cena e que pode chegar ao sensor CCD é diretamente proporcional à “velocidade” do obturador (no caso da câmera utilizada; n: $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{4000}$ segundos) e inversamente proporcional à relação da abertura do diafragma, F(#), (no caso: F1.6 a F28) ao quadrado conforme indicado¹² na equação (J.1), anexo J. Um outro recurso para atenuação “eletrônica” do sinal (tem indicação de escala, em decibel, dB), modo automático ou manual (através do controle de exposição) também é controle que está disponível na câmera utilizada. Estes são recursos que foram considerados suficientes para o desenvolvimento pretendido, a aferição da câmera e a avaliação da refletância relativa de superfície típica em IP, através da determinação do seu fator de luminância.

Nota: ¹²- A luz para ser capturada pelo sensor CCD, depende diretamente do termo denominado “velocidade” do obturador, n, pois representa o período em que o diafragma permanece aberto, tem dimensão de tempo (segundo); e é inversamente proporcional ao número (#) que segue a letra F, termo denominado relação da abertura (do obturador ou diafragma), cujo valor F1.6 corresponde à abertura (ou área) maior e F28 à menor.

2.3 Iluminação artificial em exteriores

O argumento mais importante utilizado como justificativa aos custos da iluminação artificial fixa, em exteriores durante o período noturno, é a relação de mortes ocorridas por acidente de trânsito (período noturno/diurno, na ausência de iluminação, superior a unidade), mesmo em detrimento da maior distância percorrida pelos motoristas durante o dia (Vaughn, F.A., 1915; Code IES, 1937; Reid, K.M., 1937 e 1952; Boast, W. B., 1942; Barrows, W. E., 1951a,b; Box, 1971; Duff, J.T., 1974; Vasconcellos, E. A., 1999; IES CP-31, 1989 e 1999). Na existência de iluminação artificial fixa numa via e dados estatísticos (luminância média do pavimento) poderá existir correlação entre a relação de acidentes (período noturno/diurno) e a luminância média na superfície da via, conforme figura 2.20 que apresenta resultado de pesquisa sobre amostra inglesa. Uma taxa de redução em acidentes da ordem de 19 % foi identificada para cada 0,5 cd/m² de incremento na luminância média da via.

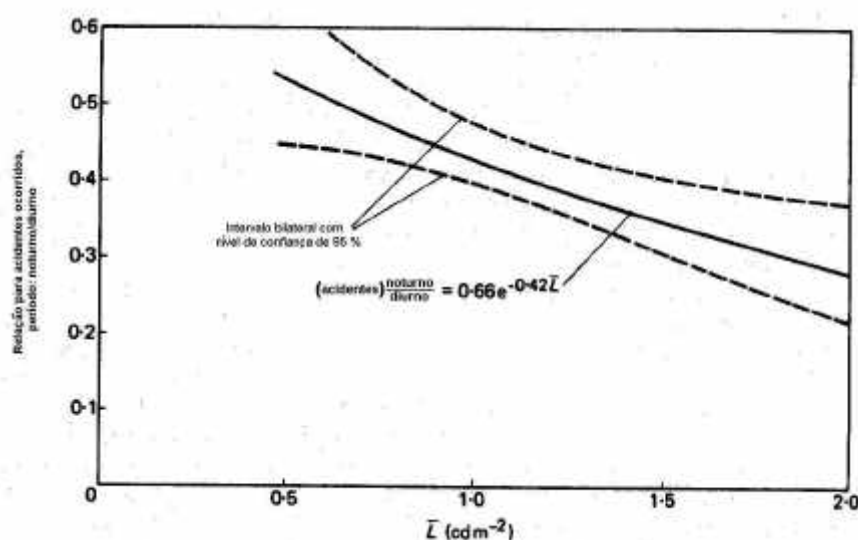


Figura 2.20 – Melhor curva ajustada entre relação de acidentes (noturno/diurno) e a luminância média da via. Fonte: Cayless, 1983.

Na condição de visão no período noturno, em áreas com alguma iluminação, os principais modos de discernimento (conforme IES Lighting Handbook, 1947) são por: silhueta (desenho que representa o perfil de uma pessoa, em contraste com regiões adjacentes); iluminação direta; sombra; e cintilação (brilho, reflexo).

A eficácia da IP para a redução de crime tem recebido citação pontual (Coronel Vicente, J., Lux América, 2000), porém evidências, ao longo do tempo, ainda não puderam ser fixadas (Painter, K. 1986), também foi constatada defesa de posição para determinadas situações: “no light is better than some light” (Schureder, Duco, Lux América, 2000), tendo sido enfatizada a necessidade de qualidades.

Um número crescente de vias (*road lighting*)¹³ tem recebido instalação de IP, talvez em consequência do aumento do volume de tráfego. A intensidade da iluminação é dimensionada (para vias) com base no valor máximo (de pico) do volume de tráfego (conhecido ou estimado), e apenas um único nível de luz é projetado¹⁴. A menos dos períodos de pico (às vezes com constantes congestionamentos), o procedimento estabelecido pode conduzir a um super dimensionamento do sistema de iluminação artificial. Na situação com tráfego reduzido (aquela que pode ser predominante), o nível da iluminação artificial poderia ser reduzido, passando a desempenhar função (primária) de orientação.

Notas: ¹³- O termo rodovia, na terminologia legal brasileira, é referenciado ou possui definição exclusiva para área rural (ver anexo A); e

¹⁴- Normalmente, 1 cd/m² se for tomada a Holanda por referência. Nos EUA existe a faixa (0,3 a 1,2) cd/m² conforme classificação da via e existência concomitante do tráfego de pedestres (RP-8).

Por outro lado, a ocorrência de determinadas situações e por razões de algum grau de segurança aos tráfegos (pedestres e/ou veiculares), pode existir a necessidade de intensidade luminosa diferente (algumas vezes superior) daquela normalmente disponível. No Brasil estão definidos níveis normativos apenas para o plano horizontal, ao nível da via. Em IP, avaliação sobre o plano vertical também é importante e deve ser considerado.

A definição da eficiência energética inicial para um sistema de IP, geralmente é feita durante a fase de projeto, a partir de evidências indicando condições técnicas e econômicas favoráveis. Isto sinaliza que os cuidados sobre a condição de adaptação visual do usuário devem estar precedidos de avaliação sobre fatores tecnológicos que têm influência (Burini, et al., 1999a,b) e conhecimento de normalização (procedimento) técnica. Estes temas selecionados estão abordados na parte que segue deste trabalho.

2.3.1 O estado da arte

Ao revisar todo o material bibliográfico coligido, durante fase preliminar, foi possível confirmar a disponibilidade bastante limitada de dados e algumas informações sobre a iluminação de logradouros no Brasil (Iluminação Viária, 1975; NB-429, 1976; Moreira, V. A., 1976; 1987 e 1999; Programa de ligações de unidades subnormais – PUS: “PRÓ-LUZ”, 1981; COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO, 1982; Política de Iluminação Pública, 1985; Política de iluminação pública: Relatório-Síntese, 1986; Portaria DNAEE, 158, 1989; Geller, H. S., 1991, NBR 5101, 1992; Burini, 1992-2002, Moreira, J. R., et al., 1994; LUX AMÉRICA 2000; Torres de Araújo, I. M., et al., 2000; Sauer,

Ilido Luís et al., 2001). Muitos relatos foram ouvidos, em quantidade e significado, de diversas fontes, tanto de especialistas, quanto de observadores comuns, pessoas que não trabalham nesta área do conhecimento, memórias ricas em detalhes singulares. Porém, nesta parte do trabalho não será realizada uma cronologia de fatos históricos da iluminação. Ela apresenta relato sobre esforço significativo identificado, busca sinalizar sobre o contexto em que este trabalho de tese foi gerado e quanto a possíveis conseqüências que a sua orientação poderia (ou poderá) conduzir.

Considerada a iluminação de vias públicas brasileiras (suprida a partir da energia elétrica, atualmente com distribuição predominante em circuito aéreo paralelo), suportada por postes com altura e espaçamento regulares (que não devem ter sido definidos em função de solicitações mecânicas da fiação, circuito da distribuição (Millar, P., 1928; Stahl, C. J., 1929; Reid, K., 1936; Sweet, A. J., 1936). É possível visualizar a intensa participação das concessionárias de energia elétrica (enquanto estatais), na implantação da maioria dos sistemas de IP, cujos padrões ainda hoje são predominantes. Para tais padrões, com certa defasagem temporal existe predominância cultural e de modelo que pode ser identificado na literatura, tendo origem no mercado norte-americano, em torno do ano 1950 (0V-20, Westinghouse, IE, jan., 1949).

É importante ter-se alguns conhecimentos sobre a qualidade da energia suprida. A boa técnica preconiza a necessidade de se levar em consideração as quedas de tensão até o ponto de utilização, quando da definição da tensão dos equipamentos, quando fica clara a diferença existente entre o valor de designação da faixa de tensões permissível para funcionamento da rede e a tensão de trabalho dos equipamentos.

Uma função importante atribuída à luz é a de transmitir informações em relação ao ambiente, auxiliando no movimento, orientação e visão. Mais importante que a quantidade é o tipo de luz que deve ser estabelecida para realçar detalhes. Esta afirmação ilustra a necessidade do projetista ter que conhecer bem as atividades ou tarefas, a partir do ângulo de visão do observador. A existência de contribuições luminosas de fontes vizinhas é apenas citada, porém não possibilita controle direto (fato com ocorrência crescente em áreas externas). Atualmente, o projeto do sistema iluminante deve considerar além do próprio sistema as suas diversas interações e controles. Alguns softwares possibilitam modelagens e aproximam de leigos conhecimentos que a menos de uma década eram custosos e serviam apenas a especialistas.

Em palestra Van Bommel (Litec, S.P., 1999) apresentou pesquisa realizada com uso de figuras planas (gatos: branco e preto) para estudos (nomeados como fase pioneira, em torno dos anos 1920) sobre visibilidade na área de IP. Este mesmo autor apontou para o início da inclusão do LED em IP, nomeando esta fase atual, iniciada em 1990, como facilitadora para o escoamento de fluxo do tráfego. Esta necessidade existe, sobretudo para algumas metrópoles, em determinados horários, porém deve estar presente que as carências mais acentuadas, em muitos dos países em desenvolvimento, são de necessidades básicas, estruturais e manutenção precária (quando existe não excede aquela denominada corretiva). Neste cenário, ainda que existam diversas dificuldades e barreiras a serem transpostas, foi visualizado estar no desenvolvimento tecnológico uma missão, necessária e importante, que foi assumida neste trabalho.

2.3.1.1 Normalização técnica

O aparato da iluminação de áreas públicas no Brasil, qual atualmente se apresenta, não tem seguido mudanças ocorridas em outras partes do globo. Algumas alterações poderão ser introduzidas para melhoria no resultado final. Em relação à normalização técnica, cronologicamente, podem ser destacados oito períodos, a saber:

Primeiro - anterior ao ano 1976, possivelmente o primeiro documento normativo brasileiro sobre IP, ao qual não foi tido acesso (P-NB-429, 1974), ele foi encontrado apenas como citação bibliográfica (Moreira, V.A., 1987);

Segundo – 1976 a 1980, o primeiro documento normativo disponível, a NB-429, 1976. Este documento, em seu objetivo, faz menção ao termo visibilidade, porém não apresenta uma definição (em dicionário: qualidade de visível). Aparentemente (devido suas figuras e gráficos serem similares àquelas do *IES handbook*) tomou por base documento (recomendação setorial) norte-americano¹⁵. Nele estão previstas cinco classes de vias, três níveis de volume veicular e 4 níveis de volume de pedestres, nem todos os volumes veiculares são atribuídos a todas as classes de vias. Uma matriz de 20 elementos (entre volume de pedestres e classes de vias) está apresentada, dos quais apenas 11 elementos recebem valores de iluminância (faixa de 2 lux a 25,5 lux).

Nota:¹⁵- A carta-resposta do COBEI ao México (Romero, C.G., 1985) apresenta posição diferente, nela está citado ser o sistema europeu o referencial utilizado no Brasil. Talvez níveis de iluminância devessem ser comparados para dirimir a dúvida levantada.

Os patamares de iluminância, no plano horizontal da via são: (2; 3; 5; 7,5; 10; 14; 15; 17; 20; 21; 25,5) lux (estando a fonte com o menor rendimento admissível e as luminárias no estado de uso, antes da limpeza); também está indicada a necessidade de ser utilizado o fator de correção 1,5 para superfícies escuras, como o asfalto. Os níveis de uniformidade são (1/3) e (1/6) no caso das vias residenciais;

Terceiro – 1980 a 1983, existem duas cópias de documentos, o primeiro denominado Projeto NB-429, “primeiro projeto de revisão” da NB-429/1976, sem data, 20p., CT-34:2, CB3, por dedução deste autor, provavelmente, deve ter sido elaborado neste período referido. O segundo documento é o projeto de norma 3:03.34.2.1-001, dez./1983, inteiramente baseado no documento anterior (sem data). Nele houve proposta (implementada) para introdução do critério da luminância. Para o documento anterior (Projeto NB-429) os patamares de iluminância, no plano horizontal da via são: (2; 4; 6; 8, 10; 15; 19; 20 e 22) lux; uniformidades: (Emin/Emed) igual a 0,3 e (Emin/Emax) igual a 0,5 ou 0,7; e para luminância: (0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,7; 0,8; 1; 1,5 e 2) nit definições como de contraste e ofuscamento também estavam presentes. Houve substituição dos termos iluminamento e iluminação por iluminância, qual limites para o fator de ofuscamento, G igual a 4 ou 6 e incremento limiar, IL 10 ou 20; existia classificação das vias em 4 tipos (“tabela 6”) e entre outros tópicos está indicada a necessidade de prover 10 lux para cada nit desejado em asfalto claro;

Quarto – 1983 a 1988, o projeto de norma 3:03.34.2.1-001, dez./1983, em anexo à 15ª Ata de reunião realizada em 18/out./1984, que recebeu aprovação após os votos terem sido analisados e provavelmente tenha sido

transformado na NBR 5101/85;

Quinto – 1988 a 1990, período no qual foi elaborado e concluído o projeto 3:340.01-001, mai./1990, que deu origem a NBR 5101, 1992;

Sexto – 1990 a 1997, período em que foi publicado o segundo documento normativo disponível, a NBR 5101, 1992 (que esteve, sem críticas, até a sua revisão ser iniciada). O documento normativo, em vigência, faz menção a algum nível de segurança em seu objetivo, introduz conceitos para uso racional de energia e melhoria da uniformidade de iluminância em plano horizontal da via. É versão fortemente influenciada por agentes de concessionárias de energia elétrica que participaram na revisão e que atuavam, conjuntamente, com o governo federal na elaboração da Portaria DNAEE n. 158; foram resgatadas algumas informações ausentes (provavelmente da revisão anterior) e mantida a base do *IES handbook* (norte-americano). Estão previstas oito classes de vias, três níveis de volume veicular e volume de pedestres, nem todos os volumes veiculares estão atribuídos a todas as classes de vias. Uma matriz de 48 elementos (volume de veículos e pedestres por classes de vias) está apresentada, dos quais 37 elementos receberam valores de iluminância (faixa de 2 lux a 20 lux). Os patamares de iluminância, no plano horizontal da via são: (2; 4, 5; 8; 10; 12; 14, 16; 17; 20) lux (estando a fonte sazoadada e as luminárias novas), também está indicada a necessidade de ser observado 1 lux mínimo e a menor diferença de iluminância possível entre pontos adjacentes. Não está previsto fator de correção para superfícies escuras. Os níveis de uniformidade são (1/2); (1/3); (1/4) e (1/5) no pior caso. Nenhuma ressalva existe para as situações onde ocorrem interferências (por exemplo, como da vegetação lindeira ou obras de

arte);

Sétimo – 1997 a 2000, período com sucessivas tentativas de revisões (e até proposta para cancelamento da norma em vigor), nele houve busca pela “modernização”, por aproximação a outros referenciais (CEE e CIE). A ausência de sucesso conduziu à manutenção da NBR 5101, 1992; e

Oitavo – A partir de 2001, um novo período de revisão foi iniciado, tendo como texto-base o documento em vigor desde 1992. A falta de coordenação entre alguns participantes da Comissão de Estudos encarregada pela revisão, interesses setoriais difusos e, sobretudo a falta de dados e informações têm marcado algumas das reuniões desta comissão, nos dois últimos períodos indicados. Das discussões nas reuniões de normalização, a metodologia de projeto é assunto, em destaque, que está abordado na seção 2.3.4. Alguns trechos acima estão grifados para dar maior ênfase, ressaltando sutilezas encontradas em entrelinhas (que podem passar despercebidas), porém introduzem deslocamentos apreciáveis a valores nominais ou patamares normalizados.

Algumas observações foram registradas durante atividades em campo, realizadas junto a processo de qualificação de produto (em setembro de 2001) na cidade de Guarulhos¹⁶, SP e na cidade de São Carlos, SP (em novembro/2001 e janeiro/2002). Mais as informações obtidas durante contatos com pessoal, sobretudo de Prefeituras de Municípios, diretamente ligadas a atividades em IP, agregados ao fato de mudanças (ainda que venham a ser

Nota: ¹⁶ - Onde parâmetros de uniformidade e média, em lux eram atendidos pelo sistema (luminárias), porém foi alegado demasiado “zebramento” na faixa de rolamento.

transitórias) ocorridas no setor da normalização técnica (fechamento, do COBEI, por despejo) fazem aumentar as indagações (não como aquelas mexicanas, Romero, C. G., 1985) de rumo das especificações técnicas no Brasil. Existiu restrição para o acesso à memória da normalização técnica brasileira do setor elétrico (registros físicos e acervo bibliográfico). Enquanto as diretrizes de um “novo COBEI” estavam sendo moldadas. Aplicações luminotécnicas, por não pertencerem ao universo dos produtos fabris poderão ser deixadas em plano secundário. Urge, a cada município brasileiro, estabelecer diretriz de política para a IP da sua localidade. Isto é necessário para assegurar tanto prioridade a melhorias, principalmente em áreas residenciais, quanto efetividade da sua eficácia (em prover algum nível de visibilidade) e eficiência energética do sistema de IP. Exemplo disto pode ser observado junto ao serviço público da cidade norte-americana de Berkeley (Public Works, 2002), que padronizou 2 lx como “nível médio a ser mantido em serviço” (para comparação, relativa, no Brasil, está fixado valor pontual e inicial, mais desfavorável, mínimo de 1,0 lx, luminária nova, NBR 5101, 1992). O *Bureau of Street Lighting (City of Los Angeles)* informa sobre duas alternativas para prover instalação não existente de iluminação de ruas, apresenta custos atuais para instalação, manutenção e fixa a responsabilidade destes custos (sua respectiva partição, em função da testada) a cada proprietário de terreno lindeiro.

2.3.1.2 Registros e medições: da placa em vidro ao “pixel”.

A disponibilidade reduzida de registros e resultado de medições sobre

o desempenho, em serviço, dos sistemas de IP é lacuna que este trabalho pretende auxiliar a suprir através dos registros reunidos e o desenvolvimento de ferramenta.

Há mais de 150 anos fotometria tem sido realizada a partir de imagem, fotografia estelar (utilizando o denominado efeito de turbidez ou dispersão de limite, possível no processo de revelação), e mesmo, como apontou Harrison, em 1929 e 1934, com as dificuldades e fontes de erros a que estão sujeitos (Mees, 1952). A fotogrametria tem sido utilizada em estudos de interiores (Hadwan, M. K., 2000) e também pode ser utilizada em IP.

As peculiaridades da astronomia não possibilitavam escolhas, enquanto que em luminotécnica, a prática dominante reside no trabalho a partir das dimensões da fonte (“pontual”, não existe atenção aos demais componentes da imagem). Alguns esforços neste sentido foram identificados na iluminação para funcionamento de circuito fechado de TV, com finalidades de segurança e uso racional de energia. É época em que as câmeras ainda não utilizavam sensores de radiação visível a estado sólido. Havia os chamados “tubos” a vácuo (Vermeulen, J., 1987). Existe relato de sistema utilizando câmera, denominado CapCalc (luminancímetro e analisador de imagem, Rea M.S. e Jeffrey, I.G., 1990), que também é citado em trabalhos de levantamento fotométrico (*Specifier reports – reflector lamps*, 1994). Rykowski, 1994, apresentou sistema utilizando câmera a CCD (Charge Coupled Device), que hoje é equipamento comercial. Neste mesmo contexto, em outra direção de pesquisa já existe definido método de calibração colorimétrico, denominado a quatro cores e que é realizado a partir de informações contidas em imagem feita por câmera com tecnologia digital, o qual é dito ser superior à calibração

tradicional utilizando o iluminante A, padrão CIE (Jenkins, D.A., et al., 2001). Atualmente, um sistema comercial completo com câmera digital tem preço da ordem de US\$ 53,000.00 (na sua origem; foram identificados três fornecedores, em potencial), investimentos deste porte, sem a existência de demanda (ou interesse) para medição pode ser referido como barreira ao uso e difusão dessa tecnologia. Independentemente do patamar numérico-financeiro, a barreira também está na lacuna dos conhecimentos correlatos no Brasil e a dependência de tecnologia externa que a aquisição de pacotes similares poderia trazer. A viabilidade de aplicação da tecnologia CCD para fotometria de luminária utilizando técnicas com câmera de vídeo foi apresentada por Lewin, I. e O'Farrell, J., 1999, enquanto Glenn, J. et. al, 1999, utilizando câmera CCD, apresentaram estratégia para automação na determinação da luminância em vias, com incertezas da ordem de $0,5 \text{ cd/m}^2$ (sob tecnologia VSAP) e 5 % para a localização de pontos em via com largura transversal típica de 10 m.

A redução crescente no custo das câmeras digitais, a disponibilidade de *software* que permite certa simplificação no processamento de informação extraída da imagem, e outras vantagens (simplificação e maior imunidade a erros no processo de registro, principalmente o elevado volume de informação que cada registro ou captura pode conter, além do conjunto de cenas de uma única imagem) são fatos que motivaram a utilização de câmera CCD como ferramenta alternativa a este trabalho. Outras aplicações para câmera de vídeo (com tecnologia CCD) foram divulgadas no meio científico, como instrumento para obtenção de informações e dados, porém até o momento presente não foi localizada alguma pesquisa semelhante à proposta deste trabalho para utilização

de uma câmara digital (CCD, com custo inferior ao de um luminômetro, na origem, em patamar da ordem de US\$ 1500.00) como instrumento para auxiliar o estabelecimento de registros e determinações relativas de quantidade de luz disponível.

As pesquisas localizadas que relatam a utilização de informações geradas a partir da captura de imagem por câmeras CCD estão distribuídas por diversas áreas do conhecimento, onde seus autores buscam correlação similar à que foi buscada neste trabalho, entre o parâmetro de interesse e o nível ou valor de "pixel"¹⁷. Roff, M.W., 1997 estudou a contaminação humana a partir da quantificação da concentração de pesticidas na derme humana. Wightman, C. et al., 1996 estudou a concentração resultante de amostras preparadas pela mistura de material granular. Bull, C. R. et al., 1996 utilizou, com sucesso, a análise de imagem em cores para inspeção de tetas de vacas para automação da ordenha leiteira. Guillaume, S. et al., 1996 utilizou imagem digitalizada para a caracterização da produção de moenda de farináceos. Mattsson, U. et al., 1996 utilizou a análise através de imagem em cores para o desenvolvimento de técnica para o monitoramento quantitativo de alterações na cor da derme humana causados por exposição térmica danosa (eritema induzido). Kim Y. -H. e Wardle, C.S., 1998 mediram a variação do contraste de peixes em estudo sobre captura. A verificação de independência das informações gravada digitalmente por uma câmera, sua resposta, em relação

Nota:¹⁷ - Intensidade de cinza numa imagem, em tons de cinza, entre o preto (valor do pixel igual a zero) até a cor branca (valor do pixel igual a 255), normalmente chamada de imagem em branco e preto ou com a mesma variação de escala numérica nos três canais (Red; Green; Blue - RGB) que possibilitam uma imagem colorida, por exemplo, no sistema da câmera utilizado (NTSC).

ao conteúdo espectral da iluminação proveniente da cena capturada tem sido resolvida por técnicas de calibração (Pattanaik, S. N. et al., 1997; Barnard K. e Funt, B., 1999). Tais técnicas foram elaboradas a partir de função da distribuição espectral discretizada, em comprimento de onda, e são informações que estão disponíveis. Este assunto pode tornar-se, no futuro, a continuidade ou extensão da pesquisa aqui iniciada. Neste trabalho foram utilizadas fontes primárias usuais e disponíveis no mercado local. Além de iluminante tipo incandescente (similar ao padrão CIE, tipo A) que equipa a esfera integradora construída, também foi utilizada a Luz do Dia (LD), Luz Fluorescente (LF) de fonte difusa, VSAP (basicamente pela expansão de sua utilização em IP) e MVM como fontes primárias para o estudo, principalmente, do **fator de luminância** (refletância). Em campo, as imagens foram capturadas sob Luz do Dia - LD (iluminante padrão CIE: C e D, luz do Sol e luz do céu, respectivamente). Este fato condicionou a calibração da escala de tons de cinza, quando foi realizada em ambiente interno (controlável), ter sido feita com lâmpada fluorescente (T_{cp} aproximada de 5500 K), fonte escolhida para simular a LD.

2.3.2 Equipamentos de IP e seus componentes

Os sistemas de IP podem ter seus componentes principais divididos em dois grupos, os componentes que transferem o fluxo luminoso gerado pela fonte primária e os componentes que são atravessados por corrente elétrica e possui algum tipo de acoplamento com a rede elétrica, oriunda de um transformador (trafo) “abaixador” de alimentação.

Existem dois tipos de circuitos no lado da fonte (rede elétrica), aqueles onde os trafos têm dedicação exclusiva à IP, ficando ociosos durante o dia, porém com a vantagem de menor variabilidade da carga e conseqüente maior controle na tensão durante o funcionamento e o sistema diretamente ligado na baixa tensão, sem a utilização de trafos exclusivos. A regulação de tensão e as perdas devidas à localização, cabos e conexões são as características de interesse e que necessitam atenção.

Nos EUA, por razão de segurança, os postes em concreto são aplicados com ressalvas. É dada preferência aos postes metálicos com engaste e estrutura projetados para absorver, eficientemente, a energia durante um choque com veículos. Ainda naquele país, no início dos anos 1970 foi intensificada a utilização de poste com altura elevada (*high-mast lighting*; entre 12 a 30 metros), com acionamento elétrico ou hidráulico. Naquele período houve melhoria significativa no IRC da lâmpada VMAP, e deixou de predominar a cor verde-amarelo, possibilitando sua utilização também em interiores. A fonte primária, os elementos para controles (luminoso e elétrico) e chaveamento são os componentes de sistemas para IP a serem considerados nesta seção.

2.3.2.1 Fonte primária: as lâmpadas elétricas

A fonte artificial de luz elétrica predominante nos sistemas de IP local é a descarga em alta pressão (origem do inglês, HID), basicamente, em função do seu tamanho menor (porém com maior luminância) em relação às fontes que operam a baixa pressão dos gases de enchimento.

Assim, podendo propiciar simplificação na óptica para controle do fluxo luminoso emitido. Na figura 2.21 são apresentadas vistas (inclusive interior) das principais lâmpadas HID.

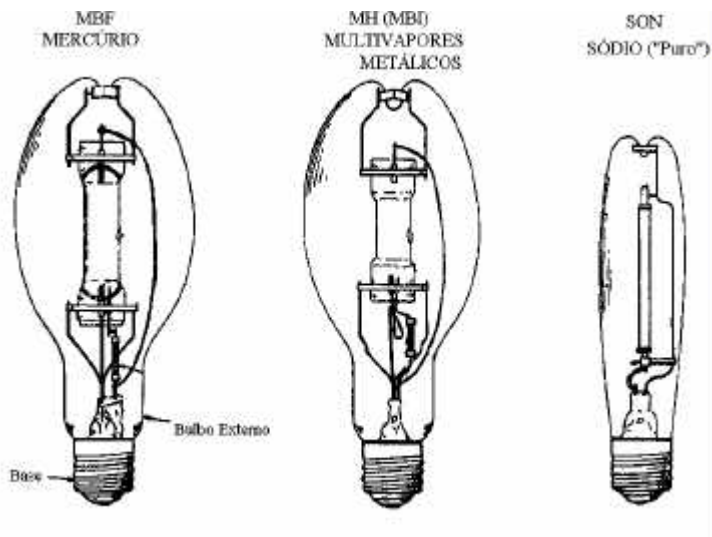


Figura 2.21 – Lâmpadas a descarga em alta pressão (HID).

A abreviatura (MBF; MH, MBI; SON) de identificação é originária da terminologia inglesa. A eficiência de conversão energética das fontes artificiais elétricas é fator de foco central, por estar definida com base na sensibilidade da visão fotópica. No caso de haver acomodação visual sob nível de iluminância bastante reduzido também haverá mudanças na sensibilidade espectral do olho e conseqüente alteração da eficiência energética no uso final (Burini et al., 1993a,b).

Na figura 2.22 estão apresentadas as partições do fluxo de potência, para cada um dos três principais tipos de lâmpadas a descarga em alta pressão que é utilizada no Brasil.

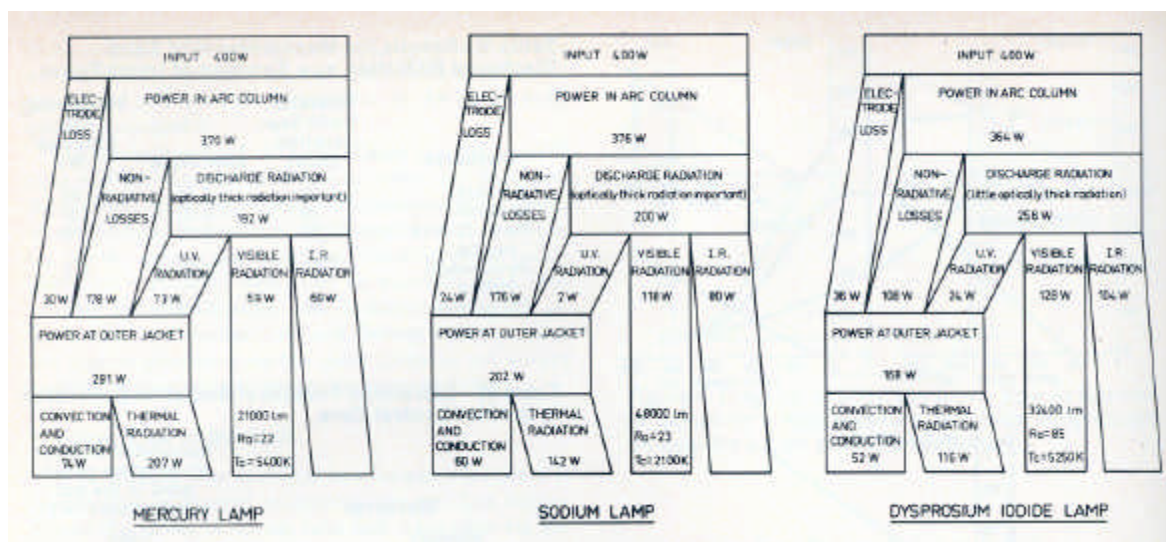


Figura 2.22 – A partição da potência elétrica absorvida da rede em cada um dos 3 tipos de lâmpadas a descarga em alta pressão. Fonte: Jack, A. G.;

Koedam, M.,1974.

A partir da definição do lúmen, em vigor, baseada na visão diurna, é apresentada na figura 2.23 a posição relativa da eficiência luminosa nominal de diversas fontes primárias, em função da potência elétrica e fluxo luminoso nominais. Em cada curva os pontos foram unidos apenas para uma melhor visualização comparativa, pois a representação fiel seria um conjunto discreto ou cada ponto representando a potência nominal da fonte, sendo tolerada alguma variação operativa, em torno desse ponto, porém, o comportamento não é uma curva contínua como está representado.

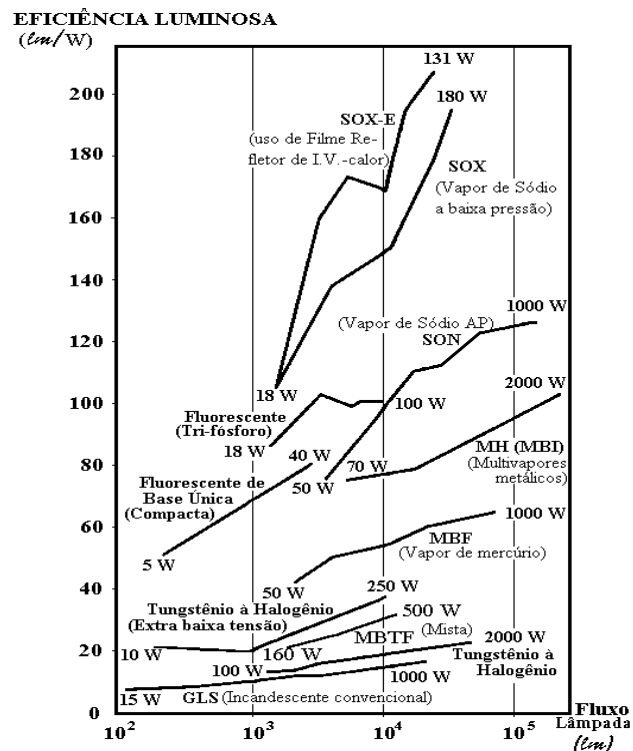


Figura 2.23 – Eficiência das principais fontes elétricas artificiais.

As fontes artificiais de luz elétrica com eficiência mais elevada são a vapor de sódio a baixa pressão VSBP (ou SOX na terminologia inglesa). Atualmente, não existem registros sobre a utilização, em campo, deste tipo de fonte primária no Brasil (apenas algum histórico verbalizado), tão pouco sua disponibilidade imediata no mercado local. Em patamar imediatamente inferior situa-se a lâmpada do tipo VSAP (SON) e fluorescente do tipo tri-fósforo (T5, 16 mm), conforme potência nominal, depois as multivapores metálicos MVM (MH), a lâmpada VMAP (MBF), luz mista (MBTF), incandescentes com ciclo a halogênio e convencionais (GLS). As fluorescentes do tipo tri-fósforo ainda não são utilizadas em IP, apenas o tipo convencional, em alguns túneis e plataformas de transportes ferroviários. Por razões econômicas, numa

determinada instalação de IP a tendência é minimizar a quantidade dos pontos de luz utilizados. Isto leva à utilização de fontes a partir de determinada quantidade (pacote) de fluxo luminoso, daí os tipos MBF, MH e SON serem os mais utilizados.

A tecnologia VSAP foi introduzida, comercialmente, há aproximadamente 40 anos. Ela tem recebido diversas melhorias, principalmente na eficiência luminosa, temperatura de cor correlata (T_{cp}) próxima de 2600 K e em alguns tipos com índice de Reprodução de Cor (IRC) acima de 80, Charleton e Kemenade, 1991. A intensificação de utilização da lâmpada VSAP, no Brasil, foi iniciada no final da década dos anos 1980, em procedimento conhecido por “retrofit”. Nele apenas a lâmpada VMAP era substituída, sendo mantidos os demais itens da instalação. A atratividade estava no custo inicial reduzido da troca, em relação ao sistema convencional (o qual designa-se, apenas para diferenciação, de sódio puro, pois necessita de reator, ignitor, fiação e quase sempre luminária, novos). Devido a menor potência nominal da lâmpada assim agregada, em relação ao elemento original, havia um retorno rápido do (pequeno) investimento realizado. Isto propiciou repetições deste ciclo, enquanto a mudança lenta na cor da luz foi silenciosamente absorvida pela população. Apesar da lâmpada do tipo “retrofit” (com ignitor interno) também ter recebido inovações importantes (Ramaiah, 1994), no Brasil ela experimentou sensível redução na sua utilização, a partir de 1995, cedendo lugar para a expansão do VSAP (sódio puro).

O tipo de lâmpada HID mais utilizado no país ainda deve ser a vapor de mercúrio, 61 %, seguido pelo vapor de sódio, 28%, e outras (incandescentes, mista e vapores metálicos), 11 % (Burini, et al., 1999a,b). Existirá sinalização

da ocorrência de substituição tecnológica, caso possa ser confirmada a composição relativa, principalmente, em relação ao ano de 1995, 80 %, 8 % e 12 %, respectivamente.

Qualidades das fontes de luz como eficiência luminosa e vida útil devem ser avaliadas com atenção devido a grande dispersão presente nos dados disponíveis (Guan Fu Min et al, 1996). São características relevantes a potência elétrica, eficiência e cor da luz durante a utilização; depreciação luminosa e expectativa de vida útil.

2.3.2.2 Elementos para controles

O **reator** é elemento conectado entre a rede elétrica e a fonte primária de luz. No Brasil (ver figura 2.24 para exemplo de instalação externa típica) predomina o reator série (reatância indutiva, item (a) na figura 2.25).

A correção do fator de potência é feita por capacitor (interno ao invólucro do reator), pontualmente, em paralelo, no lado da rede. Não existe controle aparente, ao longo da vida útil, de sua efetividade junto ao sistema. Isto indica necessidade de investigação quanto à possibilidade de existirem perdas significativas de energia devido à falha ou inexistência do capacitor.



Figura 2.24 – Reator série externo típico (para lâmpada HID), instalado em poste com circuito secundário da distribuição de energia elétrica. Fonte: foto do autor na cidade de Limeira, SP, 2000.

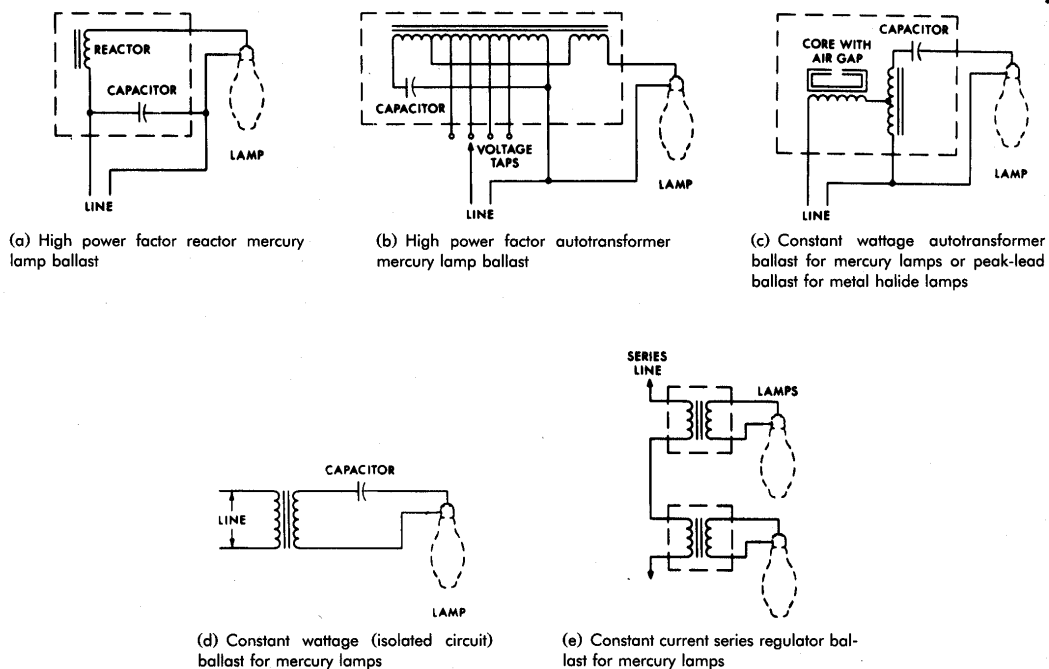


Figura 2.25 – Circuitos típicos para lastro às lâmpadas a descarga (HID), apenas o circuito do item (a) tem ocorrência conhecida no Brasil. Fonte:

Para o sistema a vapor de sódio a alta pressão, VSAP, algumas configurações alternativas de circuito para reatores são utilizadas (com ou sem derivação do enrolamento), basicamente em função do tipo do ignitor eletrônico utilizado. O reator híbrido, composto de controle eletrônico e reatância indutiva convencional, já foi introduzido, mas não têm aplicação expressiva. Não existe registro sobre o uso extensivo de outros tipos de reatores, como eletrônicos (que poderiam apresentar, em relação aos eletromagnéticos, redução na potência instalada da ordem de 20 %) ou eletromagnéticos do tipo a potência constante. Este último com justificativa de custo inicial elevado. Os reatores possuem expectativa de vida útil prescrita para 10 anos (em funcionamento contínuo) e suas características para especificação são a tensão e potência nominais, classe térmica do isolamento, necessidade de ignitor, local de instalação (interno ou externo) e correção do fator de potência.

Por definição, a menos da(s) lâmpada(s), a **luminária** deve incorporar todos os demais acessórios. Porém, esta não é prática local corrente. Em geral, reatores, ignitores e controle para chaveamento são cotados (e instalados) separadamente para a composição do ponto de luz. As luminárias têm importância quando interferem no direcionamento do fluxo luminoso e conferem algum grau de proteção para a fonte primária de luz, entre outras funções normalmente requeridas. A utilização isolada de informação sobre o rendimento da luminária não é prática recomendável, pois para as condições locais mais favoráveis tem-se para a sua determinação incerteza garantida na ordem de 8 % (o melhor padrão de fluxo luminoso possui incerteza de 2 %, necessita ser replicado em padrão de trabalho a ser utilizado em pelo menos

duas determinações, dentro e fora da luminária, além de auxiliar na correção de perdas e uso de fator de segurança não unitário). Além disso é sugerido avaliar o rendimento em determinada zona luminosa ou ângulo sólido (cone) cujo vértice contém a fonte. O fluxo luminoso emitido acima de determinado ângulo, em relação a vertical, tem efetividade questionável, e a menos de situações especiais, a luz emitida próxima e acima do plano horizontal (que contém o centro da luminária) não será útil no plano da via.

A distribuição de intensidades luminosas e demais informações técnicas relevantes das luminárias começam a estar disponíveis junto a pacotes de *software* fornecidos para simplificar certas tarefas dos projetistas. Na figura 2.26 são apresentados modelos de luminárias para lâmpada HID, obtidas junto ao museu da cidade norte-americana de Los Angeles.



Figura 2.26 – Luminárias para lâmpada HID do museu da cidade norte-americana de Los Angeles.

As características de interesse estão no tipo da lâmpada a que se destina, na eficiência e fator de utilização em serviço, disponibilidade de

ajustes para posicionamento (inclinação) na montagem, equipamento auxiliar incorporados ou não, grau de proteção à intempérie, resistência à solicitação mecânica por vento e peso.

Na figura 2.27 estão apresentadas luminárias para lâmpada HID, em funcionamento no CUASO, USP, Capital, em poste com altura elevada (20 m). Elas possuem circuito de alimentação subterrâneo, independente dos postes da distribuição de energia elétrica. A presença de árvores, cujas copas cresceram em alguns trechos, qual seu consumo energético elevado não impedem, totalmente, a verificação da excelente uniformidade que um sistema deste tipo pode propiciar.



Figura 2.27 – Luminárias para lâmpada HID, no CUASO/USP, instaladas em altura elevada (20 m), circuito de alimentação subterrâneo e independente dos postes da distribuição de energia elétrica. Foto do autor, 2001.

Os sistemas de chaveamento e controle da iluminação pública, visam a redução do consumo durante certos períodos e melhor seria se também pudessem considerar as alterações no de tráfego. Com certa frequência, podem ser encontrados pontos de luz ligados durante todo o dia, indicando possível defeito no controle dos mesmos. O desligamento tardio pelas manhãs ou ligamento precoce ao entardecer é mais comum e indica problemas de ajuste que podem ser corrigidos para eliminar consumo desnecessário (Burini, 1993), que ocorre, parcialmente, na ponta de carga do sistema elétrico. Para o chaveamento da IP predominam os relés fotoelétricos, quer com comando individualizado, quer com comando em grupo quando está associada chave magnética. Não freqüentes são os relés eletrônicos com temporização programável, fixa, ou aqueles com sensor em silício voltado para o piso, local para onde a luz deveria estar sendo dirigida melhor e monitorada. As características relevantes para o chaveamento são sistema manual ou automático, tipo da célula fotoelétrica, local de instalação e recurso para programação ou controle (via *modem*). Na figura 2.28 está apresentada alteração recentemente implementada para o posicionamento dos relés fotoelétricos no CUASO, USP, utilizada devido a eliminação dos postes de sustentação do circuito aéreo (que também acomodavam os relés). Em circuitos semelhantes, nos EUA, foi verificada prática diferente, os relés fotoelétricos ficam no interior do transformador (“pé de malta”), provido de uma pequena janela para a entrada da luz do dia.

Um posicionamento inadequado do relé (quando o mesmo recebe menor quantidade de luz) geralmente resulta num aumento no período de funcionamento do ponto de luz e consumo.



Figura 2.28 – Relé fotoelétrico convencional para comando da IP, com instalação independente dos postes da distribuição de energia elétrica.

O interesse propiciado pelo uso racional da energia (ou conservação) tem motivado a introdução no mercado de outros tipos de controle (não apenas ligado e desligado). O controle contínuo, em lâmpada HID, *dimming*, é realidade, ainda que em determinadas situações possa resultar em aumento da depreciação do fluxo luminoso (Gibson, 1994). Portanto, é possível promover a redução do consumo em instalações de IP, durante certos períodos, se forem incorporadas outras variáveis para atuar o controle, por exemplo, o conhecimento sobre a distribuição temporal da utilização de determinada área ou às alterações no volume de tráfego. Neste sentido, a redução do fluxo luminoso (e da potência elétrica) das lâmpadas HID tem sido avaliada. Um exemplo de equipamento para controle baseia-se no emprego de reatores com derivações, sendo cada um deles provido de *modem* para o recebimento de comandos, à distância, a partir de uma central. O controle do fluxo luminoso e do consumo de energia é obtido através da comutação da

derivação do reator, que impõe mudança no ponto de funcionamento da lâmpada. Esse sistema apresenta algumas vantagens, dentre as quais se destacam: a instalação sem necessidade de fiação adicional; permite ajustar uma curva para operação automática, adequada para cada instalação; não interfere na operação convencional do sistema de IP em caso de falha e permite o controle manual à distância.

Outros sistemas para controle da iluminação, também alteram o ponto de funcionamento da lâmpada, quer seja por técnica que reduz a tensão eficaz de alimentação (que pode ser por alteração na forma de onda), quer seja agregando uma “carga eletrônica” junto ao circuito do reator, buscando minimizar a energia ativa (algumas vezes aumentando a parcela reativa) consumida. Na presença desses dois últimos tipos de sistemas, o controle da IP é realizado com a utilização dos seus reatores convencionais, requerendo informação para a inserção do dispositivo controlador no circuito. Também é possível implementar variação contínua da potência e fluxo luminoso produzido, existindo deste modo certa vantagem em relação à tecnologia que emprega reatores com derivações (*taps*).

O sistema que propicia controle da tensão de energização foi utilizado num projeto para demonstração da tecnologia da iluminação dinâmica em vias públicas na Holanda, Dyno, 1999. Esse projeto foi implantado num trecho de rodovia, e proveu iluminação com nível ajustável de acordo com o volume do tráfego, condições da pista (seca, molhada ou escorregadia) e existência de neblina ou outros fenômenos redutores de visibilidade. A avaliação com base em dados colhidos ao longo de aproximadamente cinco anos descreve os resultados. As principais observações e conclusões deste experimento,

exemplar, quanto aos níveis de iluminação, mudança no tráfego e eficiência energética foram as seguintes:

- níveis de iluminação, foram considerados adequados dois níveis básicos de luminância, para as diversas condições do tráfego, da pista e do clima. Um nível normal na faixa de (0,7 a 1,0) cd/m^2 (proporcionado por iluminância média, naquele piso, da ordem de 10 lx a 15 lx) e um nível reduzido com valor de 0,2 cd/m^2 (para iluminância média, naquele piso, da ordem de 3 lux)¹⁸. Também foram realizadas experiências com luminância de 2,0 cd/m^2 (para iluminância média, naquela via, da ordem de 30 lux), não se notando qualquer diferença no desempenho do tráfego em relação ao nível de iluminação normal considerado [Observação, a partir dos dados informados e condições particulares deste projeto, a relação (L/E) em termos de médias apresenta valor igual a 0,067 cd.lm^{-1}];

- quanto às mudanças nas características do tráfego, com a implantação do sistema de iluminação no trecho da rodovia, observou-se um ligeiro aumento da velocidade média do tráfego de (1 a 2) km/h, sem prejuízo da segurança. Comparando-se as velocidades médias para os níveis de iluminação normal e reduzido, concluiu-se que há muito pouca diferença entre as mesmas para a condição de pista seca. Com pista molhada, a velocidade média para o nível de iluminação reduzido é expressivamente inferior em relação ao nível de iluminação normal; e

- quanto à eficiência energética, a iluminação dinâmica com a

Nota:¹⁸ - O volume do tráfego naquela via é considerado intenso quando superior a 1000 veículos/hora em cada pista, tornando-se reduzido quando esse índice fica reduzido a 600 veículos/hora.

alternância entre os níveis normal e reduzido produziu economia média de 35 % de energia em relação à situação na qual o nível de iluminação normal é utilizado durante todo o período. A Figura 2.29 apresenta os 3 níveis de iluminação ajustados durante projeto em rodovia holandesa, que recebeu aprovação local (Dyno, 1999), quando foi realizado experimento sobre as alterações resultantes da redução do fluxo luminoso.



Figura 2.29 – O projeto em rodovia holandesa onde foi realizado experimento sobre a variação do fluxo luminoso. Fonte: (*Dynamic public lighting project*)

Dyno, 1999.

2.3.2.3 Superfície do pavimento

Entre os fatores que são considerados externos às instalações de IP, no Brasil, está o pavimento da via (Burini, et al., 1999a,b). Ele é um tema deste trabalho, ao qual foram desenvolvidos esforços, obtido conhecimento, e é abordado com detalhamento nesta seção.

A capacidade de restituir a luz pela camada superficial do pavimento, basicamente, pela sua textura e alvura predominantes tem papel importante no processo para estabelecimento de um sistema de IP com base no conceito de luminância. As configurações apresentadas na figura 2.30 resultam de efeitos visuais produzidos por diferentes campos de luminância e possibilitam informação para classificar a superfície do pavimento.

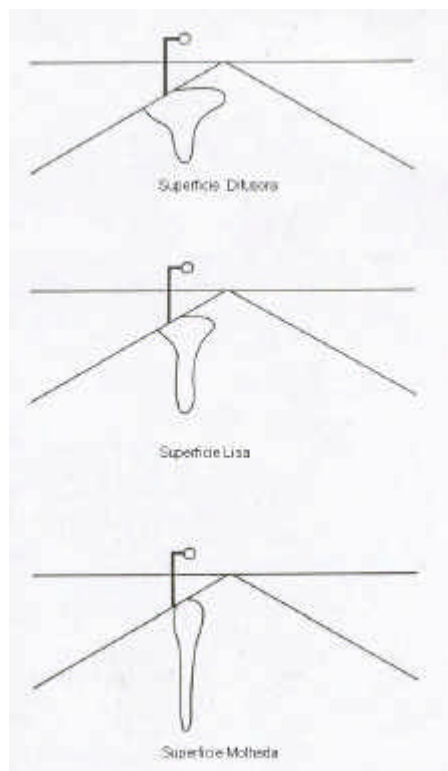


Figura 2.30 – Três configurações visuais para classificação do pavimento.

Em superfícies secas existe certo equilíbrio entre as características de resposta à luz incidente (ver figura 2.31 que inclui distribuição angular da intensidade luminosa em um plano), absorção, reflexão especular e difusa, conforme sua origem e condições de utilização. Na prática haverá ligeira predominância de uma destas três características o que lhe confere a identidade (refletância).

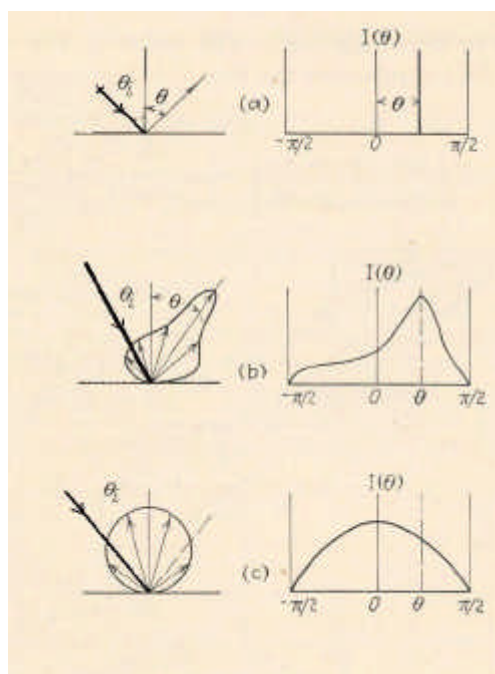


Figura 2.31 – Três tipos de distribuição de intensidade luminosa para classificação da refletância, (a) especular; (b) regular (ou mista); e (c) difusa.

Quanto maior a refletância da superfície, menor será a quantidade de luz incidente necessária para produzir luminância equivalente. Para aumentar a refletância de um pavimento pode-se imaginar a maior utilização de brita clara (carga branqueadora) adicionada ao asfalto ou então a utilização de concreto (claro).

O conhecimento sobre refletância necessita estar disponível quando do planejamento (que deveria ser integrado), e também nas operações de manutenção dos logradouros para se evitar a utilização de materiais diversos (exemplo na figura 1.15).

A técnica empregada na construção do pavimento, as condições ambientais e os esforços a que ele fica submetido durante utilização são os fatores principais na conformação da superfície da via. O documento CIE 66, 1984 fornece referências a este respeito. Com aproximação suficiente a um pavimento típico, junto à sua superfície, é possível observar detalhes sobre alteração provocada no espaço entre elementos agregados à superfície (rugosidade), conforme apresentado pela figura 2.32.



Figura 3.32 – Representação de alterações na superfície de uma via típica, conforme espaçamento da carga agregada, processos e período de utilização transcorrido. Fonte: (*Federal Highway Administration, EUA*).

Além da emissão na região do visível (que geralmente ocorre na presença desse tipo de radiação), o pavimento irradia calor sensível, radiação infravermelha, conforme a quarta potência de sua temperatura (lei de Stefan-Boltzmann). Estudos realizados em Berkeley, EUA (Akbari, et al., 2001) quantificaram este efeito como “ilhas de calor” e permitem visualizar situações diferentes (que a vizinhança ficará submetida) conforme o tipo de pavimento utilizado nas imediações (ver figura 2.33).



Figura 2.33 – Fator de reflexão e temperatura da superfície em função do tipo de pavimento. Fonte: Akbari, et al., 2001.

A sinalização horizontal (pintura de faixas e o uso de esferas vítreas) tem função auxiliar para orientação, na presença de iluminação. Independentemente da tecnologia e materiais utilizados para a construção de um pavimento ou superfície, da marcação horizontal (para sinalização) utilizada (ver anexo C-0), o conhecimento acurado da capacidade para restituir a energia radiante incidente ao ambiente têm papel importante devida relação

direta com a necessidade do uso de energia e conseqüente visibilidade em IP. A figura 2.34 apresenta imagem de dois tipos de pavimentos que possuem refletâncias aparentemente diferentes.



Figura 2.34 – Diferentes pavimentos, aparentemente, superfícies com refletâncias diferentes. Fonte: Dersa.

Em hipótese, caso houvesse interesse e necessidade em se prover iluminação (IP) numa via com características semelhantes àsquelas da figura 2.34, com a menor quantidade de energia (elétrica) possível e sem diferenças visuais significativas (com boa uniformidade) aos seus usuários, como o trabalho deveria ser conduzido? Para este atendimento, caso o projeto (e obra)

seja feito segundo técnicas conhecidas e com base nas prescrições normativas, vigentes no país, utilizando o conceito de iluminância (e sua uniformidade, conforme classificada a via tenha sido), nenhum dos dois preceitos, uniformidade e consumo mínimo, inicialmente fixados poderão ser atendidos ! Uma solução está em utilizar o conceito de luminância. Após ser conhecida a diferença entre as refletâncias aparentemente diferentes (partes clara e escura) e ter sido definido o patamar de iluminação a ser mantido, o qual deve, necessariamente, possuir previsões periódicas para ser amostrado (por medições físicas) junto à via, em toda a sua extensão e período de vida útil. O monitoramento do desempenho deve estar previsto e ser realizado conforme definição durante o dimensionamento. Estabelecida a premissa de serem diferentes as refletâncias (verificada por medições físicas), pode-se afirmar que a solução tradicional, conceito de iluminância, irá impor dois patamares, diferentes, de luminância devido diferença na refletância. Isto provocaria “um degrau de intensidade luminosa” aos olhos de seus usuários. Situação que pode ser corrigida pela redução proporcional do fluxo luminoso (e potência elétrica instalada, considerados sistemas convencionais), na região com refletância maior. Conforme os preceitos, inicialmente estabelecidos, este procedimento deve resultar em luminância única para o usuário e consumo energético menor para a municipalidade.

2.3.3 Sistemas de IP

Em 1993 foi divulgado trabalho que fixou a competitividade entre

diversas tecnologias de iluminação e tocou em ponto importante (Burini, et al., 1993, a,b), ainda hoje com discussão em aberto, a eficiência luminosa (na pupila) considerando condição que não seja puramente fotópica. Em estudo subsequente foram elaborados cenários possíveis para o sistema de IP de uma municipalidade. No cenário projetado para a máxima redução da demanda pôde ser dimensionado um consumo futuro reduzido, da ordem de 59 %, com base na premissa de toda substituição de tecnologia ser feita “sem prejuízo à sociedade”, isto é sendo mantido em base comum o mesmo fluxo luminoso fotópico, provido pela instalação de IP existente. A substituição tecnológica proposta não considerou a visibilidade (Burini, et al., 1994a,b).

Uma tendência tem sido observada, a elevação da potência (luminosa) do ponto de luz, especialmente quando uma mudança é realizada como a substituição da tecnologia VMAP (vapor de mercúrio em alta pressão) por VSAP (vapor de sódio em alta pressão), e talvez uma aprovação incondicional, junto ao usuário, parece estar sendo pretendida. Este aumento significativo do fluxo luminoso (em relação a uma fonte com característica espectral diferente) pode estar sendo compensada “perda da capacidade visual”, devida à mudança da fonte de luz. Podendo transformar-se em barreira, impedindo a redução da potência instalada, esperada para uma substituição com tecnologia mais eficiente, suposta em bases de mesmo fluxo luminoso (ver propostas para fatores de correção considerando o desvio espectral, Lewin, I, 2001). A consequência direta é uma redução da eficiência luminosa efetiva do referido ponto de luz. O aumento indiscriminado do fluxo luminoso ou na potência do ponto de luz, deveria ser evitado, e não deve ser recomendado como providência primeira.

A rigor poder-se-ia tratar diversas particularidades de cada elemento de um sistema de IP, porém para não haver demasiado afastamento dos objetivos lançados, serão fornecidas imagens obtidas e selecionadas (anexo E) e resultados de medições disponíveis (anexo C) de cidades brasileiras, constituindo registro da situação presente, uma amostra de instalações típicas.

2.3.4 Metodologias de projeto em IP

Devido a possibilidade de algum dos resultados deste trabalho poder ser utilizado em projetos, parte desta seção é dedicada ao delineamento metodológico geral desta fase de um sistema de IP. A seção é finalizada com discussão de tema selecionado e pertinente à área de normalização técnica no Brasil, país onde as fontes fluorescentes são muito pouco utilizadas em IP, ressalva (além das aplicações já citadas) para alguns poucos pontos que foram observados (com equipamentos muito depreciados) na região sul (RS) e uma proposta de projeto para a rodovia presidente Dutra (Carter, T. J., 1952), cuja prerrogativa, passados 50 anos, era menor ofuscamento e melhor reprodução de cores que a tecnologia VMAP daquela época.

Na biblioteca do IEE/USP pode ser encontrado acervo, significativo historicamente, sobre o tema IP (Millar, P., 1910a,b, 1915, 1928; Luckiesh, 1924; Candy, 1925; Hardy, 1936), que na medida das possibilidades está sendo atualizado (Photometria; Book review, 2002). Relíquia verdadeira do conhecimento, que muito valeria às gerações futuras se algumas obras depois de selecionadas pudessem ser transferidas ao universo digital para acesso

através da leitura óptica. Encontram-se preocupações desde aquela época sobre a remoção do oxigênio em residências que receberam iluminação a gás (atualmente, talvez pouco significativa) sem qualquer planejamento (Candy, F. E.; Dates, H. B., 1925) e estratégia para transmissão de conhecimentos, extremamente objetiva, como de Murdoch, 1994.

A experiência acumulada em levantamentos realizados para análise quantitativa em componentes individuais de instalação para IP é etapa importante que precede a implantação de projetos. Atualmente, após a escolha de um fornecedor conveniente, através de *software* e alguns poucos dados é possível elaborar o pré-projeto, mesmo na ausência de conhecimentos e alguns dados reais.

Para a definição geométrica dos pontos de luz em uma via, supondo que a finalidade seja devida a solicitação na direção de segurança, e atendimento a requisitos (de desempenho energético, estético) e a não existência previa de postes, deve ser considerado o tipo da via, seu tráfego; e fundamentalmente os planos de interesse a serem iluminados. A iluminância ou luminância média e uniformidade são exemplos de critérios utilizados no detalhamento e quantificação dos objetivos fixados. Certas instalações com tipos particulares de luminárias (e em algumas situações de utilização) requerem, necessariamente, controle ao ofuscamento presente (tema sob estudo na CIE, junto ao TC 4-33 Discomfort Glare in Road Lighting).

As condições ambientais durante o uso do sistema poderão impor-lhe perdas como a luminosa. Supondo que a potência absorvida muda pouco, em geral segue a tensão elétrica, poderá haver redução da eficiência energética.

A condição inicial de uma instalação pode ser utilizada apenas na validação de seu projeto. Para sua aceitação (ou não), não deve ser considerada com “critério de qualidade” para balizar seu desempenho ao longo da vida útil. Dentre os fatores responsáveis pela queda da luz emitida, ao longo do tempo, são destacados: a depreciação do fluxo luminoso da lâmpada, o acúmulo de sujeira sobre as lâmpadas e luminárias; deterioração da superfície ativa (ou refletor) da luminária; e lâmpada inoperante. A figura 2.35 apresenta comportamento típico da iluminância em serviço, em dois diferentes regimes de limpeza.

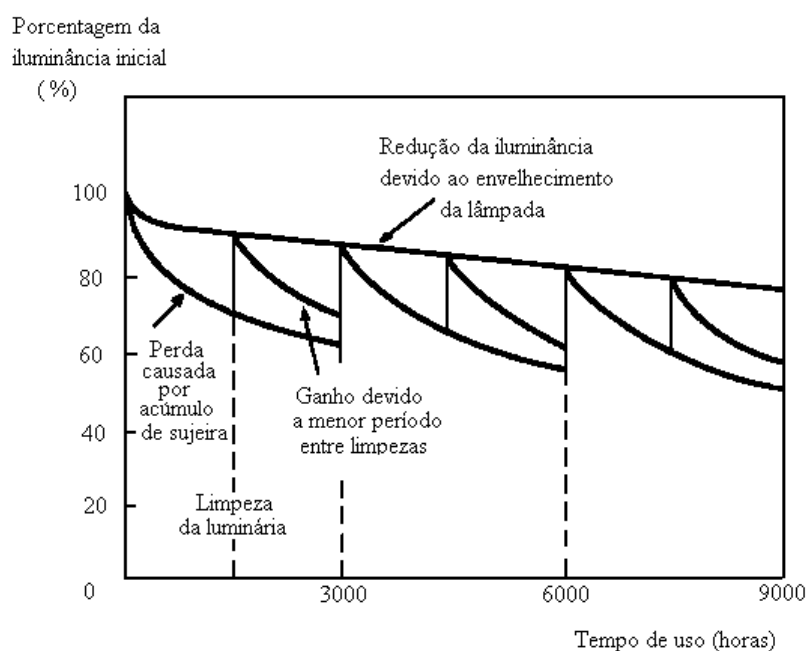


Figura 2.35 – Comportamento da iluminância em serviço.

Onde fica claro o comportamento dinâmico (da iluminância) da instalação, cujo projeto também deve considerar (e prever) intervenções periódicas, com objetivo de redução de desperdícios que pode ter sido iniciado pelo super dimensionamento da instalação. Assim, um projeto de iluminação que não fixa

períodos para manutenção é considerado falho e um sistema que não recebe manutenções, onde apenas as lâmpadas inoperantes, às vezes são substituídas, terá o custo da luz produzida sempre crescente, pois é pago por quantidade similar de energia, a cada período, enquanto a quantidade de luz disponível estará sendo, continuamente, reduzida.

A figura 2.36 apresenta curvas isolux típicas (cuja analogia pode ser feita às curvas de níveis, em topográfica). Esta planta é peça antiga, porém ainda requerida por metodologias que buscavam simplificar etapas do projeto luminotécnico, particularmente quando é necessário grande volume de cálculos com base na iluminância e um *software* não pode ser utilizado.

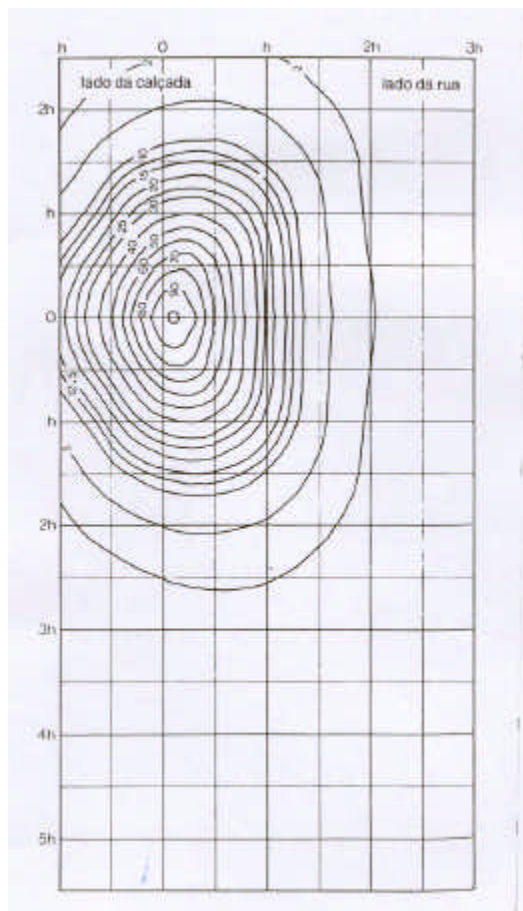


Figura 2.36 – Curvas isolux (h: altura de montagem da fonte primária). Fonte:

Manual iluminação, 1986.

Os programas para computador (softwares gratuitos e a baixo custo, com capacidade para simular visualização dita realista do espaço iluminado, conforme premissas) estão disponíveis para projetos de iluminação externa e são ferramentas úteis quando facilitam o trabalho de cálculo e análise do projetista.

As medições fotométricas são realizadas para levantamento de dados de componentes individuais, validação de projetos e conhecimento sobre o desempenho do sistema entre intervenções e manutenção (LM-50, 1975; Van Bommel, W.J.M., 1976, 1978; Rombauts, P., et al., 1989; CIE 30.2, 1990; CIE 140, 2001). Na figura 2.37 é apresentado exemplo de planilha com pontos para cálculo e medições, onde são consideradas apenas linhas paralelas à direção principal do fluxo de veículos na via. A realização de pesquisa sobre a opinião dos usuários, sobre a IP, pode ser dado adicional importante, porém ainda não é prática que possa ser considerada comum no Brasil.

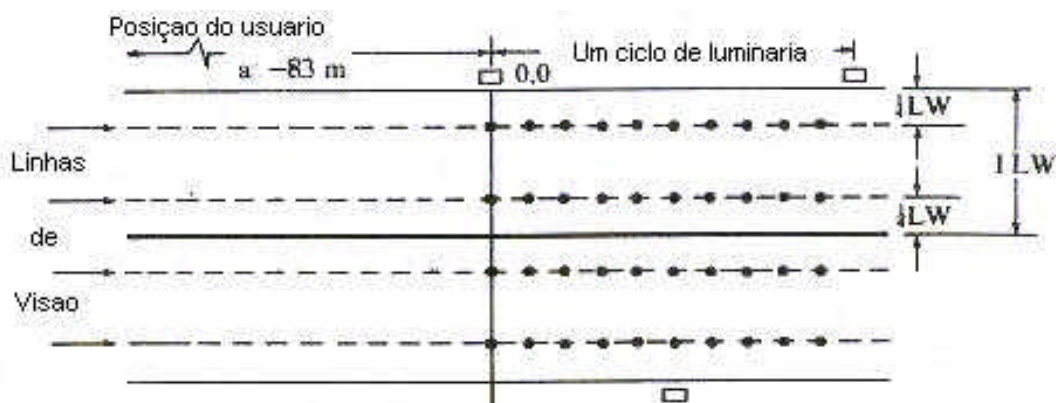


Figura 2.37 – Exemplo de pontos para cálculo e medições fotométricas no pavimento de uma via (rua, com largura 2 LW). Fonte: Murdoch, 1994.

As publicações da CIE estabelecem recomendações internacionalmente acordadas. Em geral, tais recomendações são adaptadas às particularidades locais de cada país (conforme o tipo de via, por exemplo) ou como base para normalização regional. O critério de visibilidade, que atualmente está adotado nos EUA, RP-8-00, 2000, e alguns outros cujas prescrições são de interesse estão organizados segundo o critério e a aplicação na Tabela H.1 (anexo H). Os projetos de IP deverão considerar as prescrições contidas em publicações da normalização local e assim terão limitações, porém não devem possuir desvios de seu foco principal, os usuários, consumidores da luz produzida.

A eficiência e a qualidade da iluminação pública é bastante influenciada pelo modelo de gestão adotado, através do qual, em teoria, é possível manter controle efetivo sobre todas as funções relacionadas.

2.3.4.1 Refletância e luminância da via pública

A refletância da superfície do pavimento da via é conhecimento ligado à utilização do critério de luminância. Na revisão da NBR5101, 1992, em curso, houve proposta para introdução do critério de luminância e utilização de tabela de fatores (tabela 7.1 – AFE)¹⁹ para estabelecimento da ligação entre iluminância (E) e luminância (L).

Nota:¹⁹ Os fatores (contidos em folha, tabela 7.1., no idioma francês, "Tableau 7.1. - RAPPORT R, AFE – Recommandations relatives à l' éclairage des voies publiques", página 93, informado pertencer ao conjunto das recomendações relativas à iluminação de vias públicas da associação para iluminação daquele país – AFE) são “coeficientes de luminância” em termos de valores médios de L e E, e pode diferir da média dos coeficientes de luminância.

A referida tabela²⁰ apresenta a relação (E/L), em termos de valores médios, porém foi elaborada para um arranjo particular (não aparente) e dois tipos de luminárias, com diferentes distribuições de intensidade luminosa. Portanto, a utilização do coeficiente de luminância inverso (R, “rapport”) referido, relação (E/L), deve ser feita com prudência e conhecimento que ele tem significado sob condições particulares (preestabelecidas). A questão básica aqui levantada é se a relação (L/E), em termos de valores médios de luminância e iluminância, pode ser aproximada pela média das razões pontuais de cada par de medições. A resposta está condicionada ao conhecimento do comportamento da refletância do pavimento considerado.

Independentemente da condição de validade da tabela (Tabela 7.1 – AFE)²⁰, se for considerada a utilização de instalação iluminante com distribuição luminosa semelhantes (condição aqui não necessária, porém incluída para reforçar possível fragilidade presente no uso extensivo da tabela²⁰) ou fluxo incidente no pavimento, mesma iluminância, para qualquer uma das condições de pavimento (doze valores, duas configurações de luminárias) apresentadas, é possível verificar a vantagem inerente aos revestimentos claros, quando o interesse é produzir L. Considerando o pavimento com comportamento de difusor perfeito (mesma intensidade em todas as direções do hemisfério superior), outra informação que pode ser extraída da tabela referida (Tabela 7.1 – AFE)²⁰ é o fator de controle [coeficiente de luminância, (L/E) multiplicado por π]. Para o caso do asfalto

Notas: ²⁰ - Tabela 7.1 – AFE, folha apresentada, em reunião de normalização (CE 340-1, COBEI/SP), como proposta à revisão atual da NBR 5101; não pertence à última versão do referido documento, AFE, segundo comunicação pessoal recebida de Alexis Bacelar.

escuro e luminária do tipo limitada (Tabela 7.1 – AFE)²⁰ o cálculo do fator de controle resulta em 12,6 %, valor próximo ao limite superior da faixa de albedo, 5 % a 10 %, disponível na literatura (Albedo %, 2002) para cobertura de via (*blacktop road*) e região visível do espectro eletromagnético (sem indicação ou informação angular). Em publicação norte-americana atual FHWA-PL-01-034 (Scan, 2000) foi encontrada confirmação para 3 dos valores para o (R, “rapport”) coeficiente de luminância inverso (8, 14 e 18) que estão apresentados na Tabela 7.1 – AFE²⁰.

A figura 2.38 apresenta resultados de amostras do albedo (refletância) de pavimentos em relação ao período (idade) desde a implantação, onde está clara a melhoria de refletância com a utilização. Sobre a presença de borracha de pneus e óleo de motores não está informado.

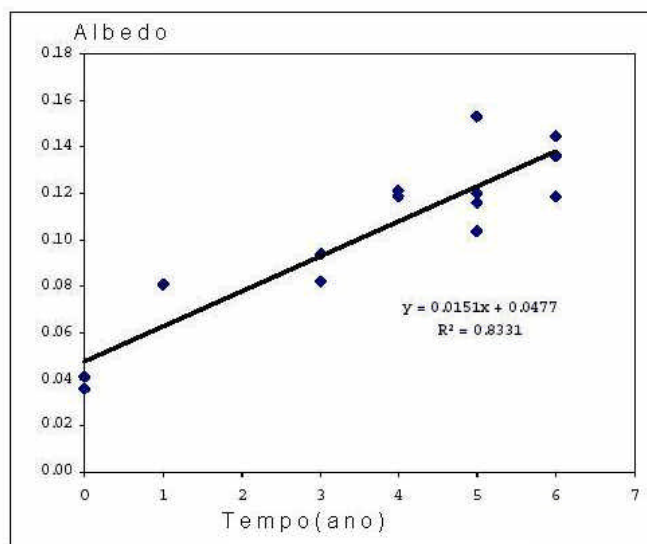


Figura 2.38 – Refletância (albedo) do pavimento em função do período de vida. Fonte: (LBNL-45864) Ting, M., et al., 2001.

Notas: ²⁰ - Tabela 7.1 – AFE, apresentada como proposta à revisão atual da NBR 5101; não pertence à última versão do referido documento, AFE, segundo comunicação pessoal recebida de A. Bacelar.

2.3.4.2 Necessidades para um critério de visibilidade em IP

Nas instalações de IP com VSAP no Brasil, iniciadas na década dos anos 1980, o objetivo aparente tem sido a diminuição da potência elétrica nominal instalada. Como não existe medição física, a energia tarifada é lastreada em valores nominais mais um acordo sobre a estimativa das perdas.

Ainda que não esteja oficialmente reconhecido, por exemplo, numa norma técnica, os efeitos visuais da energia radiante, em aplicações luminotécnicas que buscam eficiência energética, não estão sendo considerados exclusivamente com base no modelo de observador padrão para visão fotópica (diurna). A utilização de fator para a ponderação do fluxo luminoso emitido pela fonte, em função de uma relação escotópico/fotópico (s/p), não deve ser desprezado, está em difusão, inclusive para interiores, e é evidência desta afirmação (Lewin, I, 2001; Walerczyk, S., 2002).

Além da redução no consumo energético identificado durante o experimento realizado sobre visibilidade, ao ser considerado o sistema VSAP 250 W e um nível de resposta intermediário, fixado a priori, outro fato relevante também foi identificado e ficou registrado. Ele é relativo à visibilidade do elemento utilizado durante o procedimento para mira do instrumento de medição, em duas posições na malha do experimento (indicadas no anexo D), onde a esfera foi posicionada. Em ambas as posições, o objeto alvo de mira²¹

Nota:²¹- O elemento alvo utilizado para o procedimento de mira do instrumento (medição da luminância, realizada sob ângulo de observação em 6 minutos), folha branca de papel A4 convencional em escritórios, dobrado, pela metade, duplamente, tinha geometria retangular plana (15 por 10,5) cm e refletância da ordem de 80 %.

não pode ser identificado²², mesmo sob valores de luminância, registrados para os locais respectivos, não serem irrelevantes (1,70 nit e 1,50 nit). A constatação deste fato permite ser afirmado que o critério da luminância, ainda que represente avanço em relação ao exclusivo uso do critério de iluminância, não deve ser considerado decisivo, pois pode conduzir à falhas na conspicuidade ((ver anexo A que contém uma proposta de definição para este termo). Isto estabelece necessidade para inclusão de critério adicional, além de luminância pontual (um ponto da malha) e média (aritmética simples dos pontos da malha), sobre “visibilidade (ou conspicuidade ou discernibilidade; ver anexo A)” em projetos de IP (na pauta dos assuntos sobre a revisão da NBR 5101, em vigor). O estudo para estabelecimento de referencial de projeto, com base no critério de visibilidade, poderá partir de documento já estabelecido (como o RP-8, EUA, 2000, onde existe possibilidade da utilização de software para aprendizado/verificação da metodologia). Porém, algum conhecimento sobre a refletância também se faz necessário.

Nota: ²²- Foi feito revezamento no posto de mira e leitura do luminômetro e este fato não foi relatado para outras condições da iluminação (apenas a 100% do fluxo luminoso nominal, VSAP 250 W).

2.4 Metodologia experimental para IP

Como fato concreto, Estados, cidades e pessoas responsáveis pela iluminação desejam implementar o uso racional (ou como preferem alguns, “a conservação”) da energia elétrica, mas algumas vezes isto é feito em detrimento dos usuários. Estratégia que possibilita o uso racional de energia em IP está referida na bibliografia há mais de uma década (COBEI, 1985). Atualmente estão sendo aplicados, em projetos de iluminação, equipamentos com o objetivo de reduzir custos de energia e manutenção. Pode-se mencionar como exemplo os equipamentos para redução do fluxo luminoso, os comutadores (contatores acionados por temporização com hora astronômica), sistemas com teleprocessamento (inclusive aqueles já disponíveis no Brasil, citados na seção 2.3.2.2), como alternativas para a Iluminação Pública – IP fixa. Também existem estudos sobre a contribuição proporcionada por diferentes tipos de revestimento (cobertura clara) para a luminância das vias (Millar, P. S., 1916, 1928; Kraehenbuehl, J. O., 1952; King, 1968 e 1976; CIE 66, 1984; Brusque, 1996; CIE 144, 1998; Adrian, W., 2000). Entretanto existem poucos experimentos (Blackwell, H. R., et al., 1964; Fischer, D., 1975; Leslie, R., 1998; Dyno, 1999) que consideram respostas da avaliação dos usuários da via quanto capacitação e tecnologia local para propiciar conhecimento ao desenvolvimento da luminotécnica no Brasil. A primeira parte experimental do trabalho foi realizada neste contexto. Leslie, R., 1998 apresenta resultados para iluminância horizontal nos EUA e Fischer, D., 1975 sobre luminância média em vias da Europa.

Aos usuários de via urbana foi solicitado informar sua visibilidade a objeto localizado sobre a superfície da via. Buscou-se avaliar, quantitativamente, a resposta de usuários, em ambiente externo (típico de IP), sob diferentes níveis da iluminação local. Houve experimento, primeiro no Brasil e depois na França, com referência a avaliação, por pessoas, em ambiente com fluxo luminoso reduzido (em relação aos valores da instalação original, existente no local e aquelas utilizadas) e visibilidade a objeto esférico²³. A parte brasileira do experimento teve lugar em uma via com quatro luminárias (controláveis), no IEE, Campus da USP, e a segunda em uma via particular, em Grand-Quevilly, na França. A meta perseguida foi a busca por conhecer valores de luminância (e iluminância) relacionados ao conforto e segurança de usuários da via (e condutores de veículos), com base em visibilidade. Nos dois locais foram instalados equipamentos para o ajuste do fluxo luminoso. Ambos experimentos foram planejados para gerar dados, sobre instalações típicas diferentes, na busca de entendimento sobre como a redução do fluxo luminoso pode influenciar a orientação das pessoas, e permitir evidência sobre qual poderá ser o patamar de potência elétrica respectivo, necessário a projetos de iluminação similares (estabelecida, a priori, a “satisfação média”²⁴ e demais condições/limitações do experimento realizado como referencial).

Notas: ²³ Existem trabalhos anteriores que utilizaram objetos com geometria plana (ver figura 2.39); e

²⁴ Um patamar médio pode não ser a escolha ideal, este tema deverá ser avaliado melhor, como sugestão: durante a revisão da NBR 5101, 1992, levando-se em consideração fatores que não estão contidos no objetivo deste trabalho.

Num segundo conjunto de atividades (e experimentações) foi desenvolvida e aplicada tecnologia sobre refletômetros para conhecimento de propriedades de superfícies típicas das vias locais.

Na figura 2.39 estão apresentados grupos de objetos planos com variação na refletância, localização na via e uniformidade resultante da iluminação no campo de provas revelam situações de visibilidade diferentes.



Figura 2.39 - Objetos com geometria plana em outro campo de provas. Fonte: FHWA-PL-01-034, 2001.

2.4.1 Consumo energético e visibilidade

A avaliação dos diferentes tipos de fontes luminosas (que possuem distintas distribuições espectrais da energia radiante, manifestação física) com

base na sensação visual por elas produzida (efeito fisiológico) permeia os sistemas de unidades das medições fotométricas. Diferenças identificadas entre o processo visual humano e de medição levaram à formulação do conceito denominado ***luminância equivalente*** (NBR 5461, 1991), tópico discutido por autores na literatura entre os quais é destacado Keitz, H. A. E., 1971 (capítulo 12). Tão importante quanto o conceito da luminância equivalente é o conceito da sensibilidade visual à diferença de luminâncias, ou seja a capacidade visual humana possui dependência com a menor diferença de luminâncias perceptível, ***sensibilidade ao contraste***. Estes são conceitos importantes para o entendimento do processo de medição da luz, sobretudo quando são buscados dados e lastros em procedimento, com base em fotometria visual (a qual historicamente precedeu a fotometria instrumental), que em muitas situações pode ser a melhor indicação factível.

O primeiro experimento sobre visibilidade e redução de fluxo luminoso foi realizado no Campus CUASO da Universidade de São Paulo, em via limítrofe entre o IEE e o IAG, onde o trânsito era bastante reduzido (ver figura 2.40). Este experimento foi seguido por outro, realizado em CETE Normandie-Centre, Rouen (França), onde foi utilizado procedimento similar, inclusive com a tecnologia das lâmpadas VSAP. Neles um conjunto de registros foram gerados para avaliação, sob condições pouco diferentes, sobre as instalações, sistemas e requisito de visibilidade em via urbana típica. Os diferentes tipos de luminárias que foram utilizadas possibilitou verificar certo grau de liberdade das correlações estabelecidas em relação a esta variável da instalação.

Na figura 2.40 está apresentada uma vista do campo de provas onde o experimento foi realizado na USP, em fevereiro de 2001, com marcas (brancas no pavimento) dos pontos de medição e instrumentos utilizados.



Figura 2.40 - Campo de provas: experimento realizado na USP (fev., 2001).

2.4.1.1 Instalações

A caracterização da IP, a partir de informações geradas com base em medições tradicionais, pontuais, conforme procedimento estabelecido (NBR 5101, 1992; LM-50, 1975) está apresentada nesta seção. Para conhecer o desempenho, em campo, de sistemas típicos de IP foi utilizado procedimento tradicional, o fluxo luminoso que chega até a superfície da via deve ser identificado, “fotografado” sem dar relevância à potência elétrica instalada,

arranjo ou estado de conservação dos pontos de luz. O interesse está no estabelecimento de amostra representativa, de situação muito pouco divulgada, sobre a IP de instalação brasileira típica. Foi feito uso de alguns poucos registros disponíveis de Boa Vista, RR (Sauer, I. L., et al., 2001) e outros registros coletados em algumas cidades: São Carlos, Bertioga e a Capital de São Paulo (medições realizadas pelo autor). Os registros são de levantamento, em campo da distribuição de iluminância em vias com instalação típica. A faixa das iluminâncias em vias e demais registros considerados relevantes estão apresentados no capítulo 3 e no anexo D.

Luminâncias de vias

Alguns valores para a luminância de via foram registrados para a Rua Taborda, na cidade de São Paulo, através de luminancímetros marca LMT e Minolta, utilizado durante parte prática em curso de aperfeiçoamento. No experimento realizado em fev., 2001, na USP, também foi utilizado instrumento alemão, marca LMT, modelo 1000, quando foram geradas planilhas com luminâncias (anexo D-3 e D-4 para registros realizados na França). Os resultados médios calculados dos valores das medições realizadas, na condição 100 % do fluxo luminoso estão apresentados na tabela 4, capítulo 3.

2.4.1.2 CUASO / USP (madrugadas)²⁵

Nota: ²⁵ Foi recebido apoio do Instituto de Eletrotécnica e Energia – IEE/USP e da Prefeitura da CUASO/USP. Ainda no Brasil, foi recebido apoio de fabricantes de lâmpadas, GE e Philips, luminárias Repume e Reeme e do ILUME/PMSP. Externamente, da França, o Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement – CETE Normandie-Centre; Suíça (e Itália), da Intelux.

Esta seção é dedicada a apresentar informações geradas por atividades do experimento cujo planejamento foi iniciado em encontro com Alexis Bacelar, em Toronto, Canadá, em Setembro de 2000. Foi realizado com a colaboração deste pesquisador franco-brasileiro, na USP, durante algumas madrugadas sem interferência luminosa lunar, em Fevereiro de 2001.

A escolha da via foi tarefa importante no experimento, pois foi buscado local para simular ambiente para reproduzir a situação típica do meio urbano, porém, a luz de origem externa esteve sob controle (devido ao local utilizado), não causando ofuscamento declarado conforme afirmaram os usuários que participaram do experimento no Brasil. A figura 2.41 apresenta duas vistas da via onde o experimento foi realizado. A foto da esquerda é vista do local onde as pessoas (usuários) ficaram posicionadas e a da direita está no sentido oposto.



Figura 2.41 – Vistas diurna da via na CUASO/USP onde o experimento foi realizado (à esquerda, do local onde o usuário ficou posicionado; à direita é o sentido oposto). As luminárias são originais da instalação (VSAP 150 W).

O local do experimento, via do Campus da USP na Capital, possui largura de 8 metros, cobertura asfáltica cujo parâmetro de controle, Q_0 , foi estimado naquela oportunidade no valor de 0,10, permitindo, classificar a via como tipo R1 (conforme Alexis Bacelar, após procedimento avaliatório a partir do luminancímetro e luxímetro e realizado durante o experimento). Uma etapa completa do experimento, com quatro ajustes de nível de luz e uma mesma instalação (VSAP 250 W), inicialmente aqui apresentada²⁶, teve iluminação controlável composta por quatro luminárias (tipo REPUME, com lâmpadas a Vapor de Sódio a Alta Pressão - VSAP 250 W tubulares, Philips e GE), altura de montagem de 7,43 m; espaçamento de 30 m e orientação 15 graus (acima, em relação ao plano horizontal). Os demais resultados obtidos com outras instalações²⁶ também estão contidos no capítulo 3 e anexo D. Algumas simulações foram realizadas previamente (por software francês, baseado no modelo de visibilidade de Adrian, W., 1989), as quais indicaram ser possível cobrir toda uma faixa de potenciais respostas sobre as condições de visibilidade ao objeto esférico utilizado como alvo no experimento (desde não visível até visibilidade considerada boa), e com diferentes valores de fluxo luminoso da instalação utilizada. O sistema para controle do fluxo luminoso (Intelux) foi montado para uso nas instalações do IEE e utilizado para controlar o fluxo luminoso no experimento.

Nota:²⁶ No mesmo período de realização do experimento, no Brasil, cujo procedimento é aqui apresentado, também foram obtidos outros dados (luminária Reeme e outra luminária original da instalação) para fonte iluminante VSAP (HPS) 150 W tubular e Multivapores Metálicos MVM (MH) 250W (difusa).

A esfera utilizada ou alvo (ver figura 2.42) tem diâmetro igual a 20 cm, superfície externa na cor cinza neutra com fator de reflexão igual a 0,2.



Figura 2.42 – Alvo colocado sobre a superfície da via durante a realização do experimento. Fonte: foto do autor, fev., 2001.

O sistema permitiu a gestão dinâmica de quatro pontos de luz da via utilizada. No nível do pavimento, entre as duas luminárias centrais uma malha foi definida, com 28 pontos (quatro colunas longitudinais e sete transversais à via) para as avaliações planejadas. A figura 2.43 apresenta esquema da malha estabelecida entre as luminárias números 2 e 3, com a indicação das posições que a esfera ocupou. Os números, em metro, são valores das coordenadas para localização dos pontos de intersecção (nós da malha) para medições e posicionamentos da esfera. A origem da malha (0, 0) está localizada, na superfície da via, tendo como zênite a luminária nº 2. Também está indicado, em relação à malha, a 83 m, o local onde os observadores foram posicionados para simular a situação real de usuários da via.

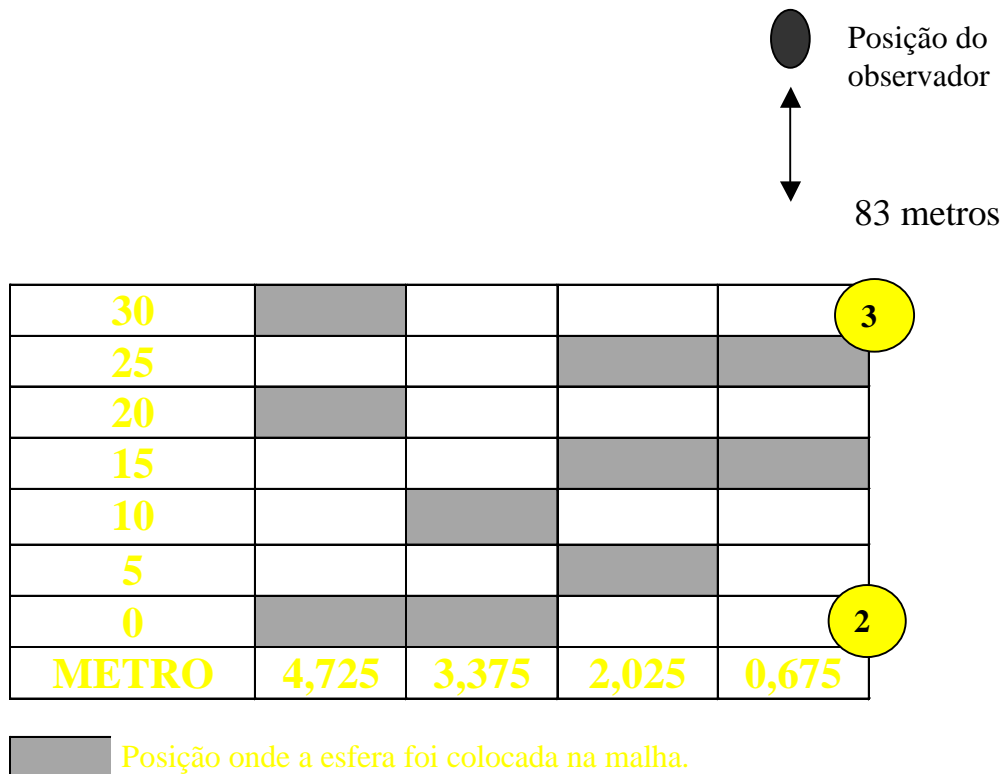


Figura 2.43 - A malha estabelecida entre as luminárias números 2 e 3 e indicação das posições (áreas escuras) que a esfera ocupou.

As colunas longitudinais: zero (sob a linha que contém as luminárias) e 5,4 m não estão representadas na figura 2.43, pois foram utilizadas apenas para as medições de luminância e iluminância (42 pontos, conforme anexo D).

A continuidade da iluminação, ao longo da via (os demais pontos de luz ali existentes), proporcionou aos usuários (observadores) iluminação similar do entorno (continuidade luminosa presente e desejável), conforme em situações reais, ou seja não foi iluminado apenas o campo de prova. Na figura 2.44 é apresentada foto do alvo utilizado sobre superfície branca (placa de "Teflon"), ao lado de uma escala referencial (BSI: BS 5252) durante procedimento para

verificação da refletância que foi realizada a partir de metodologia própria com utilização de câmera digital CCD.



Figura 2.44 – Esfera utilizada sobre superfície (fundo) branca e ao lado uma escala referencial (BS 5252). Fonte: foto do autor, fev., 2001.

Devido existirem 4 luminárias, cujo fluxo luminoso podia ser controlado, a malha (de pontos para posicionamento da esfera e medições) foi estabelecida entre as luminárias nº 3 e nº 2, a partir do local do observador, de modo a manter o mesmo tipo de fonte de luz na região posterior (de fundo).

A esfera tinha possibilidade de ser colocada em qualquer um dos 28 pontos de interseção de malha regularmente espaçada entre duas luminárias consecutivas. Somente foram utilizados 10 das posições de tal malha, aleatoriamente distribuídas e escolhidas para cobrir toda a faixa possível de respostas sobre a condição de visibilidade do objeto utilizado (ver p.126 e 129). Em relação ao método para avaliar o reconhecimento dos usuários, foi feito uso de um procedimento já utilizado em outros experimentos (Burini, et al., 2001).



Figura 2.45 – Vista noturna da via na CUASO: Campus da Universidade de São Paulo, lado oposto à posição dos participantes. Nota: Efeito tempo de exposição alongado foi utilizado nesta foto (cedida pelo Sr. Pinheiro, J. L. P.).

Sete pessoas participaram deste experimento como observadores no Brasil (e na França foram oito observadores), simulando usuários da via. A eles foi solicitada resposta relativa a avaliação própria quanto ao reconhecimento (visibilidade) do objeto quando colocado em cada uma das (10) posições, em simulação à condição (e expectativas) de um motorista ou usuário. O histograma da idade física dos participantes estende-se de (38 a 56) anos, com uma idade média de 45 anos. Cada observador, individualmente, ficou posicionado, em pé e de costas, a 83 m da área onde o objeto, a ser reconhecido foi posicionado. A altura média do ponto de observação, em relação ao piso, foi de 1,6 m, o que corresponde a um ângulo de observação de $1,1^\circ$.

O operador posicionava o objeto alvo, e ao ouvir um sinal combinado

('bip' simulado), cada observador virava-se no sentido do objeto. Ao ouvir um segundo 'bip', ele reassumia a posição inicial. A duração entre dois 'bips' foi ajustada para produzir período médio de observação da ordem de meio segundo. Foram estabelecidos cinco patamares (valores) para o cômputo da avaliação, a saber:

- 0, objeto não visível;
- 1, objeto pouco visível;
- 2, objeto visível;
- 3, objeto com visibilidade satisfatória; e
- 4, objeto com visibilidade boa.

Para cada posição que o objeto ocupou, o valor médio do resultado das avaliações foi calculado e associado ao valor correspondente de luminância (L) e iluminância horizontal (E), que foram medidos neste mesmo ponto onde a esfera foi posicionada (os valores estão nas planilhas, ver anexo D). Foi estabelecida a relação entre os valores médios de avaliação (resposta) com luminância e iluminância horizontal, através de equação e parâmetros de correlação.

Os testes foram realizados para cerca de (100, 75, 50 e 25) % do fluxo luminoso das lâmpadas VSAP 250 W (para as demais instalações utilizadas no Brasil, nem todas estas 4 condições nominais de fluxo luminoso foram utilizadas) e para cada uma das as 10 posições que o objeto esférico observado ocupou na malha (ver áreas escuras na figura 2.43). Os patamares de fluxos luminosos referidos foram escolhidos para dispor de uma escala de luminância suficientemente ampla para possibilitar o relacionamento com a

escala de visibilidade utilizada. Na condição do fluxo luminoso a 100 %, correspondente a instalação quando energizada sob tensão nominal, os valores médios de iluminância e luminância, calculados a partir de (42) pontos medidos na malha, poderão ser considerados, por alguns, elevados (VSAP, 38 lux e 3,4 cd/m²). Ela foi utilizada para assegurar a possibilidade de condição com visibilidade ótima a todos os observadores.

Valores de avaliações já foram utilizados na busca de correlação com níveis de visibilidade (obtido por cálculo) de um objeto esférico (Lecocq, 2000). Neste experimento foram estabelecidas correlações das avaliações com a iluminância e a luminância em via pública.

É bem aceito que o nível de visibilidade a um objeto está relacionado com contraste (IESNA, 2000). Contudo, nesta parte do trabalho o interesse estabelecido foi testar a relação entre visibilidade a objeto esférico (geometria com 3 dimensões, assumida representar objetos que estão sobre o pavimento em situação que pode provocar acidente grave) e a luz na superfície da via no local onde ele ficou posicionado. A questão central colocada: é possível definir relação entre a média das respostas dos usuários, em relação à visibilidade do objeto e a luminância (e iluminância) dos pontos considerados ?

2.4.1.3 Repetição franco-brasileira (Rouen, CETE)

O mesmo procedimento do experimento realizado na USP com VSAP 250 W foi reproduzido na França pelo pesquisador franco-brasileiro que auxiliou a realização da primeira etapa no Brasil. Foi ele que forneceu os dados

gerados por esta repetição e também informou ter sido utilizada, naquela oportunidade, lâmpada VSAP 150 W. Os resultados desta segunda parte experimental foram apresentados em congresso realizado na Turquia (junto a CIE, em setembro 2001). Na figura 2.46 estão apresentados o objeto alvo e o sistema utilizado na França, sob duas condições diferentes de fluxo luminoso (50 % à esquerda, e 100 %).



Figura 2.46 – Vistas da via (e alvo: ponto escuro no interior do círculo branco estabelecido) onde a segunda parte do experimento foi realizada, na França. À esquerda, o sistema com 50 % do fluxo luminoso e à direita com 100 %. Fotos cedidas por Alexis Bacelar.

A correlação estabelecida com todos os registros disponíveis teve objetivo focado em independência de influências das diferenças existentes, como aquela imposta pela distribuição de intensidade luminosa do sistema iluminante, características de refletância dos pavimentos e outras

peculiaridades locais, inerente a cada parte do experimento, e para as quais não se dispunha de controle. Ambos os conjuntos de medições físicas também foram analisados, através do coeficiente de luminância das vias (seção 3.3.3).

2.4.1.4 Divulgação realizada

Os resultados dos trabalhos realizados foram apresentados em congressos internacionais (Burini, et al., 2001 e 2002; e Bacelar, et al., 2001). O experimento sobre visibilidade realizado no Brasil, do qual foram obtidas avaliações humanas, relativas a um objeto alvo, com geometria esférica, relacionadas a um sistema com redução de fluxo luminoso, permitiu serem divulgados valores, oriundos apenas do sistema com VSAP 250 W (Burini, et al., 2001), de 1,3 cd/m² e 12 lux (sem correção, conforme nota²⁷). A aplicação da correção conduz a 16,8 lux (VSAP 250 W), potencialmente satisfatório por estar relacionado ao nível intermediário entre a gama das respostas possíveis, e a relação entre estes dois valores igual a 13 lm/cd (ou 0,077 cd/lm). Outros resultados intermediários também foram apresentados em dois outros eventos internacionais (Bacelar, et al., 2001 e Burini, et. al. 2002), além das divulgações realizadas em 3 palestras locais. Os resultados estão consolidados no capítulo 3.

Nota: ²⁷ Se for de interesse fazer correção à leitura do luxímetro utilizado no experimento, o resultado do último procedimento de aferição (calibração), será necessário multiplicar os valores de iluminância pelo fator de correção 1,06 a fim de aproxima-los a patamar com rastreabilidade internacional e base em referencial incandescente. Outra verificação simples entre instrumentos e fonte VSAP também mostrou a necessidade da utilização de um fator para correção igual a 1,4 (ver anexo B). Nenhuma correção foi prevista para os valores de luminância.

2.4.2 Radiância e irradiância em pavimento

Alguns segmentos do meio científico consideram ser o olho humano similar a um instrumento fotônico, outros abandonaram o conceito de fluxo luminoso, lúmen, passando a utilizar em seu lugar o Einstein, fluxo fotônico. A explicação inicia-se na capacidade energética de cada fóton, em função da sua frequência (ou cor, na faixa do visível), e está centrada na efetividade da absorção da energia, peculiar a cada processo considerado. Ainda que o interesse maior em IP esteja na região visível do espectro das radiações ópticas, hoje ainda para visão central e diurna é importante considerar o tema com abrangência um pouco mais ampla. No caso do fluxo energético fora da região visível do espectro, a emissão ou re-emissão na faixa infravermelha pode existir e estar associada a um maior aumento de temperatura do entorno, no caso dos pavimentos escuros (Akbari, H., et al., 2001).

Na pesquisa foi escolhido trabalhar com pavimento seco devido a quatro fatores preponderantes, a saber: 1) é condição real, que tem ocorrência significativa, durante a qual observa-se, em geral, um tráfego com maior velocidade média dos veículos automotores; 2) o tratamento pode ter uma simplificação para refletância difusa, devido à rugosidade elevada (irregularidade) da superfície na ausência de líquidos, nas condições usuais de observação e posição das fontes de luz; apenas a componente difusa é considerada presente, o que resulta em comportamento isotrópico aproximado do ponto de vista de interesse (macroscópico); 3) os instrumentos para medições disponíveis possuem restrição de funcionamento em relação à presença de líquido e umidade relativa elevada; e 4) a reduzida disponibilidade de conhecimentos específicos a respeito de superfícies molhadas (mesmo

internacionais para comparação), Lecocq, J., 2000.

Neste trabalho, as superfícies cujo desenvolvimento de conhecimento da refletância existe interessam são aquelas que constituem os pavimentos secos (“leito carroçável”) de vias existentes no Brasil, providas ou com possibilidade de receberem IP. Os resultados de levantamento em campo podem ser comparados com alguns resultados de trabalhos realizados em outros países e que estão sintetizados na próxima seção.

2.4.2.1 Refletância

A complexidade associada à caracterização da refletância de superfícies, quando considerado espaço tridimensional, pode ser ilustrado a partir da idéia expressada por Bouguer, em 1760 (Spencer, D. E., 1975), onde a superfície teria comportamento similar a um conjunto de pequenos espelhos com posicionamento em vários ângulos ou (para outro prisma) pela representação da figura 1.12. Foi identificada concentração de trabalhos técnicos, especializados, sobre o fluxo luminoso refletido por uma superfície (refletância) em torno de 1970. Este foi o período em que alguns autores (Spencer e Gaston, 1975) partidários de equacionamento completo, denominado refletância generalizada (e não apenas os extremos, especular e difusa), ousaram não reconhecer qualquer progressos significativos no tratamento do assunto, desde a abordagem apresentada em 1760 por J. H. Lambert. Nesta mesma época a representação das propriedades da refletância podia ser caracterizada pela função de distribuição de refletância bidirecional, BRDF (abreviatura do inglês, *Bidirectional Reflectance-Distribution Function*).

As duas direções principais no BRDF são da fonte primária e de observação, em relação à superfície considerada. A figura 1.12 permite visualizar uma representação análoga e simplificada.

A impossibilidade de estabelecer uma teoria geral, frente aos dados disponíveis, levou Parry Moon a estabelecer formulação empírica (bidimensional) para a caracterização da reflexão por superfícies. Ele expressou a complexidade do tema ao afirmar que nem mesmo os esforços empreendidos por teoria com base na óptica geométrica e óptica física dão boa aproximação aos resultados experimentais. A partir de dados experimentais referentes a ângulo de incidência (θ_i) até 75° , em relação à normal da superfície “áspera” considerada, este mesmo autor concluiu ausência de componente especular significativa (picos de intensidade luminosa) para superfícies com rugosidade acima de $0,65 \text{ (}\mu\text{m/}\lambda\text{)}$. Como exemplo é citado o MgO, que possui rugosidade igual a $2,0 \text{ (}\mu\text{m/}\lambda\text{)}$ considerado θ_i igual a 45° .

A determinação da refletância geralmente é realizada com auxílio de fotômetro (ou espectrofotômetro, quando a distribuição espectral da energia radiante é relevante), utilizando-se procedimento e referencial convenientes. A caracterização espectral (e o conhecimento) do valor absoluto da refletância de materiais que podem ser utilizados como referencial (um exemplo é o Spectralon), estão estabelecidos e disponíveis, em Williams, C. D., 1999. Alternativamente estão recomendados pela CIE 46, 1979 (para a região visível do espectro): 1) o pó de sulfato de bário (BaSO_4) logo após ser prensado (ver também CIE 38, 1977); 2) o óxido de magnésio (MgO), prioritariamente por deposição recente, a partir da combustão de haste metálica do Mg; 3) o pó de PTFE (polytetrafluoroethylene) prensado (ver também CIE 130, 1998).

2.4.2.2 Refletância difusa

Para superfícies extensas, como os pavimentos quando ficam submetidos a condição de irradiação hemisférica, a determinação da refletância difusa (\tilde{n}_{dif}) pode ser realizada a partir de uma esfera integradora especial conforme está descrito na CIE 130, 1998.

Ao uso regular de esfera integradora (Ulbricht) estão associados alguns cuidados e controles com a pintura interna, sobretudo da camada aparente. Efeitos de poluentes, irradiação e envelhecimento não podem ser ignorados para a manutenção da incerteza estabelecida em medição. Assim, dependendo da frequência de sua utilização, os custos e as atividades associadas à manutenção necessária podem representar barreira tanto ao início quanto para a continuidade de sua utilização. A possibilidade de uma aplicação prática pretendida, para obtenção de resultados de refletância de pavimentos utilizados no Brasil, conduziu ao desenvolvimento de metodologia alternativa, simplificada, para utilização em campo e cujo resultado encontra-se na seção 2.4.2.6.3 deste capítulo. A comparação entre os resultados de metodologias é instrumento que poderá ser utilizado no futuro para dar seqüência ao desenvolvimento tecnológico alcançado.

2.4.2.3 Coeficiente e fator de reflexão (luminância/radiância/refletância)

Na terminologia brasileira do setor de iluminação (TB-23, 1991), o termo fator de reflexão não se encontra definido. Atualmente, ele é encontrado como “*reflectance*” (em inglês), e pode ter tido origem no francês (“*facteur de*

réflexion”) CIE 38, 1977. **Reflexão** é termo genérico sobre o retorno da radiação incidente. Esta seção é dedicada a dois conceitos centrais no conhecimento de características quer venham a ser radiométricas (radiância/refletância), quer estejam restritas à porção “visível” do espectro, fotométricas (luminância/refletância)²⁸.

2.4.2.3.1 Fator de luminância [radiância]

O **fator de luminância** [ou **radiância**] encontra-se definido para um elemento de superfície, direção e condições de iluminação dadas, como a razão, símbolo \hat{a} , da luminância produzida por esse elemento pela luminância de um difusor perfeito, sobre iluminação similar. Um arranjo genérico que possibilita ser visualizado o posicionamento referido está apresentado na figura 2.47.

Para finalidade prática está indicado na literatura a superfície uniforme de pó, prensado fresco, com sulfato de bário sob iluminante A (padrão CIE), para utilização como padrão cujo valor de referência é [$\hat{a}_{0/45} = 1,000 (\pm 0,5 \%)$] (CIE, 130, 1998). Está implícito ser a abertura do fecho 16° e os índices sub-escritos indicam ângulo de incidência $\hat{\alpha} = 10^\circ$, ângulo de visada $\hat{\beta} = (45^\circ \pm 2)$.

Nota fundamental:²⁸ Para que trabalhos ou medições, em campo, sejam significativos é necessário tomar como ponto de partida a existência de correlação entre luminância, resultado de uma determinação/medição puramente física e o reconhecimento a um efeito visual, **brilho** (3.4.73), independentemente de outros fatores quaisquer, principalmente, a condição de adaptação visual do observador.

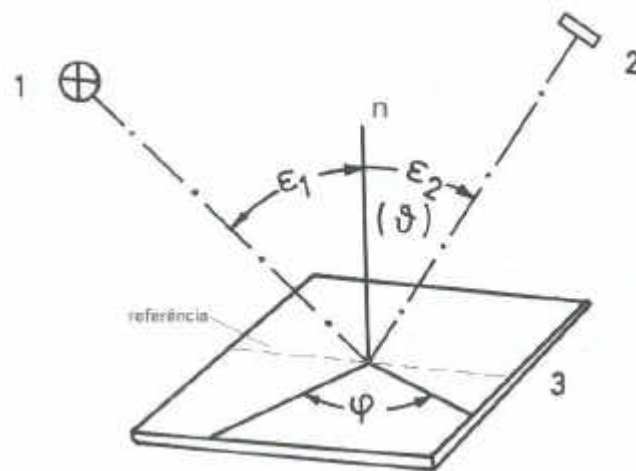


Figura 2.47 – Representação angular relativa, no plano que contém a fonte (1), \hat{a} , o fotoelemento (2), \hat{a}' , com a direção da normal (n) à superfície da amostra considerada (3). Fonte: CIE, 130, 1998.

2.4.2.3.2 Coeficiente de luminância [radiância]

O **coeficiente de luminância** [radiância] é conceito semelhante ao **fator de luminância** [radiância], definido para um elemento de superfície, direção e condições de iluminação dadas, porém utiliza a luminância (L) como informação sobre o sinal de interesse e como referência, no denominador da razão, a **iluminância, E , [irradiância]** no elemento, símbolo q (L/E).

Nos cálculos da iluminação em vias, pelo método das luminâncias, o coeficiente de luminância reduzido ($q \cdot \cos^3 \gamma$), produto do coeficiente de luminância e o cubo do cosseno do ângulo de incidência, entre o fecho

elementar da fonte considerada ($\dot{\alpha}$ da figura 2.47 é aqui denominado gama) e a normal à superfície (para detalhe ver figura 2.48), estando, convencionalmente, fixado, $\dot{\alpha} = 89^\circ$ ($\dot{\alpha}$ é denominado alfa na fig. 2.48), em função da altura média do olho (1,6 m) e distância do local de observação (83 m). Em situação real a contribuição individual de cada fonte significativa deve ser computada. A tabela do coeficiente reduzido de luminância (*r-table*) disponível para algumas classes de vias vale para intervalo de $\dot{\alpha} = (1,0 \pm 0,5)^\circ$, tendo sido investigado por pesquisadores como King, L.; Finch, D. M., 1968; Fischer, D., 1975; Adrian, W, 2000 e está indicada na CIE, 130, 1998.

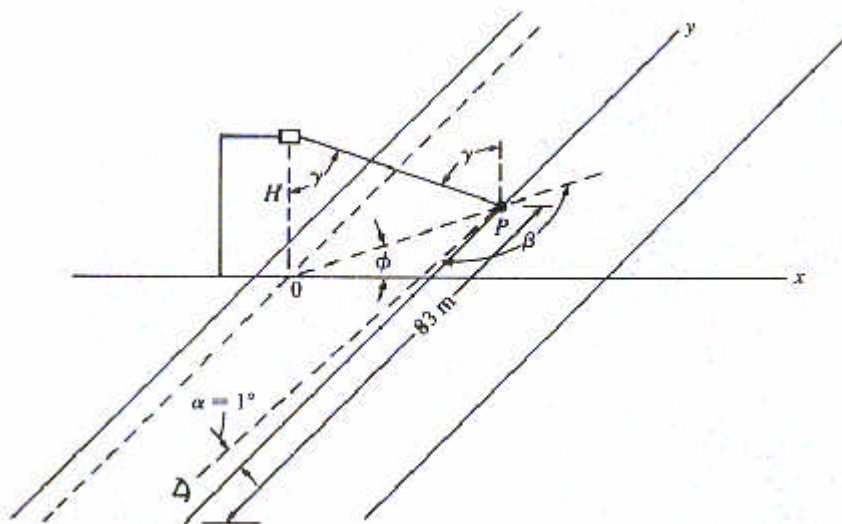


Figura 2.48 – Representação angular para cálculo da luminância no plano da via, a partir de uma única fonte de luz (luminária) e observador em posição fixada. Fonte: Murdoch, 1994.

2.4.2.4 Elementos para referência

Alguns materiais foram obtidos no mercado local para utilização como referência de refletância elevada (BaSO_4 , MgO , e outros), porém mostraram-se de manipulação um tanto complexa e delicada. Outra necessidade identificada foi dispor de uma referência, cuja refletância fosse conhecida, possuindo incerteza reduzida. A situação foi resolvida a partir de material que é comercializado sob licença da Kodak, USA (*grey card*, KGC, 1999; Milton, E.J., 1989). Ele possui refletância espectral declarada relativamente plana na faixa do visível, nos valores nominais de 90 % e 18 %, com desvio garantido não superior a 1 %. Após verificação comparativa realizada com fotômetro convencional estes valores foram considerados aceitáveis e até menção contrária são mantidos como referencial deste trabalho.

2.4.2.5 Escala (de refletância) e função de transferência

A etapa subjetiva²⁹ do problema da reprodução de tons ou cores está abordada na seção 2.1, deste capítulo, onde foram tratados aspectos da visão humana. Nesta parte está considerado o trabalho realizado para construção de uma escala de refletância (ou luminância).

Nota:²⁹ É comum ser encontrada diferenciação terminológica, principalmente em inglês, para evitar confusão entre escala de brilho, *brightness scale* e o termo psicológico correlato, *brilliance* que é preferível.

Foi mantido o objetivo de maior simplicidade possível, principalmente, para reduzir as dificuldades na reprodução do trabalho. Um conjunto de figuras justapostas (“máscara”) foi impressa, com material convencional de informática. A variação de tons foi feita seguindo carta (ver figura 2.49) padronizada pela IEC 1146-1, 1994 (ISO 12641). A imagem de cada padrão de tom (cor cinza “neutro”) foi produzida, por impressão em papel comum em escritórios, tamanho A4, com base no valor correspondente do seu pixel (projetado para aproximar a “moldura” na refletância 18 %).

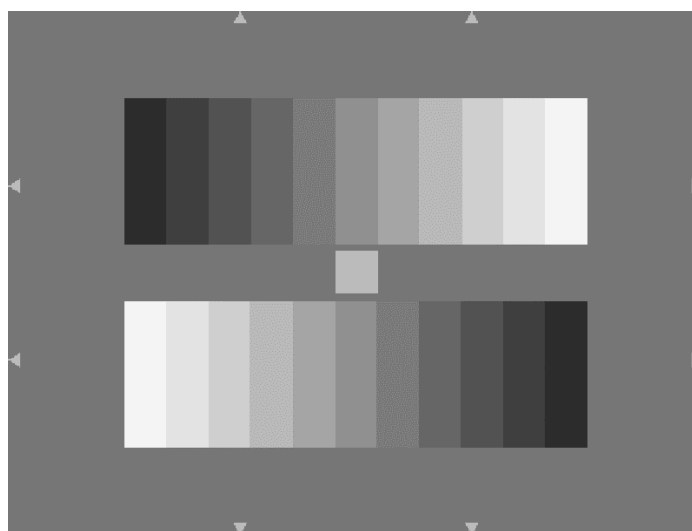


Figura 2.49 – Carta elaborada (IEC 1146-1, 1994) para determinação da resposta de câmera digital (escala de refletância em tons de cinza neutro).

A refletância difusa de cada elemento da carta elaborada (“mascara”) foi determinada pelo uso de refletômetro (esfera integradora especial) construído. Depois foi utilizada fonte primária de luz fluorescente (T_{cp} aproximada 5500 K), cada um destes elementos (com diferente tom de cinza) foi posicionado sob uma fenda da máscara (na outra fenda ficou posicionado o referencial 18 %,

KGC18, para controle) e a cena teve sua imagem capturada. Uma amostra colhida da imagem assim gerada (posição ortogonal), de cada região de interesse, foi processada para determinação da média (e desvio padrão), elemento numérico representativo da distribuição de valor de pixel da região amostrada. Estes registros estatísticos são correspondentes a um conjunto de ajustes da câmera [(1/100) s e F1.6]. A refletância foi plotada em plano cartesiano contra o valor de “pixel”, determinada a correlação e ajustada a respectiva equação da curva. Esta equação representa uma curva para transferência entre a refletância (ou luminância) da região central da cena capturada (nas condições dadas) e o valor do “pixel” correspondente. Outra interpretação possível para esta curva elaborada, estando as refletâncias sob iluminação sob intensidade praticamente constante, ela seria análoga a uma curva típica de reprodução de tons³⁰ do material utilizado (concentração da tinta preta) contra o valor numérico do pixel (que na etapa inicial deste processo pode assumir o valor de projeto). A figura 2.49 apresenta imagem da máscara (antes dos 3 tons mais claros, no extremo de cada faixa, terem sido retirados para tornar-se local da amostra). Ela foi utilizada como referência em medições com amostras tanto no campo (aquisição da imagem na direção da normal) quanto em refletômetro que possibilita a variação do ângulo de incidência da fonte e o ângulo de observação também pode ser fixado (por exemplo em 80 graus em relação à direção da normal).

Nota: ³⁰ A curva que relaciona a luminância de regiões de uma cena e densidade do “material depositado” (a luminância respectiva que poderá resultar), presente no registro ou imagem gerada, no ponto correlato da foto.

Na figura 2.49, como pode ser observado existem 13 tons de cinza diferentes (incluída a periferia ou moldura e o quadrado central). Quando uma região é isolada, ela corresponde, numericamente, a um determinado valor de "pixel" (cinza neutro, $R \cong G \cong B$). A área dominante (fundo) está especificada com refletância de 18 %.

2.4.2.6 Refletômetros

Os instrumentos que permitem medições relativas à **reflexão** de radiação em condição estática, recebem a denominação genérica de **refletômetros**. E ao resultado do computo das medições é atribuída à denominação **valor refletométrico**.

2.4.2.6.1 Refletômetro simplificado – *Macbeth*

As avaliações sobre a capacidade de restituição luminosa por uma superfície podem ser feitas com luxímetro e procedimento descrito na literatura (Egan, M. D., 1983). Utilizando o luminancímetro simples (seção 2.2.4), em lugar do luxímetro é possível reduzir a incerteza e melhorar o procedimento devido à restrição imposta ao ângulo de captura do fotelemento. Porém, não permite eliminar a influência de variação proveniente da luz incidente, que foi resolvido com a utilização de uma configuração dedicada, partindo de uma fonte padrão (fora de uso) de fotômetro visual, antigo modelo *Macbeth*. Ela foi modificada, recebendo nova fonte de luz (em 12 V; 0,3 A) e acoplamento para

instalar o luminancímetro (da seção 2.2.4). O dispositivo assim construído foi utilizado, alternativamente, para determinação do fator de luminância (refletância) durante a realização deste trabalho.

2.4.2.6.2 Refletômetro angular – Pulz.Moreira

Uma necessidade de capacitação identificada, citada por Parry Moon (seção 2.4.2.1 deste trabalho), quer para poder comparar resultado (angular) de amostras de pavimento de localidades diferentes quer para ser identificada a existência de desvio da superfície pesquisada, em relação ao comportamento predominante de difusor e chamado **fator de difusão**, foi feita com a utilização do refletômetro que permite ajuste angular tanto para o fecho da fonte quanto do sensor.

O dispositivo utilizado, construído pelo Eng. Victor Pulz (e Prof. J. R. Moreira), permite certa blindagem lateral de luz indesejável, possui fonte de luz incandescente, com fecho circular e abertura da ordem de 8 graus, com possibilidades de deslocamento angular coplanar, apenas no mesmo plano que o fotoelemento pode ser posicionado. Para outras direções do plano horizontal é necessário deslocar o refletômetro em torno de eixo vertical contido na direção da normal da amostra. Como sensor foi utilizado o luminancímetro³¹ apresentado conforme a seção 2.2.4.

Nota:³¹ Também foi utilizada a câmera CCD, em lugar do fotômetro convencional, porém os registros gerados não foram incluídos neste trabalho, por motivo de tempo necessário para o processamento, mas poderá ser considerado numa extensão desta pesquisa).

2.4.2.6.3 Refletômetro a CCD – RCCD

Esta foi uma idealização, original do ponto de vista tecnológico, elaborada para este trabalho de tese. Em resumo, a metodologia foi desenvolvida a partir de imagens digitais em escala de tons de cinza. O objetivo primeiro sempre esteve focado no desenvolvimento de condições para conhecimento sobre a capacidade de refletir a luz incidente, por superfícies típicas de vias utilizadas para o trânsito de pessoas e transportes por veículos.

Em sistema eletrônico de imagem, o valor de cinza, quantificado, da menor unidade, o “pixel”, é assumido representar informação relacionada à energia radiante (transmissão ou reflexão) em posição e direção consideradas (Campos, J., 2000).

Uma imagem digital, estática, do local plano considerado e direção próxima a sua normal (perpendicular), sob condição de iluminação uniforme, é gerada a partir de tecnologia CCD (capturada, transposta para arquivo formatado e gravado em meio magnético). A informação pode ser processada, em *software* que fornece, além da facilidade para visualizar diversos níveis de segmentação da imagem, o valor numérico de cada pixel, a chamada matriz de intensidade da imagem. Ainda existe a possibilidade de ser delimitada uma região de interesse da imagem, para ser tratada, numericamente, e ser quantificada a capacidade de restituir luz pela região escolhida da superfície analisada.

Para esta metodologia foi escolhida a direção da normal à superfície de interesse, por esta ser a mesma direção utilizada para a orientação do fotelemento de fotômetro utilizado em procedimento com finalidade similar

(estimativa do fator de controle, Q_0). Também porque esta direção possibilita simplificação quando do cálculo da área aparente considerada e conseqüente relação com a intensidade do sinal óptico restituído³² por esta área, a “luminância digital” (tanto o processamento em diferentes ângulos, quanto à consideração detalhada de imagens em cores ficam reservados para uma etapa no futuro).

2.5 Temas para trabalhos

Evidentemente que seria falta de prudência, por parte do autor, querer seguir toda sorte de mudança para nova tecnologia que surge pelo mundo, mesmo porque as carências locais são de necessidades básicas e os recursos financeiros sempre bastante escassos. Porém, sob o ponto de vista energético (e humano), mudanças são necessárias. A IP não deve continuar a ser tratada como uma carga elétrica, cuja relevância aparente (muitas vezes) é a sua participação (inseparável, inconveniente) junto ao máximo (à ponta) da curva de cargas do sistema elétrico. Agregada a alguns patamares de iluminância média ao nível da via que estão fixados em norma técnica juntamente com recomendações de boas práticas para projetos. Alternativas úteis para projeto e gestão deveriam estar disponíveis³³. O resultado deste processo, necessariamente deve ser conhecido (aferido junto a seus usuários).

Notas: ³² Um procedimento adequado pode identificar correlação entre a escala digital de intensidades (0 – 255) e uma escala de intensidade luminosa ou luminância (por exemplo, para a condição de visão fotópica);

³³- A estratégia utilizada em algumas regiões da Alemanha foi a preservação do sistema de iluminação a gás.

A migração para a tecnologia VSAP não tem sido muito questionada (pela população) quando feita com base em incremento apreciável do (novo) fluxo luminoso instalado, em relação à condição anterior (geralmente uma instalação com depreciação bastante acentuada). Numa situação onde a maior disponibilidade de luz é associada imediatamente a uma melhoria ao conforto visual, a mudança cromática ocorrida às vezes fica relegada (ou em nível secundário e menos relevante) pelo observador (respostas extraídas da posição externada por usuários e moradores, na Capital e em São Carlos, S.P.).

A continuidade prevista ao experimento realizado na CUASO/USP (em fev.2001) era a sua repetição com lâmpada MVM 250 W. Um problema ocorrido (desligamento súbito de apenas uma das lâmpadas) durante o procedimento para redução do fluxo luminoso impediu registros de respostas dos usuários em patamar diferente de 100 % do fluxo luminoso (ver figura 2.50).

A consideração dos diferentes estados de adaptação do olho humano além da sensibilidade espectral, considerada normal ou padrão, a condição diurna ou fotópica, considerada ocorrer para luminância na pupila $> 3 \text{ cd/m}^2$) é relevante em iluminação de exterior, devido ocorrer em patamar inferior ao da condição fotópica (mesópica e escotópica).



Figura 2.50 – Via do experimento na CUASO/USP com instalação utilizando lâmpadas com multivapores metálicos (proposta de continuidade do trabalho). No Brasil foram obtidos resultados para análise de desempenho de sistemas, sendo um com MVM 250 W (100 %). Fonte: Foto do autor.

Assim, como foi buscado neste trabalho, em experimentos futuros deverá ser considerada a alteração na sensibilidade do olho humano, em parte devida à própria condição imposta pela iluminação.

A figura 2.51 apresenta os resultados do trabalho de Gibson e Tyndall, publicado em 1923, sobre variações na eficiência luminosa visual de um grupo de observadores.

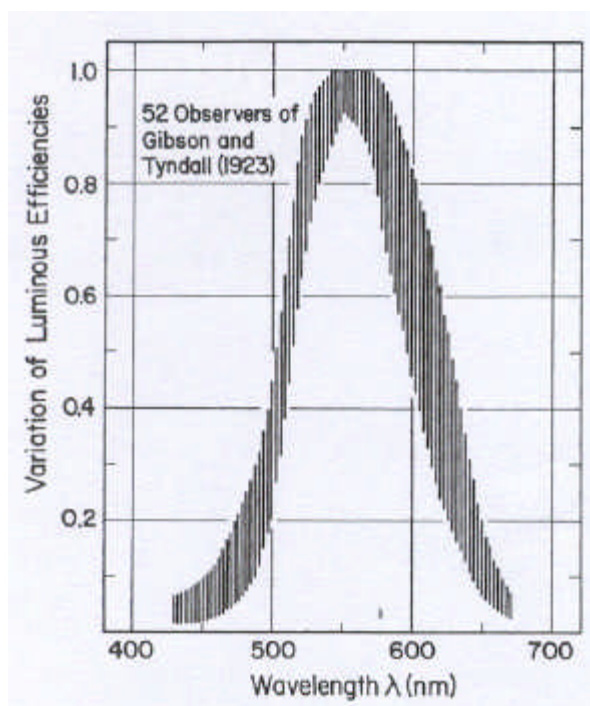


Figura 2.51 – A identificação de desvios na sensibilidade visual humana para diferentes cores. Fonte: Wyszecki, Günter; Stiles, W. S, 1982.

Alguns resultados teóricos foram obtidos para as condições limites da sensibilidade visual, quando se buscou situar as tecnologias VSAP (e VSBP) frente aos iluminantes usuais. Naquela oportunidade foi utilizado como parâmetro de análise o custo da luz produzida (sob três níveis de tarifa para a energia elétrica, uso da IP durante 12h/dia e 6 tecnologias para as fontes primárias de luz), em condições definidas como extremas de sensibilidade de olhos humanos: fotópica e escotópica. Apenas na condição fotópica o VSAP apresentou sempre o menor custo para produção de luz dentre as tecnologias analisadas (Burini, et. al., 1993). A condição visual intermediária, que ocorre em IP, não foi verificada.

Um problema fundamental, na área de visão, ainda não solucionado, está na capacidade para separação das variações de intensidades de uma

imagem, quando causadas por variações (topográficas) normais da superfície daquelas causadas por mudanças da refletância. Solução necessária ao entendimento da interpretação humana, que é capaz de realizar a separação entre variação da iluminação, por exemplo, quando existe uma mancha de tinta e a situação com a presença de sombras. A dificuldade maior que tem sido observada nas vias brasileiras (e talvez de países em desenvolvimento) é a identificação de buracos ou crateras, os quais possuem comportamento fotométrico oposto dos objetos (planos ou esféricos) que refletem luz (a refletância do “objeto” ou daquilo que poderia ser chamado de alvo, talvez seja mais representativa, se tomada tendendo ou igual a zero). Esta situação pode ser constatada com facilidade por usuários de uma via que possuem acuidade visual normal e ainda não possui solução aparente.

Uma via real teve seu perfil determinado por pesquisador australiano e está mostrado na figura 2.52. Ele provoca a imaginação sobre outra hipótese para explicar as chamadas “manchas” ou “lombadas luminosas” quando estas são identificadas visualmente. Talvez possam ter outra origem, e que é diferente de uma distribuição irregular de intensidades luminosas ! A topografia irregular da via poderia estar restituindo a luz de modo não usual.

A consideração de fonte secundária (parcela de sua contribuição) e modos diferentes para a identificação de objetos na via, além do que é predominante (pavimento escuro, verticalmente iluminado) deveriam ser avaliados melhor. A presença de componente horizontal da iluminação (em plano vertical) não deve ficar à margem, principalmente onde (e quando) existe a presença de pedestres na via (existem recomendações, na tabela 3, *Draft CEN/TC169 N139E*, 1996; também em Rombauts, P. et al., 1989).

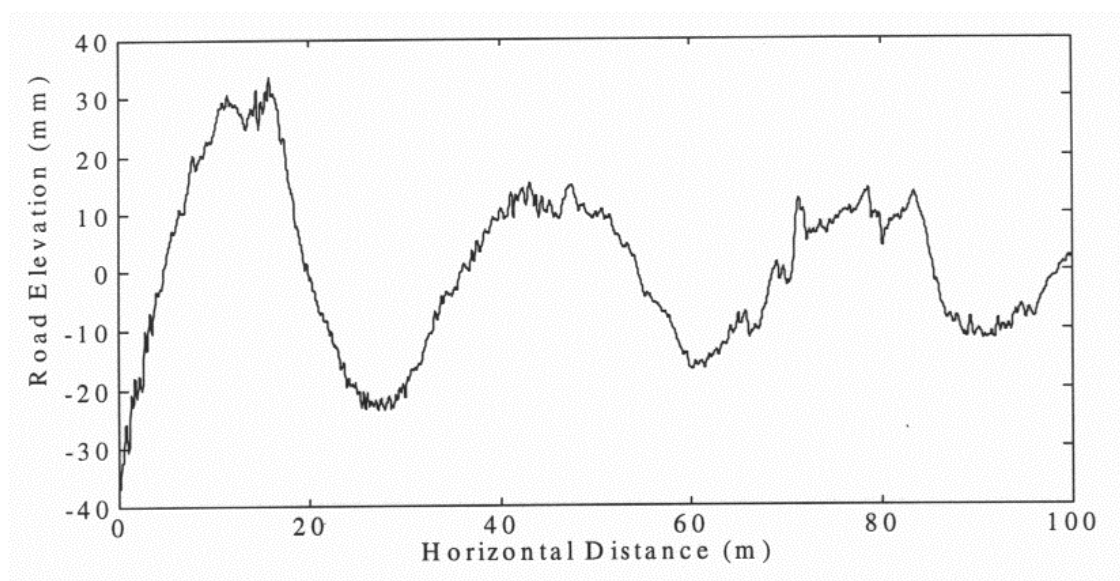


Figura 2.52 – Variação da elevação no plano da via para um plano de referência arbitrário em função da distância. Fonte: Bruscela, Ben, 2000.

Um tipo de instalação para IP, utilizado por aproximadamente duas décadas nas vias marginais da cidade de São Paulo e que atualmente está sendo substituído, podia ser observado em funcionamento na CUASO, em 2002, conforme figura 2.53. Este sistema apresenta ofuscamento baixo (não está equipado com qualquer refrator, por transmissão) e apresenta, visualmente, excelente uniformidade, efeitos propiciados pela elevação na altura do foco luminoso em relação ao pavimento. A imagem referida (figura 2.53) foi capturada sem a utilização de qualquer filtro ou artifício de exposição. A situação atual (modificada) poderá ser avaliada, por exemplo em relação ao aumento de ofuscamento (já observado e reportado por alguns usuários), provavelmente pelo aumento da componente de intensidade luminosa em plano horizontal.



Figura 2.53 – Imagem capturada na Av. Prof. Luciano Gualberto, CUASO, USP, em período noturno, ofuscamento desprezível e uniformidade excelente, em 2002.

Em conjunto com fatores que são considerados não-técnicos³⁴, a severidade das condições ambientais³⁵ também tem relevância e deve ser considerada junto a um sistema para IP. Além do consumo energético, existem outros critérios para qualidade em IP, os quais se colocados numa seqüência de importância decrescente ter-se-ia: manutenção, visibilidade (conspicuidade, discernibilidade), uniformidade, luminância e iluminância.

Notas: ³⁴- Como as facilidades de operação e manutenção, condicionantes estéticas e análise econômica; e

³⁵- As intempéries, como a velocidade do vento, salinidade, umidade, temperatura e poluentes.

3 Resultados

O diminuto conhecimento disponível sobre o desempenho, em serviço, da IP local e a completa ausência de organismo independente capaz de realizar verificações simples neste sentido espelha a organização social presente. Sendo, em tese, justificativas às carências que podem ser observadas nesta IP. No trabalho realizado foi estudado o assunto IP, estabelecido referencial, inclusive por imagens, da situação presente, desenvolvida tecnologia, aplicada metodologia, realizados experimentos e obtido conhecimento. Os tópicos indicados como relevantes pela revisão bibliográfica realizada e que estão abordados no capítulo 2 são considerados resultados teóricos.

Sob iluminação reduzida, ao ser desviado o eixo visual, alguns poucos graus, na busca por uma visão frontal, poder-se-á ficar surpreso com o desaparecimento do objeto visto (o inverso também ocorre: o que não era visto, com algum desvio angular do eixo visual pode passar a ser percebido). A necessidade de avaliar os efeitos das fontes luminosas (com distintas distribuições espectrais de energia radiante), com base na sensação visual por elas produzidas, efeito fisiológico, permeia os sistemas de unidades em medições fotométricas. O conceito de luminância equivalente, teve sua formulação devida a König, em 1891 e que foi citada como “Ainda que não seja possível relacionar univocamente brilho subjetivo com luminância fora da região de visão fotópica ($< 3 \text{ cd/m}^2$) é de interesse dispor de escala que permita capacidade para avaliação sobre brilho subjetivo” por Keitz, H. A. E., 1971. Este preâmbulo prevalece sobre as discussões ao longo dos tempos

quanto às diferenças entre o que é perceptível e luminância. Na seção 2.2 foram considerados conceitos necessários ao entendimento dos princípios da medição da luz, sobretudo para a fotometria visual, que historicamente precedeu a instrumental. Em determinadas situações em IP, onde a sensibilidade visual dominante não é fotópica*, a fotometria visual pode ser a melhor indicação factível, por exemplo aos usuários de uma via ou rua urbana. A busca por solução ao problema de uma escala para quantificar o brilho subjetivo e que possa ser funcional para iluminação em exteriores tem motivado experimentos (Fisher, D., 1975; Leslie, R. P., 1998; Stemprok, et al., 2000; Burini, et al., 2001 e 2002; Bacelar, et al., 2001). Estas atividades são realizadas, geralmente, com observadores como utilizados em trabalhos pioneiros, Millar, P. S., 1916; Gibson e Tyndall, 1923. De uma manifestação que externou preocupação sobre a uniformidade da iluminação em IP (Simmons, A. E.; Finch, D. M., 1951), que também se pode compartilhar, foi extraído “... existem recomendações para iluminação (nos EUA) desde 1937, indicando consenso amplo, que durante o período noturno uma visibilidade boa somente pode ser obtida com brilho adequado do pavimento, uniformidade boa e ofuscamento reduzido”. Esta necessidade ficará aperfeiçoada se forem introduzidos os movimentos relativos, típicos de uma via, onde velocidade ou certa distância também deve ser considerada (Leibowitz, H. W. et al., 1998).

No Brasil não existe o hábito, tampouco pode ser verificado em debates (como os de revisão normativa, por exemplo) o uso dos termos percepção e

Nota: * A visão fotópica (3.2.9) ou diurna é o referencial utilizado para aferição/calibração instrumental e que não recebe verificação no Brasil.

desempenho visual, visibilidade, conspicuidade, discernibilidade; e sobre qualidades e manutenção (não corretiva) da IP. As especificações estabelecidas contemplam apenas o conceito de iluminância.

Como primeiro resultado numérico deste trabalho são apresentados conhecimentos sobre a **refletância difusa** para face aleatória de três tipos de papel virgem (cor branca), tamanho A4. A folha de papel que é comum em escritórios, qual uma folha tradicionalmente utilizada para imprimir informações e teses (gramatura nominal, 75 g/m²), tem refletância estimada em 83 %. A folha de papel denominado vergê (gramatura nominal, 120 g/m²) tem refletância estimada em 88 %. E a folha que é denominada cartão (ou cartolina, gramatura não determinada) tem refletância estimada em 84 %. Estas folhas foram utilizadas como substrato, principalmente os dois últimos tipos, que recebeu tinta (preta de impressora tipo jato de tinta), convenientemente aplicada, para ser realizada escala de referencial em tons de cinza (neutro). Este foi o segundo resultado ou produto que poderá ser disseminado. A refletância difusa foi determinada a partir do uso de um refletômetro integrador (esfera integradora, ver figura 3.1) que foi construído (para detalhes ver anexo G) e têm lastro em referencial (refletância nominal, 90 %) com incerteza garantida de 1 % (cartão Kodak, KGC90). O método utilizado foi por comparação (Pereira, 1954; Moreira, 1976), a partir do referencial KGC90, mais a influência das condições disponíveis, principalmente, a utilização de bateria automotiva, para obter maior estabilidade da tensão elétrica ao longo do período das sucessivas repetições de medições e a análise estatística, baseada em procedimento normativo brasileiro (NB 1188, 1988) conduziram necessidade de agregar à incerteza do

referencial, mais incerteza não superior a 1,5 % (intervalo de confiança bilateral de 99%). A figura 3.1 apresenta vista da “janela maior” da esfera integradora especial onde ficava posicionado, alternativamente, o referencial (KGC90) ou a amostra utilizada para determinação da refletância difusa.

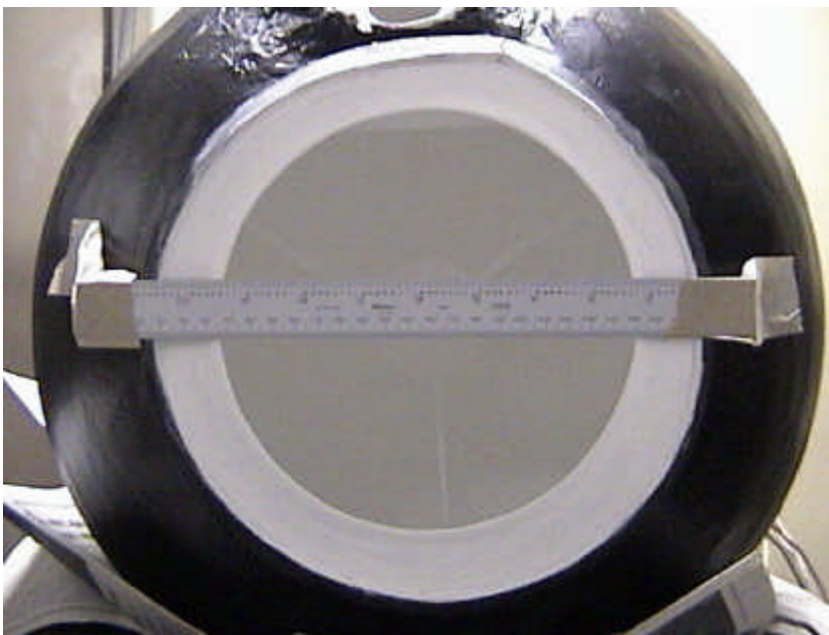


Figura 3.1 – Refletômetro (esfera integradora especial). Foto do autor, 2001.

As leituras (iluminância) foram realizadas através da janela menor. Na tabela 1 está reunido o conjunto dos primeiros resultados de refletância já apresentado.

Tabela 1 - Refletância difusa para face aleatória de papéis diversos.

<i>Folha de papel (cor branca), tamanho A4</i>	<i>refletância difusa (%)</i>
comum (nominal, 75 g/m ²)	83
vergê (nominal, 120 g/m ²)	88
cartão (ou cartolina, gramatura não determinada)	84

A busca por instrumento com maior portabilidade, em relação à esfera e às limitações existentes culminaram no refletômetro que foi denominado

*Macbeth**. Nele foi instalada uma lâmpada incandescente miniatura, tensão elétrica nominal 12 V e foi acoplado o fotômetro descrito na seção 2.2.4 supra, cuja alteração da cabeça fotométrica também é resultado de outro desenvolvimento realizado. Este refletômetro também funciona por comparação (ou substituição da amostra, com procedimento análogo ao anteriormente descrito para a esfera integradora especial) e necessita de referencial conhecido para determinação absoluta da **refletância** ou **fator de luminância**³⁶. Com este segundo refletômetro foram realizadas determinações em ambas as faces de vários substratos, principalmente, nas três categorias de papéis (cor branca, tamanho A4), porém em outras amostras, diferentes origens daquelas já apresentadas acima. A média (e quando pertinente o intervalo de confiança bilateral para 95 %, conforme procedimento normativo brasileiro, NB 1188, 1988) para 3 marcas diferentes, folha nova de papel comum (gramatura nominal, 75 g/m²) tem fator de luminância³⁷ estimado em (88,1 ± 1,0) % na face indicada para a primeira impressão, a menos rugosa, e (87,4 ± 2,7) % na outra face (cuja maior rugosidade pode auxiliar o seu tracionamento, em alguns tipos de impressoras).

Notas: * O motivo deste nome é devido ao corpo ou parte principal deste refletômetro ter sido elaborado a partir de estrutura de fonte luminosa padronizada, *illuminometer*, *reference standard*, utilizada em conjunto com tipo antigo de fotômetro visual que possuía esta mesma denominação.

³⁶ Estritamente, conforme a terminologia vigente, TB-23, 1991, o termo **fator de luminância** (3.4.69) que é caso particular do **fator de refletância** (3.4.64) está indicado neste caso, em lugar da **refletância** (3.4.58); e

³⁷ A determinação é feita a partir de fonte primária incandescente (similar ao tipo de fonte da esfera integradora especial), ângulo de incidência na direção da normal ao plano da superfície (zero grau) e ângulo de observação a 30 graus, tendo sido utilizado como difusor “perfeito”, o referencial 90 % (cartão Kodak, *grey card*, KGC), símbolo: **b**_{0,30}.

A folha de papel denominado vergê (nominal, 120 g/m²) tem fator de luminância³⁷ estimado em (88,0 ± 0,9) % numa face e (88,6 ± 2,2) % na outra face. E o papel denominado cartão (ou cartolina, gramatura não determinada) tem fator de luminância³⁷ estimado em 90 % na face menos rugosa e 89 % na outra face. Uma folha de papel comum (nominal, 75 g/m²) armazenada pelo autor durante os últimos nove anos, apresentou fator de luminância³⁷ estimado em 85,9 % na face menos rugosa, e 84,5 % na outra face. Para uma placa com depósito de tinta à base de sulfato de bário (que foi elaborada pelo autor e utilizada na pintura interna da esfera integradora especial, ver anexo G) foi obtido fator de luminância³⁷ de 97 %. O valor médio (e intervalo de confiança bilateral, ICB para 95 %, segundo a NB 1188, 1988, quando pertinente) para 3 marcas diferentes de papel é apresentado, em conjunto pela tabela 2.

Tabela 2 - Fator de luminância para ambas as faces de papeis diversos.

<i>Folha de papel (cor branca), tamanho A4</i>	<i>Fator de luminância, $b_{0,30}$ (%)</i>
comum novo (nominal, 75 g/m ²)	
primeira impressão, face menos rugosa	(88,1 ± 1,0)
face com maior rugosidade	(87,4 ± 2,7)
vergê (nominal, 120 g/m ²)	
em uma face	(88,0 ± 0,9)
na outra face	(88,6 ± 2,2)
cartão (ou cartolina, gramatura não determinada)	
face menos rugosa	90
face mais rugosa	89
comum antigo (1993, nominal, 75 g/m ²)	
primeira impressão, face menos rugosa	85,9
face com maior rugosidade	84,5
<i>Placa com tinta à base de sulfato de bário</i>	97

Nota:³⁷ A determinação é feita a partir de fonte primária incandescente (similar ao tipo de fonte da esfera integradora especial), ângulo de incidência na direção da normal ao plano da superfície (zero grau) e ângulo de observação a 30 graus, tendo sido utilizado como difusor “perfeito”, o referencial 90 % (cartão Kodak, *grey card*, KGC), símbolo: $b_{0,30}$.

A rugosidade diferencial entre faces de papel A4 comum, que pode ser observada a olhos nus, sob iluminação com incidência adequada (rasante), também tem ocorrência em outras superfícies. Os pavimentos das vias por onde é possível circular, no Brasil, quando comparados aos do exterior que foram constatados, pessoalmente pelo autor (EUA e Canadá, em 2000), em geral são mais ásperos (e escuros).

A figura 3.2 traz imagem da rodovia Anhanguera, do seu pavimento nu e com tinta branca da sinalização horizontal típica e a primeira placa com depósito de BaSO_4 que foi elaborada (ainda com algumas bolhas, fase de ajuste da concentração de seus componentes).

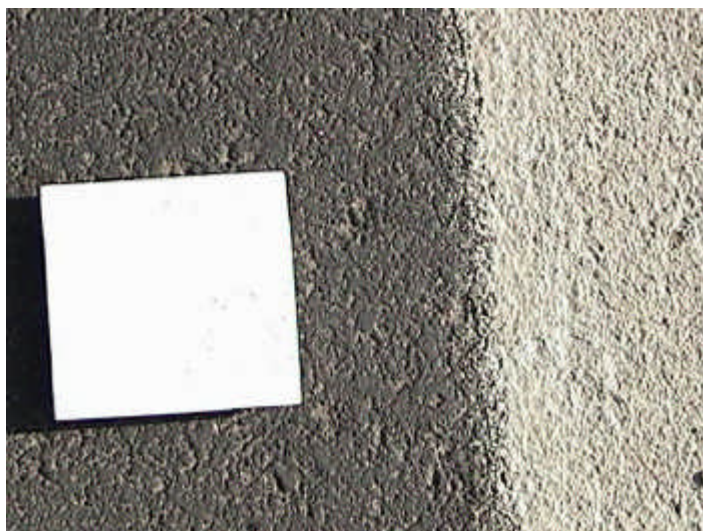


Figura 3.2 – Pavimento da rodovia Anhanguera, tinta branca (faixa da sinalização horizontal) e placa elaborada com BaSO_4 .

Quanto de iluminação é necessária numa via³⁸, durante o período noturno, para permitir aos usuários enxergarem o entorno ?

Nota:³⁸ Ao nível do pavimento e condição de via seca. Em áreas com pedestres existe necessidade de prescrição incluindo o plano vertical.

Para responder a esta pergunta pode-se recorrer a uma norma técnica, ou determinar a disponibilidade de luz, e concomitantemente perguntar aos usuários. Portanto, a resposta não está pronta. Uma parte da próxima seção, ainda que tenha sido utilizado algum referencial para interiores, é dedicada a este assunto.

3.1 Iluminação em exteriores

Nesta seção estão reunidos resultados de levantamentos teóricos sobre a busca por aproximação a níveis de luminância e iluminância, que possam ser considerados adequados, no que diz respeito ao conforto, segurança, subsídio à revisão da norma técnica brasileira para IP (NBR 5101, 1992) e ao consumo energético. Na segunda parte estão relatados aspectos gerais sobre o tema IP.

A possibilidade do consumo energético em IP poder ser reduzido não é constatação recente (Burini, 1993), como tem sido a busca por melhor capacitação para avaliar dados e informações sobre as instalações de IP. Outro foco de interesse está na minimização do número de leituras ou pontos de medição, ainda necessária para avaliação em campo, e sem incorrer em perda de informação sobre a uniformidade. Atualmente, quando 90 pontos são sugeridos para a composição de uma malha para a iluminância horizontal ao nível do pavimento de uma via poder ser amostrada, alguns poderão dizer que se trata de certo exagero. Referência é feita à discussão entre J. B. de Boer e Franklin J. Stuart (JIES, *april*, 1974); “por muitos anos foram utilizadas 884 leituras, em 1973 a proposta da CIE era 1964 leituras, enquanto a proposta dos EUA 1680; e Franklin sugeria 248 leituras por luminária”.

A questão básica a ser colocada é: qual é o número ótimo ? A resposta: “algum lugar acima de 196 parece ser necessário, porém o número que resultará no melhor retorno econômico ainda deve ser resolvido” (de Boer e Franklin, 1974). Um número elevado de pontos se faz necessário quando existe uma taxa de variação acentuada da distribuição e exatidão no cálculo é desejada. Evidentemente que existe implicação econômica significativa em relação ao nível de uniformidade e o nível da luz definido.

Uma faixa de iluminância pode ser construída a partir de estudo prospectivo para balizamento em IP, com base nas necessidades prescritas para situação de emergência em interiores, referencial “mais próximo” disponível. O menor valor admissível encontrado foi 0,2 lux e no outro extremo, algo não superior a 60 lux. Esta é uma faixa ampla, onde estão inseridos valores como aqueles apresentados por Leslie, R. P., 1998, baseados em sistema para prover 3 lux de iluminância média no plano horizontal, típica de projeto com fins de segurança (comparativamente, no setor comercial 9 lux, industrial 7 lux e residencial 0,5 lux). Nos EUA, Blackwell (Blackwell, 1961) sinalizou valor da ordem de 21,5 lux para cidades e instalações novas. A Comunidade Européia (Draft CEN/TC, 1996) lançou proposta com valores médios, cotados para 6 classes de vias: (7,5; 10; 15; 20; 30 e 50) lux e para área com pedestres, onde também existem prescrições, incluindo o plano vertical. Na cidade de Los Angeles, EUA a política geral para IP é 2 lux, médio, a ser mantido. No Brasil, existe prescrição de valor mínimo igual a 1 lux (em instalação nova).

Em trabalho com origem na Holanda (RPLC-NSV, 1959), está referido “aumento do desempenho visual para aumento da luminância”, o qual é dito

ocorrer, particularmente, numa faixa para luminância de (0,5 a 2) cd/m^2 e nas condições próprias de sistemas daquele país. Na Inglaterra, está referida a faixa de (0,5 a 1,5) cd/m^2 (BS 5489, *part 2*, 1987). Na Comunidade Européia, a faixa de (0,3 a 2,0) cd/m^2 é utilizada, com uniformidade geral (U_0), longitudinal (UI), (Threshold Increment, TI) e (Surround Ratio, SR) nos patamares de: [U_0 (0,35 e 0,4); UI (0,4 a 0,7); TI (10 e 15); SR igual a 0,5] (*Draft CEN/TC 169 N139E*, 1996). Nos EUA, a última publicação (aprovada pela ANSI) IESNA RP-8-00 estabeleceu valores na faixa de (0,2 a 1,2) cd/m^2 . Na França, a última publicação (AFE, segundo Bacelar, A., ago.2002) fixou 1,5 cd/m^2 para vias urbanas (ruas), tendo ficado mantido 2 cd/m^2 apenas para rodovias. No Brasil, não existe prescrição normativa para luminância. E é imaginado que após a utilização da luminância tenha sido consolidada, um critério que considere visibilidade deverá ser considerado (porém a familiarização com o conceito de luminância, teoricamente, é estágio anterior importante).

Alguns aspectos gerais sobre a IP podem interferir na qualidade final, por este motivo estão aqui considerados. É iniciado a partir daquilo que pode ser constatado, visualmente, como a freqüência da depredação por vandalismo na IP (refratores, em vidro, e lâmpadas) em determinados locais, geralmente, próximos a certas regiões limítrofes de favelas e em áreas isoladas. A figura 3.3 apresenta imagens de instalações na CUASO/USP, no ano 2000. A utilização de artifícios como telas ou grade, em lugar do refrator, é solução que pode ser observada como prática predominante, provavelmente devido ao preço comparativo em relação ao uso de refratores em policarbonato. Tal procedimento sacrifica fração típica da ordem de 8 % do fluxo luminoso emitido e transforma um sistema, possivelmente fechado,



Figura 3.3 – Imagens de instalações na CUASO/USP, com artifícios para prevenção e resultado de vandalismo. Fotos do autor, 2000.

com certo grau de proteção contra poluentes, em sistema aberto para o qual os intervalos entre limpezas tendem a diminuir, aumentando os custos de manutenção (caso estas fossem realizadas ou predominassem os equipamentos com algum grau de proteção). Custos e perdas adicionais devido à ação de vandalismo e a necessidades de descarte de materiais que podem representar perigo à saúde humana e ao meio ambiente devem ser equacionados melhor e considerados nas etapas de planejamento e operação do sistema de IP.

São dois os instantes que se deve observar um sistema de IP, no diurno, auxiliados pela LD, ao serem visualizados os pontos de luz e seu entorno, referência é feita aos padrões atualmente comuns em cidade brasileiras, onde foram constatados sinais de pouca conservação ou limpeza. A manutenção corretiva é aquela que possui freqüência, substituição de lâmpada inoperante (geralmente, quando é avisado; aliás, convém observar que ocorre uma inversão de papéis, no mínimo curiosa: o usuário é que presta um serviço negativamente remunerado, em lugar daquele que tem obrigação de estar prestando o serviço a uma comunidade que é taxada, sem haver o registro físico do consumo, mesmo não havendo luz artificial !). Devido ao tipo

e condição de conservação do equipamento utilizado, o fator de utilização é baixo, pouco fluxo luminoso atinge o plano da via pública que é área de interesse. Aqui está indicada oportunidade para reduzir o consumo, apenas reduzindo perdas, sem qualquer alteração (redução) da energia luminosa, hoje, disponível. A figura 3.4 traz imagens de instalações, na cidade de São Paulo, Capital, situação observada durante vários meses, a lâmpada fora do “capacete”, provável resultado da ausência de manutenção. A substituição de equipamentos sem consideração sobre o fluxo luminoso (em relação aos níveis que atualmente estão sendo praticados, sem queixas) poderá significar a perda da possibilidade de redução de consumo. O aumento da intensidade de luz não pode ser deliberado, apenas deve suprir a demanda/necessidade dos munícipes (previsível, e que em muitas situações a pura existência do ponto de luz, em funcionamento, atende!).



Figura 3.4 – Imagem de instalação na cidade de São Paulo, Capital, resultado do fim do ciclo de vida de componente (não identificado). Foto do autor, 2001.

Mesmo no período diurno pode existir a necessidade de prover luz artificial em

complementação à LD disponível e em relação ao tipo de atividade realizada (exemplo, túnel). Portanto, um determinado projeto para iluminação de exteriores poderá ter a necessidade de contemplar situações distintas caso a utilização da LD venha a ser considerada (observada e utilizada). Um problema visualizado está no chaveamento impróprio da IP (desligamento retardado) que ainda ocorre. Em “horário de verão”, às 6h20 min. (20/out./2001), céu encoberto, é um registro de instante onde já existia suficiente quantidade de LD, mas o circuito de IP observado desligou 20 minutos mais tarde. Devido à ocorrência diária de desvios, por ponto de luz na IP, estima-se consumo total não desprezível, de aproximadamente 6 % (Burini, 1993) e que ainda gera péssimo exemplo aos munícipes.

A situação que agora se coloca é aquela do período noturno, durante a madrugada, quando redução adicional no consumo de energia pode ser experimentado, sem alteração significativa da uniformidade luminosa ao longo da via (sem os desligamentos alternados de luminárias, o “apagão”), mas considerando as variações na utilização ou ocupação da via e uma estratégia adequada para o controle. Porém, atualmente no Brasil é o preço da energia elétrica que tem recebido atenção crescente por parte da população.

Os principais fatores acessíveis e que influem no desempenho dos sistemas de IP foram identificados. Um fator externo que pode ter influência na qualidade da iluminação é a condição de suprimento, a qualidade da energia suprida no meio urbano, exclusivo por energia elétrica.

3.2 Fluxo luminoso de pontos de luz

Antes de existirem os filtros rígidos para correção da resposta dos fotoelementos utilizados para luz visível, a prática comum era a utilização de fator numérico para a correção, necessária em função do tipo de fonte primária. Este procedimento não é eficaz na presença de mais de um tipo de fonte primária ou em interiores, principalmente quando a refletância das superfícies tem desempenho análogo trazendo alteração no espectro da radiação primária emitida. Segundo práticas conhecidas (Keitz, H.A.E., 1971), a verificação da conformidade do filtro que equipa os fotômetros ainda não é realizada ou fornecida, nas aferições/calibrações de luxímetros no Brasil. Assumir que equipamentos deste tipo possuem correção adequada, sem qualquer verificação, pode conduzir a erros significativos. A prática indicada para estabelecimento de rastreabilidade ainda está na utilização do método de fator para correção, conforme escala e tipo de fonte primária sob consideração. Ainda que este método possua restrições, ele não é adequado para situações onde ocorre contribuição de fontes diferentes. Em instrumental para colorimetria, quando mais outros dois filtros (azul e vermelho) poderão ser utilizados, a necessidade de rastreabilidade é repetida (e com maior grau de dificuldade). Apresentada a necessidade de conhecimento sobre limitações e desvios possíveis na resposta dos luxímetros³⁹ conforme o tipo de fonte (ver anexo B para os fatores de correção do instrumento que foi utilizado neste trabalho) são consideradas amostras de iluminância horizontal (vetor com direção na vertical, sentido para baixo e normal ao plano da via).

Nota:³⁹ Mesmo os luxímetros que se acredita “bons”, dependendo da utilização, necessitam ser verificados com fonte diferente da incandescente. No futuro é pretendido concluir a elaboração de um aparato que se encontra em desenvolvimento e utiliza diafragma para possibilitar verificações desta natureza.

O trabalho pioneiro (e talvez único!) coligido sobre IP, para condições de Brasil, fora da região sudeste, está no relatório de pesquisa Estudo de Planejamento Integrado de Recursos para o Sistema Elétrico de Boa Vista, RR (Sauer, I. L., et al., 2001) que caracteriza o sistema de IP daquela localidade, identifica oportunidades para melhoria de eficiência energética, apresenta dados de medições em campo, proposta de programa e observações bastante relevantes. Faz indicação sobre a insuficiente qualidade de gestão do sistema, falta de critérios, os descompassos no atendimento da NBR 5101, 1992 e flutuação de tensão elétrica. Constatações que são aplicáveis a outras regiões do país, ainda que ressalva seja feita à peculiaridade daquele sistema elétrico, indica: “A visão tendencial da efficientização da IP, mediante troca de tecnologias apresenta potencial limitado uma vez que a participação de lâmpadas de VMAP, com escasso potencial de ganho na substituição por lâmpadas de VSAP de 70 W”. Oito conjuntos de dados de medições em campo (Boa Vista, RR) foram destacados e estão apresentados no anexo C-1. Eles apresentam para a iluminância média a faixa de (2,7 a 26,2) lux e (3,7 a 19,2) m/ W para a relação entre o fluxo luminoso que incide na área definida entre postes e a potência elétrica nominal das lâmpadas consideradas. A predominância da parcela transporte (65% e 80%) na composição do custo total para recuperação de um ponto de luz (R\$ 6,11 em julho/1997 e R\$ 8,82 em maio/1997, respectivamente), cuja maior taxa de falha (40 %) é devida à lâmpada (25 %, conexões; 20 %, relé fotoelétrico; e 15 %, reatores) são outros pontos que foram destacados de Boa Vista (Sauer, I. L., et al., 2001). Na cidade de Bertioga, S.P. (maio, 2002), buscando identificar em campo o sistema instalado nos postes da concessionária de energia elétrica local, foram

feitas determinações de iluminância utilizando procedimento de verificação com quantidade reduzida de pontos, conforme NBR 5101, 1992, procedimento análogo àquele utilizado em Boa Vista (Sauer, I. L., et al., 2001). Aqui não houve interesse em avaliar a iluminância horizontal em toda a superfície⁴⁰ da via. Foi dada preferência para o foco luminoso, próximo ao local da intensidade luminosa máxima da luminária e foi determinada a média e o ICB 95 %. Para o sistema utilizado por referência, VSAP 70 W, foi obtida iluminância média de $(22,5 \pm 3,6)$ lux; $(12,5 \pm 3,1)$ lux para um sistema com lâmpada fluorescente de base única FL 22 W (altura 2,5 m e refletor similar ao sistema VSAP) e $(13,3 \pm 3,7)$ lux para o sistema utilizado nos postes da concessionária, o qual é concluído ser VMAP 80 W, com base na relação entre fluxo luminoso nominal $(5,6/3,6)$ km , $(VSAP 70 W / VMAP 80 W)$, das fontes.

Em trabalho realizado junto a Prefeitura do município de São Carlos, S. P., no final de 2001 e em janeiro 2002, em colaboração no processo para seleção de fornecedor de luminária, quando foi utilizada uma malha ampliada e coletado um volume maior de registros por instalação (da ordem de 90 pontos para medições gravados na superfície da via). Foi feita a medição da potência elétrica de um dos (quatro) pontos de cada conjunto VSAP 250 W sob ensaio. Para a iluminância horizontal média, os resultados estão na faixa de (19,6 a 58,4) lux; e (24,2 a 32,0) m²/ W para a relação entre o fluxo luminoso que incide na área definida entre dois postes contíguos mais sarjetas e potência elétrica medida. Nas instalações (faixas de valores) acima indicadas está

Nota: ⁴⁰ Utilizando o luminômetro simples construído, referencial (refletância 18 %), procedimento por substituição e duas leituras foi feita avaliação do fator de iluminância (sob o iluminante citado) para o pavimento betuminoso em valor de (0,12) sob VMAP; para o passeio em concreto valor de (0,25) sob VSAP e para a areia valor de (0,45) sob FL.

incluída uma para referência (400W, potência elétrica nominal), na época ainda em uso naquela cidade e cuja substituição estava sendo pretendida. O detalhamento dos dados de medições em campo está apresentado no anexo C - 2.

Em outro trabalho de consultoria, em processo para qualificação de luminária foram coletados registros para sistema VSAP 150 W, apresentados no anexo C – 3. Com base no projeto, a distribuição de iluminância deve conduzir ao valor médio em plano horizontal (iluminância horizontal) de 23 lx, e estimativa de 42,7 m²/ W para a relação entre o fluxo luminoso útil e a potência elétrica nominal. As imagens do campo de prova utilizado e objetos sob a luz da instalação referida estão apresentados no anexo C – 3 A.

3.3 Experimentos: CUASO/USP – Rouen/CETE

Estudo sobre a IP onde foram obtidos registros de diferentes instalações e valores de fluxo luminoso incidente e restituído pela superfície de vias típicas. Foi aferida a potência elétrica absorvida da rede por sistemas iluminantes de IP sob condição diferente da nominal e feitas determinações com base no conceito de luminância (e iluminância) com interação dinâmica (ativa) e passiva junto aos seus usuários. A interação passiva ocorreu para a instalação com lâmpada VSAP 250 W (tubular, sob condição nominal, 100 %), usuário-alvo trajado com vestimenta preta. Foram feitas determinações de luminância da via (fundo, junto aos pés do mesmo) e sobre o centro do usuário simulado (ângulo do colimador do luminômetro, inicialmente, estabelecido para ângulo de 6 minutos). As determinações ocorreram em quatro pontos da

malha estabelecida na via (coordenadas: C4; A4 e C2; A2, conforme anexo D) e indicaram valor médio de $0,33 \text{ cd/m}^2$ sobre o corpo do usuário e (1,5; 2,45 e 5,3) cd/m^2 , para o fundo (a via). Também foram feitas determinações de luminância sobre o centro do usuário simulado sob ângulos de (3 e 1) grau, posicionado nos mesmos quatro pontos da malha. Como resultado foi obtida a relação (L_{3°/L_{1°) da ordem de ($2,5 \pm 0,3$). Ela pode ser utilizada para expressar a capacidade propiciada pelo sistema em destacar ou diferenciar a figura do usuário nas condições estabelecidas. O experimento principal ou interação dinâmica consistiu da avaliação de situações de visibilidade (e cor) de uma esfera colocada em 10 pontos diferentes da via (conforme figura 2.43).

Empreendimentos ligados à redução do fluxo luminoso e/ou potência elétrica em IP (ou outra aplicação em iluminação) têm como ponto central o conhecimento da relação entre estas duas variáveis. Qualquer redução de consumo e os seus custos, geralmente estão diretamente relacionados com a potência elétrica associada. Está apresentada na figura 3.5 curva ajustada (equação e fator de correlação correspondentes) entre o fluxo luminoso incidente na superfície da via (experimento na CUASO/USP, em fev./2001) e a potência elétrica absorvida da rede por sistemas VSAP.

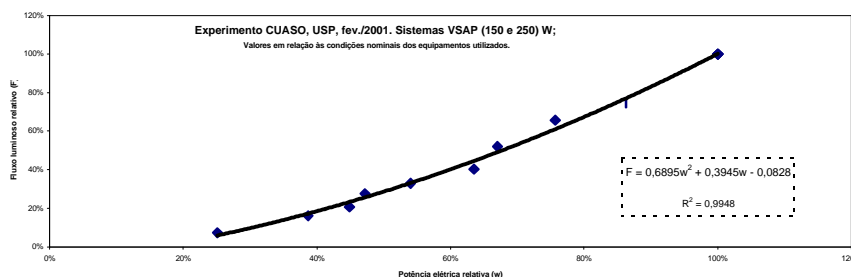


Figura 3.5 – Relação entre o fluxo luminoso incidente na via e a potência elétrica absorvida da rede pela instalação, tipo VSAP e o controle.

A substituição ou troca de luminárias (em relação à instalação original), devido a mudanças nas dimensões das mesmas, provocou alteração na projeção do centro óptico da luminária sobre a via, origem (0, 0) do sistema de coordenadas estabelecidas. Alteração esta que foi considerada pouco significativa, tanto quanto outros desvios dimensionais e angulares das marcações (ver figura 3.6). A verificação das distâncias (com teodolito a laser) indicou: entre a origem do início da malha ao posto dos usuários: 83,15 m (comprimento da malha: 29,872 m, largura: 5,444 m); alinhamento observador origem: 180 graus, 9 min. e 10 s. (e deste ao eixo transversal: 271 graus, 10 min. e 40 s).

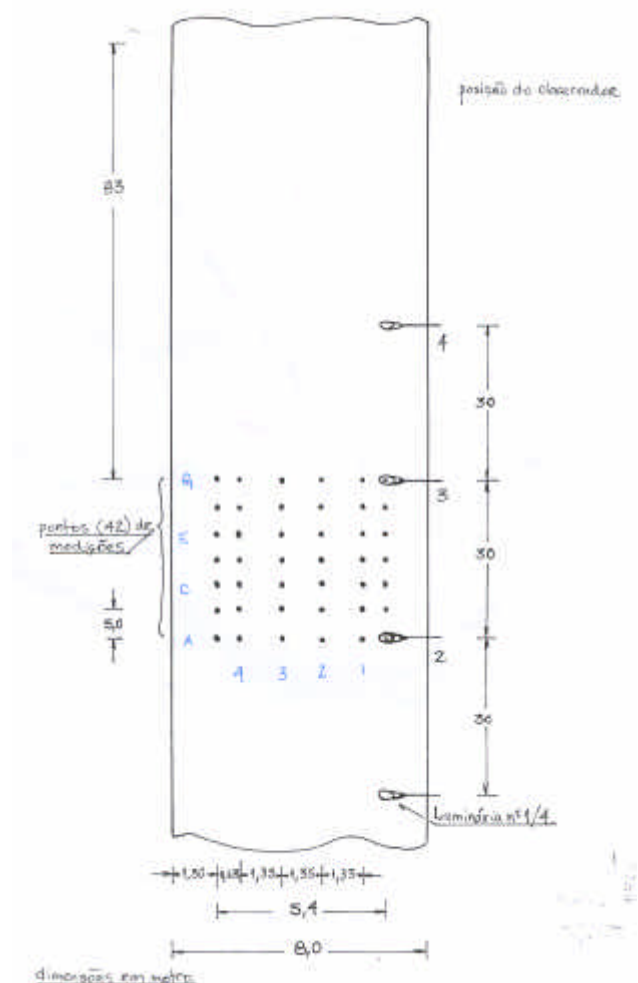


Figura 3.6 - Planta da via onde o experimento foi realizado na CUASO/USP, vista de topo, posições relativas e pontos das medições.

Os resultados recebidos da repetição do experimento, ocorrida em Rouen, França estão apresentados em conjunto com os resultados das avaliações no Brasil. Observou-se uma maior dispersão do resultado francês e conseqüente grau de correlação reduzido, comparativamente, em relação ao experimento brasileiro, principalmente em relação aos resultados de luminância. Não existe clareza por uma justificativa a esta observação que poderá tornar-se tema a um desenvolvimento futuro.

3.3.1 Iluminância em vias

As planilhas das (dez) medições realizadas na CUASO, USP, iniciadas no campo de provas em 7/fev./2001, com valores da iluminância horizontal, no plano da via (e tratamento estatístico), sob quatro diferentes tipos de sistemas iluminantes estão reunidas no anexo D - 1. Para a instalação original, VSAP 150 W, não está disponível referência quanto ao fabricante das luminárias. Outros dois tipos de luminárias (marcas: Reeme e Repume) foram utilizadas no experimento. Elas foram utilizadas com lâmpadas VSAP (150 e 250) W, respectivamente, em lugar das luminárias originais. A luminária marca Repume também foi equipada com sistema MVM 250 W, que funcionou apenas na condição de 100 %, quando o experimento foi interrompido (por desligamento de uma das lâmpadas) e finalizado. Os valores de iluminância apresentados na planilha estão conforme leitura realizada com o instrumento (a correção de calibração foi aplicada apenas aos valores estatisticamente tratados). Para o valor mínimo, máximo e a média, além da leitura (ou cálculo), também está apresentado o valor calculado pela aplicação do fator de correção descrito no

anexo B (também está calculada a incerteza associada). No anexo D – 2 estão 4 planilhas de medições realizadas em Rouen, França com sistema VSAP (HPS) 150 W, conforme dados fornecidos por Alexis Bacelar. Considerada a largura da via em Rouen (de 7 m) foi calculado o fluxo luminoso entre as duas luminárias, tendo sido obtido 7,69 km, na condição de fluxo à 100 %, que ao ser dividido por 169,8 W/ponto luz é esperado 45,3 mW. Repetindo este cálculo para as condições da instalação no Brasil, VSAP 250 W (27 k m f lux luminoso nominal da lâmpada tubular clara), para a via com largura de 8 m, 285 W/ponto luz, o fluxo luminoso entre as duas luminárias será 12,9 k m (fator de fluxo luminoso de 0,48), e 45,2 mW. Para patamar similar de eficiência na produção de luz, porém para iguais períodos de utilização, os franceses estarão utilizando 60 % da energia que será aqui utilizada (VSAP 150 W contra VSAP 250 W). A instalação original da CUASO, VSAP 150 W, quando colocada no menor nível de luz experimentado, próximo de 40 %, produziu iluminância média de $(5,1 \pm 0,4)$ lux, consumindo 90,6 W/ponto luz, o fluxo luminoso entre as duas luminárias foi calculado em 1,22 k m; e 13,5 m / W, eficiência luminosa e fluxo próximos a de uma lâmpada incandescente convencional de potência semelhante⁴¹.

A “eficiência” luminosa calculada, em (mlx/ W), permite ser atribuída vantagem à instalação de Rouen, da ordem de 13 %, exclusivamente para tarefa de produzir luz, ao nível da via e área de interesse (ver tabela 3).

Nota: ⁴¹ Na utilização de instalação a VSAP com controle Intelux, foi observado redução média no fluxo luminoso emitido para 93 % do valor nominal ou seja, caso não tivesse sido utilizado o equipamento para o controle luminoso.

Tabela 3 - Iluminância média e “eficiência” de instalações, CUASO/USP – Rouen/CETE , ambas sob condição nominal (fluxo luminoso: 100 %).

Local	Iluminância média (lx)	Potência (W/ponto luz)	“Eficiência” luminosa (lm/ W)
Rouen (150 W)	(36,6 ± 6,3)	169,8	(216 ± 37)
Brasil (250 W)	(53,7 ± 18,1)	285	(188 ± 63)

Nota: O cálculo considerando as diferentes áreas (largura de 7 m e 8 m) das vias, entre luminárias, em ambos os casos conduz a 45 lm/ W, não possibilitando diferenciação.

A Figura 3.7 contém todos os registros do experimento realizado no Brasil (4 instalações com 3 tipos de luminárias diferentes). A partir destes dados foi determinada a correlação entre as respostas à visibilidade e os registros de iluminância respectivos. Esta é uma segunda correlação, em relação àquela feita apenas para o sistema VSAP 250W e que foi apresentado na Conferência anual do IESNA, em Ottawa (Burini, et al., 2001).

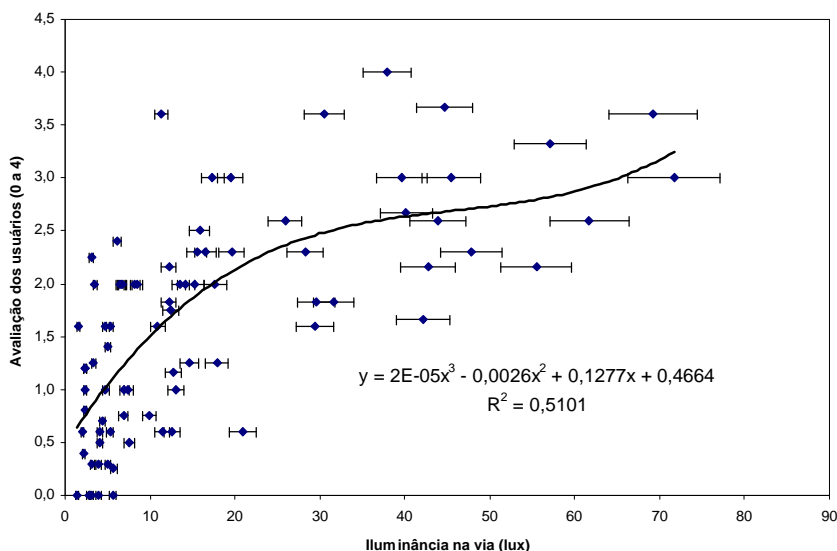


Figura 3.7 – Relação entre a avaliação média dos usuários brasileiros e a iluminância horizontal na superfície da via, em cada uma das 10 posições em que a esfera foi colocada e 4 instalações [MVM 250 W; VSAP (150 e 250) W].

Aqui houve a inclusão de dados referentes a 3 sistemas iluminantes diferentes: MVM 250 W, e dois VSAP 150 W, para cada uma das 10 posições em que a esfera foi colocada para a relação entre a avaliação média dos usuários e a iluminância horizontal na superfície da via. A dispersão dos dados não experimentou melhora e o parâmetro de correlação piorou em relação à amostra contendo apenas dados para a instalação VSAP 250 W, mesmo para curva de ajuste utilizando polinômio de grau superior (3). A maior dispersão dos dados, provavelmente, deva ser o motivo da redução (piora) no fator de correlação, em relação ao polinômio supra citado.

A Figura 3.8 apresenta resultado onde foi incluído, aos dados do experimento realizado no Brasil, o resultado atribuído ao sistema francês, VSAP 150 W. São três instalações VSAP 150 W diferentes e VSAP 250 W em 4 patamares de luz (25, 50, 75 e 100) % e MVM 250 W apenas em 100 % (total estimado em cerca de 900 respostas de usuários).

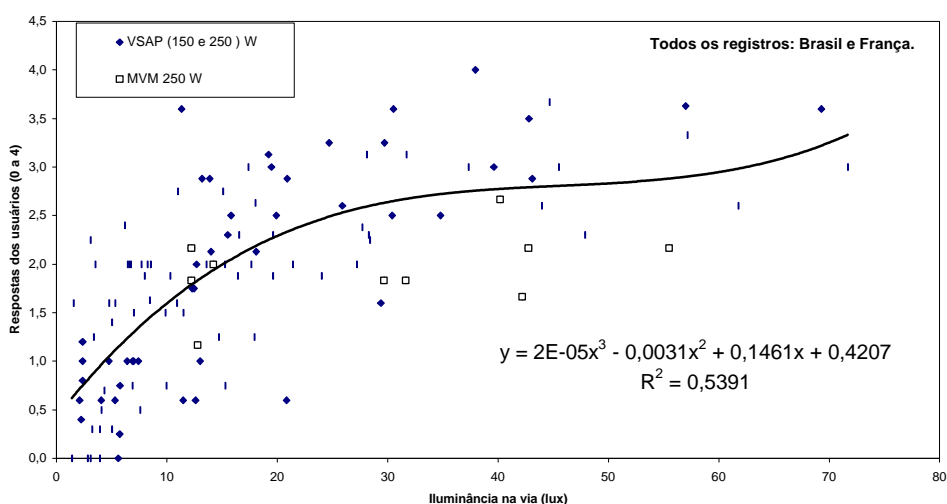


Figura 3.8 – Relação entre a avaliação média dos usuários (brasileiros e franceses) e a iluminância horizontal na superfície das vias (em cada uma das 10 posições em que a esfera foi colocada) e 5 instalações diferentes. Nota: O desvio nos valores de iluminância (não explicitado) não é superior a 5 %.

O parâmetro de correlação teve melhora discreta em relação à amostra contendo apenas dados brasileiros.

3.3.2 Luminância das vias

As planilhas das (dez) medições realizadas no CUASO, USP, valores em luminância da via (e tratamento estatístico), sob quatro diferentes tipos de sistemas iluminantes estão reunidas no anexo D - 3. No anexo D – 4 estão as planilhas das medições realizadas na via (*road*) em Rouen, França com sistema VSAP (HPS) 150 W. Na tabela 4 estão resumidos os valores de luminância média, potência absorvida da rede (por unidade ou poste, ponto de luz) e “eficiência” luminosa calculada com base no fluxo amostrado em iguais áreas das vias, para os sistemas, CUASO/USP e Rouen/CETE, ambos sob condição nominal de rede (convencionado ser o fluxo luminoso: 100 %).

Tabela 4 - Luminância média e “eficiência” de sistemas, CUASO/USP – Rouen/CETE , instalações sob condição nominal (fluxo luminoso: 100 %).

Local	Luminância média (cd/m ²)	Potência (W/ponto luz)	“eficiência” luminosa (lm/ W)
Rouen (150 W)	(3,45 ± 0,43)	169,8	[45,3]
Brasil (250 W)	(3,46 ± 0,49)	285	[48,3]

Nota: Aqui a “eficiência” luminosa foi calculada considerando iguais áreas (210 m²) nas vias.

A Figura 3.9 agrega resultados à posição apresentada junto ao IESNA (apenas VSAP 250 W; Burini, et al., 2001) com a inclusão de dados referentes a 3 sistemas iluminantes diferentes MVM 250 W; VSAP (150 e 250) W e cada uma das 10 posições em que a esfera foi colocada (como na figura 3.7 foi feito

para iluminância), para a avaliação média dos usuários e a luminância correlata da superfície da via na direção da retina dos usuários.

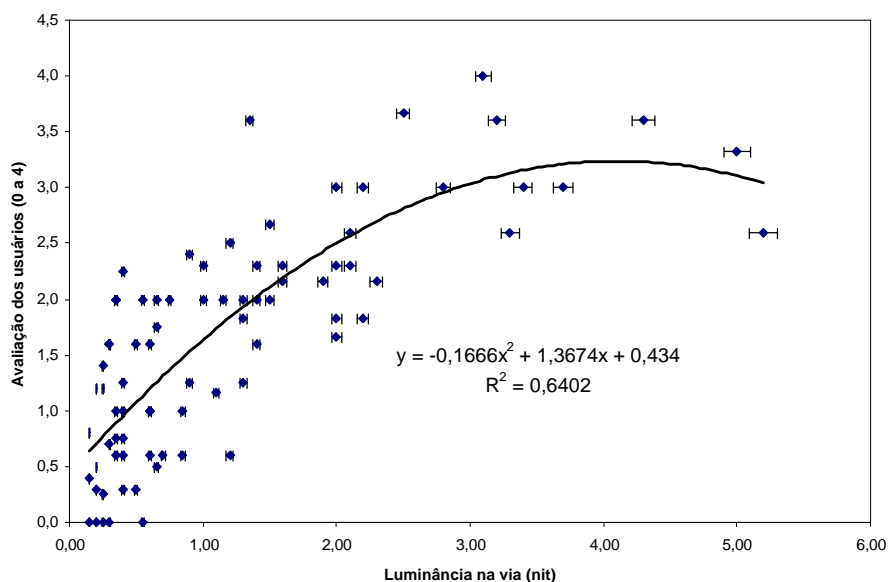


Figura 3.9 – Relação entre a avaliação média dos usuários brasileiros e a luminância da superfície da via (direção definida), em cada uma das 10 posições em que a esfera foi posicionada e 4 sistemas diferentes.

A dispersão não experimentou melhora (em relação ao resultado apenas para VSAP 250 W) e o parâmetro da correlação piorou. A maior dispersão dos dados incluídos, provavelmente, deva ser o principal motivo para a redução no fator de correlação. Não obstante o resultado da correlação para resposta sobre visibilidade possui conformidade com a lei de Fechner (Weber-Fechner ou Steven) que indica relação de dependência entre a intensidade de um estímulo físico e a resposta humana através dos sentidos.

A Figura 3.10 apresenta para a luminância (qual na figura 3.8 foi feito para iluminância) dados do conjunto de experimento realizado no Brasil e o resultado do sistema VSAP 150 W francês.

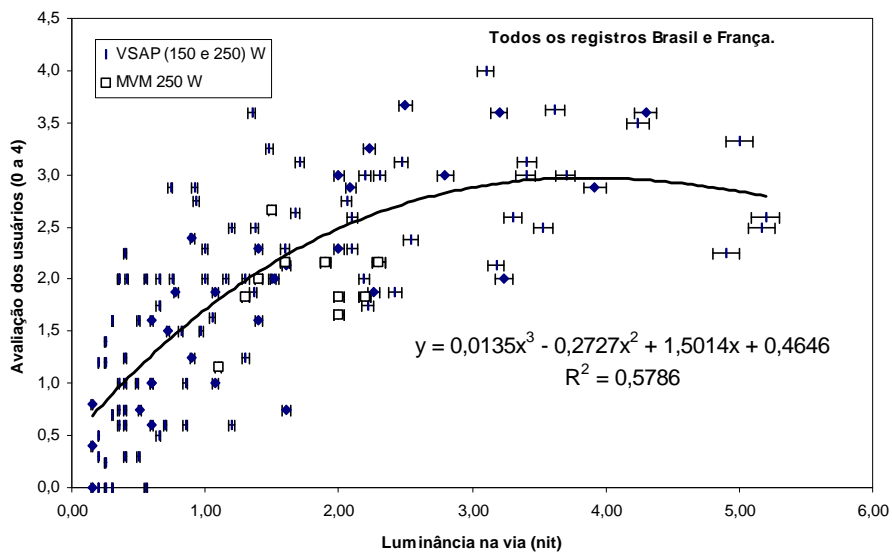


Figura 3.10 – Relação entre a avaliação média dos usuários (brasileiros e franceses) e a luminância correlata das vias (direção dos usuários), em cada uma das 10 posições em que a esfera foi colocada, e 5 sistemas diferentes.

3.3.3 Coeficiente de luminância das vias

Um resultado conseqüente das medições, em campo, de luminância e iluminância é obtido a partir da determinação da correlação destes valores, após terem sido lançados em plano cartesiano, o coeficiente de luminância, conforme figura 3.11. A relação entre a luminância da superfície da via, determinada na posição dos olhos do observador (altura aproximada do observador: 1,6 m) dividida pela componente vertical do fluxo luminoso que incide no plano da via, por unidade de área da superfície, a iluminância é relação que atende a definição de coeficiente de luminância para a via.

O resultado apresentado na figura 3.11 é para 2 sistemas iluminantes diferentes, consideradas as 10 posições em que a esfera foi colocada e revela diferença pouca significativa na tarefa de produzir luminância ao usuário.

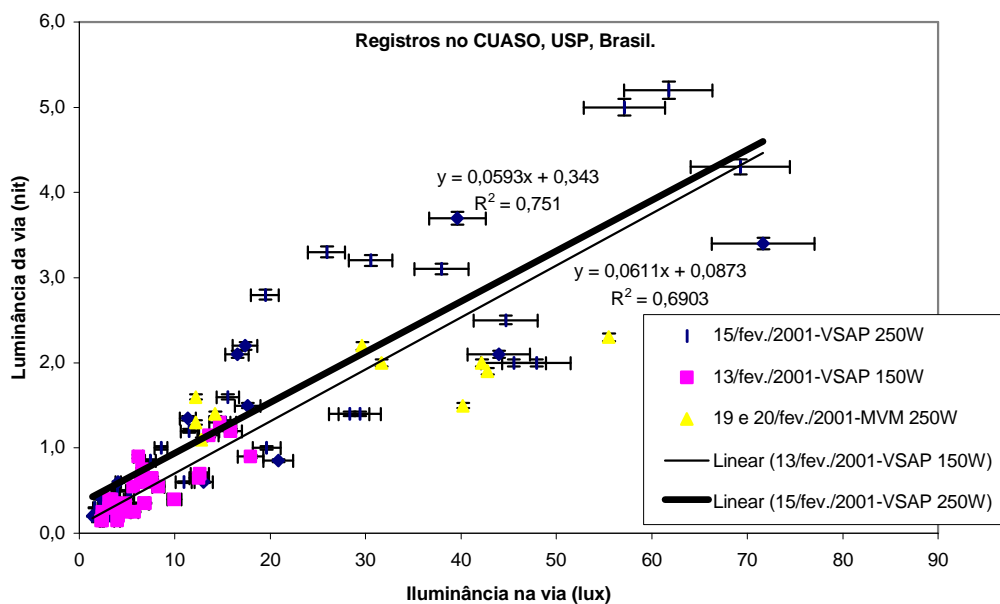


Figura 3.11 – Correlações lineares entre o fluxo luminoso incidente, por unidade de área na superfície, e a luminância no mesmo ponto da via, 10 posições, o observador a 83,15 m e 2 sistemas iluminantes (VSAP) diferentes.

Apesar de certa dispersão presente nos dados da figura 3.11, a amostra e procedimento utilizados revelam o chamado coeficiente de luminância (aqui obtido por ajuste linear, correlação aceitável com fator R^2 da ordem de 0,7), característica relacionada ao sistema como um todo, bastante influenciada pela refletância do pavimento, na direção (com origem nos olhos) dos observadores. Outro aspecto que pode ser utilizado para indicar a importância deste resultado é referente à capacidade que o sistema (instalação e pavimento) possui para produzir luminância (na direção da retina do observador) a partir de um ponto de operação ou fluxo luminoso (que pode ser amostrado pela iluminância) estabelecido ou disponível. A mudança da instalação (VSAP 150 W, em 13/fev. para VSAP 250 W, em 15/fev.2001) teve

pouca influência (< 2 %) no resultado: $0,06 \text{ cd.lm}^{-1}$ (L/E; para VSAP, ângulo de observação 89 graus, direção dos usuários, em pé, na via a 83,15 m da malha)*. Também foi estabelecida outra comparação relevante, ao sistema francês, além da estimativa aproximada, realizada, sobre eficiência luminosa. A figura 3.12 apresenta relação entre o fluxo luminoso incidente (sistemas iluminantes diferentes) por unidade de área de cada superfície, iluminância horizontal e luminância da superfície da via na direção do observador em todas as 10 posições em que a esfera foi posicionada.

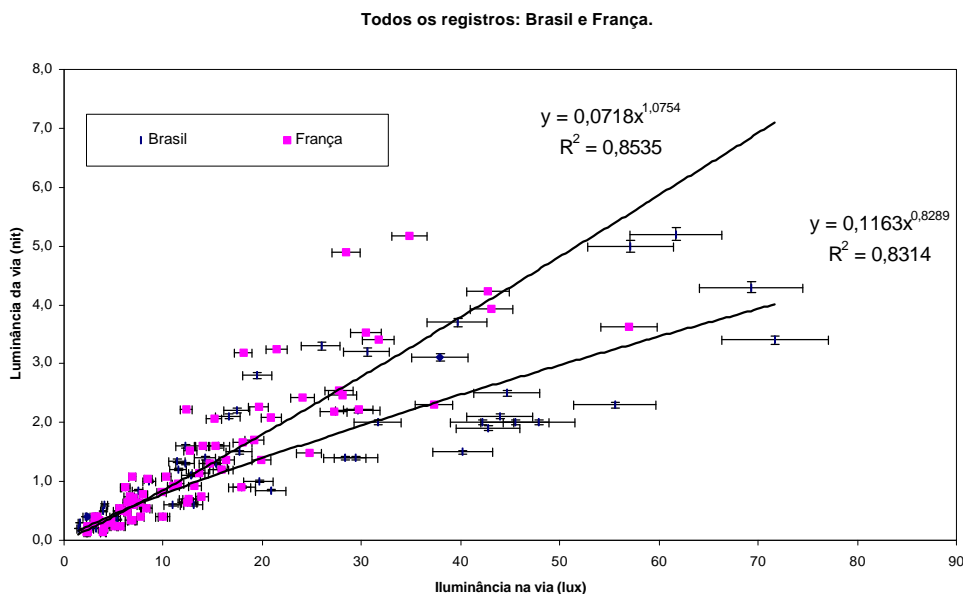


Figura 3.12 – Correlações entre iluminância E, e luminância L da superfície da via na direção do observador, em todas as 10 posições em que a esfera foi colocada para instalações e sistemas iluminantes diferentes.

Nota: * Se for calculada razão inversa média, (E/L) de ambos os resultados (e seu ICB 95%) resultará em $(16,6 \pm 2,2) \text{ lm.cd}^{-1}$, (ou a unidade de ângulo sólido, o esterradiano, sr, pois o lúmen também é equivalente a emissão de uma fonte de uma candela por sr) valor este passível de verificação junto à tabela da AFE (*Rapport R, Tableau 7.1*), mantida ressalva à referida tabela estar baseada em valores médios e ter sido modificada, em 2002, para apenas uma coluna (sem validade para pavimentos coloridos ou molhados, conforme informação de Alexis Bacelar, em Agosto de 2002).

A correlação estabelecida apresenta fator de correlação R^2 intermediário, da ordem de 0,84 e revela a superioridade do sistema francês, quando é considerada* a (característica ou) capacidade de cada sistema em produzir luminância na direção do observador, por unidade de fluxo luminoso incidente, a partir de aproximadamente 5 lúmen/m² (lux) de iluminância horizontal na via.

3.4 Consumo energético comparativo

Nesta seção são apresentados resultados de cenários elaborados com base em diferença estabelecida entre refletâncias de pavimentos, quantidade de energia e custos associados para prover iluminação viária.

3.4.1 Cenário: IESNA – RP - 08

O consumo energético comparativo entre sistemas de IP, junto a demais parâmetros de projeto, considerada a influência da refletância da via, pertence a estudo de casos já realizado (comunicação pessoal junto ao autor, Eng. Stark, R.E., set./2000, e referência coligida Stark, R. E., 1986). Na tabela 5 estão apresentados dois cenários com as simulações. Em ambos os casos apresentados na tabela 5, simulação de custos (inicial, energia e manutenção), existem previsões para redução do consumo (exclusivamente) de energia

Nota: * Uma sugestão para quantificar a diferença identificada entre os sistemas está em ser calculada a derivada (taxa de variação) das equações da figura 3.12, em um ponto singular (para simplificação foi escolhido 1 nit) e mesma abscissa. A razão diferencial (L/E) vale 0,0964 cd.lm⁻¹ (ou a razão inversa E/L é igual a 10,37 lm.cd⁻¹) para o caso francês e 0,0772 cd.lm⁻¹ (ou a razão inversa E/L é igual a 12,95 lm.cd⁻¹) para todos os resultados no Brasil.

Tabela 5 – Dados para comparação entre dois projetos de IP considerada a influência da refletância conforme tipo de via (dois casos). Fonte: Comunicação pessoal do Eng. Stark, R. E (em set./2000).

Caso 1: Via principal em área comercial (prescrição RP-8, 1,2 nit)			Caso 2: Rodovia (<i>Free way class A</i>) (prescrição RP-8, 0,6 nit)			
Pavimento (tipo/controle)	Custo (US\$/milha.ano)		Iluminância média (lx)	quant. de luminárias (unidades/milha)	Iluminância média (lx)	Custo (US\$/milha.ano)
R2/R3 (Qo=0,07)	Inicial total (x ano)	78000	17	39	32	64000
	Energia	1950				1600
	Manutenção	1872				2304
R1 (Qo=0,10)	Inicial total (x ano)	54000	12	27	22	44000
	Energia	1350				1100
	Manutenção	1296				1584
custo manut. (US\$/unid.mês)		4		6		
coeficiente de utilização		0,52		0,32		
diferença de custo inicial (US\$)		24000		20000		
dif. custo inicia/operação (ano)		9,1		7,5		

elétrica direta, para 69 %, quando o pavimento tipo R1 (mais claro) é utilizado em lugar de R2 e (ou) R3. Ainda, as diferenças entre os montantes necessários para implementar as opções de projetos são suficientes para manter a opção do sistema mais vantajoso, em funcionamento por 7,5 anos (caso 2) e por 9,1 anos (caso 1), ou seja, caso os mesmos possam ser implementados⁴² em local cujo pavimento tenha propriedades equivalentes ao tipo denominado R1.

Nota: ⁴² Os custos apresentados diferem da faixa de custo anualizado, entre (0,86 a 2,15) US\$/m²; custos anualizado médio de 1,6 US\$/m² por ponto de IP (assumido período de 20 anos; taxa de desconto de 8 %, custo de energia 0,10 US\$/kWh) e custo médio de instalação de 9,80 US\$/m²; devido aos valores de Leslie, R. P., 1998 estarem baseados em sistema para prover 3 lux (iluminância média em plano horizontal típica de projeto com fins de segurança; comparativamente, no setor comercial 9 lux, industrial 7 lux e residencial 0,5 lux).

3.4.2 Cenário: pavimento em concreto

Não é pretendido fazer qualquer tipo de apologia à utilização, sobretudo indiscriminada, do concreto como pavimento de via. Este elemento é utilizado ao longo do trabalho, basicamente porque é uma opção ao asfalto convencional e outras coberturas de superfícies cujo conhecimento da capacidade em restituir energia radiante é que está sob consideração. A utilização de concreto no Brasil com base em dosagem não empírica data da metade dos anos 1920, apesar do registro mais antigo ser referido à área de ensino em 1904 (Torres, A. F., 1993). Obras que são recentes (a extensão da rodovia dos Bandeirantes e a primeira parte, trecho norte do Anel viário Mario Covas, em São Paulo, ver figura 3.13), relativamente, em alguns segmentos utilizaram tecnologia similar àquela denominada *whitetopping*, cuja aplicação em pavimentos tem origem provável em 1918 (Torres, A. F., 1993).



Figura 3.13 - Trecho norte do Anel viário Mario Covas, em São Paulo.

Aos tipos de pavimentos, mais claros, conforme dimensões já apresentadas na tabela 5 (e sem considerações sobre a intensidade energética de cada opção) é atribuída vantagem sobre redução na quantidade de pontos de luz e no uso energético (EB210P, ACPA, 1997).

O segundo trabalho que compara custos e redução de potência elétrica na IP, devido à utilização de pavimento de concreto, no lugar do asfalto foi tópico coligido em estudo de caso para a cidade de Buenos Aires, Argentina, e está apresentado na tabela 6 (Di Pace, G.; Becker, E., 1999).

Tabela 6 – Resultados de estudo de caso para 3 tipos de pavimentos.

Custo / Pavimento:	<i>asfáltico #1</i>	<i>asfáltico #2</i>	<i>concreto</i>
inicial (US\$/m ²)	27,13	18,07	29,44
manutenção anual (%)	0,5	0,6	0,3
reconstrução (US\$/m ²)	11,59	15,02	2,14
ao final de 50 anos (US\$/m ²)	42,38	49,77	32,31
consumo de energia (kW/ano.m ²)	5,35		3,35
energia em 50 anos (US\$/m ²)	53,53		33,46

Nota: O padrão utilizado: 6 postes/quadra, com lâmpada 250 W para pavimento em concreto e 400 W para asfalto. Custo de energia 0,2 US\$/kWh; uso 11 h/dia; rua com comprimento de 100 m e largura de 9 m.

3.5 Valor refletométrico

Esta seção apresenta imagens de pavimentos típicos, elaboradas com scanner e câmera digital CCD, procedimentos, correlações e resultados numéricos das determinações realizadas. Na figura 3.14 está apresentada imagem feita com câmera CCD de dois tipos de pavimentos diferentes: concreto e asfalto.



Figura 3.14- Pavimento em concreto (pedra com cimento) e asfalto (pedra com piche). Trecho norte do Anel viário Mario Covas, em São Paulo, 2002.

3.5.1 Imagem por scanner

Como alternativa à câmera, o instrumental que também possibilita preparar imagens (a um custo menor, sob um iluminante fluorescente e com certa restrição ao seu uso em campo) é o equipamento hoje, comum em escritórios denominado scanner (de mesa). Usa-se um procedimento similar àquele que é feito para uma figura ou texto de folha convencional. Amostras de asfalto (betuminoso) obtidas no Campus da USP, Capital foram utilizadas para criar imagens a partir deste método (ver figura 3.15). Elas foram processadas para se calcular o valor médio da distribuição de pixel resultante da região segregada de cada amostra. A ausência de referencial conhecido, junto à imagem gerada, não permite cálculo em valor absoluto. O resultado refletométrico é apresentado, comparativamente, em relação à amostra denominada 01. Foi obtido valor relativo de 93 % para a amostra 02; e 75 % para a amostra 03. Na figura 3.15, com base na escala graduada, em cm

(menor divisão mm), colocada junto a cada amostra pode ser verificada a diferença do tamanho da carga (pedras) agregada em cada amostra.

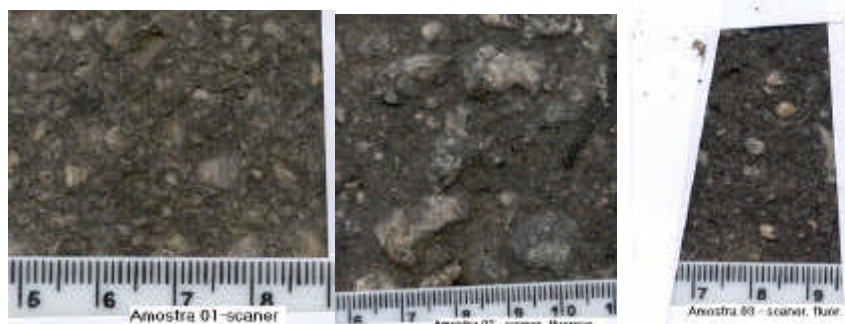


Figura 3.15 - Imagens obtidas com scanner, amostras (01, 02 e 03) coletadas de asfalto no Campus da USP, SP, Capital. Escala em cm.

3.5.2 Referencial: BS 5252

A calibração para o refletômetro a CCD (câmera digital) foi buscada, inicialmente, a partir de referências de refletâncias contidas em versão original de documento normativo de origem inglesa, British Standard BS 5252: 1976, que apresenta padrões para verificação de cores por comparação visual e procedimento para cálculo aproximado da refletância de cada referência. Não foi utilizada uma cópia, obtida diretamente deste original, por ter ocorrido alteração no processo de reprodução de tons, identificada durante inspeção visual. Neste procedimento foram utilizadas imagens de pavimentos⁴³ contendo o referencial inglês citado, obtidas em campo no período noturno, sob a IP própria do local e com diferentes iluminantes (VSAP, MVM e VMAP),

Nota: ⁴³ As imagens de pavimentos feitas na CUASO/USP, em maio, 2001, foram capturadas em direção ortogonal, próxima à normal destas superfícies.

para verificação quanto a possíveis influências das distribuições espectrais distintas. O referencial utilizado é composto por escala de tons de cinza neutro (com a série de refletâncias aproximadas, calculadas segundo a BS 5252: 64 %, 56 %, 42 %, 30 %, 20 %, 12 %, 6 %) e uma folha de papel A4 (cuja refletância medida vale 83 %).

A figura 3.16 apresenta uma das imagens obtidas e que foram utilizadas para estimar o fator de luminância (refletância). Após terem sido segmentadas as áreas importantes (e quantificadas, conforme procedimento detalhado na seção 2.2.5.3) para amostrar informações das regiões de interesse, como as referências e o pavimento capturados.

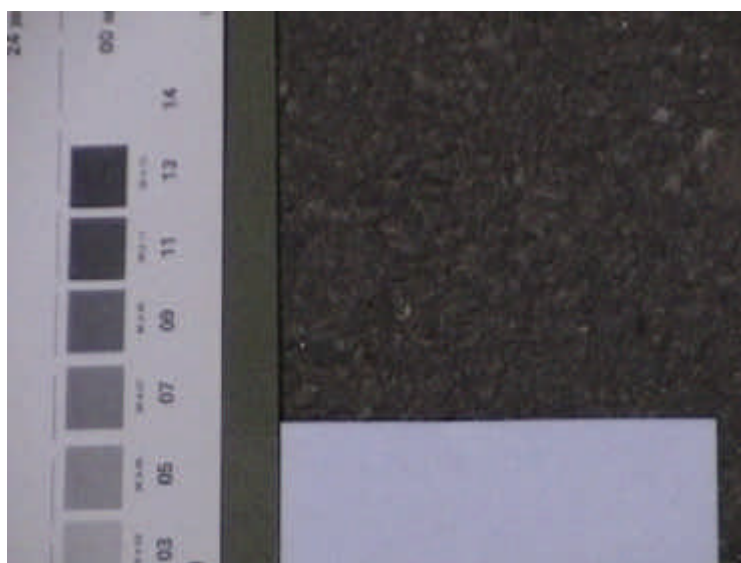


Figura 3.16 - Imagem contendo referenciais (documento original, BS 5252); folha branca de papel comum, A4; ambos sobre asfalto do Campus da USP, SP, Capital e sob IP com MVM (foto: dsc00038, 08/maio/2001).

O registro contido em meio magnético, digital, amostrado do pavimento foi processado e teve sua refletância estimada a partir do valor médio da

distribuição de valor de pixel da amostra e da referência. A incerteza apresentada para o fator de refletância está estimada com base na dispersão correspondente a um desvio padrão (um sigma) dos valores numéricos (distribuição) da amostra utilizada. Aqui existem duas observações que devem ser apresentadas, a primeira está relacionada à natureza da amostra. A informação gerada pode ser utilizada para classificar (separar) grupos de pavimentos, em função de parâmetros estatísticos simples, como a média do valor de pixel, o seu desvio padrão e valor relativo da dispersão (sigma/média). Enquanto foi obtido valor relativo típico de 15 % para a dispersão da amostra do pavimento asfáltico considerado, a dispersão da referência variou entre 5 % e 3 % (1/3 e 1/5 daquele valor). A segunda observação está relacionada a limites práticos que cercam este procedimento: o elemento de referência aqui utilizado não apresenta comportamento próximo ao de uma superfície Lambertiana (difusor ideal devido ao tipo de pigmento nele existente), e a quantidade limitada de dados para servir como referência (poucos tons de cinza). As curvas ajustadas, suas equações (de correlação, tendo sido usada como ferramenta matemática a planilha eletrônica Microsoft Excel 2000, entre cada valor de refletância e o valor médio de "pixel", obtido por processamento estatístico de região segregada da imagem) e resultado da estimativa (cálculo) da refletância para 3 amostras de pavimento sob iluminante diferente (VSAP E MVM) estão apresentados na figura 3.17. A partir desta figura é possível verificar a diferença relativa entre a refletância de pavimentos, particularmente do concreto em relação ao asfalto. O valor do fator de luminância (refletância) médio que possui, relativamente, o menor desvio padrão (sigma) foi obtido por interpolação, enquanto os demais valores foram obtidos por extrapolação

gráfica pois estão localizados em região da curva onde não se dispunha de dados (pontos).

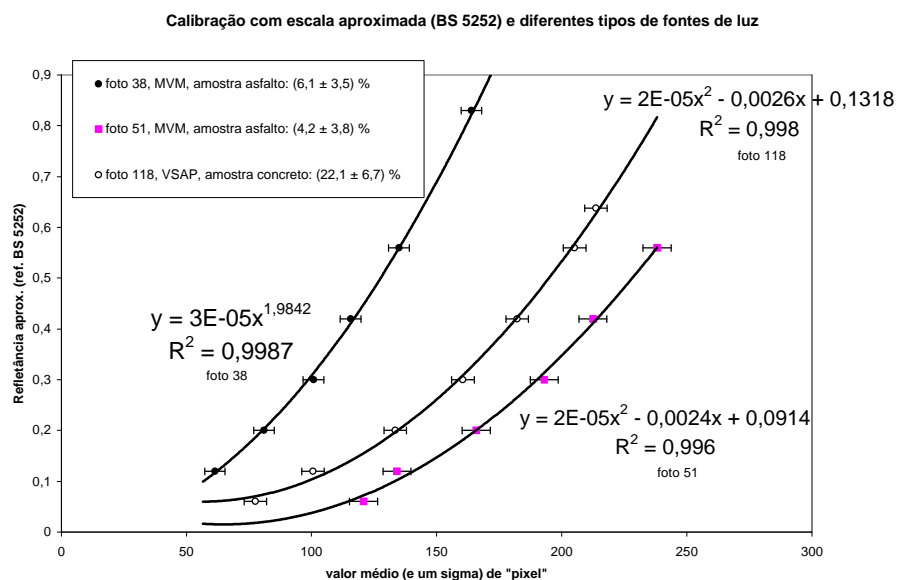


Figura 3.17 – Estimativas do fator de luminância para asfalto e passeio em concreto, na CUASO/USP, sob IP com VSAP e MVM, equações da calibração do refletômetro CCD (referenciais: BS 5252 e folha branca de papel comum, A4). Ref.: Fotos [dsc000 (38, 51 e 118)], maio/2001, do autor.

Como a figura 3.17 apresenta diferentes níveis de pixel para um mesmo valor de refletância (fator de luminância) e considerando que as respectivas imagens foram feitas sob condições semelhantes também é possível inferir, quantitativamente, a diferença relativa entre os níveis da iluminação presente. Isto será possível após calibração da câmera em valores absolutos. A aferição da câmera pode ser realizada com base na luminância transferida de equipamento calibrado (LMT, 2000) para uma série de imagens. Porém, ainda não foi possível a determinação de equação funcional, que possa ser utilizada a partir de um amplo conjunto de ajustes desse equipamento.

3.5.3 Câmera a CCD e tons de cinza

Depois de concluída a construção da esfera integradora especial e a mesma ter sido colocada em funcionamento (julho, 2001, para detalhe ver anexo G) passou-se a dispor de instrumental que possibilita aferir referencial próprio para determinação de refletância difusa. Assim pode ser obtida a refletância difusa para alguns elementos (substrato com tinta) como aqueles já apresentados (cor branca) e onde está incluído projeto de “mascara”, a qual contém tons de cinza. Ela é uma escala para a calibração do valor de “pixel” (da câmera digital utilizada) com base no fator de luminância de cada elemento (determinado na direção próxima da normal à superfície). Devido às limitações práticas das condições existentes (impressora comum; tipo de refletância dos substratos: vergê, cartolina, papel A4 normal; e sobretudo período necessário para ajuste mais fino) não foi possível reproduzir a refletância (de fundo) melhor que 18,7 % (o valor objetivo foi 18,0 %, obtido de cartão comercializado sob licença da Kodak, USA; KGC18). Na metodologia utilizada optou-se por estabelecer um procedimento padronizado (uso de referencial) para minimizar a quantidade de variáveis sem controle efetivo. Na figura 3.18 é apresentada uma curva para a calibração (substrato em cartolina, refletância 84 %, fundo projetado com valor de “pixel” igual a 76, escala 0 a 255, e referencial para controle, cartão, KGC18, 18 %) da resposta da câmera digital (condição: abertura e “velocidade”, F1,6 e (1/100) s), função de transferência da CCD. Devido não ser possível acesso direto, no modo controle manual, a todos os ajustes da câmera (inclusive o principal controle de ganho denominado *Automatic White Balance – AWB*) e por nem sempre estar disponível

previamente, informação relativa à quantidade (e distribuição espacial) da luz presente na cena a ser capturada, o procedimento desenvolvido está baseado na utilização simultânea de (uma escala de tons de cinza) “mascara” (ver figura 2.49), vazada, modificada pela retirada de ambas regiões com as três referências de cinza mais claras.

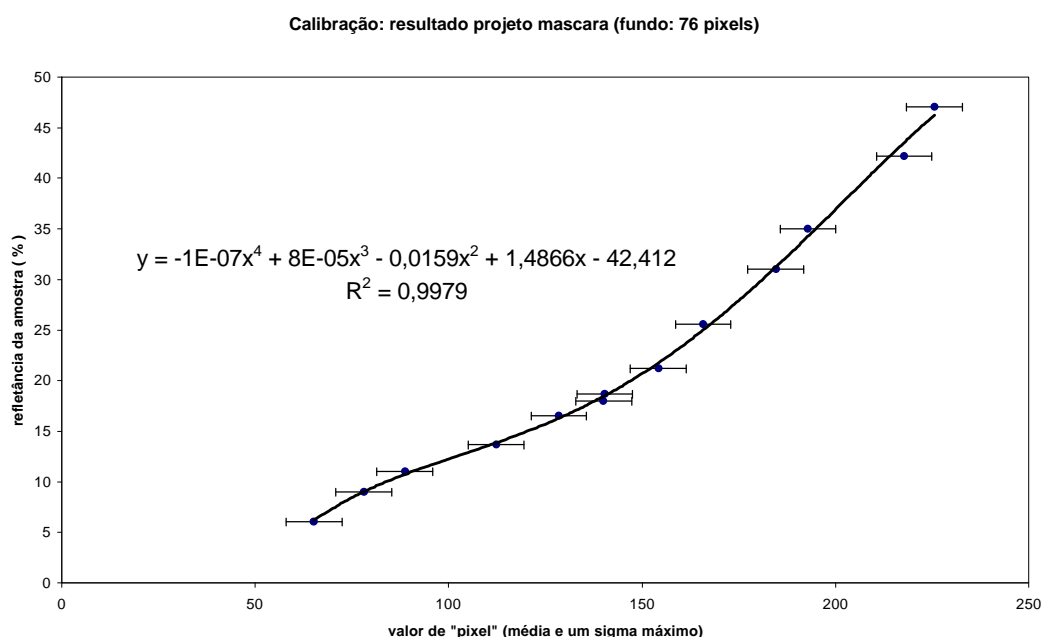


Figura 3.18 – Curva para calibração (substrato refletância 84 % e referência KGC18) para controle da resposta da câmera digital CCD [ajustes: F1,6 e (1/100) s.], chamada também de função de transferência.

Esta “mascara” foi utilizada para calibração da câmera e coleta de amostras em campo (após modificação: duas regiões vazadas, conforme apresenta a figura 3.19). No procedimento de coleta de amostra, o primeiro passo é a aproximação da cena para ser feita captura simultânea da amostra e da referência. Existe ainda possibilidade do uso de referencial conveniente na segunda área vazada (no caso da figura 3.19 foi utilizado papel de cor branca,

para a região à direita para fins de maior contraste).

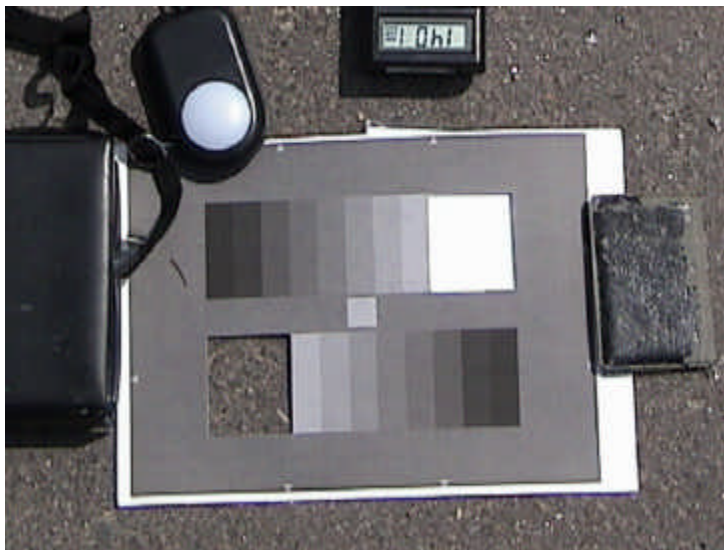


Figura 3.19 - Imagem da “mascara” em procedimento de aproximação para a captura da cena (Anel viário Mario Covas, em São Paulo).Foto do autor, 2001.

A retirada das regiões que possuem as refletâncias mais elevadas não compromete o intervalo esperado para as amostras, e traz melhoria no sentido de ampliar a resolução dos resultados das medições (e possível melhora na incerteza dos resultados), basicamente devido as refletâncias típicas serem inferiores a 30 %. No procedimento utilizado uma região vazada é ocupada pela amostra sob análise. Enquanto a outra é ocupada por um elemento cuja refletância difusa é conhecida (em geral, 18 %, ou valor inferior, especialmente importante quando se trata com pavimentos escuros).

3.5.4 Fator de luminância (angular)

Para estabelecer conhecimento sobre a variação da refletância de pavimento, em relação aos ângulos de incidência da fonte luminosa e de

observação foi utilizado dispositivo (obtido junto ao Prof. Moreira, J.R. e Eng. Victor Pulz, ver figura 3.20), que foi equipado com o luminômetro simples construído.

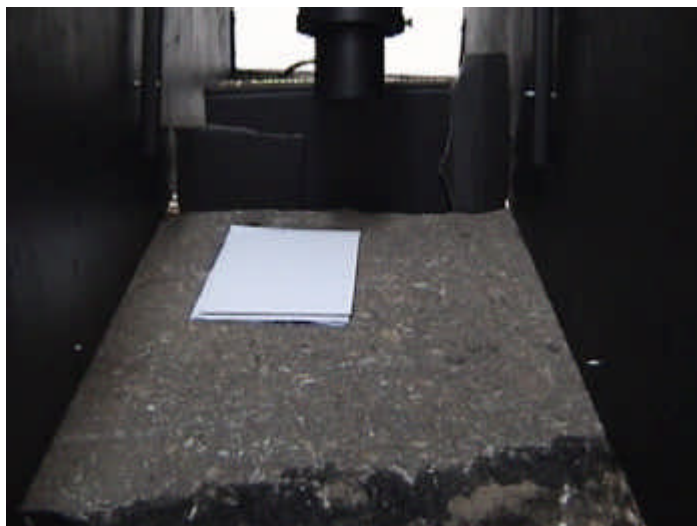


Figura 3.20 - Imagem de pavimento: Anhanguera, S.P. e referencial (papel vergê, cor branca) durante procedimento de medição angular.

Este dispositivo permite minimizar a influência de luz externa lateral, possui fonte incandescente própria, com fecho colimado, e possibilidades para variação (e fixação) em diversas posições angulares, tanto a fonte quanto do fotoelemento (projetado para trabalhar com ângulo de abertura não superior a 15 graus). O levantamento angular completo (com a fonte posicionada desde a direção da normal até 85 graus desta) foi realizado com o fotoelemento fixado no mesmo plano e sentido oposto (outro semi-plano em relação à normal), a 80 graus da normal (ver figura 3.21). Para experimentar a influência da variação de parâmetros foram realizados levantamentos com o fotoelemento montado em outras duas direções 10 e 20 graus, em relação à normal, e foram utilizados estes mesmos valores de ângulos (ângulo de incidência igual ao ângulo de medição) como direção para a incidência do fecho de luz.

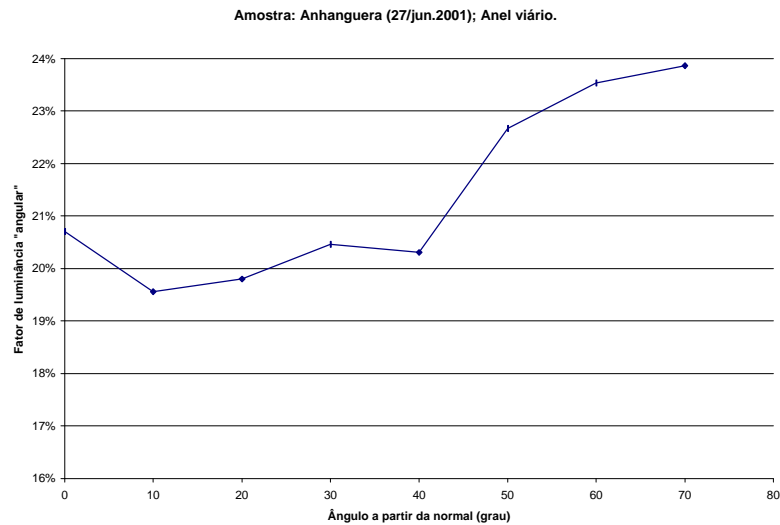


Figura 3.21 – Levantamento do fator de luminância num plano, em relação ao ângulo de incidência da fonte de luz incandescente e estando o fotoelemento posicionado a 80 graus em relação a normal, amostra da rodovia Anhanguera, S.P., coletada em 27/jun./2001 (Anel viário).

No levantamento realizado o fator de luminância foi obtido com base em referência cuja refletância é superior a 80%. Assim, para a amostra denominada Anhanguera (pavimento original, colhido em 27/jun./2001; altura do Anel viário SP, ver figura 3.20), na forma que foi coletada (sem qualquer alteração ou limpeza da mesma, apenas a superfície foi mantida coberta, evitando-se contaminação de poeira distinta da condição e local da coleta da amostra) foi verificado influência reduzida para a variação relativa entre fonte e fotoelemento (convencional).

Independentemente do ângulo de observação ser 80 graus, 20 e 10 graus, em relação à normal, e o ângulo de incidência da fonte (facho incandescente) ser (0, 10, 20 30 e 40) graus (para ângulos superiores foi verificado aumento da luz refletida, em relação à direção da normal à

superfície, preconizado pela lei de Fresnel, Jenkins e White, 1981, p.524). O **fator de luminância** (3.4.69; numeração relativa ao item da terminologia brasileira do setor, ver anexo A) é igual ao valor médio de $b_V = (19,3 \pm 1,5) \%$. Para o caso do ângulo de observação ter sido fixado em 80 graus, em relação à normal, e o ângulo de incidência da fonte com a mesma variação acima informada, foi obtido $b_{V,80} = (20,2 \pm 0,5) \%$. Para o caso do ângulo de observação ter sido fixado em (20 e 10) graus, em relação à normal, e o ângulo de incidência da fonte nestes mesmos valores foi obtido $b_{V,10/20} = (18,6 \pm 0,6) \%$. O desvio informado junto ao valor médio é relativo a um desvio padrão (um sigma). Ainda, para a mesma amostra, com base em valor representativo de luminância, o **fator de difusão**, utilizado para indicar quanto o comportamento da refletância da amostra se afasta da unidade, difusor isotrópico, consideradas as direções de (5, 20 e 70) graus conforme definição normativa foi obtido valor 1,084. O resumo do levantamento realizado está apresentado na tabela 7.

Tabela 7 - Fator de luminância (angular) médio para a amostra denominada Anhanguera, colhida em 27/jun./2001, no Anel viário SP.

ângulo (grau)		fator de luminância b_V
<i>incidência</i>	<i>visada</i>	(%)
0; 10; 20; 40	10; 20; 80	$(19,3 \pm 1,5)$
> 40	10; 20; 80	{lei de Fresnel}
0; 10; 20; 40	80	$(20,2 \pm 0,5)$ { $b_{V,80}$ }
0; 10; 20; 40	10; 20	$(18,6 \pm 0,6)$ { $b_{V,10/20}$ }

Nota: O desvio associado ao valor médio do fator de luminância é relativo a um sigma e a referencia angular (0) é a direção da normal.

Ao serem considerados ângulos de incidência superiores a 40 graus, foi verificado o rápido aumento da luz refletida (lei de Fresnel). Os resultados das medições indicam estabilidade do fator de luminância dentro de faixa angular relativamente ampla, ausência de comportamento especular da amostra e a penúltima linha da tabela 7, ângulo de observação fixado em 80 graus, em relação à normal, e o ângulo de incidência da fonte com variação conforme informado, são condições que se aproximam da situação de um motorista de automóvel sob a IP. O levantamento angular completo de uma amostra é demorado, gera quantidade significativa de registro, porém exequível para atendimento a necessidade ou demanda de um projeto específico.

Neste trabalho foi buscada a melhor sintonia possível em relação à terminologia setorial vigente, documento brasileiro de normalização, TB-23/1991 (NBR 5461), inclusive com citação (entre parêntesis) de numeração correlata. Porém, uma explicação breve é pertinente para evitar qualquer confusão que a terminologia utilizada possa causar. A **refletância** (3.4.58) de uma superfície ou meio está definida através do quociente entre o fluxo luminoso refletido pelo o fluxo luminoso incidente (quando se trata de energia radiante visível, cuja direção não está fixada, podendo ser tanto um fecho estreito, diferencial, quanto hemisférico difuso, distribuído em 2π radianos). Portanto, a refletância é uma função da geometria envolvida (do fluxo incidente e captação do fluxo refletido); da distribuição espectral destas radiações (inclusive mudança espectral conforme a natureza da amostra e a ponderação realizada durante a coleta, junto ao fotoelemento utilizado) e polarização (geralmente considerada não significativa). A determinação de fluxo luminoso, conforme definição, depende de equipamento especializado (esfera

integradora) ou de integração zonal através de processo com várias etapas seriadas e morosas. Certas condições, em situações particularizadas, permitem simplificações úteis, porém que são rotuladas ou podem ser identificadas, principalmente, através de mudanças terminológicas. O **coeficiente de luminância** (3.4.71), q (L/E), o **fator de luminância** (3.4.69), b_v , (L/Lref.) e o **fator de refletância** (3.4.64), R (fluxo amostra/fluxo referência) são os principais deles, que podem ser complementados pela **emitância** (3.1.48), **superfície Lambertiana** (3.4.57), **fator de difusão** (3.4.89) e do **ângulo de meio valor** (3.4.90), $[\gamma]$. Na prática é feita a determinação do **valor refletométrico** (3.4.72), R' . Teoricamente, quando o ângulo sólido do cone (do fecho da radiação incidente) tende a zero, o **fator de refletância** (3.4.64) tende para o **fator de luminância** (3.4.69), e quando o ângulo sólido do cone tende para 2π , o **fator de refletância** tende para a **refletância**.

Ainda que não seja objetivo fim, fundamental, deste trabalho a calibração completa da câmera digital CCD como um luminômetro (outros conjuntos de ajustes são necessários, além daqueles contidos nas imagens das amostras e referenciais utilizados), permitirá se dispor de um segundo método, o qual não necessitará a utilização na cena, teoricamente, de qualquer referencial de refletância. Possibilitando que seja estimada (tomadas certas precauções, conforme citado na seção 2.2.5.2), diretamente, a distribuição de luminância da cena capturada.

3.6 Refletância de via urbana

A utilização de requisito normativo apoiado no conceito de luminância

requer informação sobre a refletância do pavimento sob consideração. Assim, nesta seção são apresentados resultados obtidos sobre o fator de luminância (refletância), utilizando o que foi denominado refletômetro a CCD.

Na figura 3.22 estão apresentadas situações com “mascara” sobre o pavimento da via, durante posicionamento para captura da imagem.

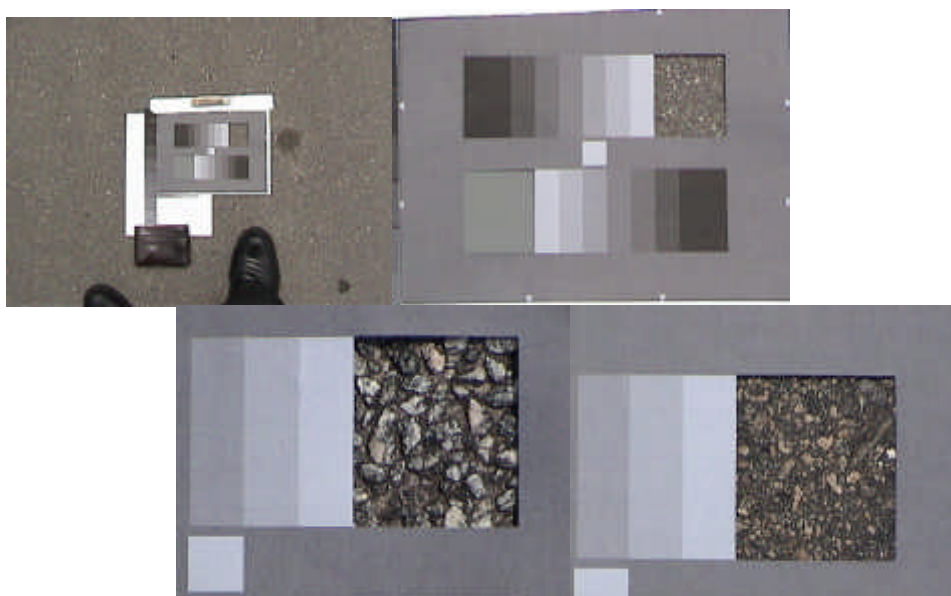


Figura 3.22 – Imagens da superfície de vias, capturadas, no procedimento de coleta de amostra. Fotos do autor, 2002.

Este procedimento para coleta de amostra é realizado, geralmente, sob iluminação difusa e possui a grande vantagem (em relação ao procedimento de coleta tradicional) de não necessitar a retirada e traslado da amostra (ele não é destrutivo, permite que seja feito acompanhamento da amostra, ao longo do tempo, mantidas as condições de campo).

Nas imagens da figura 3.23 estão apresentadas duas cenas capturadas e um conjunto (parte inferior) contendo além da região amostrada (segregada

da cena) a distribuição do valor de pixel resultante.

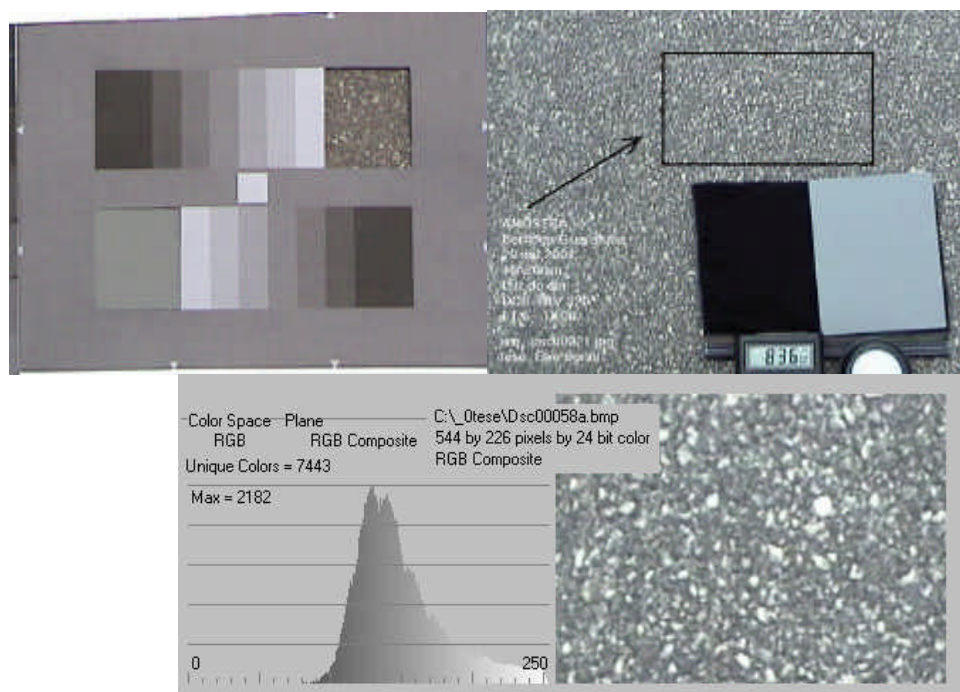


Figura 3.23 - Superfícies de vias durante a captura de amostra (inclusa mascara) e resultado do procedimento (canto inferior esquerdo). Fotos do autor, 2001.

Os resultados do processamento com 3 amostras (imagens) diferentes estão apresentados na figura 3.24, na parte superior está um pavimento em concreto tipo *withetopping*, imagem coletada na Rua do Matão, “ponto de ônibus” na USP; na parte intermediária (figura 3.24) é de amostra de pavimento asfáltico recolhida da rodovia Anhanguera, pista interior-capital, altura do Anel viário Mario Covas (ver figura 3.20) e a imagem inferior é de amostra de pavimento betuminoso obtida na CUASO/USP.

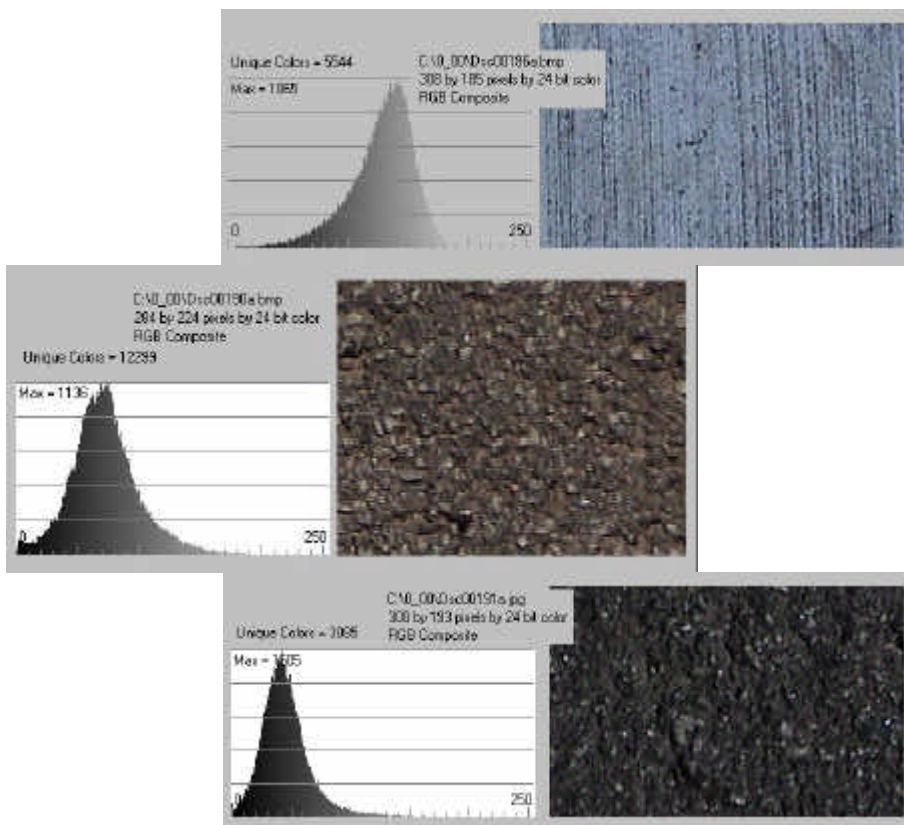


Figura 3.24 - Resultados do processamento para 3 tipos (superior:concreto withetopping, CUASO/USP; centro rodovia Anhanguera; inferior asfalto CUASO/USP), iluminante: LD. Fotos do autor.

Em cada parte da cena, à direita está uma seção da imagem original, e à esquerda a distribuição resultante da intensidade do valor de “pixel” correspondente, contido na amostra que foi retirada da imagem. Como iluminante hemisférico foi utilizada a LD. A informação numérica obtida das imagens, depois de processadas, pode revelar distribuições distintas (ver figuras 3.23 e 3.24). É possível apreciar, visualmente, a diferença entre os valores da moda que caracteriza cada superfície e cuja rugosidade superficial colabora para seu comportamento de difusor. Outras imagens capturadas da IP, e que poderão ser elaboradas para que o pavimento possa ser conhecido melhor estão reunidas no anexo E.

Na tabela 8 é apresentado o resultado numérico final do processamento estatístico, valor médio da distribuição citada e ICB 95 %, respectivos, para o fator de luminância de imagens de pavimentos, cujas imagens podem ser vistas nas figuras: 3.19, 3.14 e 3.22.

Tabela 8 – Fator de luminância de pavimentos (figuras: 3.19, 3.14 e 3.22)

Tipo (amostra)	Fator de luminância (Refletância) (%)
concreto withetopping	(25,0 ± 1,3)
Anhanguera	(19,3 ± 1,5)
CUASO/USP	(10,7 ± 2,4)
Anel viário: asfalto	(11,4 ± 2,0)
Anel viário: concreto	(25,7 ± 1,2)

O fator de luminância estimado, a partir do refletômetro a CCD, para diversas amostras processadas está apresentado pela tabela 9 (tabela 8, complementada). O procedimento* que utiliza câmera CCD permite que o resultado fornecido ao cliente possa ser acompanhado pela imagem da amostra (ver figura 3.23, parte inferior e figura 3.24).

Nota: * Independência pela utilização da “mascara”, no refletômetro a CCD (procedimento utilizado para determinação do fator de luminância ou refletância), possibilitará diretamente a determinação da luminância (ou sua distribuição em uma cena).

Tabela 9 - Fator de luminância: vários pavimentos típicos de vias no Brasil.

<u>Tipo</u> <u>(amostra)</u>	<u>Fator de luminância (refletância)</u> <u>(%)</u>
concreto withetopping (Rua Matão)	(25,0 ± 1,3)
Anhanguera	(19,3 ± 1,5)
CUASO/USP (arq.: 38)	(10,7 ± 2,4)
Anel viário: asfalto	(11,4 ± 2,0)
Anel viário: concreto	(25,7 ± 1,2)
CUASO/USP (2)	(10,9 ± 2,9)
PR3 (SP, Capital)	(12,1 ± 1,5)
Ylídio F. (SP, Capital)	(9,8 ± 1,5)
PR0 (SP, Capital)	(12,2 ± 1,8)
(arq.: 31)	(11,0 ± 2,0)
(arq.: 34)	(12,5 ± 2,6)
concreto (arq.: 17)	(26,0 ± 2,7)
concreto (arq.: 12)	(25,0 ± 2,6)

O fator de luminância médio (e ICB 95 %, em função do tamanho do conjunto de amostras, n, consideradas) para os 3 tipos de pavimentos, cujos registros foram processados (ver tabela 10).

Tabela 10 - Fator de luminância médio, 3 tipos de pavimentos (vias no Brasil).

<u>Classe do pavimento</u>	<u>Fator de luminância (%)</u>	<u>M/S⁴⁵ (%)</u>
Concreto (n =5)	(25,5 ± 0,6)	2,4
Asfalto, rod. Anhanguera (n =4)	(19,5 ± 1,1)	5,6
Asfalto betuminoso (n =7)	(11,5 ± 0,7)	6,1

Nota: ⁴⁵ M/S - significa dispersão em relação à média, ICB95% dividido pelo valor médio.

4 CONCLUSÕES e RECOMENDAÇÕES

Este capítulo é iniciado com foco nos pontos centrais da pesquisa. São apresentadas conclusões de carácter geral em relação ao estudo realizado sobre as instalações e aquelas relacionadas às informações quantitativas obtidas de instalações para iluminação (seção 4.1). Conclusões específicas sobre o experimento relativo à visibilidade e a capacitação estabelecida, particularmente pelos refletômetros estão reunidas nas seções 4.2 e 4.3. Algumas recomendações imaginadas factíveis estão apresentadas, agrupadas por área: educação, iluminação, normalização técnica, equipamentos e instalações, arcabouço legal, pesquisa e outros trabalhos (seção 4.4). O capítulo é encerrado com uma síntese de pontos destacados da contribuição (seção 4.5).

No trabalho elaborado foram desenvolvidos estudos com aplicação ao setor público (IP), tecnologias, capacitação local, conhecimentos associados a critérios de qualidade e uso final de energia para iluminação de logradouros. A partir do conceito de luminância foi demonstrada a importância da IP como sistema (não apenas a instalação, os seus equipamentos). A IP foi considerada como sistema (a instalação e o pavimento) nas avaliações sobre a utilização de energia, tendo sido observado aspectos de visibilidade e subsequente sensação de segurança a seus usuários.

O desenvolvimento realizado possibilita avanços no uso final de energia elétrica na iluminação de exteriores, após estudar o tema e apresentou evidências sobre visibilidade a uma esfera, posicionada na superfície de via

típica, asfalto macadamizado (pedra britada e betume artificial ou piche), para a instalação funcionando na condição nominal e numa faixa abaixo desta; agrega capacitação para conhecimentos sobre característica de reflexão de superfícies, quais aquelas para acabamento superficial típico de logradouros brasileiros providos de Iluminação Pública.

O consumo energético para iluminar logradouros a partir de luz elétrica e patamar de luminância definido, em base municipal ou do país é apreciável e representa custo relevante para a sociedade. A fração da energia elétrica suprida deve ser computada em conjunto com a fração correspondente ao pavimento da via, pois não são independentes, devem formar sistema único, no caso do resultado buscado seja atendimento às necessidades de seus usuários.

O desenvolvimento tecnológico foi realizado para possibilitar lastro em atividades a partir do conceito da luminância e servir como base à ampliação de conhecimentos por critério de qualidade com base na visibilidade. Enquanto posição verbal, parametrizada a partir da resposta de observadores presentes na cena do experimento considerado, a visibilidade é resultado (médio) do processo visual humano que independe da resposta espectral ou exatidão instrumental relativa a observador padrão idealizado (e cuja conformidade instrumental não tem sido verificada).

A capacidade de restituir a energia radiante visível incidente em superfícies, como os pavimentos típicos de vias locais foi outra necessidade identificada, para a qual este trabalho apresentou solução de capacitação para obtenção de conhecimento. Ela foi materializada pela elaboração de 3 refletômetros (também foi utilizado um quarto aparato, adaptado para

levantamento do fator de luminância, refletância, com variações angulares). Destaque é dado ao refletômetro a partir de câmera digital CCD, com o procedimento original correlato, e para a esfera integradora especial construída. A disponibilidade de equipamentos e metodologia permite o estabelecimento de capacitação local para realizar serviços e estudos sobre fator de luminância e refletância difusa de superfícies.

Os conhecimentos que foram obtidos sobre amostras típicas dos pavimentos locais não estavam disponíveis no país, os quais em conjunto com as evidências coligidas em trabalho de Berkeley (Akbari, et al., 2001) tornam-se elementos indicativos de possíveis reduções de: emissão térmica e consumo energético, principalmente, por instalações típicas de IP no Brasil. É o caso de haver opções pelo uso de pavimento mais claro, em relação ao asfalto comum (para manter igual luminância, o pavimento escuro necessita maior potência elétrica instalada, mantido inalterado o tipo de fonte primária utilizado) e emissão térmica pelo pavimento, que no meio urbano, no verão, poderá significar redução no consumo de outros energéticos (para arrefecimento) e melhoria no conforto térmico. Tais conhecimentos e a capacitação tecnológica estabelecida poderão:

1 - induzir incremento da eficiência energética em IP, sem aumento da potência (elétrica ou luminosa) instalada e sem redução de visibilidade;

2 - colaborar para decisão sobre mudanças na revisão da NBR 5101, 1992, quanto a uma migração conceitual, pretendida e necessária, para luminância e talvez no futuro para visibilidade como critérios para avaliar projetos e serem feitas verificações da luz produzida na IP de países considerados em desenvolvimento qual o Brasil; e

3 - desenvolver recursos humanos e viabilizar a realização de outras pesquisas científicas.

A necessidade da iluminação viária (IP) receber intervenção para melhoria, não é uma conclusão isolada original, e que serviu para motivar o trabalho realizado. Ela tinha sido clamada por Forjuoh S. N e Li, G., 1996 como instrumento auxiliar para prevenção a ferimentos e danos aos usuários em países em desenvolvimento. Mais da metade das quedas sofridas pelas pessoas no espaço público, em parte está atribuída à falta de adequação na iluminação das ruas (a outra parte é devida às superfícies sem nivelamento suficiente), segundo J. Fothergill; D. O'Driscoll e K. Hashemi (in: *Jornal of Safety Research*, Summer 1996, v.27, n.2, p.132-133). Um esforço identificado na direção de agregar melhoria na IP foi encontrado no texto-base para projeto de norma técnica: Especificação de Equipamento auxiliar para Lâmpadas VSAP – 50 W, Reator e Ignitor, Sistema VSAP – 50, 1986. Trabalho destinado a auxiliar na substituição das lâmpadas incandescentes no Brasil. Nenhum outro registro sobre possível desdobramento desta ação normativa supra referida foi identificado durante o período de realização desta pesquisa.

4.1 Conclusão: IP

O domínio mais amplo deste trabalho é a IP de país (dito estar) em desenvolvimento. Ao assunto chamado IP ⁴⁶ foi verificado que ele recebe, de longa data, atenção da comunidade científica internacional. As conclusões de caráter geral que a pesquisa permite, em relação a instalações (melhor sistemas) de iluminação, algumas não são novas, pois também puderam ser verificadas na literatura, como: “... existe necessidade de métodos para projetos e manutenção que atenda requisitos específicos de países em desenvolvimento.”; e “... um dos maiores problemas de países em desenvolvimento está na implementação de iluminação viária adequada, confiável (e ainda a custo baixo) ...” (*23rd Session of the CIE in New Delhi, India, 1995*).

A partir da caracterização de um sistema de IP genérico, em determinada localidade, e critérios de qualidade definidos (ou que foram utilizados no projeto) poderão ser identificadas oportunidades para melhorias da eficiência energética em uso final, ser elaborada proposta de programas para esta finalidade; serem feitas indicações quanto às melhores opções para a gestão do sistema, ser verificada a flutuação de tensão elétrica (e qualidade de energia) presente na rede e o atendimento a requisitos estabelecidos na NBR 5101, 1992.

Nota: ⁴⁶- *road lighting; street lighting; area lighting; public lighting*; são alguns dos vocábulos que foram encontrados para designação, às vezes com uma conotação particularizada, porém são para designar áreas sem restrição maior quanto à circulação de pessoas e veículos, e que recebe iluminação sob a tutela “legal” de órgão (de direito) público.

Segurança e proteção são as justificativas que predominam, segundo a prefeitura da CUASO/USP, junto às solicitações para a instalação de iluminação em exteriores. A sensação de segurança que é sentida está fortemente ligada à capacidade de discernimento, mesmo sob a luz do luar (quando ocorre décimos de lux ou do pavimento centésimos de cd/m^2 , nit e ainda é possível enxergar!).

A carga elétrica instalada em IP tem eficácia que depende da rede elétrica, dos seus equipamentos componentes e propriedades da área a ser iluminada: como dimensões da via e refletância de sua superfície. Do ponto de vista energético, uma questão estabelecida durante o desenvolvimento deste trabalho versa sobre quais implicações são esperadas quando é utilizado, em iluminação, critério de qualidade com base no conceito da luminância (no Brasil apenas iluminância está prescrito). O estabelecimento de critérios de qualidade para iluminação com base no conceito de luminância, tecnicamente, significa a possibilidade de ser considerada a energia radiante, na direção da retina do usuário e que pode ser transformada em informação.

A definição de períodos de manutenção (e limpeza) dos sistemas de IP e sua realização com maior frequência, se efetivados resultarão em instalações não super dimensionadas em potência instalada e conseqüente custo operacional majorado para atendimento, ao longo da sua vida útil (ainda pouco conhecida), a requisitos como iluminância, luminância e suas uniformidades.

A capacidade de restituir a luz pela camada superficial do pavimento é fundamental no processo para estabelecimento de um sistema de IP em bases de luminância.

A “refletância” do pavimento é informação importante quando do planejamento (que deveria estar integrado na secretaria de obras) junto ao setor de projetos de IP. Também nas operações de manutenção dos logradouros para que fosse evitada a utilização de materiais diversos, nas necessárias e freqüentes manutenções e reconstruções da camada superficial do pavimento.

Nas localidades que foram estudadas é usual a existência de padrões, na IP, baseados no tipo e potência nominal da lâmpada HID. No tocante à eficiência energética é sinalizado pelo estabelecimento de padrões sem rigidez semelhante, porém padrões relativos: ao tipo de pavimento, a eficácia do fluxo luminoso útil (mlx/W); ($\text{lux.m}^2/W$) e ou a densidade máxima de potência instalada, (W/m^2), mantidos os níveis de luz incidente já normalizados (ou na ausência destes, a manutenção, no mínimo, do mesmo nível de conforto visual, equivalente àquele que seus usuários estão habituados). Outra possibilidade seria a minimização da potência elétrica (ou a maximização do bem estar social, a luz) sem acréscimo de potência instalada.

Algumas das barreiras identificadas junto ao setor de IP local, principalmente, as financeiras e de conhecimentos (equipamentos que são comuns como luminárias estão baseados em produto existente, em 1949 no mercado norte-americano, quando o conceito de luminância ainda não era utilizado; as instalações não têm seu desempenho, em campo, conhecido ou divulgado), poderão ser superadas com estratégias para o estabelecimento de requisitos compulsórios (e regulamentares) e normas técnicas atualizadas, incorporando o uso da energia para produtos, instalações e sistemas, incluso a publicação de guias para auxiliar a disciplinar as práticas do setor, cuja responsabilidade legal é da municipalidade.

A mudança de paradigma poderia começar em bases de um serviço (público) que deve ser externamente fiscalizado e que não pode continuar a receber tratamento de carga (elétrica) noturna e cativa a uma concessionária única em sistema que está interligado. Deveria existir a possibilidade da eletricidade utilizada em aplicações como esta (serviço público) poder ser adquirida pelo menor valor possível.

4.1.1 IP – cenários e registro de instalação

O custo inicial (de capital) de uma instalação energeticamente eficiente pode ser mais elevado, mas o seu custo anual para funcionamento será menor que o custo de uma instalação que atende requisitos equivalentes, porém menos eficiente. É importante considerar o custo total do ciclo da vida do sistema completo (o pavimento e a instalação). Projeções neste sentido foram coligidas na literatura, onde são apresentadas como cenários comparativos entre opções de projeto, tendo como parâmetro principal o pavimento, em asfalto (coloração entre o castanho-escuro e o negro) e o concreto cuja coloração, comparativamente, é mais clara.

Cenários para o concreto – Nele estão simulações comparativas para custos e redução de consumo de energia elétrica na IP, devidos à utilização de pavimento em concreto em lugar de duas opções de asfalto, partir de estudo considerado (período de 50 anos). A consideração energética, exclusivamente elétrica, sobre o consumo da iluminação tem base na diferença de potência nominal das lâmpadas padronizadas (400 W quando asfalto e 250 W utilizada

no caso do concreto); e

Cenários RP-8: R1-R3/R4 - Dois cenários, baseados em opções para dimensionamento de sistemas, com duas simulações cada um, para o consumo energético e custos associados (inicial, energia e manutenção) foram apresentados. Em ambos os casos existem previsões para redução do consumo (exclusivamente) de energia elétrica direta, para 69 %, quando o pavimento tipo R1 (concreto) é utilizado em lugar de R2/R3 (asfalto). As diferenças entre os montantes necessários para implementar as opções de projetos são suficientes para manter a opção do sistema mais vantajoso (R1), em funcionamento por 7,5 anos ou por 9,1 anos, caso os mesmos possam ser implementados em local cujo pavimento tenha propriedades equivalentes ao tipo denominado R1.

O conhecimento destes cenários é condição necessária, porém a sua suficiência apenas será alcançada a partir da existência de capacidade para identificação quantitativa da diferença entre o fator de reflexão dos pavimentos locais.

Foi estudada a possibilidade de serem fixados níveis (valores numéricos) para a iluminação, considerando parâmetros tradicionais (E, L). Para recomendação desta natureza, com base nas correlações realizadas (seção 3.3) será necessário estabelecer um nível de satisfação aos usuários, assunto que não fez parte dos objetivos deste trabalho. Sendo consideradas as questões: energética e da possibilidade de visibilidade, iluminância não superior a 60 lux e não inferior a 0,2 lux; e luminância não superior a 3 cd/m² (nit) são balizas numéricas extremas que foram identificadas na literatura

coligida. Foi verificado, a partir do experimento, comportamento assintótico da curva estabelecida, ao limite superior da ordem de 3 cd/m^2 (referência inicial da condição de adaptação da visão fotópica). Para iluminância, os resultados do experimento apresentados por Leslie⁴⁷, R. P., 1998, onde é considerada condição intermediária (escala -5 a +5) das respostas, por interpolação do gráfico (cujo limite superior vai até cerca de 64 lx) pode ser obtido: 6,9 lx corresponde à posição intermediária supra citada.

A partir de experimento realizado em algumas cidades européias Fischer, D., 1975 apresenta dados sobre visibilidade, porém utilizando escala de luminância média da via (eixo das abscissas; no caso deste trabalho de tese foi utilizada a luminância do ponto onde a esfera ficou posicionada) e resposta de usuários (em escala de 1 a 9; cujo limite superior, resposta inferior a 8 ocorre para cerca de $1,8 \text{ cd/m}^2$) e onde a condição intermediária, por interpolação gráfica corresponde a $0,47 \text{ cd/m}^2$ (e para 82% do máximo das respostas, $1,0 \text{ cd/m}^2$).

No trabalho realizado foi fixado registro de instalação que permite caracterizar um sistema de IP típico, foram identificadas oportunidades para melhoria de eficiência energética, faltar critérios e gestão ao sistema, descompassos no atendimento a NBR 5101, 1992, flutuação de tensão elétrica; indicações que seguramente podem ser aplicáveis a outras regiões do país onde ainda não dispomos de dados sobre medições em campo.

Notas: ⁴⁷ Outros valores são apresentados: 3 lux (iluminância média horizontal de projeto) com fins de segurança; comparativamente, no setor comercial o valor 9 lux, industrial 7 lux e residencial 0,5 lux.

Eles apresentam para iluminância horizontal⁴⁸ média a faixa de (2,7 a 26,2) lux e (3,7 a 19,2) lx.m²/ W para a relação entre o fluxo luminoso, calculado, que incide na área definida entre postes e a potência elétrica nominal da lâmpada na instalação considerada. E está citado: “A visão tendencial da efficientização da IP, mediante troca de tecnologias apresenta potencial limitado uma vez que a participação de lâmpadas de VMAP, com escasso potencial de ganho na substituição por lâmpadas de VSAP de 70 W”. Ainda, a predominância da parcela transporte (65 % e 80 %; em diferentes períodos) na composição do custo total para recuperação de um ponto de luz, cuja maior taxa de falha (40 %) é devida à lâmpada; (25 %) a conexões; (20 %) à relé fotoelétrico e (15 %) a reatores (Sauer, I. L., et al., 2001).

Considerando todos os registros lançados no trabalho é possível definir para instalações de IP no Brasil, em valores médios, funcionamento nas faixas de: (2,7 a 57) lux e (3,7 a 48) m²/ W.

Nota: ⁴⁸- Para melhor acuidade sobre o fluxo luminoso de pontos de luz existe necessidade de conhecimento sobre desvios possíveis na resposta dos luxímetros conforme o tipo de fonte sob medição. Segundo as práticas conhecidas, esta verificação de conformidade não é realizada ou fornecida, nas aferições/calibrações de luxímetros no Brasil. Assumir que equipamentos deste tipo possuem correção adequada, sem qualquer verificação, pode conduzir a erros significativos.

4.1.2 IP: tópico da teoria

Em via pública, a função do sistema de iluminação é prover luz artificial nos ciclos noturnos de cada dia, uniformemente distribuída, com um “brilho” médio específico (em função do tipo e classificação da via) fazendo com que os objetos possam ser percebidos, normalmente em visão de silhueta, contra a superfície da via iluminada ao fundo. Nas regiões da via sem iluminação suficiente, os obstáculos ainda poderão ser percebidos em visão de silhueta reversa, contra a superfície escura da via.

O estímulo físico ao sistema visual humano, sofisticado e complexo, fica efetivado para o observador quando alguma alteração é percebida a partir da iluminação. A capacidade ou acuidade visual, em geral, está referida em termos de menor ou maior visibilidade a determinado objeto visado (alvo), considerada a influência de processos e fatores fundamentais para a visibilidade (tamanho, brilho, contraste e tempo). As ilusões ópticas não devem ficar esquecidas. Em teoria, o olho humano funciona como um “instrumento quântico”. A energia dos fótons alcança o cérebro como corrente elétrica, ainda que a conversão desta corrente, no que é chamada visão (e a teoria sobre o processo de geração junto aos receptores na retina), no meio científico ainda possui entendimento parcial.

Em IP a adaptação visual flutua entre faixa que se inicia próxima ao limite inferior da condição fotópica em sentido à região escotópica. Esta condição de sensibilidade, intermediária, não está reproduzida no instrumental convencional existente, idealizado para reproduzir a sensibilidade do observador padrão CIE em medições físicas (condição fotópica).

Esta dicotomia é preocupação central que conduziu à primeira parte do trabalho, o experimento realizado sobre visibilidade. Nele foi estabelecida relação entre o resultado dos fotômetros (medição física) e o interesse dos usuários, em termos de capacidade visual para diferentes intensidades de luz em sistema para iluminação artificial, num espaço público. Como resultados foram determinadas correlações entre resposta de usuários com luminância e iluminância. A validade do experimento pode ser concluída a partir de comparação com a Lei de Fechner (Weber-Fechner e ou *Stevens Power Law*) que relaciona a resposta sensorial humana com a intensidade do estímulo físico externo.

A mudança nas respostas afirmativas sobre a cor cinza da esfera utilizada para “esfera escura” devida a redução do fluxo luminoso controlado também é registro importante do experimento realizado no Brasil. Ela propicia evidência sobre a região de transição na adaptação visual humana de fotópica (ou cromática) para o sentido da sensibilidade mesópica.

4.2 Experimento CUASO/USP – Rouen/CETE

A pesquisa sobre visibilidade e eficiência energética, em sistemas de IP no Campus da Universidade de São Paulo, CUASO/USP, foi realizada a partir de experimento que considerou como parâmetro resposta resultante da percepção humana. Foi estabelecida correlação entre as respostas dos usuários, baseada na sua reação de visibilidade a uma esfera colocada sobre a superfície da via e o resultado de medições físicas, tradicionais⁴⁹ (luminância e iluminância), nos mesmos locais. O fator de correlação entre as respostas de usuários e os respectivos valores de luminância da via é superior à iluminância, o que confirma o potencial da utilização de critério de qualidade, em IP, com base no conceito de luminância. A dispersão, relativamente elevada dos dados experimentais correlacionados, é considerada evidência provável das alterações inerentes a uma condição visual transitória que justifica a dificuldade e ausência da definição da sensibilidade visual “mesópica”, em âmbito internacional. Uma possibilidade sugerida para tentar diminuir esta dispersão é considerar, em conjunto, outro valor de luminância⁵⁰, ou seja o contraste de luminâncias (de diferentes regiões do próprio objeto alvo; dele e a região da via na sua vizinhança).

Nota: ⁴⁹ Cientes das alterações de adaptação na sensibilidade visual, já discutidas, que ocorrem na faixa de luminância presente durante a realização do experimento. Provável razão para a dispersão elevada que é possível ser observada neste e em outro experimento (Fisher, D., 1975, Fig. 3, valores de luminância média para: The Hague; Amsterdam; Eindhoven, setembro, 1969).

⁵⁰ A parte do experimento realizada no Brasil foi planejada para considerar a luminância da via e disponibilidade do luminancímetro num período de tempo limitado. O aumento substancial do número de pontos de medição (com luminancímetro convencional e procedimento de mira adotado) para cálculo de contraste tornaria o levantamento impraticável.

Parte do experimento realizado pôde ser filmado de posição fixa e próxima ao local onde os olhos dos observadores ficaram posicionados. Ainda que não esteja disponível a calibração completa da câmera para valor absoluto de luminância, o estudo de um critério melhor elaborado para visibilidade poderá ser iniciado pelo cálculo do contraste a partir de uma das cenas capturadas.

A disponibilidade identificada em sistema de IP para fornecer luminância média da ordem de 1 cd/m^2 (valor que está próximo ao requisito mais elevado, estabelecido na referência dos EUA, RP-8-00, $1,2 \text{ cd/m}^2$), em relação à potência elétrica suprida, quando compatível com VSAP 150 W, consideradas as características e limitações principalmente quanto à distribuição luminosa da instalação utilizada é um resultado de desempenho que foi apresentado. Estes dados poderão ser útil como base para pesquisa por soluções com sistemas de iluminação eficiente em uso racional de energia elétrica. Estes resultados levaram à informação que poderão auxiliar a nortear uma padronização na mudança tecnológica em curso, da tecnológica de fonte artificial de luz elétrica, VMAP para VSAP (no caso da prática vigente ficar inalterada), mesmo que exista espaço para avanço devido à uniformidade da iluminação.

O mesmo procedimento do experimento realizado no CUASO/USP foi repetido em Rouen, França, cujas informações foram utilizadas em conjunto com os dados gerados pelo experimento no Brasil, em metodologia que demonstra possibilidade de avanços, do ponto de vista energético, pela consideração da IP como o sistema preconizado por este trabalho de tese.

4.2.1 Fluxo luminoso e potência elétrica

A relação entre o fluxo luminoso incidente na superfície da via e a potência elétrica absorvida da rede por dois sistemas VSAP foi equacionada. Ela possui aplicação na análise de custo associado à redução de consumo, geralmente, relacionado com a potência elétrica. Outra possibilidade de utilização está no dimensionamento do consumo energético pelos efeitos relacionados às variações da tensão da rede elétrica.

4.2.2 Iluminância em vias

A comparação entre os valores da iluminância média, no plano da via, para as instalações no Brasil e França, não pôde ser feita devido ao experimento realizado em Rouen, França ter sido realizado com VSAP 150 W, e no Brasil apenas o sistema VSAP 250 W foi capaz de produzir “luminância equivalente”.

A “eficiência” luminosa calculada, em (mlx/ W), permite ser atribuída vantagem da ordem de 13 % à instalação de Rouen, exclusivamente, na tarefa de produção de luz, no nível da via, na área de interesse e ambas instalações sob condições nominais (100 %) de rede elétrica.

A correlação estabelecida sobre todas as respostas (avaliação dos usuários) obtidas para visibilidade e os registros de iluminância correlata, na superfície da via em cada um dos dez locais onde a esfera foi colocada no

Brasil, indica parâmetro de correlação moderado e aceitável, (R^2) igual a 0,5101 ($R=0,71$). A dispersão dos resultados não experimentou melhora e o parâmetro de correlação piorou em relação ao resultado contendo apenas registros para o sistema VSAP 250 W (Burini, et al., 2001). A maior dispersão dos dados, em relação ao subconjunto VSAP 250 W é atribuída às alterações de adaptação na sensibilidade visual, que ocorrem na faixa de luminância presente em situações noturnas sob IP, e provavelmente deva ser o motivo da redução (piora) no fator de correlação.

Ao conjunto de todas as avaliações dos usuários da iluminância na superfície da via, obtidas no Brasil, foram agregados os dados da segunda parte do experimento realizado em Rouen (Bacelar, et al., 2001). Eles permitem parâmetro de correlação (R^2) igual a 0,5391 ($R=0,73$). A dispersão não apresentou melhora e a correlação experimentou elevação (modesta) pouco significativa.

4.2.3 Luminância das vias

Para valores de luminância média da vias similares, na direção da retina dos observadores e instalações sob condições nominais, apenas o caso do sistema (pavimento e instalação) brasileiro VSAP 250 W pôde ser considerado, comparativamente, em relação a Rouen, França VSAP 150 W (com dispersão maior dos dados obtidos no Brasil).

As eficiências luminosas calculadas não apresentam diferença significativa, do ponto de vista da instalação e diferentes áreas das vias, porém

para igual período de utilização, o sistema francês fornecerá luminância similar, utilizando, comparativamente, 60 % da energia que é utilizada pelo sistema utilizado no Brasil (VSAP 150 W contra VSAP 250 W) para patamares de eficiência na produção de luz, próximos⁵¹.

A correlação estabelecida sobre todas as respostas (avaliação dos usuários) obtidas para visibilidade e os registros de luminância da superfície da via na direção dos observadores, obtidos no Brasil⁵², apresentou parâmetro de correlação (R^2) igual a 0,6402 ($R=0,80$). A dispersão não experimentou melhora e correlação (em relação ao valor divulgado anteriormente, apenas para VSAP 250 W, Burini, et al., 2001) piorou. A maior dispersão dos dados deve ser devida as alterações de adaptação na sensibilidade visual, já referida, que ocorre na faixa de luminância presente em situações de IP, e provavelmente deva ser o motivo da redução (piora) no fator de correlação. À todas as avaliações dos usuários obtidas no Brasil, para luminância, foram agregados os dados da segunda parte do experimento realizado em Rouen, França, sendo obtido parâmetro de correlação (R^2) igual a 0,5787 ($R=0,76$). A dispersão e a correlação não experimentaram qualquer melhora. A correlação presente nos dados de Rouen aqui incluídos, quando avaliada de forma isolada, foi verificado ser baixa e, provavelmente, deva ser o principal motivo para a redução no valor do fator de correlação de todos os dados (Brasil e França).

Notas: ⁵¹ Para a instalação no Brasil a uniformidade geral (U_o) da luminância (mínima pela média) vale 0,36 e (máximo pela mínima) igual a 5; e na França a uniformidades geral (U_o) da luminância (mínima pela média) vale 0,46 e (máximo pela mínima) igual a 3,6; e

⁵² Estão inclusos os dados referentes a 4 sistemas diferentes MVM, VSAP (150 e 250) W e as 10 posições em que a esfera foi colocada.

No entanto, isto não traz alteração à estimativa feita a partir da curva ajustada para todos os dados brasileiros (Burini, et al., 2002), da ordem de 1 cd/m^2 em correspondência ao meio de uma faixa para respostas, cujo máximo é dado pela assíntota à curva ajustada (e o mínimo vale zero). A superioridade do fator de correlação para as respostas e luminância, em relação a iluminância, está mantido (Burini, et al., 2001 e 2002).

4.2.4 Coeficiente de luminância da via

O coeficiente de luminância da via é característica relacionada ao sistema conforme definido neste trabalho. É importante porque expressa a influência do pavimento na direção do observador. A partir das medições⁵³ físicas feitas na CUASO/USP para instalação com tecnologia VSAP, foi possível identificar a capacidade de cada sistema (nas condições dadas pelo experimento) para produzir luminância (na direção do observador) a partir do fluxo luminoso (ponto de operação) que pode ser amostrado através de sua iluminância.

Nota:⁵³ As amostras das medições para as instalações VSAP (150 e 250) W, nos 10 locais onde a esfera foi posicionada, é que foram utilizadas para a determinação do coeficiente de luminância, por ajuste linear, resultando, separadamente em valores ($0,07 \text{ cd.lm}^{-1}$) para o sistema com instalação VSAP 150 W e ($0,06 \text{ cd.lm}^{-1}$) para o sistema com instalação VSAP 250 W no Brasil.

A comparação entre os sistemas no Brasil e na França, a partir das correlações, apresenta coeficiente de luminância no valor de $(0,096 \text{ cd.lm}^{-1})$ para o sistema em Rouen, instalação VSAP 150 W e $(0,077 \text{ cd.lm}^{-1})$ para a USP quando utilizado o conjunto dos dados obtidos para as instalações VSAP (150 e 250) W. Assim, considerada a capacidade de cada sistema em produzir luminância na direção de interesse (do observador), por unidade de fluxo luminoso disponível da instalação (a partir de energia elétrica), a superioridade de desempenho do sistema francês foi verificada, a partir de aproximadamente 5 lúmen/m^2 (lux), no plano do pavimento. Este procedimento explicitou a diferença entre os sistemas a partir do coeficiente de luminância obtido de amostra com 10 posições da via, locais onde a esfera foi colocada. As mudanças da instalação, diferentes distribuições de intensidade luminosa, são o motivo mais provável pela diferença encontrada para os coeficientes de luminância determinados para os sistemas contendo a via brasileira utilizada nesta parte do trabalho.

4.3 Refletômetros

Foi realizado desenvolvimento de tecnologia a custo baixo, estabelecida capacitação e obtidos conhecimentos sobre a refletância, principalmente de superfícies utilizadas em pavimentos de vias. A variedade de refletômetros utilizados é devida a tipos de aplicações distintas. O refletômetro integrador (esfera integradora especial) necessita de amostra com diâmetro mínimo da ordem de 18 cm, possui fonte incandescente própria e presta-se à determinação da refletância difusa de superfícies planas. O refletômetro denominado Macbeth pode ser utilizado com amostra de diâmetro a partir de 3 cm, possui fonte incandescente própria, fecho com incidência na direção da normal à superfície de interesse, sensor com colimador formando ângulo de 30 graus afastado em relação à direção da normal e possibilita a determinação do fator de luminância, $b_{0,30}$. O refletômetro denominado RCCD é composto por sistema de medição com câmera digital CCD, depende de fonte de luz externa (e da sua distribuição, tendo sido utilizado fonte difusa) e escala de tons de cinza neutro (as imagens foram capturadas na direção da normal à superfície de interesse) e possibilita a determinação do fator de luminância. O equipamento denominado *scanner*, que possui fonte própria de luz fluorescente, também propicia a captura de imagens tendo sido utilizado sem qualquer referencial com refletância conhecida. As imagens foram capturadas na direção da normal à superfície de interesse e nesta condição possibilitou a determinação relativa do fator de luminância de 2 amostras de pavimento. O refletômetro denominado Pulz.Moreira (angular) possui fonte incandescente

própria, fecho limitado e fotoelemento com colimador, ambos com direção ajustável em passo discreto, e assim possibilita a determinação do fator de luminância, sob vários ângulos de incidência e observação. Todo refletômetro utilizado na determinação de valor absoluto fez uso de referencial com refletância declarada (ainda que existam métodos diretos para a determinação absoluta).

4.3.1 Refletância difusa

A refletância difusa foi determinada, em amostras diversas, pela utilização do refletômetro integrador (esfera integradora especial) construído e possui lastro em referencial de refletância conhecida⁵⁴. A tinta, à base de sulfato de bário utilizada no acabamento interno da esfera agregou o uso do termo tecnologia própria, desenvolvida, para sua elaboração. A capacitação para determinação de refletância difusa é avanço importante estabelecido neste trabalho, tendo sido passo fundamental no caminho ao refletômetro RCCD.

4.3.2 Fator de luminância (angular)

Foi realizado levantamento de pavimento e verificado o seu comportamento sob diferentes ângulos de observação e incidência da fonte.

Nota: ⁵⁴ O referencial utilizado (cartão Kodak, *grey card*) possui refletâncias com valor nominal de 18 % e 90 % e incerteza de 1 %.

Para ângulos de incidência superiores a 40 graus foi verificado aumento da luz refletida (lei de Fresnel). Os resultados de medição indicaram estabilidade do fator de luminância dentro de faixa angular ampla, ausência de comportamento especular da amostra utilizada (Anhanguera). O levantamento angular completo de uma amostra é factível para atendimento a demanda de um projeto ou para pesquisa (desenvolvimento) de novos pavimentos*.

4.3.3 Câmera CCD e tons de cinza

Um sistema de medição a partir de câmera digital CCD foi idealizado e implementado. Ele traz vantagens ao processo de coleta de amostra (não necessita extração física ou ser destrutivo); de aquisição, armazenamento das informações e agrega mais dois canais simultâneos em relação a um sistema de medição convencional. Passa-se a dispor de mais dois outros sinais dentro do espectro visível das radiações eletromagnéticas. O sistema implementado foi aferido a partir de referenciais elaborados (diferentes tons de cinza neutro), cuja determinação quantitativa foi feita através da utilização do refletômetro (esfera) integrador. A inclusão da “mascara” elaborada (escala com tons de cinza) com refletância conhecida permitiu estabilidade e repetibilidade dos resultados.

Nota: *Existe elevação no valor da refletância de um pavimento betuminoso, ao longo do tempo, até certa estabilização (período referido na literatura inglesa como de comissionamento).

O fator de luminância de pavimentos típicos foi determinado a partir do refletômetro a CCD e pode ser fornecido ao interessado acompanhado da imagem onde estão os registros originais utilizados para a determinação. A informação numérica obtida das imagens dos pavimentos revela distribuições distintas que podem ser utilizadas para classificar estes pavimentos*.

4.3.4 Imagem por scanner

O “scanner” é uma opção alternativa ao uso da câmera (com custo menor) já que permite gerar imagem digital de amostra, sua limitação é a falta de portabilidade. A partir da observação do funcionamento do “scanner” em utilização convencional, foi idealizada e desenvolvida a metodologia original do refletômetro a CCD. A metodologia aplicada ao uso do “scanner” permitiu resultado refletométrico comparativo, em relação a uma das amostras coletadas. A ausência de um referencial junto à imagem, cuja refletância seja conhecida impede a determinação, em termos absolutos, porém, é opção atrativa e que deverá ser considerada, especialmente, num impedimento da câmera CCD.

Nota: * Se for conferida independência à metodologia elaborada, em relação à utilização da “mascara”, no refletômetro a CCD (procedimento utilizado para determinação do fator de luminância ou refletância), isto possibilitará diretamente a determinação da luminância (ou sua distribuição em uma cena). Um caminho explorado nesta direção foi a aferição da câmara que pode ser realizada com base na luminância transferida de equipamento calibrado para uma série de imagens capturadas. Porém, não foi possível a determinação de equação funcional única que possa ser utilizada a partir de um amplo conjunto de ajustes da câmera. Para alguns ajustes particulares da câmera a determinação referida foi realizada.

4.3.5 Fator de luminância

A refletância em uma direção fixada (ou fator de luminância) foi determinada para amostras com a utilização do refletômetro denominado Macbeth e possui lastro em referencial de refletância⁵⁴. Entre as amostras utilizadas encontram-se folhas de papéis que foram empregadas como substrato (e impregnadas com tinta) para a elaboração de escala, em tons de cinza (neutro), depois utilizadas na calibração do refletômetro a CCD idealizado.

O fator de luminância médio para as 3 classes de pavimentos, cujos registros foram apresentados (na tabela 10), quando comparados ao asfalto escuro cujo fator de luminância médio é $(11,5 \pm 0,7)\%$, apresentam pela relação simples entre eles, valor da ordem de 1,7 a favor do asfalto (antigo) da rodovia Anhanguera e fator de 2,2 para o concreto.

A diferença relativa entre os resultados obtidos sobre a capacidade de refletir luz por pavimentos permite validar análises com base em cenários que indicam vantagens técnicas: menor quantidade de equipamentos a serem instalados para um mesmo resultado final na IP aos municípios; econômica: menor custo do ciclo de vida, e principalmente energética, quer a redução na quantidade de energia elétrica para igual uso final, conforme ficou demonstrado, em base de visibilidade semelhante e consideração do conceito de luminância, quanto a possibilidade de redução na emissão de radiação infravermelha pela superfície do pavimento.

Nota: ⁵⁴ O referencial utilizado (cartão Kodak, *grey card*) possui refletâncias com valor nominal de 18 % e 90 % e incerteza de 1 %.

Sistemas iluminantes e iluminância média diferente, potência nominal das lâmpadas: VSAP 250 W (na parte do experimento no Brasil) e VSAP 150 W; (na França) porém ambos fornecendo luminância média, na direção do usuário, no mesmo patamar é fato que este trabalho de tese estabeleceu e que indica existência de possibilidades de melhoria no uso racional de energia em IP no Brasil utilizando-se luminárias com maior alcance lateral, em termos de intensidade luminosa característica de equipamento para IP e principalmente pelo aumento de refletância da superfície da via que pode ser obtido de várias formas, entre elas pela seleção e adição de carga de pedras mais claras. A utilização do concreto também poderá tornar-se vantajosa nas situações em que esteja garantida a limpeza da via.

4.4 Recomendações

A iluminação pública tem experimentado progresso em relação a problemas de contaminação ao meio ambiente, resultante do descarte sem critério, de componentes e materiais utilizados. Porém, a disponibilidade de informações (cientificamente relevantes) para que possa existir algum acompanhamento desta situação pela sociedade (talvez pela www) é fundamental e deve ser implementado. Sob o prisma ambiental, o balanço financeiro de empresas ISO 14000 é pouco relevante, balanços de outros fluxos, como energético, de contaminante ou materiais que podem representar perigo, deveriam estar disponíveis e poderem ser verificados. Provavelmente seja a falta da existência de exigência sobre a verificação periódica e manutenção, aos requisitos estabelecidos na fase de projeto da IP, ao longo do seu ciclo de vida, o motivo principal (além do financeiro) pelo estado de degradação que pode ser observado, atualmente, em alguns sistemas de IP no Brasil.

4.4.1 Educação

Estabelecer condições à educação, treinamento e ações que façam chegar até as autoridades públicas informações, por exemplo sobre as conseqüências de ser verificada, em intervalos regulares, a condição da IP. É necessário maior difusão de conhecimentos a nível técnico, sobretudo do ponto de vista de disponibilidade de material didático visando um melhor desenvolvimento das atividades em IP.

Neste sentido, existem obras que deveriam ser revisadas para uma nova edição e outras estrangeiras, cuja tradução (e ou preservação) deve ser incentivada, fomentada e realizada, preferencialmente, em meio digital com leitura óptica.

4.4.2 Iluminação

Intensificar a utilização do conceito de luminância como critério alternativo de projeto para iluminação, em paralelo ao critério de iluminância e incentivar estudos sobre visibilidade (conspicuidade e discernibilidade), a partir do contraste de luminância do próprio objeto alvo (esfera); e dele com a sua vizinhança.

4.4.3 Equipamentos e instalações

Ao longo do período de vida útil da camada superficial dos pavimentos, dependendo de sua natureza, supondo asfalto convencional e concreto, a mudança da refletância poderá ter sinais opostos, enquanto a tendência do asfalto é para melhoria da refletância, o concreto pode ter degradação substancial. A sugestão é para que seja feito acompanhamento periódico de alguns locais e pavimentos típicos, sobre o comportamento da refletância.

A consideração sobre a capacidade de absorver energia cinética, pelos postes da IP, num eventual choque com veículo, não tem sido observada no Brasil. Por questão de segurança deve ser considerado particularmente para os poste com localização próxima da via.

Uma sugestão para seção transversal de poste com função de absorver por deformação a energia do choque está apresentado na figura 4.1.

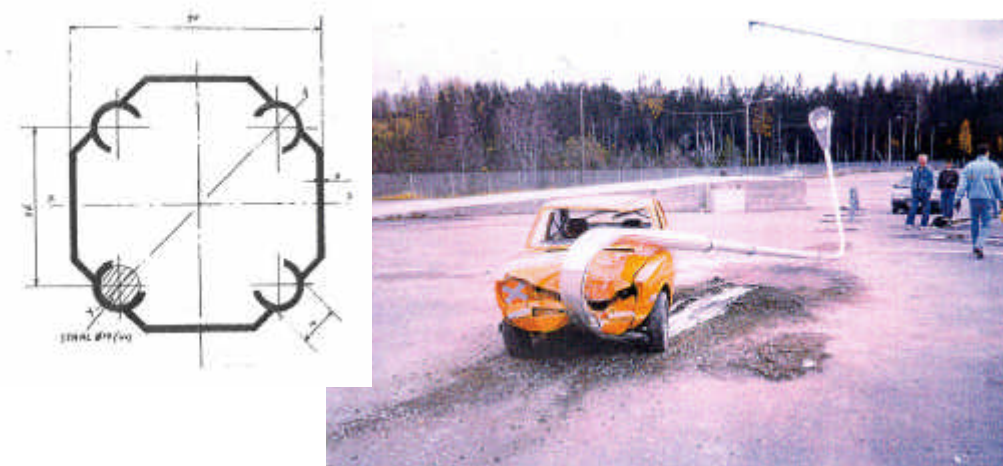


Figura 4.1 – Segurança: capacidade de um poste de IP em absorver a energia cinética durante choque com veículo. À esquerda está representada sugestão de seção transversal para poste próximo de via. Fonte: Scan, 2000.

A poluição luminosa deve ser observada melhor por parte dos agentes da fiscalização (que é imaginado existirem, apesar de muito pouco ativos, não possuem instrumentação adequada, nem serem possuidores de problemas visuais), pois em áreas urbanas a luz perdida pode indicar utilização imprópria de um tipo luminárias, algum problema de posicionamento da mesma ou a luminária com distribuição luminosa não indicada para o local em questão. Luminária adequada para IP geralmente deve possuir intensidade luminosa máxima no sentido da via, em ângulo elevado, bastante afastado da direção vertical, condição que não tem sido observada (não possui ocorrência) no Brasil.

4.4.4 Normalização técnica⁵⁵

Existe necessidade pela definição do sistema de IP, inclusão de requisito que considere a visibilidade como manifestação por parte dos usuários e que devem ser mantidos (inclusa a manutenção devida) e verificados com periodicidade declarada, necessariamente ao longo do ciclo de vida do sistema de IP. A instalação (equipamentos) deve ser considerada em conjunto com o pavimento da via como sistema uno.

4.4.5 Arcabouço legal

O tema legal no âmbito da IP, que esta parte do trabalho toca é relativo aos problemas de ofuscamento (e conseqüente ausência da possibilidade de reconhecimento) que ocorrem devido a não existência de limites ou falta de especificação para a componente da luz (luminância e iluminância) em plano vertical em relação ao pavimento. A falta de parâmetros para controle, em relação aos efeitos negativos da poluição luminosa impõe preocupação devido a perda de visibilidade que ocorre por ofuscamento (situação típica é das instalações lindeiras).

Nota: ⁵⁵ Sugestão dirigida particularmente aos membros da comissão de estudos que atuam na revisão da norma técnica brasileira, a NBR 5101, 1992 e como proposta aos membros de comissão internacional, CIE TC 4-37.

Aos responsáveis pelo planejamento urbano e regional é sugerida a definição dos níveis de luz máximos e quais as atividades que podem ser perturbadas ou impedidas de serem realizadas devido a presença, em determinados locais, de luz não desejada (para orientação inicial é recomendado ver *Planning Manual for “Regional Lighting Environment Plans”, Air Quality Bureau Environment Agency of Japan, June, 2000*).

4.4.6 Pesquisa e outros trabalhos

Os dados obtidos neste trabalho de tese, a partir dos experimentos realizados, tendo sido considerada a IP sob condição de emissão luminosa diferente da nominal e o conjunto de imagens capturadas possibilitarão diversos estudos, como em relação ao coeficiente de luminância (local e médio); a distribuição angular do fator de luminância com fotoelemento CCD. A comparação entre resultados de refletâncias obtidos de amostras (iguais e diferentes), segundo metodologias diferentes poderá ser desenvolvida. A calibração absoluta da câmera CCD para ser utilizada como luminômetro de nova geração. A verificação de independência das informações gravada digitalmente por uma câmera, sua resposta em relação ao conteúdo espectral da iluminação proveniente da cena capturada tem sido resolvida por técnicas a partir de função da distribuição espectral discretizada em comprimento de onda. Este é mais um tema destacado, entre aqueles já citados, no capítulo 1 (como externalidades) que pode dar continuidade ou extensão a trabalho indicado ou iniciado.

4.5 Contribuição ao estado da arte

A pesquisa elaborada encerra estudo teórico e experimento realizado que possibilitou estabelecer correlação, principalmente entre a satisfação de usuários da iluminação pública sob adaptação visual real e medições físicas tradicionais, iluminância (usual) e luminância (pretendida em revisão normativa em curso). O trabalho estabeleceu caminho factível para melhoria da eficiência energética num horizonte ampliado, aos sistemas de IP em países em desenvolvimento como o Brasil.

A busca pela eficiência do uso energético em IP, apenas com base na troca de elementos da instalação é limitada, não tem ocorrido com velocidade suficiente em certas regiões, nem com a racionalidade desejável e possui dependência de tecnologia gerada no exterior.

O trabalho de tese não mudará este cenário radicalmente. Ele aponta para outra direção (que possui interface com infra estrutura viária, área de suporte aos transportes), mostrando que uma solução pode ser implementada localmente e cujo resultado pode ter impacto significativo no balanço energético do meio urbano também no período diurno (ilhas de calor).

Em resumo:

- ✓ Foram apresentados resultados sobre faixas de iluminâncias e eficiência de energia radiante disponível em IP com base na sensibilidade fotópica; ✓
- ✓ Foi estabelecida correlação entre respostas (necessidades visuais) externadas por usuários de IP e o resultado de medições físicas (iluminância e luminância) associadas; ✓
- ✓ Foi estudado critério de qualidade: luminância e a propriedade refletância em relação à energia utilizada na iluminação de vias públicas. Foi indicada alternativa ao padrão de consumo energético da IP sem redução da visibilidade provida por padrões atualmente em uso; ✓
- ✓ Foi identificado para uma via urbana, em termos de satisfação mediana dos usuários para visibilidade a objeto esférico, a luminância de 1 cd/m^2 e consumo energético inferior ao de uma instalação VSAP 150 W típica; ✓
- ✓ Foram construídos refletômetros (referenciais de cinza e tinta); ✓
- ✓ O refletômetro a CCD (e sua metodologia) é ferramenta viável; ✓
- ✓ Foram implementados métodos para a determinação do fator (e coeficiente) de luminância (refletância) de amostras diversas, incluindo superfície de pavimentos típicos utilizados no país; ✓
- ✓ O critério de luminância é superior ao de iluminância porém não é definitivo. Um critério de visibilidade (com base em contraste de luminâncias) deve ser investigado para aplicação futura. ✓

Anexo A - Terminologia e definições (glossário de termos)

Conjunto de termos selecionados ou cuja definição é versão elaborada para estudos e facilidades ao leitor.

(1) - VISIBILIDADE (*visibility*): qualificação atribuída a aparência (da imagem) dum certo objeto quando este encontra-se a determinada distância do ponto de observação, definido pela localização do olho humano. A visibilidade é influenciada por diversos fatores, principalmente, acuidade visual, quantidade de luz, contraste entre o objeto-alvo e seu entorno posterior, fundo, e a transparência do meio entre o objeto e o ponto de observação.

CONSPICUIDADE (*conspicuity*): capacidade de se detectar um objeto, em relação ao seu entorno posterior, fundo, com identificação imediata através dos olhos.

DISCERNIBILIDADE (*discernibility*): Habilidade para perceber, distinguir ou compreender pelo entendimento, mentalmente, não somente pelos sentidos.

DESEMPENHO VISUAL: Estimativa quantificada do desempenho em uma tarefa, levando em consideração exatidão e velocidade. (5.9.16). Nota: Este termo consta no item 3.9.4 [845-09-03], p.38 da TB-23/1991 (NBR 5461 – Iluminação – Terminologia), porém sem qualquer qualificativo, “tal como medido”.

QUALIDADE DE ILUMINAÇÃO: Pertinente a distribuição de luminância no ambiente ou campo visual. O termo é utilizado no sentido favorável (positivo) e indica que todas as luminâncias contribuem favoravelmente para o **desempenho visual**; conforto visual, facilitando a visualização, estética e segurança para a específica tarefa visual envolvida. (5.9.18).

PERCEPÇÃO VISUAL: A interpretação das impressões transmitidas ao cérebro a partir da retina, em termos de informações sobre um mundo físico que encontra-se diante dos olhos. (5.9.15).

(2) - VISIBILIDADE: Atributo ou estado de ser perceptível através da visão. Em muitas aplicações em áreas externas a visibilidade é definida em termos da distância na qual um objeto ainda (apesar de tudo) pode ser percebido através do olho. Em aplicações em interiores geralmente é definida em termos do contraste ou o tamanho de um objeto padrão de ensaio, observado sob condições de visualização padronizadas e tendo o mesmo limiar (entrada, princípio) que o objeto dado. (5.9.14).

Nota: Definições para Pesquisa (numeração, com 3 números e iniciado por 5 é versão conforme itens extraídos de ref.: *Journal of IES*, p.14, oct. 1979).

“CONCEITOS E DEFINIÇÕES DO CÓDIGO DE TRÂNSITO (Anexo I)”

(Para efeito do Código adotam-se as seguintes definições:)

ACOSTAMENTO - parte da via diferenciada da pista de rolamento destinada à parada ou estacionamento de veículos, em caso de emergência, e à circulação de pedestres e bicicletas, quando não houver local apropriado para esse fim.

AUTOMÓVEL - veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, exclusive o condutor.

BICICLETA - veículo de propulsão humana, dotado de duas rodas, não sendo, para efeito deste Código, similar à motocicleta, motoneta e ciclomotor.

BICICLETÁRIO - local, na via ou fora dela, destinado ao estacionamento de bicicletas.

BONDE - veículo de propulsão elétrica que se move sobre trilhos.

BORDO DA PISTA - margem da pista, podendo ser demarcada por linhas longitudinais de bordo que delimitam a parte da via destinada à circulação de veículos.

CALÇADA - parte da via, normalmente segregada e em nível diferente, não destinada à circulação de veículos, reservada ao trânsito de pedestres e, quando possível, à implantação de mobiliário urbano, sinalização, vegetação e outros fins.

CANTEIRO CENTRAL - obstáculo físico construído como separador de duas pistas de rolamento, eventualmente substituído por marcas viárias (canteiro fictício).

CARRO DE MÃO - veículo de propulsão humana utilizado no transporte de pequenas cargas.

CARROÇA - veículo de tração animal destinado ao transporte de carga.

CATADIÓPTRICO - dispositivo de reflexão e refração da luz utilizado na sinalização de vias e veículos (olho-de-gato).

CHARRETE - veículo de tração animal destinado ao transporte de pessoas.

CICLO - veículo de pelo menos duas rodas a propulsão humana.

CICLOFAIXA - parte da pista de rolamento destinada à circulação exclusiva de ciclos, delimitada por sinalização específica.

CICLOMOTOR - veículo de duas ou três rodas, provido de um motor de combustão interna, cuja cilindrada não exceda a cinqüenta centímetros cúbicos (3,05 polegadas cúbicas) e cuja velocidade máxima de fabricação não exceda a cinqüenta quilômetros por hora.

CICLOVIA - pista própria destinada à circulação de ciclos, separada fisicamente do tráfego comum.

CONVERSÃO - movimento em ângulo, à esquerda ou à direita, de mudança da direção original do veículo.

CRUZAMENTO - interseção de duas vias em nível.

DISPOSITIVO DE SEGURANÇA - qualquer elemento que tenha a função específica de proporcionar maior segurança ao usuário da via, alertando-o sobre situações de perigo que possam colocar em risco sua integridade física e dos demais usuários da via, ou danificar seriamente o veículo.

ESTACIONAMENTO - imobilização de veículos por tempo superior ao necessário para embarque ou desembarque de passageiros.

ESTRADA - via rural não pavimentada.

FAIXAS DE DOMÍNIO - superfície lindeira às vias rurais, delimitada por lei específica e sob responsabilidade do órgão ou entidade de trânsito competente com circunscrição sobre a via.

FAIXAS DE TRÂNSITO - qualquer uma das áreas longitudinais em que a pista pode ser subdividida, sinalizada ou não por marcas viárias longitudinais, que tenham uma largura suficiente para permitir a circulação de veículos automotores.

FOCO DE PEDESTRES - indicação luminosa de permissão ou impedimento de locomoção na faixa apropriada.

FREIO DE ESTACIONAMENTO - dispositivo destinado a manter o veículo imóvel na ausência do condutor ou, no caso de um reboque, se este se encontra desengatado.

FREIO DE SEGURANÇA OU MOTOR - dispositivo destinado a diminuir a marcha do veículo no caso de falha do freio de serviço.

FREIO DE SERVIÇO - dispositivo destinado a provocar a diminuição da marcha do veículo ou pará-lo.

GESTOS DE AGENTES - movimentos convencionais de braço, adotados exclusivamente pelos agentes de autoridades de trânsito nas vias, para orientar, indicar o direito de passagem dos veículos ou pedestres ou emitir ordens, sobrepondo-se ou completando outra sinalização ou norma constante deste Código.

GESTOS DE CONDUTORES - movimentos convencionais de braço, adotados exclusivamente pelos condutores, para orientar ou indicar que vão efetuar uma manobra de mudança de direção, redução brusca de velocidade ou parada.

ILHA - obstáculo físico, colocado na pista de rolamento, destinado à ordenação dos fluxos de trânsito em uma interseção.

INFRAÇÃO - inobservância a qualquer preceito da legislação de trânsito, às normas emanadas do Código de trânsito, do Conselho Nacional de Trânsito e a regulamentação estabelecida pelo órgão ou entidade executiva do trânsito.

INTERSEÇÃO - todo cruzamento em nível, entroncamento ou bifurcação, incluindo as áreas formadas por tais cruzamentos, entroncamentos ou bifurcações.

INTERRUPÇÃO DE MARCHA - imobilização do veículo para atender circunstância momentânea do trânsito.

LOGRADOURO - espaço livre destinado pela municipalidade à circulação, parada ou estacionamento de veículos, ou à circulação de pedestres, tais como calçada, parques, áreas de lazer, calçadões.

LOTE LINDEIRO - aquele situado ao longo das vias urbanas ou rurais e que com elas se limita.

LUZ ALTA - fecho de luz do veículo destinado a iluminar a via até uma grande distância do veículo.

LUZ BAIXA - fecho de luz do veículo destinada a iluminar a via diante do veículo, sem ocasionar ofuscamento ou incômodo injustificáveis aos condutores e outros usuários da via que venham em sentido contrário.

LUZ DE FREIO - luz do veículo destinada a indicar aos demais usuários da via, que se encontram atrás do veículo, que o condutor está aplicando o freio de serviço.

LUZ INDICADORA DE DIREÇÃO (pisca-pisca) - luz do veículo destinada a indicar aos demais usuários da via que o condutor tem o propósito de mudar de direção para a direita ou para a esquerda.

LUZ DE MARCHA À RÉ - luz do veículo destinada a iluminar atrás do veículo e advertir aos demais usuários da via que o veículo está efetuando ou a ponto de efetuar uma manobra de marcha à ré.

LUZ DE NEBLINA - luz do veículo destinada a aumentar a iluminação da via em caso de neblina, chuva forte ou nuvens de pó.

LUZ DE POSIÇÃO (lanterna) - luz do veículo destinada a indicar a presença e a largura do veículo.

MARCAS VIÁRIAS - conjunto de sinais constituídos de linhas, marcações, símbolos ou legendas, em tipos e cores diversas, apostos ao pavimento da via.

MOTOCICLETA - veículo automotor de duas rodas, com ou sem side-car, dirigido por condutor em posição montada.

NOITE - período do dia compreendido entre o pôr-do-sol e o nascer do sol.

ÔNIBUS - veículo automotor de transporte coletivo com capacidade para mais de vinte passageiros, ainda que, em virtude de adaptações com vista à maior comodidade destes, transporte número menor.

OPERAÇÃO DE CARGA E DESCARGA - imobilização do veículo, pelo tempo estritamente necessário ao carregamento ou descarregamento de animais ou carga, na forma disciplinada pelo órgão ou entidade executivo de trânsito competente com circunscrição sobre a via.

OPERAÇÃO DE TRÂNSITO - monitoramento técnico baseado nos conceitos de Engenharia de Tráfego, das condições de fluidez, de estacionamento e parada na via, de forma a reduzir as interferências tais como veículos quebrados, acidentados, estacionados irregularmente atrapalhando o trânsito, prestando socorros imediatos e informações aos pedestres e condutores.

PARADA - imobilização do veículo com a finalidade e pelo tempo estritamente necessário para efetuar embarque ou desembarque de passageiros.

PASSAGEM DE NÍVEL - todo cruzamento de nível entre uma via e uma linha férrea ou trilho de bonde com pista própria.

PASSAGEM POR OUTRO VEÍCULO - movimento de passagem à frente de outro veículo que se desloca no mesmo sentido, em menor velocidade, mas em faixas distintas da via.

PASSAGEM SUBTERRÂNEA - obra de arte destinada à transposição de vias, em desnível subterrâneo, e ao uso de pedestres ou veículos.

PASSARELA - obra de arte destinada à transposição de vias, em desnível aéreo, e ao uso de pedestres.

PASSEIO - parte da calçada ou da pista de rolamento, neste último caso, separada por pintura ou elemento físico separador, livre de interferências, destinada à circulação exclusiva de pedestres e, excepcionalmente, de ciclistas.

PERÍMETRO URBANO - limite entre área urbana e área rural.

PESO BRUTO TOTAL - peso máximo que o veículo transmite ao pavimento, constituído da soma da tara mais a lotação.

PESO BRUTO TOTAL COMBINADO - peso máximo transmitido ao pavimento pela combinação de um caminhão-trator mais seu semi-reboque ou do caminhão mais o seu reboque ou reboques.

PISCA-ALERTA - luz intermitente do veículo, utilizada em caráter de advertência, destinada a indicar aos demais usuários da via que o veículo está imobilizado ou em situação de emergência.

PISTA - parte da via normalmente utilizada para a circulação de veículos, identificada por elementos separadores ou por diferença de nível em relação às calçadas, ilhas ou aos canteiros centrais.

PLACAS - elementos colocados na posição vertical, fixados ao lado ou suspensos sobre a pista, transmitindo mensagens de caráter permanente e, eventualmente, variáveis, mediante símbolo ou legendas pré-reconhecidas e legalmente instituídas como sinais de trânsito.

POLICIAMENTO OSTENSIVO DE TRÂNSITO - função exercida pelas Polícias Militares com o objetivo de prevenir e reprimir atos relacionados com a segurança pública e de garantir obediência às normas relativas à segurança de trânsito, assegurando a livre circulação e evitando acidentes.

PONTE - obra de construção civil destinada a ligar margens opostas de uma superfície líquida qualquer.

REGULAMENTAÇÃO DA VIA - implantação de sinalização de regulamentação pelo órgão ou entidade competente com circunscrição sobre a via, definindo, entre outros, sentido de direção, tipo de estacionamento, horários e dias.

REFÚGIO - parte da via, devidamente sinalizada e protegida, destinada ao uso de pedestres durante a travessia da mesma.

RETORNO - movimento de inversão total de sentido da direção original de veículos.

RODOVIA - via rural pavimentada.

SINAIS DE TRÂNSITO - elementos de sinalização viária que se utilizam de placas, marcas viárias, equipamentos de controle luminosos, dispositivos auxiliares, apitos e gestos, destinados exclusivamente a ordenar ou dirigir o trânsito dos veículos e pedestres.

SINALIZAÇÃO - conjunto de sinais de trânsito e dispositivos de segurança colocados na via pública com o objetivo de garantir sua utilização adequada, possibilitando melhor fluidez no trânsito e maior segurança dos veículos e pedestres que nela circulam.

TARA - peso próprio do veículo, acrescido dos pesos da carroçaria e equipamento, do combustível, das ferramentas e acessórios, da roda sobressalente, do extintor de incêndio e do fluido de arrefecimento, expresso em quilogramas.

TRÂNSITO - movimentação e imobilização de veículos, pessoas e animais nas vias terrestres.

TRANSPOSIÇÃO DE FAIXAS - passagem de um veículo de uma faixa demarcada para outra.

UTILITÁRIO - veículo misto caracterizado pela versatilidade do seu uso, inclusive fora de estrada.

VEÍCULO AUTOMOTOR - todo veículo a motor de propulsão que circule por seus próprios meios, e que serve normalmente para o transporte viário de pessoas e coisas, ou para a tração viária de veículos utilizados para o transporte de pessoas e coisas. O termo compreende os veículos conectados a uma linha elétrica e que não circulam sobre trilhos (ônibus elétrico).

VEÍCULO DE CARGA - veículo destinado ao transporte de carga, podendo transportar dois passageiros, exclusive o condutor.

VEÍCULO DE GRANDE PORTE - veículo automotor destinado ao transporte de carga com peso bruto total máximo superior a dez mil quilogramas e de passageiros, superior a vinte passageiros.

VEÍCULO DE PASSAGEIROS - veículo destinado ao transporte de pessoas e suas bagagens.

VIA - superfície por onde transitam veículos, pessoas e animais, compreendendo a pista, a calçada, o acostamento, ilha e canteiro central.

VIA DE TRÂNSITO RÁPIDO - aquela caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível.

VIA ARTERIAL - 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.

VIA COLETORA - 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.

VIA LOCAL - aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas.

VIA RURAL - estradas e rodovias.

VIA URBANA - 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.

VIAS E ÁREAS DE PEDESTRES - vias ou conjunto de vias destinadas à circulação prioritária de pedestres.

VIADUTO - obra de construção civil destinada a transpor uma depressão de terreno ou servir de passagem superior.

Os termo abaixo constam da TB-23/1991 (NBR 5461) – Iluminação – Terminologia, COBEI, ABNT.

3.4.42 **Reflexão** [845-04-42].

3.4.44 **Difusão** [845-04-44].

3.4.45 **Reflexão regular** [845-04-45].

3.4.47 **Reflexão difusa** [845-04-47].

3.4.49 **Reflexão mista** [845-04-49].

3.4.53 **Difusor** [845-04-53].

3.4.54 **Difusor perfeito por reflexão** [845-04-54].

3.4.56 **Lei (co-senoidal) de Lambert** [845-04-56].

3.4.57 **Superfície lambertiana** [845-04-57].

3.4.58 **Refletância** [845-04-58].

3.4.60 **Refletância regular** [845-04-60].

3.4.62 **Refletância difusa** [845-04-62].

3.4.64 **Fator de refletância** [845-04-64].

3.4.68 **Fator de radiância** (\hat{e} ; \hat{a}) [845-04-68].

3.4.69 **Fator de luminância** (\hat{v} ; \hat{a}) [845-04-69].

- 3.4.70 **Coefficiente de radiância** (q_e ; q) [845-04-70].
- 3.4.71 **Coefficiente de luminância** (q_v ; q) [845-04-71].
- 3.4.72 **Valor refletométrico** (R') [845-04-72].
- 3.4.73 **Brilho (de uma superfície)** [845-04-73].
- 3.4.74 **Absorção** [845-04-74].
- 3.4.75 **Absortância** (\acute{a}) [845-04-75].
- 3.4.89 **Fator de difusão** (\acute{o}) [845-04-89].
- 3.4.90 **Ângulo de meio valor** ($\tilde{\alpha}$) [845-04-90].
- 3.1.31 **Intensidade luminosa** [845-01-31].
- 3.4.92 **Retrorreflexão** [845-04-92].
- 3.4.108 **Meio transparente** [845-04-108].
- 3.4.109 **Meio translúcido** [845-04-109].
- 3.4.110 **Meio opaco** [845-04-110].
- 3.5.9 **Fotometria** [845-05-09].
- 3.5.15 **Fotômetro** [845-05-15].
- 3.5.16 **Luxímetro** [845-05-16].
- 3.5.17 **Luminancímetro** [845-05-17].
- 3.5.24 **Esfera integradora. Esfera de Ulbricht** [845-05-24].
- 3.5.26 **Refletômetro** [845-05-26].
- 3.5.27 **Densitômetro** [845-05-27].
- 3.9.49 **Superfície de referência** [845-09-49].
- 3.9.53 **Utilância** (U) [845-09-53].
- 3.9.54 **Utilância reduzida** [845-09-54].
- 3.9.59 **Fator de perdas luminosas** [845-09-59].
- 3.9.60 **Iluminância em serviço** [845-09-60].
- 3.10.29 **Limitação (de uma luminária)** [845-10-29].
- 3.10.30 **Ângulo de visão (de uma luminária)** [845-10-30].

3.10.31 **Ângulo de limitação (de uma luminária)** [845-10-31].

3.10.32 **Refrator** [845-10-32].

3.10.33 **Refletor** [845-10-33].

3.10.34 **Difusor** [845-10-34].

3.11.19 **Transmissividade atmosférica (T)** [845-11-19].

3.11.20 **Alcance óptico meteorológico (v)** [845-11-20].

3.11.20.1 **Visibilidade meteorológica.**

3.11.21 **Limiar de contraste visual** [845-11-21].

3.11.23 **Alcance visual** [845-11-23].

3.11.24 **Alcance geográfico** [845-11-24].

3.12.9 **Campo visual.**

3.12.34 **Fluxo útil.**

3.12.41 **Irradiação.**

3.12.75 **Percepção visual.**

3.12.97 **Visão.**

3.2.9 **Visão fotópica** [845-02-09].

3.2.10 **Visão escotópica** [845-02-10].

3.2.11 **Visão mesópica** [845-02-11].

- Absorção** [845-04-74].
Absortância (á) [845-04-75].
Alcance geográfico [845-11-24].
Alcance óptico meteorológico (v) [845-11-20].
Alcance visual [845-11-23].
Ângulo de limitação (de uma luminária) [845-10-31].
Ângulo de meio valor (ã) [845-04-90].
Ângulo de visão (de uma luminária) [845-10-30].
Brilho (de uma superfície) [845-04-73].
Campo visual.
Coefficiente de luminância (q_v ; q) [845-04-71].
Coefficiente de radiância (q_e ; q) [845-04-70].
Densitômetro [845-05-27].
Difusão [845-04-44].
Difusor [845-04-53].
Difusor [845-10-34].
Difusor perfeito por reflexão [845-04-54].
Esfera integradora. Esfera de Ulbricht [845-05-24].
Fator de refletância [845-04-64].
Fator de difusão (ó) [845-04-89].
Fator de luminância (\hat{a}_v ; \hat{a}) [845-04-69].
Fator de perdas luminosas [845-09-59].
Fator de radiância (\hat{a}_e ; \hat{a}) [845-04-68].
Fluxo útil.
Fotometria [845-05-09].
Fotômetro [845-05-15].
Iluminância em serviço [845-09-60].
Intensidade luminosa [845-01-31].
Irradiação.
Lei (co-senoidal) de Lambert [845-04-56].
Limiar de contraste visual [845-11-21].
Limitação (de uma luminária) [845-10-29].
Luminancímetro [845-05-17].
Luxímetro [845-05-16].
Meio opaco [845-04-110].
Meio translúcido [845-04-109].
Meio transparente [845-04-108].
Percepção visual.
Refletância [845-04-58].
Refletância difusa [845-04-62].
Refletância regular [845-04-60].
Refletômetro [845-05-26].
Refletor [845-10-33].
Reflexão [845-04-42].
Reflexão difusa [845-04-47].
Reflexão mista [845-04-49].
Reflexão regular [845-04-45].
Refrator [845-10-32].
Retrorreflexão [845-04-92].
Superfície de referência [845-09-49].
Superfície lambertiana [845-04-57].
Transmissividade atmosférica (T) [845-11-19].
Utilância (U) [845-09-53].
Utilância reduzida [845-09-54].
Valor refletométrico (R') [845-04-72].
Visão.
Visão escotópica [845-02-10].
Visão fotópica [845-02-09].
Visão mesópica [845-02-11].
Visibilidade meteorológica.

Anexo B - Aferição de fotômetro

Atualização da aferição do fotômetro (que possui incerteza declarada pelo fabricante de 3 %) marca Minipa, por tipo de fonte, antes e após manutenção na sua fotocélula.

Nota: A coluna (fator atual) são resultados para adequar leituras realizadas a partir de 28/jan./2002. **IMPORTANTE, NÃO UTILIZAR “fator atual” PARA CORREÇÃO DE RESULTADO ANTERIOR A ESTA DATA CITADA.**

Tipo de fonte	Escala (lux)	Fator		Observação (mudança)
		atual	anterior	
INC	200	0,929 (± 1,7 %)	1,06 (± 3,6 %)	0,876
INC	2 k	-----	1,06 (± 1,5 %)	-----
FL	200	0,964 (± 0,3 %)	-----	-----
FL	2 k	0,947 (± 0,3 %)	1,04 (± 1,0 %)	0,9105
VSAP	200	1,171 (± 1,8 %)	1,4 (± 7,5 %)	0,837
VSAP	2 k	1,227 (± 1,2 %)	-----	-----
LD	200	0,828 (± 1,6 %)	0,87 (± 24 %)	0,952
LD	2 k	0,843 (± 3,1 %)	-----	-----
LD	20 k	-----	0,89 (± 6,1 %)	-----
VMAP	200	-----	1,2 (± 4,7 %)	-----
MVM	200	-----	1,11 (± 1,3 %)	-----

Legenda: INC - incandescente; FL – fluorescente; VSAP – sódio alta pressão, ap; LD – luz do dia; VMAP – mercúrio ap e MVM – multivapores metálicos.

O fator de correção deve ser multiplicado pelo valor da leitura do instrumento caso haja interesse por correção e a incerteza, em %, associada a este fator é relativa ao ICB 99 % (NB 1188/1988), quando aplicável.

Anexo C - Compêndio da literatura; C-0: Refletâncias típicas

concreto novo: $(45 \pm 5) \%$, ("com luz branca", Moreira, V.A., 1976)

concreto: $(30 \pm 10) \%$, (Murdoch, 1994)

concreto: 40% , (Egan, M. D., 1983)

tijolos novos: $(25 \pm 15) \%$, ("com luz branca", Moreira, V.A., 1976)

tijolo vermelho: 30% , (Murdoch, 1994)

tijolo vermelho: $(15 \pm 5) \%$, (Egan, M. D., 1983)

cimento: 27% , (Murdoch, 1994)

cimento cinza: $(25 \pm 5) \%$, (Egan, M. D., 1983)

terra: 10% , (Murdoch, 1994)

grama: $(13 \pm 7) \%$ (Murdoch, 1994)

grama (e outros vegetais): $(5 \text{ a } 30) \%$, (Egan, M. D., 1983)

tinta branca: $(65 \pm 10) \%$ (Murdoch, 1994)

tinta branca: $(80 \pm 10) \%$ (Egan, M. D., 1983)

cor branca: $(80 \pm 5) \%$ (Moreira, V.A., 1976)

asfalto: $(7 \pm 3) \%$, ("com luz branca", Moreira, V.A., 1976)

asfalto: $(10,5 \pm 3,5) \%$, (Murdoch, 1994)

asfalto: $(7,5 \pm 2,5) \%$, (Egan, M. D., 1983)

BaSO₄ (DIFUSA): $0,985 \pm 0,2 \%$, (CIE 130, p.53)

MgO (DIFUSA): 0,975; (DIRETA, 0/30 grau): 1,005, (Walsh, p.528, 1953)

MgCO₃ (DIFUSA): 0,98; (DIRETA, 0/30 grau): 0,95, (Walsh, p.528, 1953)

Papel branco (DIFUSA): 0,80-0,85; (DIRETA, 0/30 grau): 0,75-0,80 (Walsh, p.528, 1953)

BaSO₄ (PVA): 0,95, (Brandenberg, W. M., 1966)

BaSO₄ (K₂SO₄): 0,97, (Schutt, J.B., 1976)

Fator de luminância (L/E), (Netherlands Foundation on Illumination, 1959)

concreto: $9,3 \%$;

tijolos: $(7 \pm 2) \%$;

asfalto: $(7,7 \pm 3,1) \%$;

"macadam": $6,2 \%$; e

"todos": $(7,45 \pm 1,72) \%$.

Anexo C - Compêndio da literatura;

C-1: Registros de campo e estatísticas - Boa Vista, RR

Este compêndio é de medições realizadas em out./1997 na cidade de Boa Vista, Roraima. Fonte: (Relatório EPIR, 1999) Sauer, I. L., et al., 2001.

Nota: Valores corrigidos com base no fator 0,97, obtido para fonte incandescente (CORREÇÃO DE RESULTADO).

Local (classe)	Potência (W)	E (lux) (média±ICB95%)	Faixa (lux) [mín. – máx.]	Fluxo (km)	Eficiência (m/ W)
Buritis; (C3) (2x)	250 (VSAP)	(23,9 ± 13,3)	(4,9 – 51,5)	6,1	12,1
.....					
C.Cívico; (C1) (2x)	400 (VSAP)	(18,3 ± 14,7)	(2,9 – 53,4)	14,0	17,5
.....					
Bezerra; (C2) (2x)	250 (VSAP)	(15,7 ± 8,5)	(2,9 – 33,0)	1,3	6,9
.....					
Paranaviana; (C3)	70 (VSAP)	(6,2 ± 3,5)	(< 1 – 8,8)	6,07	19,2
.....					
Liberdade; (C1)	250 (VSAP)	(2,7 ± 2,1)	(0,5 – 7,8)	0,93	3,7
.....					
Pricumã; (C1) (2x)	400 (VSAP)	(26,2 ± 19,6)	(3,9 – 78,6)	9,6	11,9
.....					
Macuxis; (A2) (1x)	400 (VSAP)	(23,0 ± 6,1)	(8,7 – 32,0)	4,8	12,0
.....					
Asa B.; (C1) (2x)	250 (VSAP)	(5,6 ± 4,7)	(<1 – 15,5)	1,44	5,8

Legenda: VSAP – sódio alta pressão.

O fator de informado foi multiplicado pelo valor da leitura do instrumento para correção e a incerteza associada ao valor médio é relativa ao ICB 99 % (NB 1188, 1988).

Anexo C – 2 Registros de campo e suas estatísticas - São Carlos, S.P.

Este compêndio é de medições realizadas em jan./2002 na cidade de São Carlos, S.P. Fonte: Trabalho em campo realizado pelo autor.

Nota: Valores de iluminância não corrigidos e eficiência luminosa calculada com perdas do reator (CORREÇÃO DE RESULTADO).

Local (tipo lum.)	Potência (W)	E (lux) (media±ICB95%)	Faixa (lux) [min. – max.]	Fluxo (km)	Eficiência (m/W)
(A) (4x)	268 (VSAP250)	(25,5 ± 8,5)	(12,3 – 41,5)	8,1	30,2
.....					
(B) (4x)	264 (VSAP250)	(26,7 ± 6,6)	(12,5 – 40,9)	8,4	32,0
.....					
(C) (4x)	257 (VSAP250)	(19,6 ± 8,8)	(7,0 – 35,7)	6,2	24,2
.....					
(local)	880 (VSAP400)	(58,4 ± 25,8)	(25,0 – 115)	25	28,4

Legenda: VSAP – sódio alta pressão.

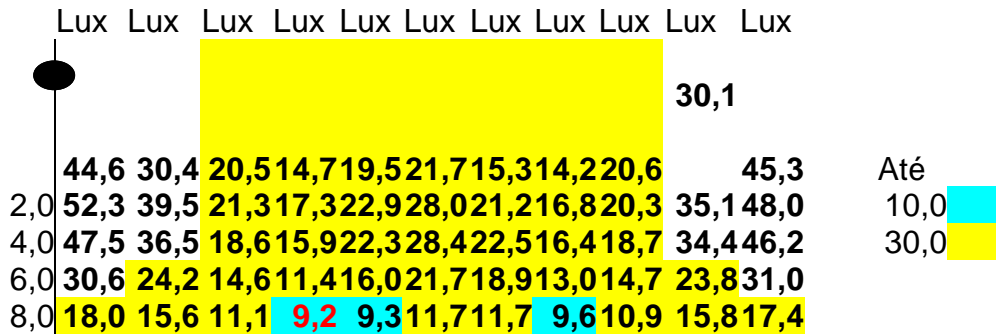
A incerteza associada à media é relativa a um sigma.

Anexo C - 3 RELATORIO DE ENSAIO: TB 150 W

AGOSTO 2001
Resumo de avaliações.

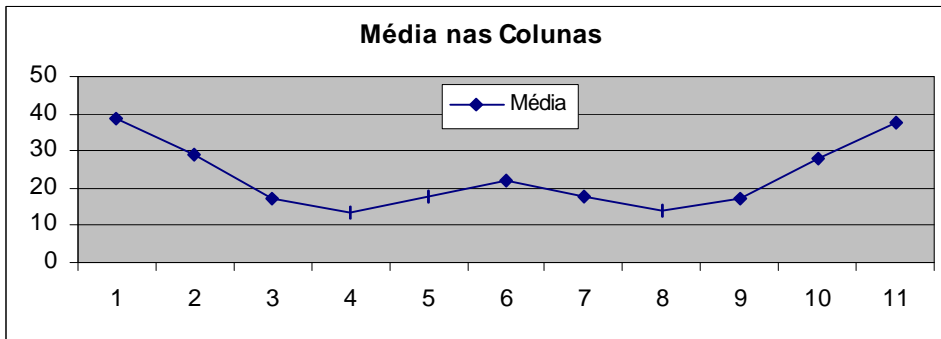
Objetivo:
Iluminação de Rua com 8m de Largura e 35m entre postes.
Postes de 8m.
Braço 2,7m.
Inclinação 0 graus.
Norma
Média: 15 Lux
Unif.: 25%
UnifL.: 12%

RESULTADO DO ENSAIO: DATA 6 JULHO.

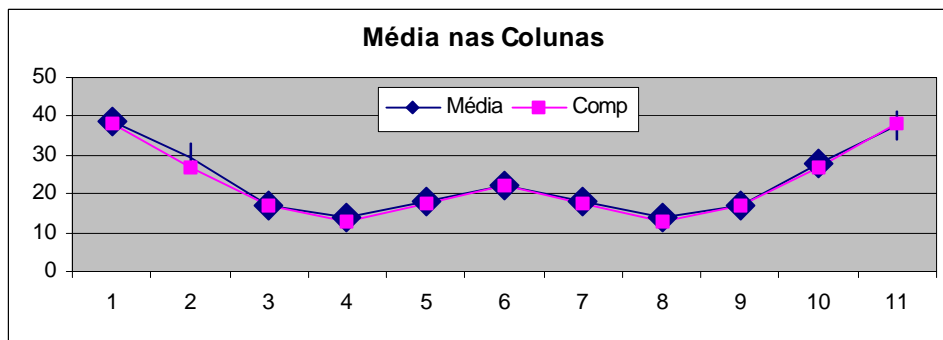


Média: 22,9 Lux
Ufo: 40%
De forma de poder avaliar o problema de Zebramento apontado pelo cliente fizemos uma Média de cada coluna da grade.

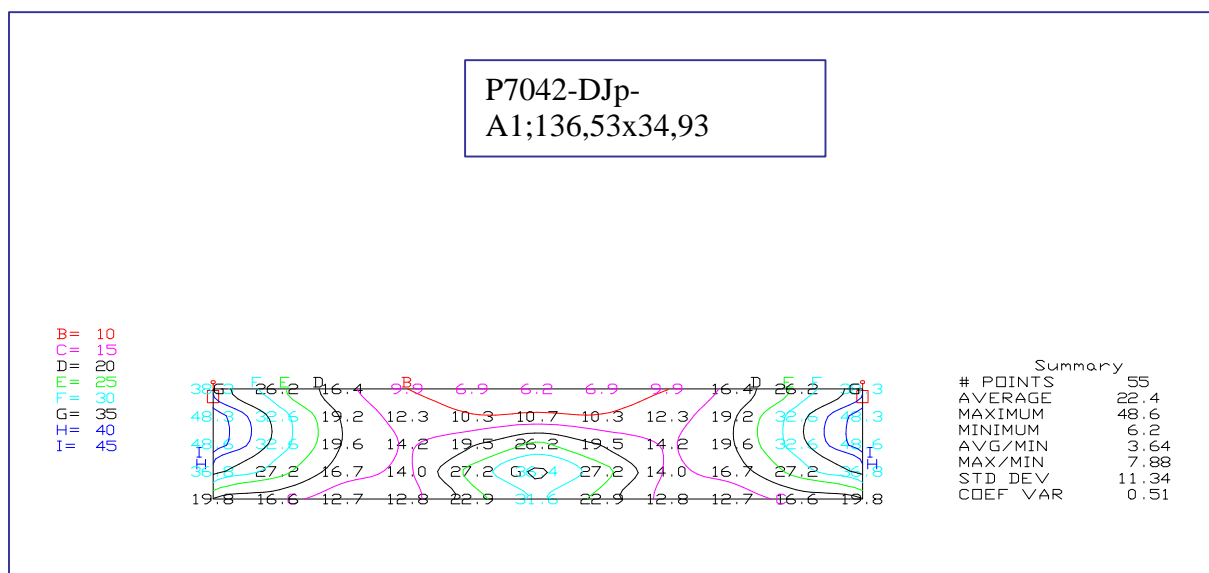
Média	39	29	17	14	18	22	18	14	17	28	38
m	0,0	3,5	7,0	10,5	14,0	17,5	21,0	24,5	28,0	31,5	35,0



O gráfico mostra uma diminuição nos pontos 4 e 8 que em conjunto com o aumento no ponto 6 visualiza o “zebramento”.
Utilizamos o auxílio de arquivos Fotométricos preparados nos laboratórios da Thomas&Betts e programa de computador na tentativa de achar uma melhor distribuição. No gráfico abaixo comparamos o resultado teórico do computador com a realidade medida no teste.



A diferença é mínima.

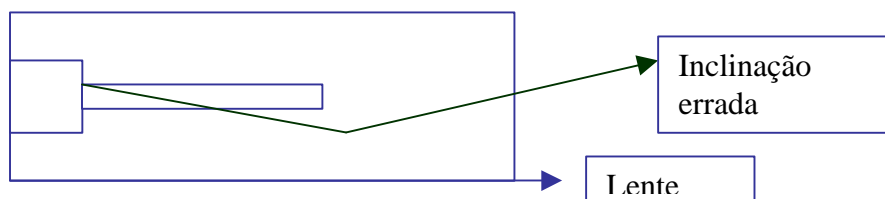


PROBLEMA

O arquivo acima permite visualizar o problema de Montagem da luminária que afetou o resultado aumentando os focos de maior intensidade.

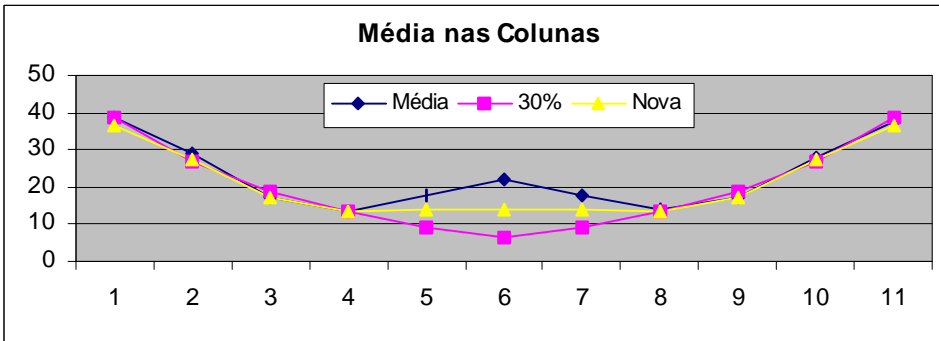
Note-se que as intensidades entre os postes são menores que na frente da rua, isto ao contrario do teste real onde as intensidades entre os postes são maiores que na frente da rua.

O motivo descoberto foi na instalação do soquete:



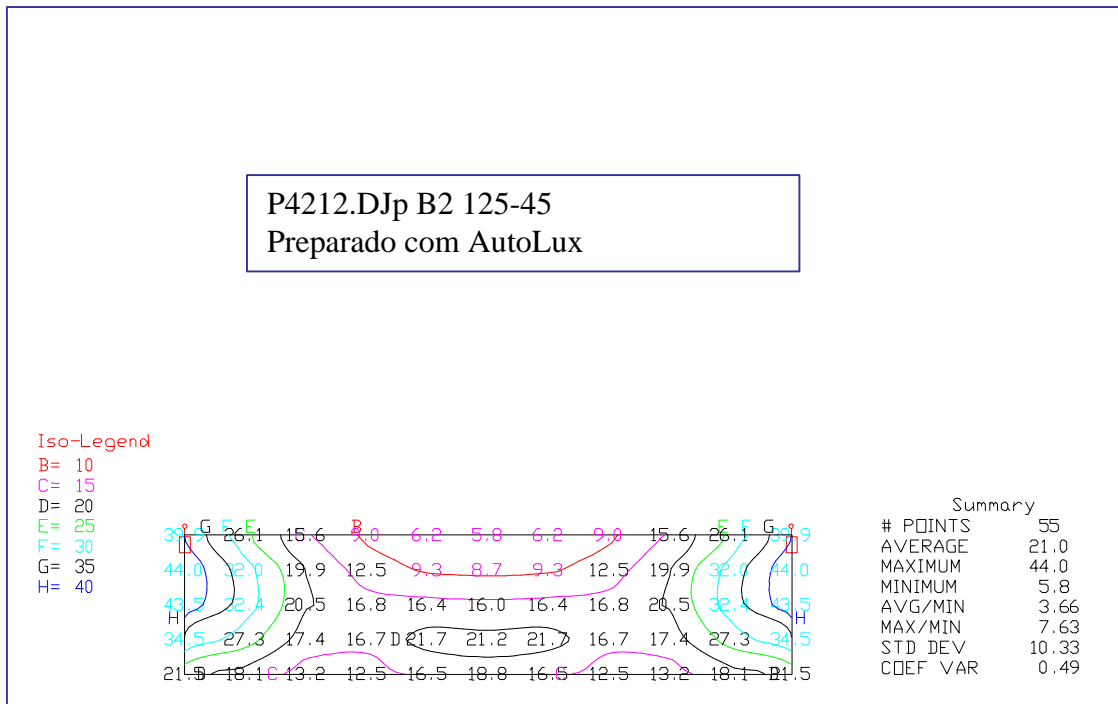
Com a lâmpada inclinada em forma negativa a Luz é jogada para o lado dos postes.

Ajuste: Trabalhando com o conceito de média nas colunas a seguinte seria uma forma de avaliação:



Nova	37	27	17	14	14	14	14	14	17	27	37
30%	39	27	19	13	9	6	9	13	19	27	39
Média	39	29	17	14	18	22	18	14	17	28	38
m	0,0	3,5	7,0	10,5	14,0	17,5	21,0	24,5	28,0	31,5	35,0

Média são os valores obtidos na última medição;
Nova são os valores do novo ajuste;
30% e o percentual entre média de coluna e coluna como referência.



A média continua sendo acima de 15 Lux (21) mais a Uniformidade geral desce a 27%. A diferença entre coluna e coluna é menor que 30%.
 Com a certeza de que a montagem do soquete agora está correta, podemos chegar nos parâmetros solicitados pelo cliente.
 Agradecimentos à T&B no Brasil, Sr. Mario, pelo envio do relatório.

Anexo C – 3 A Registros de campo

Estes registros de medição em campo ago./2001 na cidade de Guarulhos, São Paulo. Fonte: Trabalho em campo realizado pelo autor.

Nota: Valores de iluminância não corrigidos e eficiência luminosa calculada com perdas do reator (CORREÇÃO DE RESULTADO).

Local (tipo lum.)	Potência (W)	E (lux) (media)	Faixa (lux) [min. – max.]	Fluxo (lm)	Eficiência (lm/W)
(TB)	150 (VSAP150)	(22,9)	(9,2 – 52,3)	6,4	42,7

Legenda: VSAP – sódio alta pressão.

Medição de ponto único, sob a luminária: 33,8 lx (x 1,4) ==> 47,3 lx (calculado: 44,6 lx ou 45,3 lx); outro instrumento (T-10) forneceu para o mesmo ponto: 46,1 lx.



Figura C3.1 – Campo de provas na cidade de Guarulhos, São Paulo. Foto: do autor, em ago./2001.

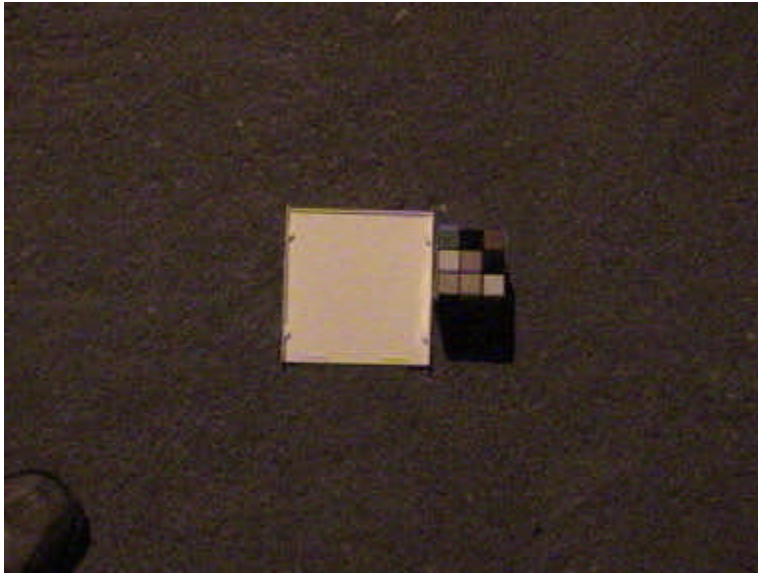


Figura C3.2 – Cubo com segmentos coloridos e placa com BaSO_4 no campo de provas na cidade de Guarulhos, São Paulo. Foto: do autor, em ago./2001.



Figura C3.3 – Cubo com segmentos coloridos observado a certa distância, na cidade de Guarulhos, São Paulo. Foto: do autor, em ago./2001.

Anexo D – Resultados de avaliações

Anexo D – 1 CUASO/USP: Instalação original – TABELA D – 1.1.1.

IEE/USP: 07, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 150 W; luminária modelo: original.

MEDIÇÃO DE : **ILUMINÂNCIA**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste numero 3.

NÍVEL DO FLUXO: **100 %** (ver nota)

fator de correção para leitura (lux): 1,4 0,075

Estatística dos registros da medição (sem fator de correção)

Iluminância média:	9,16	lx	.....	12,8	0,96
desvio padrão:	5,77	lx		lx	lx
Iluminância máxima:	23,1	lx	.....	32,3	2,4
Iluminância mínima:	3,4	lx	.....	4,8	0,4
	42	registros		(acima valores com correção)	
I.C.B. 95%:	1,75	lx			
I.C.B. 99%:	2,29	lx			

30	8,3	9,6	14,7	18,6	20,7	20,2	G
25	5,0	6,4	8,3	10,2	11,1	11,0	F
20	3,8	4,6	4,6	4,8	4,7	4,6	E
15	3,4	3,9	4,6	4,8	4,6	4,3	D
10	4,1	4,4	4,8	5,1	5,1	5,4	C
5	5,9	7,0	9,4	12,0	14,5	15,0	B
0	7,7	9,9	13,9	18,3	22,5	23,1	A
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0	
	5	4	3	2	1	0	

VSAP 150 W; fluxo 100 %; valores em lux (sem correção)

NOTA: Situação resultante (rede) sob tensão elétrica nominal.

Anexo D – 1 CUASO/USP: Instalação original – TABELA D – 1.1.2.

IEE/USP: 08, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 150 W; luminária modelo: original.

MEDIÇÃO DE: **ILUMINÂNCIA**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste numero 3.

NÍVEL DO FLUXO: **39 %**

fator de correção para leitura (lux): 1,4 0,075

Estatística dos registros da medição (sem fator de correção)

Iluminância média:	3,61	lx	.....	5,1	0,38
desvio padrão:	2,22	lx		lx	lx
Iluminância máxima:	9,3	lx	.....	13,0	1,0
Iluminância mínima:	1,5	lx	.....	2,1	0,2
	42	registros		(acima valores com correção)	
I.C.B. 95%:	0,67	lx			
I.C.B. 99%:	0,88	lx			

30	2,9	3,6	5,2	7,3	8,0	7,8	G
25	1,9	2,2	3,2	3,9	4,3	4,2	F
20	1,5	1,8	2,0	2,0	2,0	1,9	E
15	1,5	1,7	1,9	2,0	1,8	1,7	D
10	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,2	C
5	2,5	2,8	3,7	4,7	5,6	5,8	B
0	3,1	3,8	5,5	7,3	8,8	9,3	A
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0	
	5	4	3	2	1	0	

VSAP 150 W; fluxo "50 %"; valores em lux (sem correção)

Anexo D – 1 CUASO/USP: Instalação Reeme – TABELA D – 1.2.1.

IEE/USP: 13, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 150 W; luminária modelo: original, Reeme

MEDIÇÃO DE: **ILUMINÂNCIA**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste numero 3.

NÍVEL DO FLUXO: **100%** (ver nota)

fator de correção para leitura (lux): 1,4 0,075

Estatística dos registros da medição (sem fator de correção)

Iluminância média:	8,63 lx	.....	12,1	0,91
desvio padrão:	5,34 lx		lx	lx
Iluminância máxima:	21,8 lx	.....	30,5	2,3
Iluminância mínima:	3,1 lx	.....	4,3	0,3
	42 registros		(acima valores com correção)	
I.C.B. 95%:	1,61 lx			
I.C.B. 99%:	2,12 lx			

30	7,6	8,9	12,7	17,6	19,5	19,2	G
25	5,2	6,0	7,8	9,7	10,5	10,5	F
20	3,8	4,0	4,6	4,8	4,7	4,6	E
15	3,1	3,8	4,4	4,7	4,4	4,1	D
10	4,0	4,2	4,6	5,0	5,1	5,2	C
5	5,5	6,6	8,7	11,3	13,6	14,0	B
0	7,1	9,0	12,8	16,9	20,8	21,8	A
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0	
	5	4	3	2	1	0	

VSAP 250 W; fluxo 100 %; valores em lux (sem correção)

NOTA: Situação resultante (rede) sob tensão elétrica nominal.

Anexo D – 1 CUASO/USP: Instalação Reeme – TABELA D – 1.2.2.

IEE/USP: 13, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 150 W; luminária modelo: original, Reeme

MEDIÇÃO DE: **ILUMINÂNCIA**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste numero 3.

NÍVEL DO FLUXO: **52 %**

fator de correção para leitura (lux): 1,4 0,075

Estatística dos registros da medição (sem fator de correção)

Iluminância média:	4,53	lx	.....	6,3	0,48
desvio padrão:	2,81	lx		lx	lx
Iluminância máxima:	11,3	lx	.....	15,8	1,2
Iluminância mínima:	1,7	lx	.....	2,4	0,2
	42	registros		(acima valores com correção)	
I.C.B. 95%:	0,85	lx			
I.C.B. 99%:	1,12	lx			

30	3,9	4,8	6,9	9,3	10,3	10,1
25	2,5	2,9	4,1	5,0	5,4	5,4
20	1,9	2,2	2,4	2,5	2,4	2,3
15	1,7	2,0	2,3	2,4	2,2	2,2
10	2,1	2,2	2,5	2,7	2,7	2,7
5	3,1	3,5	4,5	5,9	7,1	7,2
0	3,9	4,9	7,1	9,1	10,8	11,3
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0

VSAP 250 W; "fluxo 75 %"; valores em lux (sem correção)

Anexo D – 1 CUASO/USP: Instalação Reeme – TABELA D – 1.2.3.

IEE/USP: 13, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 150 W; luminária modelo: original, Reeme

MEDIÇÃO DE: **ILUMINÂNCIA**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste numero 3.

NÍVEL DO FLUXO: **33 %**

fator de correção para leitura (lux):

1,4 0,075

Estatística dos registros da medição (sem fator de correção)

Iluminância média:	2,83	lx	.....	4,0	0,30
desvio padrão:	1,55	lx	.....	lx	lx
Iluminância máxima:	6,6	lx	.....	9,2	0,7
Iluminância mínima:	1,2	lx	.....	1,7	0,1
	42	registros		(acima valores com correção)	
I.C.B. 95%:	0,47	lx			
I.C.B. 99%:	0,62	lx			

30	2,2	2,8	4,0	5,5	6,0	6,0
25	1,6	1,8	2,6	3,1	3,4	3,3
20	1,3	1,6	1,8	1,8	1,7	1,6
15	1,2	1,5	1,7	1,7	1,7	1,6
10	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,8
5	2,0	2,3	2,9	3,6	4,2	4,3
0	2,4	2,9	4,1	5,2	6,4	6,6
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0

VSAP 150 W; "fluxo 50 %"; valores em lux (sem correção)

Anexo D – 1 CUASO/USP: Instalação Repume – TABELA D – 1.3.1.

IEE/USP: 15, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 250 W; luminária modelo: Repume

MEDIÇÃO DE: **ILUMINÂNCIA**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste numero 3.

NÍVEL DO FLUXO: **100 %**

fator de correção para leitura (lux): 1,4 0,075

Estatística dos registros da medição (sem fator de correção)

Iluminância média:	38,36 lx	.....	53,7	4,03
desvio padrão:	32,49 lx		lx	lx
Iluminância máxima:	117,8 lx	.....	164,9	12,4
Iluminância mínima:	8,7 lx	.....	12,2	0,9
	42 registros		(acima valores com correção)	
I.C.B. 95%:	9,82 lx			
I.C.B. 99%:	12,91 lx			

30	23,9	31,9	55,7	97,2	115,5	113,1
25	16,4	19,7	30,7	40,8	44,1	41,2
20	10,3	12,6	18,1	23,6	25,7	24,7
15	9,3	11,2	14,8	18,5	21,8	22,9
10	8,7	9,9	12,4	16,4	19,9	20,8
5	17,1	22,2	32,6	49,5	62,8	63,1
0	23,3	31,4	51,2	91,0	117,2	117,8
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0

VSAP 150 W; fluxo 100 %; valores em lux (sem correção)

NOTA: Situação resultante (rede) sob tensão elétrica nominal.

Anexo D – 1 CUASO/USP: Instalação Repume – TABELA D – 1.3.2

IEE/USP: 15, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 250 W; luminária modelo: Repume

MEDIÇÃO DE: **ILUMINÂNCIA**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste numero 3.

NÍVEL DO FLUXO: **65 %**

fator de correção para leitura (lux): 1,4 0,075

Estatística dos registros da medição (sem fator de correção)

Iluminância média:	24,93 lx	.....	34,9	2,62
desvio padrão:	21,30 lx		lx	lx
Iluminância máxima:	79,1 lx	.....	110,7	8,3
Iluminância mínima:	5,7 lx	.....	8,0	0,6
	42 registros		(acima valores com correção)	
I.C.B. 95%:	6,44 lx			
I.C.B. 99%:	8,47 lx			

30	15,7	20,2	35,5	62,0	72,6	71,5
25	6,7	12,8	19,7	27,1	28,3	26,2
20	6,5	8,2	12,0	15,0	16,3	15,8
15	6,1	7,2	9,7	11,8	13,9	14,4
10	5,7	6,4	8,1	10,7	13,2	13,9
5	11,5	14,8	21,9	32,5	41,2	42,2
0	15,6	21,0	34,2	61,4	78,5	79,1
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0

VSAP 250 W; "fluxo 75 %"; valores em lux (sem correção)

Anexo D – 1 CUASO/USP: Instalação Repume – TABELA D – 1.3.3

IEE/USP: 15, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 250 W; luminária modelo: Repume

MEDIÇÃO DE: **ILUMINÂNCIA**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste numero 3.

NÍVEL DO FLUXO: **27 %**

fator de correção para leitura (lux): 1,4 0,075

Estatística dos registros da medição (sem fator de correção)

Iluminância média:	10,49 lx	.....	14,7	1,10
desvio padrão:	8,75 lx		lx	lx
Iluminância máxima:	34,2 lx	.....	47,9	3,6
Iluminância mínima:	2,8 lx	.....	3,9	0,3
	42 registros		(acima valores com correção)	
I.C.B. 95%:	2,65 lx			
I.C.B. 99%:	3,48 lx			

30	6,1	7,8	13,8	23,8	28,5	28,1
25	4,1	5,1	8,0	10,9	11,1	10,5
20	2,8	3,6	5,1	6,3	6,8	6,6
15	2,8	3,3	4,2	5,3	6,1	6,3
10	2,8	3,0	3,8	4,9	5,7	6,0
5	5,3	6,6	9,6	14,0	17,9	18,0
0	6,9	9,3	14,9	26,8	34,2	34,0
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0

VSAP 250 W, "fluxo 50 %"; valores em lux (sem correção)

Anexo D – 1 CUASO/USP: Instalação Repume – TABELA D – 1.3.4

IEE/USP: 15, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 250 W; luminária modelo: Repume

MEDIÇÃO DE: **ILUMINÂNCIA**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste numero 3.

NÍVEL DO FLUXO: **7,4 %**

fator de correção para leitura (lux): 1,4 0,075

Estatística dos registros da medição (sem fator de correção)

Iluminância média:	2,82	lx	.....	3,9	0,30
desvio padrão:	2,28	lx		lx	lx
Iluminância máxima:	8,75	lx	.....	12,3	0,9
Iluminância mínima:	0,7	lx	.....	1,0	0,1
	42	registros		(acima valores com correção)	
I.C.B. 95%:	0,69	lx			
I.C.B. 99%:	0,91	lx			

30	1,6	2,0	6,6	6,4	7,6	7,4
25	0,9	1,2	2,1	2,8	2,9	2,8
20	0,7	1,0	1,5	1,7	1,8	1,8
15	0,9	1,1	1,4	1,5	1,7	1,7
10	1,0	1,0	1,1	1,3	1,5	1,5
5	1,5	1,8	2,5	3,4	4,4	4,4
0	1,9	2,3	3,8	6,6	8,5	8,8
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0

VSAP 250 W; "fluxo 25 %"; valores em lux (sem correção)

Anexo D – 1 CUASO/USP: Instalação Repume – TABELA D – 1.4

IEE/USP: 19/fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: MVM 250 W; luminária modelo: Repume

MEDIÇÃO DE: **ILUMINÂNCIA.**

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste numero 3.

NÍVEL DO FLUXO: **100 %** (ver nota)

fator de correção para leitura (lux): 1,11 0,013

Estatística dos registros da medição (sem fator de correção)

Iluminância média:	27,72	lx	.....	30,8	0,40
desvio padrão:	19,51	lx		lx	lx
Iluminância máxima:	70,8	lx	.....	78,6	1,0
Iluminância mínima:	9,4	lx	.....	10,4	0,1
	42	registros		(acima valores com correção)	
I.C.B. 95%:	5,90	lx			
I.C.B. 99%:	7,75	lx			

30	31,6	36,2	52,2	62,5	69,9	68,2
25	16,1	18,9	25,0	28,5	26,7	24,5
20	10,9	11,5	11,8	12,0	12,2	11,9
15	9,4	10,0	10,7	11,0	11,0	10,7
10	11,7	12,1	12,8	13,7	13,7	13,5
5	20,8	23,9	30,5	38,5	38,0	25,6
0	29,6	38,0	50,0	59,0	70,8	68,7
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0

MVM 250 W; fluxo 100 %; valores em lux (sem correção)

NOTA: Situação resultante (rede) sob tensão elétrica nominal.

Anexo D – 2 CETE NC/LRPC: Instalação Pilote – TABELA D – 2.1

CETE NC/LRPC - Rouen, França

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: HPS 150 W; luminária modelo: Pilote, Thorn (Lecocq)

MEDIÇÃO DE: **ILUMINÂNCIA.**

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 8 m.

INTERVALO ENTRE POSTES: 30 m.

posição (0, 0):

NÍVEL DO FLUXO: **100 %** (ver nota)

fator de correção para leitura (lux): 1 0,0025

Estatística dos registros da medição (sem fator de correção)

Iluminância média:	36,58	lx	.....	36,6	0,09
desvio padrão:	12,97	lx		lx	lx
Iluminância máxima:	74	lx	.....	74,0	0,2
Iluminância mínima:	23,7	lx	.....	23,7	0,1
	28	registros		(acima valores com correção)	
I.C.B. 95%:	4,80	lx			
I.C.B. 99%:	6,31	lx			

top						
30	27,2	55,0	74,0	47,8	↖	G
25	24,7	39,3	43,1	30,4		F
20	24,0	32,8	33,1	23,7		E
15	23,9	33,0	34,8	28,4		D
10	24,5	31,7	33,2	25,5		C
5	25,9	40,2	42,8	31,7		B
0	29,7	57,0	64,3	42,6	↖	A
(METRO)	0,88	2,63	4,38	6,13		
	5	4	3	2	1	0

HPS 150 W; fluxo 100 %; valores em lux (sem correção)

Legenda: ↖ Posição da luminária

NOTA: Situação resultante (rede) sob tensão elétrica nominal.

Anexo D – 2 CETE NC/LRPC: Instalação Pilote – TABELA D – 2.2

CETE NC/LRPC - Rouen, França

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: HPS 150 W; luminária modelo: Pilote, Thorn (Lecocq)

MEDIÇÃO DE: **ILUMINÂNCIA**

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 8 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste numero 3.

NÍVEL DO FLUXO: **65 %**

fator de correção para leitura (lux):

1 0,0025

Estatística dos registros da medição (sem fator de correção)

Iluminância média:	23,68	lx	.....	23,7	0,06
desvio padrão:	8,42	lx		lx	lx
Iluminância máxima:	47,1	lx	.....	47,1	0,1
Iluminância mínima:	15,2	lx	.....	15,2	0,0
	28	registros		(acima valores com correção)	
I.C.B. 95%:	3,12	lx			
I.C.B. 99%:	4,10	lx			

road						
30	16,4	35,4	47,1	30,6	↖	G
25	15,7	25,3	27,7	19,6		F
20	15,3	20,8	21,0	15,2		E
15	15,4	21,3	21,4	18,1		D
10	16,1	20,9	21,7	16,6		C
5	17,0	26,4	28,1	22,1		B
0	19,9	37,3	42,2	28,4	↖	A
(METRO)	0,88	2,63	4,38	6,13		

5

4

3

2

1

0

HPS 150 W; "fluxo 75 %"; valores em lux (sem correção)

Anexo D – 2 CETE NC/LRPC: Instalação Pilote – TABELA D – 2.3

CETE NC/LRPC - Rouen, França

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: HPS 150 W; luminária modelo: Pilote, Thorn (Lecocq)

MEDIÇÃO DE: **ILUMINÂNCIA**

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 8 m

INTERVALO ENTRE POSTES: 30 m.

posição (0, 0):

NÍVEL DO FLUXO: **43 %**

fator de correção para leitura (lux):

1 0,0025

Estatística dos registros da medição (sem fator de correção)

Iluminância média:	15,78	lx	.....	15,8	0,04
desvio padrão:	5,42	lx		lx	lx
Iluminância máxima:	30,8	lx	.....	30,8	0,1
Iluminância mínima:	10,1	lx	.....	10,1	0,0
	28	registros		(acima valores com correção)	
I.C.B. 95%:	2,01	lx			
I.C.B. 99%:	2,64	lx			

Road				
30	11,5	23,1	30,8	20,0
25	10,5	16,5	18,0	12,7
20	10,3	13,8	14,0	10,1
15	10,4	14,4	15,1	12,3
10	10,8	14,0	14,5	11,0
5	11,4	17,9	19,2	15,1
0	13,2	24,7	27,6	18,8
(METRO)	0,88	2,63	4,38	6,13

HPS 150 W; "fluxo 50 %"; valores em lux (sem correção)

Anexo D – 2 CETE NC/LRPC: Instalação Pilote – TABELA D – 2.4

CETE NC/LRPC - Rouen, França

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: HPS 150 W; luminária modelo: Pilote, Thorn (Lecocq)

MEDIÇÃO DE: **ILUMINÂNCIA**

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 8 m.

INTERVALO ENTRE POSTES: 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **24 %**

fator de correção para leitura (lux):

1 0,0025

Estatística dos registros da medição (sem fator de correção)

Iluminância média:	8,79	lx	.....	8,8	0,02
desvio padrão:	2,90	lx		lx	lx
Iluminância máxima:	16,2	lx	.....	16,2	0,0
Iluminância mínima:	5,6	lx	.....	5,6	0,0
	28	registros		(acima valores com correção)	
I.C.B. 95%:	1,07	lx			
I.C.B. 99%:	1,41	lx			

botton					
30	6,4	12,3	16,2	10,5	G
25	5,8	9,1	9,9	7,0	F
20	5,8	7,7	7,7	5,6	E
15	5,9	8,1	8,5	6,9	D
10	6,1	8,0	8,3	6,4	C
5	6,6	10,2	11,0	8,6	B
0	7,7	13,9	15,7	10,4	A
(METRO)	0,88	2,63	4,38	6,13	

HPS 150 W; "fluxo 25 %"; valores em lux (sem correção)

Anexo D – 3 CUASO/USP: Instalação original – TABELA D – 3.1.1.

IEE/USP: 07, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 150 W; luminária modelo: original.

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **100 %** (ver nota)

Estatística dos registros da medição

luminância média: 0,93 nit

desvio padrão: 0,30 nit

luminância máxima: 1,5 nit

luminância mínima: 0,45 nit

42 registros

I.C.B. 95%: 0,089 nit

I.C.B. 99%: 0,117 nit

30	0,70	0,60	1,00	1,20	1,30	1,40	G
25	0,60	0,80	1,00	1,30	1,50	1,50	F
20	0,50	0,65	0,90	1,10	1,20	1,20	E
15	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00	1,10	D
10	0,45	0,70	0,65	0,90	1,00	1,00	C
5	0,60	0,65	0,70	1,00	1,10	1,20	B
0	0,50	0,80	0,80	1,20	1,20	1,30	A
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0	

VSAP 150 W; fluxo 100 %; valores em nit.

5 4 3 2 1 0

NOTA: Situação resultante (rede) sob tensão elétrica nominal.

Anexo D – 3 CUASO/USP: Instalação original – TABELA D – 3.1.2

IEE/USP: 08, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 150 W; luminária modelo: original.

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **39 %**

Estatística dos registros da medição

luminância média: 0,35 nit

desvio padrão: 0,12 nit

luminância máxima: 0,55 nit

luminância mínima: 0,15 nit

42 registros

I.C.B. 95%: 0,035 nit

I.C.B. 99%: 0,047 nit

30	0,20	0,25	0,35	0,45	0,50	0,45	G
25	0,20	0,25	0,35	0,45	0,50	0,50	F
20	0,15	0,20	0,35	0,40	0,45	0,40	E
15	0,15	0,20	0,30	0,30	0,40	0,50	D
10	0,20	0,20	0,30	0,35	0,40	0,40	C
5	0,20	0,20	0,25	0,40	0,45	0,50	B
0	0,30	0,30	0,35	0,50	0,55	0,50	A
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0	

VSAP 150 W; "fluxo 50 %"; valores em nit.

5 4 3 2 1 0

Anexo D – 3 CUASO/USP: Instalação Reeme – TABELA D – 3.2.1

IEE/USP: 13, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 150 W; luminária modelo: original, Reeme

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **100 %** (ver nota)

Estatística dos registros da medição

luminância média: 0,89 nit

desvio padrão: 0,35 nit

luminância máxima: 1,6 nit

luminância mínima: 0,35 nit

42 registros

I.C.B. 95%: 0,105 nit

I.C.B. 99%: 0,137 nit

30	0,50	0,65	0,90	1,15	1,30	1,50	G
25	0,50	0,70	1,00	1,15	1,30	1,45	F
20	0,35	0,55	0,90	0,80	1,05	1,10	E
15	0,35	0,45	0,60	0,75	0,90	0,95	D
10	0,40	0,50	0,65	0,90	1,00	1,10	C
5	0,45	0,65	0,75	1,20	1,15	1,35	B
0	0,65	0,70	0,90	1,25	1,50	1,60	A
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0	

VSAP 150 W; fluxo 100 %; valores em nit.

5 4 3 2 1 0

NOTA: Situação resultante (rede) sob tensão elétrica nominal.

Anexo D – 3 CUASO/USP: Instalação Reeme – TABELA D – 3.2.2

IEE/USP: 13, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 150 W; luminária modelo: original, Reeme

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **52 %**

Estatística dos registros da medição

luminância média: 0,44 nit

desvio padrão: 0,15 nit

luminância máxima: 0,8 nit

luminância mínima: 0,15 nit

42 registros

I.C.B. 95%: 0,046 nit

I.C.B. 99%: 0,061 nit

30	0,30	0,35	0,50	0,55	0,55	0,80	G
25	0,30	0,35	0,50	0,60	0,65	0,70	F
20	0,25	0,30	0,30	0,40	0,50	0,55	E
15	0,15	0,25	0,30	0,40	0,40	0,50	D
10	0,20	0,30	0,35	0,50	0,40	0,60	C
5	0,30	0,30	0,35	0,55	0,50	0,65	B
0	0,30	0,35	0,40	0,55	0,65	0,70	A
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0	

VSAP 150 W; "fluxo 75 %"; valores em nit.

5 4 3 2 1 0

Anexo D – 3 CUASO/USP: Instalação Reeme – TABELA D – 3.2.3.

IEE/USP: 13, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 150 W; luminária modelo: original, Reeme

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **33 %**

Estatística dos registros da medição

luminância média: 0,24 nit

desvio padrão: 0,09 nit

luminância máxima: 0,45 nit

luminância mínima: 0,1 nit

42 registros

I.C.B. 95%: 0,026 nit

I.C.B. 99%: 0,034 nit

30	0,15	0,15	0,25	0,30	0,30	0,40	G
25	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,35	F
20	0,10	0,15	0,20	0,20	0,30	0,25	E
15	0,10	0,10	0,15	0,20	0,25	0,25	D
10	0,15	0,15	0,15	0,25	0,25	0,35	C
5	0,20	0,25	0,30	0,25	0,35	0,35	B
0	0,20	0,20	0,25	0,35	0,45	0,35	A
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0	

VSAP 150 W; "fluxo 50 %"; valores em nit.

5 4 3 2 1 0

Anexo D – 3 CUASO/USP: Instalação Repume – TABELA D – 3.3.1

IEE/USP: 15, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 250 W; luminária modelo: Repume

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **100 %** (ver nota)

Estatística dos registros da medição

luminância média: 3,46 nit

desvio padrão: 1,60 nit

luminância máxima: 6,5 nit

luminância mínima: 1,3 nit

42 registros

I.C.B. 95%: 0,485 nit

I.C.B. 99%: 0,637 nit

30	1,90	2,50	3,80	5,40	5,60	5,70	G
25	1,60	2,20	3,50	5,00	5,20	5,20	F
20	1,30	1,50	2,50	3,20	4,10	4,30	E
15	1,30	1,60	2,30	3,30	3,20	5,10	D
10	1,40	1,70	2,20	3,40	4,30	5,70	C
5	1,50	1,70	2,70	4,30	5,10	4,70	B
0	1,90	2,10	3,40	5,20	6,40	6,50	A
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0	

VSAP 250 W; fluxo 100 %; valores em nit.

	5	4	3	2	1	0
Mira não visível						

NOTA: Situação resultante (rede) sob tensão elétrica nominal.

Anexo D – 3 CUASO/USP: Instalação Repume – TABELA D – 3.3.2

IEE/USP: 15, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 250 W; luminária modelo: Repume

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **65 %**

Estatística dos registros da medição

luminância média: 2,24 nit

desvio padrão: 1,07 nit

luminância máxima: 4,3 nit

luminância mínima: 0,75 nit

42 registros

I.C.B. 95%: 0,325 nit

I.C.B. 99%: 0,427 nit

30	1,10	1,40	2,40	3,50	4,00	3,80	G
25	1,10	1,60	2,20	3,10	3,70	4,30	F
20	1,00	1,20	2,00	2,60	2,90	3,10	E
15	0,75	0,90	1,40	2,10	2,80	3,50	D
10	0,90	0,90	1,35	2,10	2,80	3,40	C
5	0,90	1,00	1,45	2,00	2,50	3,00	B
0	1,10	1,40	2,00	2,90	4,00	3,80	A
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0	

VSAP 250 W; "fluxo 75 %"; valores em nit.

5 4 3 2 1 0

Anexo D – 3 CUASO/USP: Instalação Repume – TABELA D – 3.3.3

IEE/USP: 15, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 250 W; luminária modelo: Repume

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **27 %**

Estatística dos registros da medição

luminância média: 0,89 nit

desvio padrão: 0,42 nit

luminância máxima: 1,7 nit

luminância mínima: 0,3 nit

42 registros

I.C.B. 95%: 0,126 nit

I.C.B. 99%: 0,165 nit

30	0,40	0,60	0,80	1,10	1,40	1,30	G
25	0,40	0,60	1,00	1,30	1,60	1,50	F
20	0,35	0,40	0,70	1,00	1,15	1,20	E
15	0,30	0,40	0,60	0,85	1,00	1,30	D
10	0,35	0,40	0,50	1,00	1,20	1,40	C
5	0,40	0,50	0,60	1,00	1,30	1,45	B
0	0,45	0,60	0,85	1,20	1,40	1,70	A
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0	

VSAP 250 W; "fluxo 50 %"; valores em nit.

5 4 3 2 1 0

Anexo D – 3 CUASO/USP: Instalação Repume – TABELA D – 3.3.4

IEE/USP: 15, fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: VSAP 250 W; luminária modelo: Repume

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

largura da via (m): 8

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **7,4 %**

Estatística dos registros da medição

luminância média: 0,36 nit

desvio padrão: 0,15 nit

luminância máxima: 0,6 nit

luminância mínima: 0,1 nit

42 registros

I.C.B. 95%: 0,046 nit

I.C.B. 99%: 0,060 nit

30	0,15	0,25	0,40	0,40	0,50	0,50	G
25	0,10	0,10	0,30	0,50	0,60	0,60	F
20	0,10	0,20	0,40	0,50	0,40	0,50	E
15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,40	0,50	D
10	0,20	0,20	0,30	0,40	0,40	0,60	C
5	0,20	0,25	0,30	0,30	0,50	0,60	B
0	0,20	0,20	0,35	0,45	0,50	0,60	A
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0	

VSAP 250 W; "fluxo 25 %"; valores em nit.

5 4 3 2 1 0

Anexo D – 3 CUASO/USP: Instalação Repume – TABELA D – 3.4

IEE/USP: 19/fevereiro/2001.

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: MVM 250 W; luminária modelo: Repume

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 7,43 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **100 %** (ver nota)

Estatística dos registros da medição

luminância média: 1,83 nit

desvio padrão: 0,67 nit

luminância máxima: 3,4 nit

luminância mínima: 0,9 nit

42 registros

I.C.B. 95%: 0,204 nit

I.C.B. 99%: 0,268 nit

30	1,6	2,0	2,2	2,9	3,3	3,4
25	1,1	1,5	1,8	2,0	2,2	2,8
20	0,9	1,1	1,4	1,5	1,7	1,8
15	0,9	1,0	1,2	1,3	1,6	1,9
10	1,1	1,1	1,4	1,6	1,8	1,7
5	1,2	1,3	1,6	1,9	2,0	2,1
0	1,6	2,0	2,3	2,8	3,2	3,1
(METRO)	5,4	4,725	3,375	2,025	0,675	0

MVM 250 W; fluxo 100 %; valores em lux (sem correção)

NOTA: Situação resultante (rede) sob tensão elétrica nominal.

Anexo D – 4 CETE NC/LRPC: Instalação Pilote – TABELA D – 4.1

CETE NC/LRPC - Rouen, França

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: HPS 150 W; luminária modelo: Pilote, Thorn (Lecocq)

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 8 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **100 %** (ver nota)

Estatística dos registros da medição

luminância média: 3,45 nit

desvio padrão: 1,16 nit

luminância máxima: 5,33 nit

luminância mínima: 1,49 nit

28 registros

I.C.B. 95%: 0,428 nit

I.C.B. 99%: 0,562 nit

top				
30	2,01	3,55	4,26	2,99
25	2,00	3,60	4,82	4,20
20	1,83	3,70	4,99	4,49
15	1,90	3,49	4,64	3,79
10	1,51	3,38	4,96	3,88
5	1,49	3,33	5,33	3,74
0	1,53	3,34	4,47	3,48
(METRO)	0,88	2,63	4,38	6,13

HPS 150 W; fluxo 100 %; valores em nit.

NOTA: Situação resultante (rede) sob tensão elétrica nominal.

Anexo D – 4 CETE NC/LRPC: Instalação Pilote – TABELA D – 4.2

CETE NC/LRPC - Rouen, França

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: HPS 150 W; luminária modelo: Pilote, Thorn (Lecocq)

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 8 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **100 %** (ver nota)

Estatística dos registros da medição

luminância média: 3,84 nit
 desvio padrão: 0,84 nit
 luminância máxima: 5,62 nit
 luminância mínima: 2,46 nit
 28 registros
 I.C.B. 95%: 0,311 nit
 I.C.B. 99%: 0,409 nit

botton				
30	2,80	3,69	4,39	3,63
25	2,80	3,80	4,65	5,38
20	3,08	3,90	5,43	5,62
15	2,85	3,47	4,36	4,37
10	2,46	3,76	4,42	4,13
5	2,53	3,54	4,23	3,84
0	2,90	3,75	4,31	3,49
(METRO)	0,88	2,63	4,38	6,13

HPS 150 W; fluxo 100 %; valores em nit.

NOTA: Situação resultante (rede) sob tensão elétrica nominal.

Anexo D – 4 CETE NC/LRPC: Instalação Pilote – TABELA D – 4.3

CETE NC/LRPC - Rouen, França

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: HPS 150 W; luminária modelo: Pilote, Thorn (Lecocq)

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 8 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **100 %** (ver nota)

Estatística dos registros da medição

luminância média: 3,57 nit

desvio padrão: 0,84 nit

luminância máxima: 5,17 nit

luminância mínima: 2,19 nit

28 registros

I.C.B. 95%: 0,309 nit

I.C.B. 99%: 0,407 nit

road				
30	2,19	3,30	4,61	3,74
25	2,41	3,29	3,92	3,53
20	2,42	3,38	4,40	3,63
15	2,71	3,50	5,17	4,90
10	2,60	3,41	4,43	4,55
5	2,30	3,49	4,24	4,14
0	2,23	3,62	4,02	3,74
(METRO)	0,88	2,63	4,38	6,13

HPS 150 W; fluxo 100 %; valores em nit.

NOTA: Situação resultante (rede) sob tensão elétrica nominal.

Anexo D – 4 CETE NC/LRPC: Instalação Pilote – TABELA D – 4.4

CETE NC/LRPC - Rouen, França

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: HPS 150 W; luminária modelo: Pilote, Thorn (Lecocq)

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 8 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **65 %**

Estatística dos registros da medição

luminância média: 2,24 nit

desvio padrão: 0,53 nit

luminância máxima: 3,24 nit

luminância mínima: 1,36 nit

28 registros

I.C.B. 95%: 0,196 nit

I.C.B. 99%: 0,258 nit

road				
30	1,36	2,17	2,90	2,32
25	1,48	2,26	2,54	2,26
20	1,61	2,14	2,63	2,71
15	1,70	2,30	3,24	3,18
10	1,67	2,09	2,66	2,42
5	1,39	1,90	2,47	2,34
0	1,37	2,31	2,94	2,44
(METRO)	0,88	2,63	4,38	6,13

HPS 150 W; "fluxo 75 %"; valores em nit.

Anexo D – 4 CETE NC/LRPC: Instalação Pilote – TABELA D – 4.5

CETE NC/LRPC - Rouen, França

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: HPS 150 W; luminária modelo: Pilote, Thorn (Lecocq)

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 8 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **43 %**

Estatística dos registros da medição

luminância média: 1,52 nit

desvio padrão: 0,36 nit

luminância máxima: 2,22 nit

luminância mínima: 0,92 nit

28 registros

I.C.B. 95%: 0,133 nit

I.C.B. 99%: 0,175 nit

road				
30	0,97	1,44	1,93	1,49
25	1,00	1,36	1,67	1,52
20	1,08	1,37	1,82	1,72
15	1,15	1,50	2,06	2,22
10	1,15	1,61	1,88	1,92
5	0,96	1,37	1,71	1,78
0	0,92	1,48	1,88	1,73
(METRO)	0,88	2,63	4,38	6,13

HPS 150 W; "fluxo 50 %"; valores em nit.

Anexo D – 4 CETE NC/LRPC: Instalação Pilote – TABELA D – 4.6

CETE NC/LRPC - Rouen, França

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: HPS 150 W; luminária modelo: Pilote, Thorn (Lecocq)

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 8 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **24 %**

Estatística dos registros da medição

luminância média: 0,74 nit

desvio padrão: 0,17 nit

luminância máxima: 1,08 nit

luminância mínima: 0,41 nit

28 registros

I.C.B. 95%: 0,062 nit

I.C.B. 99%: 0,082 nit

road				
30	0,49	0,75	0,96	0,79
25	0,53	0,72	0,82	0,72
20	0,51	0,70	0,82	0,74
15	0,56	0,73	1,05	1,08
10	0,55	0,78	0,84	0,85
5	0,50	0,70	0,93	0,79
0	0,41	0,74	0,90	0,75
(METRO)	0,88	2,63	4,38	6,13

HPS 150 W; "fluxo 25 %"; valores em nit.

Anexo D – 4 CETE NC/LRPC: Instalação Pilote – TABELA D – 4.7

CETE NC/LRPC - Rouen, França

Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: HPS 150 W; luminária modelo: Pilote, Thorn (Lecocq)

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 8 m.

INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.

posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **24 %**

Estatística dos registros da medição

luminância média: 0,68 nit

desvio padrão: 0,15 nit

luminância máxima: 0,98 nit

luminância mínima: 0,42 nit

28 registros

I.C.B. 95%: 0,057 nit

I.C.B. 99%: 0,075 nit

top				
30	0,47	0,68	0,75	0,61
25	0,43	0,74	0,83	0,61
20	0,42	0,76	0,87	0,62
15	0,45	0,71	0,79	0,56
10	0,55	0,79	0,98	0,87
5	0,55	0,77	0,92	0,77
0	0,48	0,73	0,81	0,63
(METRO)	0,88	2,63	4,38	6,13

HPS 150 W; "fluxo 25 %"; valores em nit.

Anexo D – 4 CETE NC/LRPC: Instalação Pilote – TABELA D – 4.8

CETE NC/LRPC - Rouen, França
 Experimento sobre visibilidade e consumo de energia elétrica

Sistema: HPS 150 W; luminária modelo: Pilote, Thorn (Lecocq)

MEDIÇÃO DE: **LUMINÂNCIA.**

ALTURA DOS FOCOS DE LUZ: 8 m.
 INTERVALO ENTRE POSTES (números 2 e 3): 30 m.
 posição (0, 0): poste número 2; e (0, 30) poste número 3.

NÍVEL DO FLUXO: **24 %**

Estatística dos registros da medição

luminância média: 0,72 nit
 desvio padrão: 0,16 nit
 luminância máxima: 1,01 nit
 luminância mínima: 0,44 nit
 28 registros
 I.C.B. 95%: 0,060 nit
 I.C.B. 99%: 0,079 nit

30	0,47	0,86	0,98	0,65
25	0,44	0,66	0,76	0,60
20	0,51	0,74	0,84	0,71
15	0,60	0,86	1,01	0,90
10	0,54	0,74	0,84	0,75
5	0,49	0,73	0,82	0,65
0	0,48	0,83	0,97	0,70
(METRO)	0,88	2,63	4,38	6,13

HPS 150 W; "fluxo 25 %"; valores em nit.

Anexo E – Coleção de imagens da IP

Figura - E1



Figura – E4

Figura – E2



Figura – E5

Figura - E3



Figura – E6

Figura – E7



Figura – E8



Figura – E9



Figura – E10

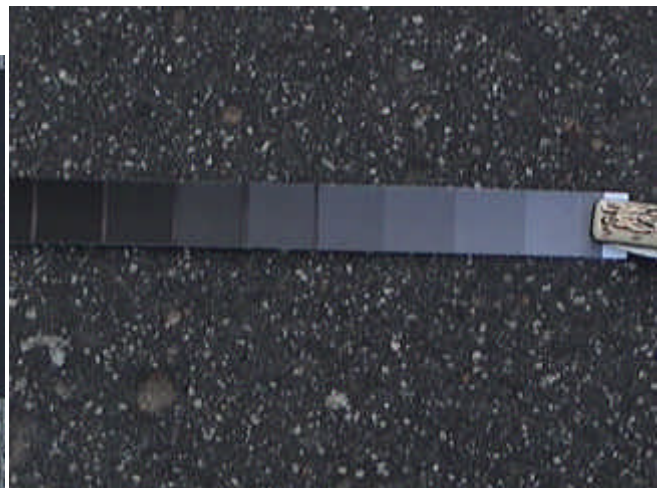


Figura – E11



Figura – E12

Figura – E13

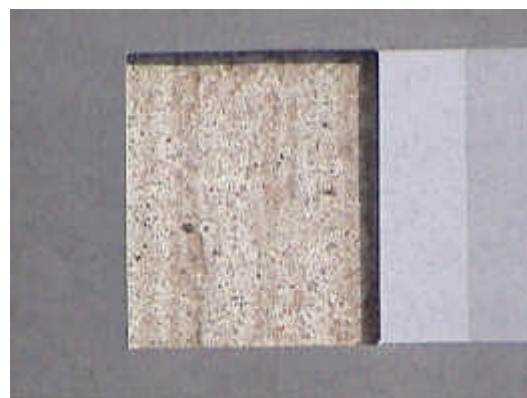


Figura – E16

Figura – E14

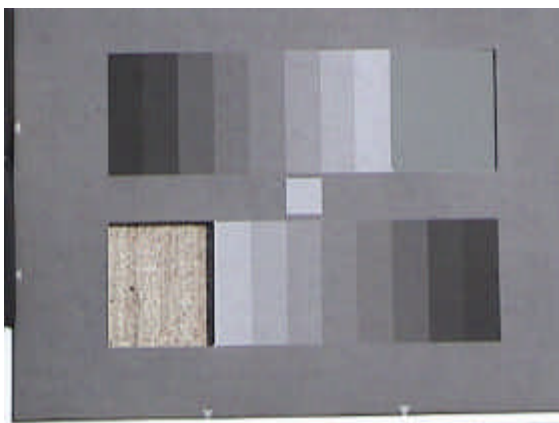


Figura – E17

Figura – E15



Figura – E18

Figura – E19



Figura – E22

Figura – E20

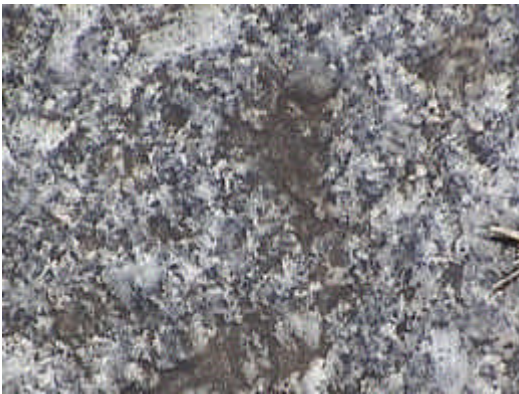


Figura – E23

Figura – E21



Figura – E24

Figura – E25



Figura – E26



Figura – E27

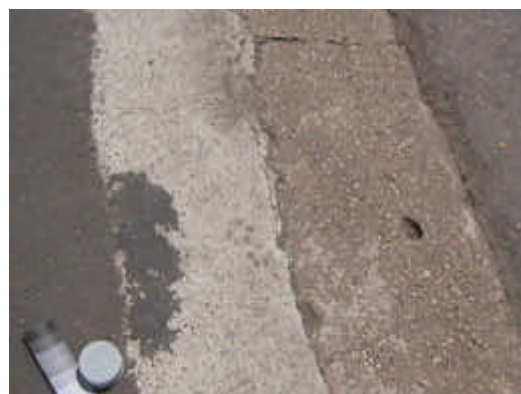


Figura – E28

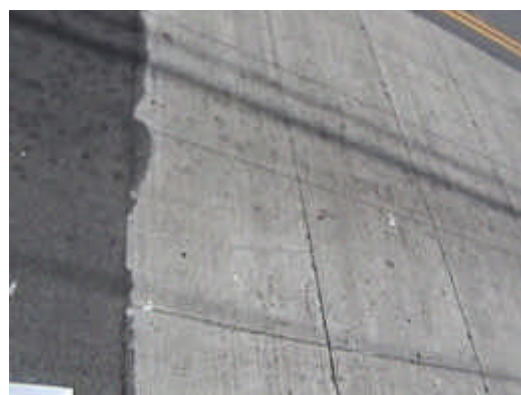


Figura – E29

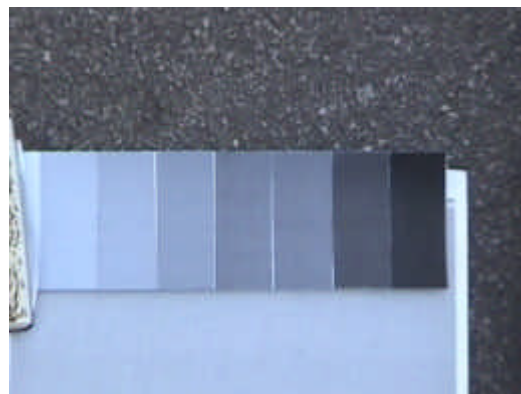


Figura – E30

Figura – E31



Figura – E34

Figura – E32



Figura – E35

Figura – E33



Figura – E36

Anexo F - Histórico: 50 anos !

Interações ocorridas/registradas, na área de IP, entre as administrações públicas e a USP(IE/IEE).

No relatório de atividades do Instituto de Eletrotécnica - IE (anexo à Escola Politécnica), correspondente ao exercício do ano de 1952, entre os trabalhos especiais realizados existe indicação sobre “ensaio de aclaramento noturno no leito da via Presidente Dutra”, e entre aqueles que não foram realizados o “ensaio de determinação de coeficiente de reflexão de superfície ...”. Para o ano seguinte, 1953 (página 21, relatório IE), como trabalho de rotina é possível destacar o “controle da iluminação pública do Município de São Paulo, devido a contrato entre a Prefeitura de São Paulo e o IE para verificações semanais em diversos locais de todo o município da Capital”.

No final do século passado (início dos anos 1990) acompanhamos planos e colaboramos com a realização de ações junto ao ILUME, departamento municipal responsável pela iluminação de São Paulo, quanto a treinamento de pessoal, inclusas atividades laboratoriais e em campo qual medição de iluminância na Av. Paulista, em acompanhamento ao início do *retrofit* das lâmpadas a vapor de mercúrio, VM 400 W, por lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão, VSAP 360 W, utilizando o mesmo reator do sistema à mercúrio. O interesse crescente de funcionários do ILUME pelo PIPGE/USP, a articulação e realização de eventos tendo como tema a IP e o rumo “novo” imposto nas atividades de revisão da NBR 5101 são fatos que facilitaram a aproximação e cooperação ocorrida nos últimos dois anos, no setor de iluminação, entre o IEE/USP e a municipalidade desta Capital.

Anexo G - Esfera integradora especial

Neste anexo foram reunidos os registros principais sobre o projeto, a construção e a calibração de uma esfera integradora especial, contendo duas portas (orifícios) para determinação de refletância por radiação hemisférica, conforme (figura 13) documento CIE 130 – 1998. Este documento de referência apresenta três configurações alternativas e possíveis para a construção da esfera. Basicamente elas diferem na localização da(s) fonte(s) de luz utilizadas, posicionada(s) na parte interna ou externa da esfera. Como o objetivo principal é a maximização da uniformidade da radiação na superfície interna da esfera, a rigor deveríamos construir e testar comparativamente as três configurações possíveis, porém nosso objetivo neste instante contempla a construção de apenas uma esfera que teoricamente seja a melhor opção (de ordem técnica, prática e também econômica), para comparação de resultados com outra metodologia (por meio digital), original, desenvolvida como parte deste trabalho.

O ponto de partida para a construção do nosso protótipo foi a aquisição de um difusor esférico translúcido e comercialmente disponível (utilizado em pequenos postes para iluminação decorativa), custo unitário não muito elevado (cerca de 60 US\$), com diâmetro (D) da ordem de 0,5 m (48 cm) e a abertura para uso com as amostras (d1, maior) com diâmetro de 18 cm. Estas dimensões respeitam a restrição necessária ($d1 \leq 0,5 D$), conforme publicação CIE 130. A outra restrição é relativa ao diâmetro máximo (d2) do orifício para uso do fotômetro ($d2 \leq 0,1 D$). Isto não impede o uso da maior cabeça fotométrica disponível (40 mm, instrumento Minipa com difusor). Dois anteparos estão previstos, um (S1) para impedir que a radiação emitida pelo orifício da amostra (d1) incida diretamente no fotelemento instalado em (d2) e o outro (S2) para impedir incidência direta da radiação emitida pela fonte (ou fontes) luminosa nos orifícios da amostra (d1) e do fotelemento (d2).

Cuidados especiais foram tomados em relação à camada de acabamento da pintura interna, cuja refletância inicial foi determinada em 97%. É recomendável fazer acompanhamento deste valor ao longo do tempo.

Na calibração da esfera integradora foi utilizado óxido de magnésio e cartão Kodak, 1999, como a referência de branco (máximo absoluto); PVC e PTFE como seus respectivos padrões para trabalho. Para o segundo referencial para trabalho (de preto, com $\tilde{n}_{dif.} < 0,1$), recomendado pela CIE 130 por razão prática, foi utilizado pó normalmente utilizado em máquinas de xerox e lixas comuns (conforme recomendação pessoal do Sr. Van Bommel, em contato mantido no LITEC, Philips), calibrados a partir de medições com luminômetro (instrumento francês) fabricado e calibrado pela LMT.

Anexo H - Notas gerais e biográficas do autor

Neste anexo estão reunidas informações consideradas não estarem diretamente relacionadas com o relato sobre as atividades das pesquisas desenvolvidas no âmbito desta tese, porém que talvez de alguma forma possam contribuir com melhorias ao estágio atual da IP no Brasil.

Os indivíduos sofrem processo de perda da sua criatividade ao longo dos anos, a capacidade de reter informação também se degenera. Estas são razões suficientes para que os esforços mais significativos sejam depurados e sedimentados de forma criteriosa. Nos últimos quinze anos estivemos envolvidos num processo continuado de aprendizado, participando e colaborando em trabalhos, alguns pioneiros em nosso país, no setor de iluminação. A síntese dos diversos esforços afins e a vontade de realizar trabalho voltado ao aprimoramento da luminotécnica brasileira culminou em plano de tese ao doutorado, sempre orientado para agregar contribuição às áreas do conhecimento, como os segmentos da engenharia brasileira, ocupadas com a racionalização no uso de energia elétrica para o setor de iluminação.

O início do interesse foi a partir de experimentos em esfera integradora, com luminária típica para IP, quando verificamos possibilidades para ganhos no desempenho energético, com melhorias apenas na capacidade de refletir das luminárias prescritas nas normas técnicas (NBR 10304, 1988 e NBR 10672, 1989), com rendimento total (não definido para a região de interesse) da ordem de 50 %. Esforço decorrente de resultado positivo, obtido em desenvolvimento anterior realizado para sistemas fluorescente (junto ao Prof. Moreira, J.R.).

O foco dos trabalhos e pesquisas que realizamos esteve concentrado, predominantemente, na investigação de fatores técnicos que pudessem ser elementos de limitação da eficiência energética em uso final.

Para caracterizar referencial à tecnologia cujo interesse de aplicação era crescente (em 1996), a lâmpada VSAP, nós lançamos proposta para análise comparativa da vida útil efetiva (Burini; 1996). Informação importante para conhecimento da competitividade tradicional e real (“os watts”) desta tecnologia, devido às condições (não usuais) de sua utilização (rede elétrica com flutuações da ordem de $\pm 5\%$ e de reator tipo série).

A dificuldade de disponibilidade instrumental para medições, após retorno do luminômetro LMT 1000 à França (utilizado no experimento sobre visibilidade, em fev./2001), não constituiu barreira, mas estímulo ao desenvolvimento que planejamos e foi realizado. Mantivemos interesse em ampliar conhecimentos (e participação da sociedade) sobre a busca por gerar capacitação tecnológica local, possibilitando novos critérios para verificar qualidades do sistema brasileiro de IP.

A variabilidade do chaveamento observada na IP - Ainda que o tema do primeiro trabalho de pesquisa do autor, realizada em campo, divulgado em agosto de 1992, possuía interesse sobre a disponibilidade da Luz do Dia - LD, a busca estava voltada ao melhor conhecimento da taxa de variação temporal (no início e final do período diurno) da LD, o registro de interesse maior na área de energia foi à variabilidade do chaveamento observada na IP (Burini, 1993a).

Entendemos fazer parte de nossa missão contribuir com o progresso do conhecimento tecnológico para melhor desenvolvimento da luminotécnica no país (Burini, 1992, 1996; Burini, et al., 1993a, b, 1994a, b, 1999a, b, 2000 e

2001).

Colaboramos com a última atualização da norma brasileira pertinente e em vigor, a NBR 5101, 1992, para a qual nova revisão técnica encontrava-se em andamento*. A partir do ano 2000 recebemos convite e passamos a ter maior participação na esfera da normalização técnica internacional.

O luminômetro (RL, Morass, chapa: Peterco) foi obtido por empréstimo, junto a Philips do Brasil, para auxiliar na realização de parte do trabalho de tese, porém o mesmo não apresentou estabilidade suficiente na indicação**, mesmo depois da substituição da sua fonte de energia. Motivo que conduziu ao desenvolvimento de luminômetro simples (ver alguma teoria sobre o desenvolvimento no anexo I). Protótipo a ser destinado à área do IEE que não possui luminômetro, como contribuição ao aperfeiçoamento do controle de emissão luminosa por negatoscópios no Brasil.

Em geral, na área de IP as recomendações internacionais ou nacionais (estrangeiras) são adaptadas às particularidades locais de cada país, conforme o tipo de via, por exemplo, ou como base para a normalização regional. O critério da visibilidade, atualmente adotado nos EUA, RP-8-00, IESNA, e alguns outros exemplos, cujas prescrições são de interesse foram buscados de publicação anterior (Burini, et al., 1999a,b) e estão reunidos na Tabela H.1.

Notas: * No ano de 2001 houve interrupção nas atividades do COBEI, entidade reconhecida e que dava suporte à revisão normativa referida; e

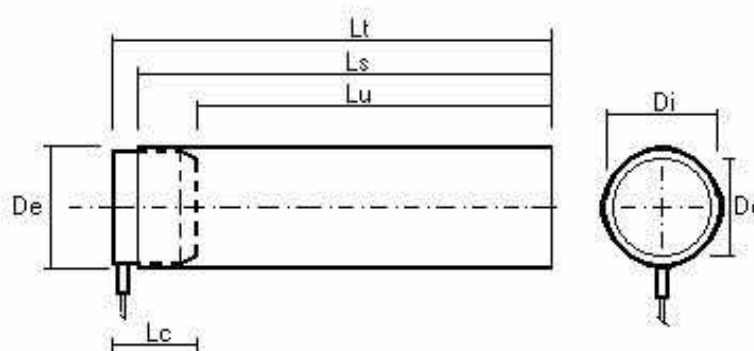
** Será necessário realizar manutenção neste equipamento.

Tabela H.1 – Compêndio de critérios para projetos da iluminação de vias públicas, conforme referência (Burini, et al., 1999a,b).

Critério	Referência	Aplicação e Comentários
Iluminância Horizontal	IESNA RP-8-00	Iluminação de vias para veículos valores médios mínimos da iluminância (componente) que incide verticalmente na via, de acordo com a sua classificação.
Luminância	IESNA RP-8-00 e CIE-115, 1995	Iluminação de vias para veículos valores médios mínimos de intensidade luminosa que incide na via e se reflete na direção do motorista.
Visibilidade	IESNA RP-8-00	Iluminação de vias para veículos nível de visibilidade a conjunto de objetos considerando-se os seguintes fatores: (a) Luminância dos objetos; (b) Luminância do fundo; (c) Nível de adaptação aos espaços adjacentes; (d) Ofuscamento desabilitador presente
Iluminância Horizontal e Vertical	IESNA RP-8-00	Iluminação de vias para pedestres e ciclovias Iluminâncias: (a) Média horizontal sobre a via; (b) mínima vertical a 1,5 m acima da via.
Iluminância Semicilíndrica	CIE – 92, 1992	Iluminação de vias para pedestres Iluminância média sobre a superfície de um semicilindro a 1,5 m de altura do plano da via
Iluminância Horizontal e uniformidade	NBR 5101, 1992 - COBEI, ABNT	Iluminação de vias para veículos/pedestres valores médios mínimos da iluminância (no plano horizontal) de uma via de acordo com a sua classificação.

Anexo I - Teoria sobre o luminômetro simplificado

Ele foi montado com tubo (pintado internamente em preto fosco) de comprimento (L_s), diâmetro interno médio (D_i) e fotelemento (comprimento, L_c e diâmetro (menor) da face ativa D_c).



LUMINANCÍMETRO - sim.
Elvo Calixto Burini Junior
16/nov./2001.

Figura I.1 – Reprodução de alteração projetada para a cabeça fotométrica de um luxímetro*; à esquerda vista lateral do tubo com o fotelemento instalado e à direita vista frontal** com definição da área permitida para entrada da luz.

Notas: * - Nesta parte são consideradas as bases para projeto e a validação de luminômetro simples na concepção, pois não introduz inovação além da finalidade didática (para possibilitar suprimento da necessidade indicada) e poder ser facilmente replicado localmente, sem dificuldades. A construção física parte de luxímetro que pôde ser facilmente adquirido (após seleção entre ao menos 4 marcas diferentes e 8 fornecedores) por cerca de US\$ 136.70, incluso imposto. O material adicional e necessário (cabo, conectores, tubo, parafusos) deve montar abaixo de 10 % deste valor, o que torna o instrumento economicamente acessível;

** - Legenda, utilizado tubo de comprimento (L_s), diâmetro interno médio (D_i); fotelemento com comprimento (L_c) e diâmetro menor da face ativa (D_c); comprimento útil (L_u); comprimento total do conjunto (L_t), diâmetro externo do tubo utilizado para construir o colimador (D_e).

Na escolha das dimensões do tubo existe um compromisso básico entre o erro a ser cometido devido à fonte ser considerada puntiforme e não ser possível um afastamento em demasia da mesma para manutenção de indicação significativa (considerada a resolução/sensibilidade do luxímetro utilizado). O equacionamento é simples, envolve a lei conhecida como Inverso do Quadrado da Distância (IQD) à fonte, e a definição de luminância, razão entre intensidade luminosa pela área aparente da fonte (considerado o ângulo entre a normal da superfície e da intensidade). A consideração da condição de ser o comprimento útil do tubo (ver figura I.1) utilizado (L_u) bem maior que a maior dimensão da fonte, no caso do uso da outra extremidade (aquela que não contém o sensor) deste colimador justaposta ao plano da fonte (um material translúcido, por exemplo), esta dimensão será o próprio diâmetro interno do tubo (D_i). Assim, existindo a condição do comprimento útil do tubo utilizado ser bem maior que o seu diâmetro ($L_u \gg D_i$), poderá ser mantido em patamar aceitável (por exemplo, não superior a 2 %) o erro cometido na determinação da intensidade pela utilização da referida lei (IQD). Na expressão final do equacionamento, a iluminância (E), indicada pelo instrumento deverá ser multiplicada por uma constante geométrica devida exclusivamente ao arranjo estabelecido a partir do tubo e sensor utilizados, $[(4/\pi) \cdot (L_u/D_i)^2]$, para o cálculo da luminância (L) da região a ser amostrada, quando esta for justaposta à extremidade do tubo, como da equação abaixo,

$$L \text{ (cd/m}^2\text{)} = [(4/\pi) \cdot (L_u/D_i)^2] \cdot E \text{ (lux)} \quad (I.1)$$

Onde:

L_u e D_i são dimensões do tubo utilizado, conforme figura I.1, e

E é a iluminância, leitura convencional, do instrumento utilizado.

Ainda que o diâmetro (D_i) possa ser reduzido, caso seja desejado melhora na relação (L_u/D_i) para aumentar o “ganho” conferido pela constante ao valor de iluminância de entrada, geralmente a dimensão do próprio fotelemento ou o maior tamanho do sensor fotoelétrico prevalece como condicionante para a escolha do menor valor desse diâmetro, redução esta que também auxilia na manutenção da uniformidade da amostra em níveis baixos. O aumento do diâmetro e ou (principalmente) o comprimento do tubo não são indicados por causa do chamado efeito de tubo longo (que significa necessidade de consideração sobre a contribuição produzida por reflexão, não uniforme, ao longo da parede interna do tubo). Independentemente da análise que será feita a seguir, para considerações sobre a influência de parâmetros dimensionais introduzidas pelo uso do colimador, a equação 2 indica estar a incerteza do valor da luminância afetada diretamente pela incerteza que pode ser obtida de uma aferição (calibração) adequada do luxímetro utilizado.

A análise teórica para a determinação, por cálculo simplificado, da iluminância axial ou na direção da normal a uma fonte não puntiforme, com formato circular, pode ser realizado mesmo para fonte com diâmetro elevado quando comparado com a sua distância até o ponto de interesse, dado que tal condição possa ser atendida por uma seção circular (anel) contido no disco-fonte.

Na utilização prática do colimador é importante ser observado o seu ângulo de abertura (o dobro da geratriz), no caso do protótipo de colimador construído: 7,7 graus. Um aprimoramento a este trabalho, no sentido de investigar as diferenças entre o equacionamento teórico e a influência de fatores não considerados, como a refletância da parede interna do tubo, poderia ser tema de um trabalho futuro.

Um procedimento de aferição convencional (realizado com medição da iluminância, relação IQD conforme seção 2.2.2, superfície difusora com refletância conhecida, gray card, Kodak) e/ou $(L = \rho.E/\pi)$ indicou, para o fator de calibração, valor igual a 4,9 (a ser multiplicado pela leitura do instrumento para fornecer a luminância, em knit, para escala do instrumento em “2 klx” e fonte fluorescente convencional).

Este protótipo elaborado foi utilizado para medições, como o fotoelemento de dois dispositivos utilizados e na classificação inicial de elementos utilizados para gerar uma escala de refletância, em tons de cinza (base em papéis: cartão, verge e A4).

Anexo J - Equação para aferição de câmera digital

Dumortier, D., 2001 apresentou equação para a calibração de câmera digital, em luminância, incluindo variável referente à “velocidade” (movimento) do obturador. Ele considerou a claridade do “pixel” (em escala de zero a cem, e transformação para separação da componente de interesse, a luminância, num sistema a cores, RGB) e luminância respectiva da cena, parametrizados com valores da relação entre velocidade do obturador dividida pela (relação de) abertura do diafragma (ao quadrado). Esta equação (J.1) segue modelo anterior, talvez melhor elaborado, apresentado por Mees, 1952, que pode ser preferido, por alguns, por considerar apenas variáveis de estado acessíveis, diretamente, através da câmera.

$$L = A (n/F^2) \cdot \exp [B(n/F^2) \cdot L^*] \quad (J.1)$$

Onde:

L : luminância do objeto (cd/m²) ou (nit);

L* : iluminação (ou brancura) do “pixel” (0 a 100);

A e B : constantes a determinar;

F: relação da abertura; e

n: “velocidade” do obturador (seg.).

A câmera DCR-TRV320 foi utilizada em processo de calibração, a partir de informações recebidas (Kawakami, K., 2001) e transferência de escala do luminômetro LMT 1000, conforme conjunto de controles para exposição

luminosa e tipo de fonte primária (ver figuras J.1 e J.2). O luminancímetro utilizado durante o experimento sobre visibilidade (com origem França, retornou em fev.2001) teve sua última aferição/calibração realizada na Alemanha, em dez./2000, conforme cópia de certificado recebida e foi o instrumento de referência (visão fotópica) no trabalho de tese. Ele também foi utilizado na calibração do fotômetro convencional, luxímetro marca Minipa, utilizado.

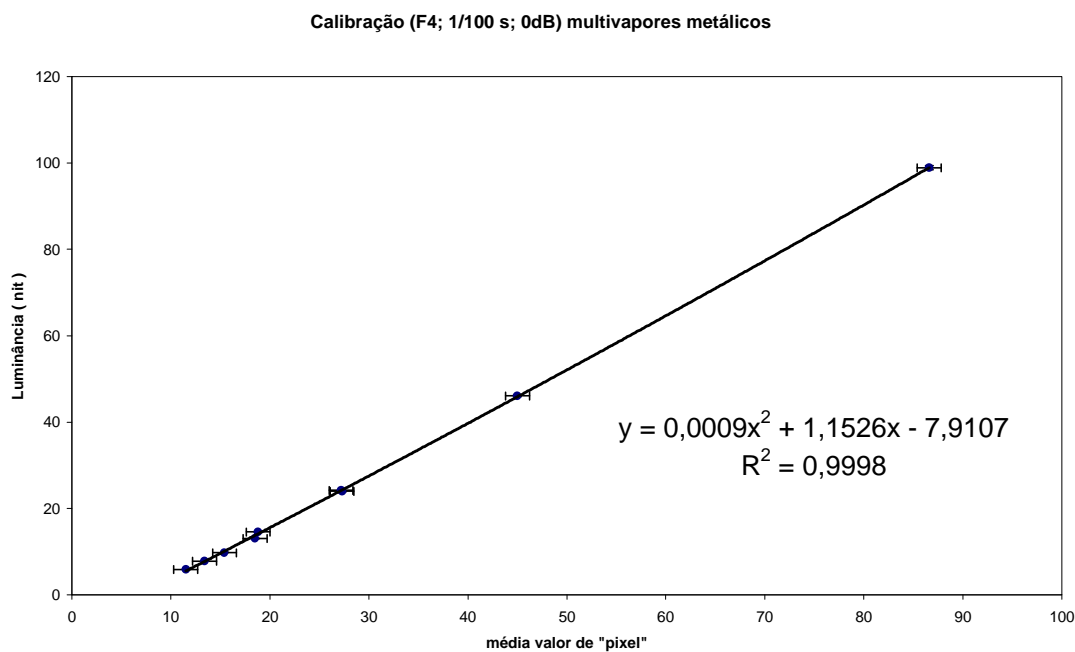


Figura J.1 – Dados para calibração da câmera DCR-TRV320 por transferência de escala a partir do luminancímetro LMT 1000, conforme conjunto de controle da exposição informado e fonte primária tipo incandescente.

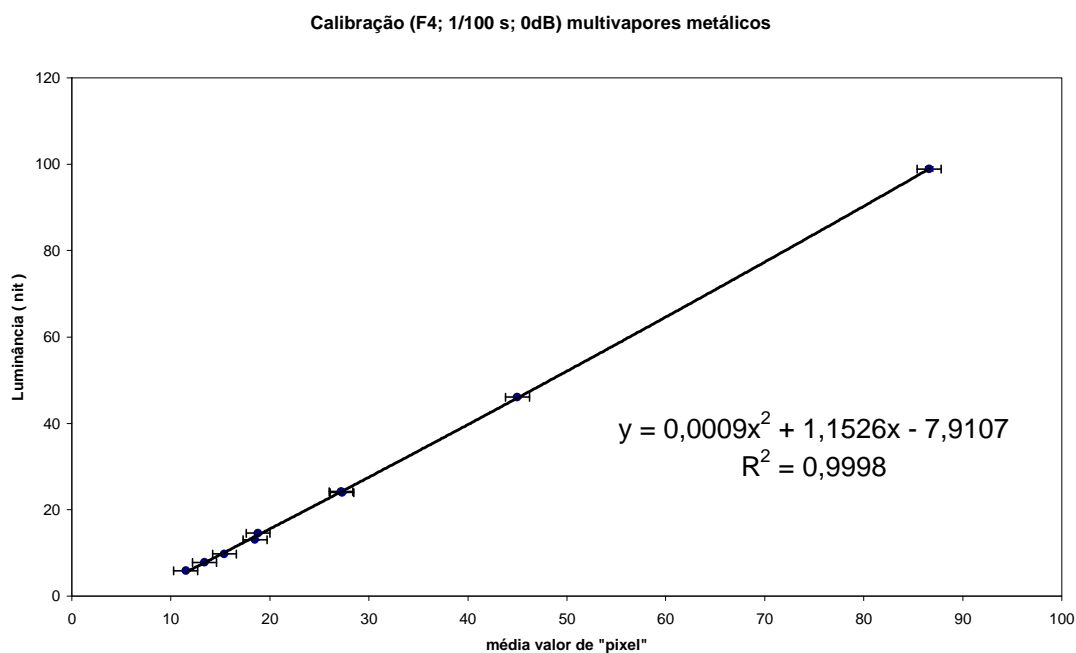


Figura J.2 – Dados para calibração da câmera DCR-TRV320 por transferência de escala a partir do luminancímetro LMT 1000, conforme conjunto de controle da exposição e fonte primária MVM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIAN, Werner Visibility of targets: Model for calculation. **Lighting Res. Technol.** v.21, n.4, p.181-188, 1989.

ADRIAN, Werner The Spectral reflectance of road surfaces and resulting luminances in MH and HPS Light. In: SYMPOSIUM CIE DIVISION 4 AND 5 MEETING, 2000, Toronto. **Proceedings.** Waterloo: University Waterloo, Canada, p.47-53.

ABQ - AIR QUALITY BUREAU. **Guidelines for Light Pollution Aiming for Good Lighting Environments.** Environment Agency of Japan, 1998. 97p.

AKBARI, H.; Pomerantz, M.; Taha, H. Cool Surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, v.70, n.3, p.295-310, 2001.

Albedos (%): reflection coefficients for visible radiation (valores em porcentagem de coeficientes de reflexão para radiação visível, refletância). St Vincent College, Mill Lane, Gosport, Hampshire, England. Disponível em: <<http://www.stvincent.ac.uk/Resources/Weather/albedo.html>>. Acesso em: 06/fev. 2002.

AP Series. Disponível em: < <http://www.ccd.com/apseries.html>>. Acesso em : 21/mar.2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 429:** Iluminação Pública, 19p., Rio de Janeiro, 1976.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 1188:** Interpretação estatística de resultados de ensaio - Estimacão da média - Intervalo de confiança (NBR11153), Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101:** Iluminação Pública: procedimento, 23p., Rio de Janeiro ,1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **EB-8 (NBR 5121)** Lâmpadas com filamento de tungstênio para iluminação geral - Especificação, 25p. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5891:** Regras de Arredondamento na numeração decimal: procedimento, 1p., Rio de Janeiro, 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10304:** Luminária aberta para iluminação pública: especificação, Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10672:** Luminária fechada para iluminação pública: especificação, Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **P-EB-211:** Estágio Experimental Lâmpadas elétricas incandescentes para iluminação pública: especificação, Rio de Janeiro, 1965.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **(EB-211) NBR 5362:** Lâmpada com filamento de tungstênio para iluminação pública : especificação. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **(TB-23) NBR 5461:** Iluminação: terminologia, 68p., 1991.

ARRUDA, P. R. Sobre **A Correção do efeito estroboscópio e do fator de potência das lâmpadas fluorescentes**. 1949. 119p Tese (Provimento de Cátedra) – Escola Politécnica , Universidade de São Paulo, São Paulo., 1949.

BACELAR, A.; CHATELIER, D.; BURINI JUNIOR, E.C. Visibility and Energy Savings in public lighting. In: Congresso Internacional de Iluminação, Istanbul, Turquia, set., 2001.

BACELAR, A. comunicação pessoal (e-mail), jun. e ago., 2002.

BARNARD, Kobus; FUNT, Brian **Camera calibration for color research** . Disponível em:<<http://www.cs.berkeley.edu/~kobus/.../index.html>>. Acesso em: 21 nov. 2000.

BARROWS, William E. **Light, Photometry and Illuminating Engineering**, 3rd. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1951.

BARROWS, William E. Lighting streets, highways, and airways. In: _____. **Light, Photometry and Illuminating Engineering**, 3rd. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1951a. p. 143-147.

BARROWS, William E. Principles of street and Highway lighting. In: _____. **Light, Photometry and Illuminating Engineering**, 3rd. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1951b. cap. 13, p. 352-373.

BLACKWELL, H. R; SCHWAB, R. N.; PRITCHARD, B. S. Visibility and Illumination Variables in Roadway Visual Tasks. **Illuminating Engineering**, p.277-308, May, 1964.

BOAST, Warren B. Design of Street-Lighting Systems. In: _____. Illumination Engineering, 1rd.ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1942.

Book review (Figure 1, from DiLaura, David L., 2001. Photometria. New York: Illuminating Engineering Society of North America). **Lighting Res. Technol.**, v.34, n.1, p.83-84, 2002.

BOX, Paul C. Relationship Between Illumination and Freeway Accidents. **Illuminating Engineering**, v.46, n.4, p.365-393, may/jun., 1971.

BRITISH STANDARD. **BS 5252**: Framework for Colour co-ordination for building purposes. London, 1976.

BRITISH STANDARD. **BS 5489-part 1**: Road Lighting, Guide to the general principles, 12p., BSI, London, 1992.

BRITISH STANDARD. **BS 5489-part 2**: Road Lighting, Guide to the general principles, 32p., BSI, London, 1987.

BRUSCELA, Ben Figura extraída de divulgação de trabalho de pesquisa. Disponível em: < http://dingo.vu.edu.au/~mech_eng/postgrad/ben.html >. Acesso em: 21 nov. 2000.

BRUSQUE, Corinne; PEYBERNARD, J.; PAUMIER, J. -L.; PAGE, M. The photometric characteristics of porous asphalt concretes. **Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées**, n.203, p.23-32, mai/juin. 1996a.

BRUSQUE, Corinne; HUBERT, Roger La métrologie de la luminance par caméra CCD Étalonnage et qualification du système MÉLUSINE. **Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées**, n.205, p. 39-47, sept/oct., 1996b.

BRUSQUE, Corinne Perception of coloured road surface at night. **Lux Europe**, p.341-345, 2001.

BULL, C. R. et al. Inspection of teats by colour image analysis for automatic milking systems. **Computers and electronics in agriculture**, n.15, p. 15-26, 1996.

BURINI JUNIOR, Elvo Calixto, Medições da luz do dia em torno de 23° S - 47°O. In: CONFERÊNCIA PANAMERICANA DE ILUMINAÇÃO LUX AMÉRICA, 1., 1992, São Paulo. **Anais. São Paulo: ABILUX / COBEI**, 1993. p.44-49.

BURINI JUNIOR, Elvo Calixto.; CAUVILLA, Pedro Roberto; SAUER, Ildo Luis. Análise Econômica de Alternativas para Iluminação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 6., 1993, Rio de Janeiro . **Anais**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1993a. p.799-810.

BURINI JUNIOR, Elvo Calixto, et al. Competitividade entre as alternativas tecnológicas para iluminação. **Revista Eletricidade Moderna**, São Paulo, v.21, n. 234, p.26-34, Set. 1993b.

BURINI JUNIOR, Elvo Calixto, et al. **Bases para política de iluminação pública** : estudo de caso. Trabalho apresentado ao Seminário ENE 715, Programa Interunidades de Pós- Graduação em Energia – USP, 1994. 165p.

BURINI JUNIOR, Elvo Calixto; SANTOS, Maria Mercedes Marques dos; SAUER, Ildo Luis. Bases para política de iluminação pública: estudo de caso. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2., 1994, Campinas. **Anais**. Campinas: Unicamp.1994.

BURINI JUNIOR, Elvo Calixto. **Luminotécnica**: aspectos políticos. Trabalho apresentado ao Seminário ENE 714, Programa Interunidades de Pós- Graduação em Energia – USP, 1996. 13p.

BURINI JUNIOR, Elvo Calixto et al., **Tecnologia e Conservação da Iluminação**. Trabalho apresentado ao Workshop Iluminação Pública e Qualidade de Vida, São Paulo, 1999a. Mimeografado.

BURINI JUNIOR, Elvo Calixto et al. Tecnologia, conservação de energia e eficiência da Iluminação Pública **Eletricidade Moderna**, São Paulo, v. 27, n. 305, p. 76-94, ago. 1999b.

BURINI JUNIOR, Elvo Calixto ; ANDRADE, Adnei Melges **Memórias de Revisões à NBR IEC 64**: lâmpadas incandescentes. Apresentado na 5. Conferência Pan-Americana de Iluminação – Lux América 2000, São Paulo, 2000.

BURINI JUNIOR, Elvo Calixto; JARDINETTI , Rosemary Boettger ; Sauer , Ildo Luis. **Uma proposta de Iluminação Pública Inteligente**. Trabalho apresentado a 5. Conferência Pan-Americana de Iluminação – Lux América 2000, São Paulo, 2000.

BURINI JUNIOR, Elvo Calixto; BACELAR, A.; CHATELIER D., **Visibility and Energy Savings in lighting**. Trabalho apresentado ao IESNA Annual Conference, Ottawa, Canada, 07/ago.2001.

BURINI JUNIOR, Elvo Calixto; BURANI, Geraldo Francisco; SAUER, Ildo Luís; FERREIRA, Milton Martins e BACELAR, Alexis. **Requisitos à Iluminação Pública – IP para o transporte viário no Brasil**. Trabalho apresentado a 6. Conferência Pan-Americana de Iluminação – Lux América 2002, 2002, San Miguel de Tucumán, Argentina, 24-27, Junho, 2002.

CAMPOS, J. Radiometric calibration of charge-coupled-device, **Metrologia**, v.37, p.459-464, 2000.

CANDY, Francis E.; DATES, Henry B. **illuminating Engineering**. New York, John Wiley & Sons, 1925.

Carter, T. J. cópia de opção de projeto para a rodovia Presidente Dutra, 1952.

CAYLESS, M. A.; MARSDEN, M. (ed.) **Lamps and Lighting**. 3rd ed. London : Edward Arnold, 1983. 522p. ISBN 0-7131-3487-9.

CEN/TC 169 N 139E. Lighting Applications and Road Equipment - Road Lighting - Part 2: Performance requirements, Draft January 1996.

CHARLETON, K.S.; KEMENADE, J.T.C. White HPS Lamps with a Color Temperature of 2700 K. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, v. 20, n. 1, p.134-139, winter 1991.

City of Los Angeles, Referências de preços praticados pelo Bureau of Street Lighting (<http://cityofla.org/bsl/newlight.html>; acessado em 06/nov./2001).

COBEI (ref.: Ct.162/85-CB-3), Carta resposta ao presidente da Sociedad Mexicana de Ingenieria de Iluminacion, A.C. (assinada pelo Prof. Libbe Smit), 3p., 15/dez./1985.

CODE OF HIGHWAY LIGHTING, Prepared by the Committee on Street and Highway Lighting of the IES, 1936. **Transactions I.E.S.**, p.141-160, feb. 1937.

COHU, catálogo de fabricante, EUA (pdf 11/99).

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE. **CIE 12.2 (TC-4.6)**: Recommendations for the Lighting of Roads for Motorized Traffic. Paris, 1977.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE . **CIE 15 (E-1.3.1)**: Commission Internationale de l'Éclairage, Publ. Colorimetry (Official Recommendations of the International Commission on Illumination). Paris, 1971.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE . **CIE 30-2** : Calculation And Measurement Of Luminance And Illuminance In Road Lighting. Paris, 2nd ed.1982.(reprint 1990).

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE **CIE 38 (TC-2.3)**: Radiometric and Photometric Characteristics of Materials and their Measurement. Paris, 1977.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE **CIE 46 (TC-2.3)** A review of publications on properties and reflection values of material reflection standards. Paris, 1979.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE **CIE 66**: Road Surfaces and Lighting, (Joint CIE/PIARC publication). Paris, 1984.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE **CIE 92**: Guide for the Lighting of Urban Areas. Paris, 1992.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE . **CIE 115:**
Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic.
Paris, 1995.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE **CIE 130:** Practical
Methods For Measurement of Reflectance and Transmittance. Paris, 1998.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE **CIE 140:** Road Lighting
Calculations. Paris, 2000.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE **CIE 144:** Road Surface
and Road Marking Reflection Characteristics. Paris, 2001.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE (**CIE 144**) Road Surface
and Marking Reflection Characteristics. Draft (from Duco), Paris, Dec., 1998.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE **CIE TC 4-37:** Road
Transport Lighting for Developing Countries. *First (Preliminary) Draft, England,
August, 2002.*

COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO. **Tráfego nas vias públicas,
setor de normatização e desenvolvimento tecnológico**, CESP, 1982. 9p.
(Estudo DETN/NO-011).

DRC – TRV 320 – Digital Video Camera Recorder, Operating Instructions,
Sony, 2000.

DERSA: Sistema Rodoviário Trabalhadores (Catálogo).

DI PACE, Guillermo; BECKER, Edgardo Costo de Pavimentos Urbanos a Lo
Largo de su Vida Útil. Anais do 2º FÓRUM INTERAMERICANO DE
PAVIMENTOS DE CONCRETO, P.43-52, Rio de Janeiro, Brasil, Ago.1999.
São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP.

DOWS, C.L.; ALLEN, C.J. The Light-Meter and Its Uses. **Transactions of the
Illuminating Engineering Society**, p.675-684, July, 1936.

DUFF, J. T. Road lighting and the role of central government, **Lighting Res.
Technol**, v.6, n.4, p.183-196, 1974.

DUMORTIER, Dominique; VETRO, Pierre Luminance calibration of the Nikon
Coolpix 950 digital camera. **Lux Europe** , p.341-345, 2001.

DYGERT, M. **Artificial Light and its Application in the home**. New York:
McGraw-Hill, 1932.

Dyno «Dynamic public lighting », Ministry of Transport of the Netherlands,
Transport research center (AVV), Cover report, 30 p., March 1999.

EB 210P ENGINEERING BULLETIN Whitetopping—State of the Practice, American Concrete Pavement Association, USA.

Egan, M. David **Concepts in Architectural Lighting**. New York: McGraw-Hill, 1983. 270p.

Elvidge, Christopher D. et. al.. Radiance Calibration of DMSP-OLS Low-Light Imaging Data of Human Settlements. **Remote Sensing of Environment**, v.68, n.1, p. 77-88, Apr. 1999.

FIORANTE, Glauco Rogério Cugler **Sensores de imagem ccd's para aplicações em visão robótica**. Disponível em: < http://sim.lme.usp.br/links/pdf/mono_glauco.pdf>. Acesso em : 26 abr.2002.

FISCHER, D. European approach to the luminance aspect of roadway lighting. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, p. 111-119, jan.1975.

FOGLE, Marlin E. New Color Corrected Photronic Cells for Accurate Light Measurements. **Transactions of the Illuminating Engineering Society**, p.773-784, Sept. 1936.

FORJUOH, Samuel N.; LI, Guohua A review of successful transport and home injury interventions to guide developing countries. *Soc. Sci. Med.*, v.43, n.11, p. 1551-1560, 1996.

Frankinet, M.M., et al. Study of the influence of coloured road surface on the efficiency of road lighting installations. (mimeo), p.62-65, *Lux Europa*, 18-20, jun., Reykjavík, 2001.

FULTON, James T. **Processes in animal vision**. Disponível em: <<http://4colorvision.com/themes.htm>>. Acesso em : jul.2002.

GELLER, H. S. Efficient electricity use: a development strategy for Brazil, American Council for an Energy-efficient Economy, 1991, p.110-111.

GIBSON, R. G., Dimming of Metal Halide Lamps. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, v. 23, n. 2, p.19-25, summer 1994.

GLENN, Johnathan; DODDS, G.; ROBINSON, R. Practical Limitations and Measurements for Camera Based Road Luminance/Lighting Standards Assessment. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, p.64-70, winter. 1999.

GRIND, Wim A. van et al. Motion detection from photopic to low scotopic luminance levels. **Vision Research**, v.20, p.187-199, 1999.

GUAN, Fu Min, et al. Energy efficient lighting in China, *Energy Policy*, v.25, n.1, p.77-83, 1997.

- GUILLAUME, S., et al. Characterization of Mill Products by Analysis of In-flow Digitalized Images. *Journal of Food Engineering*, n.27, p.311-322, 1996.
- GUTH, S. Lee., Model for color vision and light adaptation. *Journal of the OPTICAL SOCIETY of AMERICA – JOSA and Review of Scientific Instruments*, v.8, n.6, p.976-993, 1991.
- HADWAN, M. K., et al. Application of photogrammetry in lighting calculations for obstructed interiors. **Lighting Res. Technol.** v.32,n.1, p.13-17, 2000.
- HARDY, Arthur C. **Handbook of Colorimetry**. Cambridge: The Technology Press, Massachusetts Institute of Technology, 1936. 87p. ISBN 026208001X.
- HECKBERT, Paul S. Quantization for frame buffer display. The Massachusetts Institute of Technology, May, 1980. Disponível em: <http://www.cs.cmu.edu/~ph/ciq_thesis>. Acesso em: 04/set.2001.
- HERRING, Horace Does energy efficiency save energy? The debate and its consequences. **Applied Energy**, v.63, p.209-226, 1999.
- Holladay, L. L. THE FUNDAMENTALS OF GLARE AND VISIBILITY. *Journal of the OPTICAL SOCIETY of AMERICA – JOSA and Review of Scientific Instruments*, v.12, n.4, p.271-319, april, 1926.
- HOLLADAY, L.L. Action of a Light-Source in the field of view in lowering visibility. *Journal of the OPTICAL SOCIETY of AMERICA – JOSA and Review of Scientific Instruments*, v.14, n.1, p.1-15, JANUARY, 1927.
- HORTON, G. A. Electric Instrumentation In Light Measurement. **Illuminating Engineering**, v.46, n.4, p.701-707, Dec., 1969.
- HRS – Hyperspectral remote sensing. Disponível em: <<http://130.182.110.100/hrs/mspectral.html>>. Acesso em : 13/nov.2002.
- IERI Project 30 G-1: Research in Lighting: Referência ao projeto Dr. H. Richard Blackwell. **Illuminating Engineering**, v.__, n.__, p.419, jul. 1961.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 1146-1: Video cameras (PAL/SECAM/NTSC) Methods of measurement. part 1: Non-broadcast single-sensor cameras**. Geneva, 1994.
- ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY. Guide for photometric measurement of roadway lighting installations: LM-50 (74) **Journal of the Illuminating Engineering Society**. p.154-156, jan. 1975.
- IES CP-31-1989 Value of Public Roadway Lighting, **Journal of the Illuminating Engineering Society**, p.137-157, summer, 1999.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **IES Lighting Handbook**. New York: Illuminating Engineering Society of North America, 1ª Ed., 1947.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. IES Lighting Handbook em CD). New York: Illuminating Engineering Society of North America, 9ª Ed., 2000.

Iluminação Viária - sinopse, Peterco, 113p., 1975.

ISOBE, Syuzo Energy Loss of Light Ejected into Space, 3rd European Conference on Energy-Efficient Lighting, 1996.

JACK, A. G.; KOEDAM, M. Energy Balance for Some High Pressure Gas Discharge Lamps. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, p.323-329, July, 1974.

JENKINS, Francis, Arthur; WHITE, Harvey E. FUNDAMENTALS OF OPTICS. International Student Edition, 14th, (1976) 1981. ISBN 0-07-032330-5.

JENKINS, D. A., et al. Digital imaging colorimeter for fast measurement of chromaticity coordinate and luminance uniformity of displays, 2001. Disponível em: <<http://www.radiating.com>>.

KAWAKAMI, Kohji comunicação pessoal, em 2001.

KEITZ, H. A. E. The photometric measuring-units system. In: _____. **Light Calculations and Measurements: an Introduction to the System of Quantities and Units in Light-Technology, and to Photometry**. 2nd revised ed. London: Macmillan, 1971. cap.12, p. 222-247.

KIM, Y. -H.; WARDLE, C.S. Measuring the brightness contrast of fishing gear, the visual stimulus for fish capture. **Fisheries Research**, v.34, n.2, p. 151-164, Mar. 1998.

KING, L. Ellis; FINCH, D. M. Roadway Surface Classification. **Illuminating Engineering**, v.63, n.12, p.627-634, dec. 1968.

KING, L. Ellis Measurement of directional reflectance of pavement surface and development of computer techniques for calculating luminance, **Journal of the Illuminating Engineering Society**. p.118-126, jan. 1976.

KNOLL, H. A.; TOUSEY, R.; HULBURT, E. O. Visual Thresholds of Steady Point Sources of Light in Fields of Brightness from Dark to Daylight. **Journal of the Optical Society of America**, v.36, n.8, p.480-482, Aug. 1946.

Kodak Gray Cards Cat. n. E152 7799, ISBN 0-87985-806-0 (publicação R-27Q): Cartão de referência (refletância) produzido e comercializado sob licença da Eastman Kodak Company, 1999.

KRAEHENBUEHL, JOHN O. Measurement of Pavement Surface Characteristics. **ILLUMINATING ENGINEERING - IE**, v.47, n.5, p.278-287, may, 1952.

LAROUSSE 1995, Grande Enciclopédia Larousse Cultural, v.18, Nova Cultural Ltda., 1998 (figura).

LECOCQ, Jacques. Small Target Visibility as a Quality Criterium In Roadway Lighting. In: SYMPOSIUM CIE DIVISION 4 AND 5 MEETING, 2000, Toronto. **Proceedings.**, Waterloo: University Waterloo p.32-41, 2000.

LEIBOWITZ, Herschel W.; Owens, D. Alfred; Tyrrell, Richard A. The assured clear distance ahead rule: implications for nighttime traffic safety and the law. **Accident Analysis & Prevention**, v.30, n.1, p. 93-99, January, 1998.

LESLIE, Russell P. A Simple Cost Estimation Technique for Improving the Appearance and Security of Outdoor Lighting Instalations. **Building and Environment**, v.33, n.2-3, p. 79-95, Mar.1998.

LEWIN, Ian A Luminance Approach to Highway Sign Lighting. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, p.122-128, Jan.1974.

LEWIN, Ian; O'FARRELL, John Luminaire Photometry Using Video Camera Techniques, **Journal of the Illuminating Engineering Society**, p.57-63, Winter, 1999.

LEWIN, Ian Lumen Effectiveness Multipliers for Outdoor Lighting Design. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, p.40-52, Summer, 2001.

LMT 1000 Luminance Meters Series L1000: luminancímetro marca LMT, modelo L1009, n. série 089539, certificado de aferição (calibração) do fabricante, em Berlin, datado de 08.dez.2000 e contra referencia PTB 4.101-000600/00 de 04-12-2000.

LRC, Lighting Futures, v.5, n.1 Roadway Lighting. Figura. Disponível em : <<http://www.lrc.rpi.edu/futures/LF-Auto/main5.htm>>. Acesso em 08 mar.2002.

LUCKIESH, M. **Light and Work**. New York: D. Van Nostrand Company, 1924. 296p.

LUX AMÉRICA 2000. **Anais**. Disponível em : <<http://www.abilux.com.br/>>. Acesso em: 30 abr.2002.

MAcMAHON, J. Demosaicing of Color Filter Array Validation of the "Acharya & Tsai" Algorithm, 1999. Disponível em: <<http://ise.stanford.edu/class/psych221/99/dixiedog/vision.htm>>., Acesso: 2002.

Manual de iluminação Philips. Figura. Manual de Iluminação. Philips Lighting Division, 1975, Eindhoven, Holanda. 319p. Terceira edição (1981), 1986.

MATHEMATICS EXPERIENCES THROUGH IMAGE PROCESSING (METIP). Disponível em :<<http://www.cs.washington.edu/research/metip/software/pixel.html>>. Acesso em: 19 set. 2000.

MATTSSON, U. et al. Digital image analysis (DIA) of colour changes in human skin exposed to standardized thermal injury and comparison with laser doppler measurements. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, n.50, p.31-42, 1996.

MEES, C. E. Kenneth, **The Theory of the Photographic Process**. New York: The Macmillan Company. 1952. 1124p.

MILLAR, Preston S. An unrecognized aspect of street illumination. **Transactions of the Illuminating Engineering Society**, v.5, n.7, p.546-552, October, 13, (paper presented before the New York Section of the IES) 1910.

MILLAR, Preston S. Some neglected considerations pertaining to street illumination. **Transactions of the Illuminating Engineering Society**, v.5, n.8, p.653-684, November, 11 (paper presented at the Fourth Annual Convention of the IES, Baltimore, October, 24-25), 1910.

MILLAR, Preston S. The effective illumination of streets. **Transactions of the Illuminating Engineering Society**, v.10, p.1039-1079, (paper presented at the of the Electrical Engineers and the IES, Deer Park, Md., June 29 to July 2,), 1915.

MILLAR, Preston S. Tests of street illumination. **Transactions of the Illuminating Engineering Society**, v.11, n.4, p.479-517, June, 10, (paper presented at a meeting of the Philadelphia Section of the IES, February, 18) 1916.

MILLAR, Preston S. Brightness of street surface as an element of effectiveness in street lighting. **Transactions of the Illuminating Engineering Society**, p.1051-1070, November 1928.

MILTON, E. J. On the suitability of Kodak neutral test cards as reflectance standards. **International Journal of Remote Sensing**, v.10, n.6, p.1041-1047, 1989.

MOON, Parry **The Scientific Basis of Illuminating Engineering**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1936.

MOON, Parry On Interreflections. **Journal Optical Society of America**, v.30, p.195-205, may, 1940.

MOREIRA, José Roberto; POOLE, Alan D.; BURINI JUNIOR, Elvo Calixto, Technology Transfer and Absorption in Developing Countries: a case study of lighting in Brazil. In: R. TACHAURI K.; PREET, Bhandari. **Climate Change in Asia and Brazil: the Role of Technology Transfer**. New Delhi, 1994; p.17-50.

MOREIRA, Vinicius de Araújo. Noções de fotometria. In:_____. **Iluminação e Fotometria** teoria e aplicação. 3 ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1976 e 1987. cap.3, p.24-56.

MOREIRA, Vinicius de Araújo. **Iluminação Elétrica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. cap.9, p.155-179.

MURDOCH, Joseph B. **Illumination engineering: from Edison's lamp to the laser**, Visions Communications, 1994.

New Delhi, 1995. The 23rd Session of the CIE in New Delhi. Disponível em: <http://195.178.164.205/IAEEL/iaeel/newdelhi/iaeelcie.htm>. Acesso em 05 nov. 2001.

OLS&HF. The Human Eye in anatomical transparencies. Figura. Disponível em: <http://www.orlions.org/eyetour/diagrammap.html>. Acesso em 21 ago. 2001.

PAINTER, Kate The influence of street lighting improvements on crime, fear and pedestrian street use, after dark. **Landscape and Urban Planning**, v.35, n.2-3, p.193-201, Aug. 1996.

PAMUK, Ayse; CAVALLIERI, Paulo Fernando A. Alleviating Urban Poverty in a Global City: New Trends in Upgrading Rio-de-Janeiro's Favelas. **Habitat International**, v.22, n.4, p. 449-462, Dec. 1998.

PATTANAIK, Sumanta N., et al. Validation of Global Illumination Simulations through CCD Camera Measurements. In Proceedings of the Fifth Color Imaging Conference, Society for Imaging Science and Technology, p.250-253, November 1997.

PEREIRA, Dulcidio A. Luz e Cor. **Revista G.E.**, v.1,n.2, 13p., Jan. 1954.

Pfaff & Kendall - NY 14th Street Association: Fluorescent Luminaires. **Illuminating Engineering**, p.33A, september, 1957.

Planning Manual for "Regional Lighting Environment Plans" Air Quality Bureau Environment Agency of Japan, 77p., june, 2000.

Política de Iluminação Pública, modulo 3 - ASPECTOS TECNICOS, DNAEE, MME, 1985.

Política de iluminação pública: Relatório-Síntese, DNAEE, MME, 20p.1986.

POMERANTZ, Melvin Benefits of cooler pavements – heat island group LBNL, (Figura). Disponível em : <http://eetd.lbl.gov>. Acesso em 2000.

PORTA, Sergio The community and public spaces: ecological thinking, mobility and social life in the open spaces of the city of the future. **Futures**, v.31, p.437-456, 1999.

Portaria 158, de 1989, do extinto Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE).

PRADO, Luiz Cintra do. **Iluminação**. São Paulo: FAU/USP , 1961.

Programa de ligações de unidades subnormais – PUS: “PRÓ-LUZ”, Eletropaulo e PMSP, 45p.(monografia), ago., 1981.

PUBLIC WORKS, Street Lighting Policy, Department of Public Works, city of Berkeley, USA. Disponível em:

<<http://www.ci.berkeley.ca.us/PW/Utility/slpolicy.html>>. Acesso em: 2002.

QD 30 (catálogo de referência da Delta Light & optics, (Figura).

RAMAIAH, R. Energy-Saving High Pressure Sodium Lamps. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, v. 23, n. 2, p.116-122, Summer, 1994.

REA, M. S.; JEFFREY, I.G. A New Luminance and Image Analysis System for Lighting and Vision I. Equipment and Calibration. **Journal of Illuminating Engineering**, v.19, n.1, p. 64-72, Winter, 1990.

REA, Mark S. **Lighting Handbook, Reference & Application**, 8th. ed. New York: IESNA , 1993.

REA, Mark; VAN DERLOFSKE, John; LINGARD, Robert . Roadway Lighting as a System: New Opportunities 19th IESNA Street and Area Lighting Conference, Minneapolis, Minnesota, EUA, sept. 2000/.

REID, Kirk M.; CHANON, H.J. Studies in Fundamentals of Highway Lighting, **Transactions I.E.S**, p.119-162, feb. 1936.

REID, Kirk M.; CHANON, H.J. Determination of Visibility on Lighted Highways, **Transactions I.E.S**, p.187-207, feb. 1937.

REID, Kirk M.; TOENJES, D. A. Appraisal of Discomfort Glare On Lighted Streets, **I.E.**, p.143-148, mar. 1952.

Revista Lumière. Seção serviços e produtos: Efficientia 98, ano 1, n.7, nov., 98.

RIEVE, A. F. et al a-Si:H color imagers and colorimetry. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 266-269, p.1168-1172, 2000.

Roff, M. W. Accuracy and reproducibility of calibrations on the skin using the fives fluorescence monitor. Ann. Occup. Hyg. v.41, n.3, p.313-324, 1997.

ROMBAUTS, P; VANDEWYNGAERDE, H; MAGGETTO, G Minimum semicylindrical illuminance and modeling in residential area lighting. **Lighting Res. Technol**. v.21,n.2, p.49-55, 1989.

ROMERO, Carlos Garcia. Duas cartas do presidente da Sociedad Mexicana de Ingenieria de Iluminacion ao Sr. Libbe Smit e ao COBEI, 8 e 15/out./1985.

ROSA, Luiz Pingueli; et al. Ética: uma externalidade ignorada – algumas conseqüências no setor elétrico. **Revista Brasileira de Energia**, v.4, n.1, 1995.

RP-8-00/ANSI American National Standard Practice for Roadway Lighting (ANSI / RP-8-00), ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA - IESNA, 61p., June, 2000 (ISBN # 0-87995-160-5).

RPLC - NSV - Recommendations on Public Lighting, Commission on Public Lighting of the “Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde” (Netherlands Foundation on Illumination), 73p., translation, May, 1959.

RYKOWSKI, Ron Illumination System Measurement Using CCD Cameras, (reprinted from) OPTICAL SOCIETY of AMERICA, 3p, 1994.

SAUER, Ildo Luís. et al. EPIR - Estudo de Usos Finais de Energia Elétrica e de Avaliação do Sistema Elétrico de Boa Vista RR & Estudo de Planejamento Integrado de Recursos para o Sistema Elétrico de Boa Vista RR, PIPGE, CD-Rom, 2001.

Scan, 2000, International Technology Scanning Program: Bringing Global Innovations to U.S. Highways, Office of International Programs, Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation, 2000. (EUROPEAN ROAD LIGHTING TECHNOLOGIES. **FADT, AASHTO and NCHRP panel of the Transportation Research Board**. Sept. 2001. p.20. FHWA-PL-01-034).

SCHANDA, et al. Does lighting need more photopic luminous efficiency functions?. **Lighting Res. Technol.** v.34,n.1, p.69-78, 2002.

SEBURN, T. J. BEHIND THE SCENES . . . of the New Roadway Standard. **Illuminating Engineering**, p.113-117, Feb., 1964.

SILVA, R.A Busquim e et al. **Projeto, construção e controle de um robô móvel**, 1999. 169p. Monografia – Escola Politécnica , Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SIMMONS, A. E.; FINCH, D. M. Uniformity of Illumination in Highway Lighting. **Illuminating Engineering**, v.46, n.4, p.199-211, apr., 1951.

Sistema VSAP – 50. Especificação Técnica: Equipamento auxiliar para Lâmpadas VSAP – 50 W, Reator e Ignitor, 14p, ago., 1986. Mimeografado (texto-base para projeto de norma técnica, recebido de Orlando M. S. Lobo).

Specifier Reports. Reflector Lamps, National Lighting Product Information Program. v.3, n.1, 18p., October, 1994.

SPENCER, Domina EBERLE; Gaston, Eugene A. Lighting design with generalized reflectance. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, v.4, n.3, p.171-176, April, 1975.

STAHL, CHARLES J. **Electric Street Lighting**. New York: John Wiley & Sons, 1929.

STARK, Richard E. Road Surface's reflectance influences lighting design. **Lighting Design & Application**, p.42-46, Apr., 1986.

STEMPROK, Roman; GREEN, Bobby; TANG, Zhen. Measurement of Visibility with CCD-Devices. In: **SYMPOSIUM CIE DIVISION 4 AND 5 MEETING, 2000, Toronto**. Proceedings. **Waterloo: University Waterloo**. p.1-31, 2000.

Super CCD, (Figuras). Disponível em : <<http://www.sccd.pdf>>. Acesso em: 2000.

SWEET, Arthur J. Fundamentals of Rural Highway Lighting. **Transactions I.E.S.**, p.481-507, may. 1936.

TANNER, A. E. Light Trespass? **Lighting Design + Application**. p.22-23, April 1986.

Telesun (figura) La vision humaine: Cellules sensibles. RFV-INSA Lyon 1997. Disponível em <http://telesun.insa-lyon.fr/~telesun/humain/L01/titre.html>. Acessado em fev.2002.

THEEUWES, Jan, et al. The effectiveness of side marker lamps: an experimental study. **Accid. Anal and Prev.**, v.29, n.2, p.235-245, 1997.

THORNTON, W. A. A System of Photometry and Colorimetry Based Directly on Visual Response. **Journal of Illuminating Engineering**, p. 99-111, oct. 1973.

THORNTON, W. A.; et al. Brightness meter. **Journal of Illuminating Engineering**, v.10, n.1, p.52-63, oct., 1980.

TING, M.; KOOMEY, J.; POMERANTZ, M. PRELIMINARY EVALUATION OF THE LIFECYCLE COSTS AND MARKET BARRIERS OF REFLECTIVE PAVEMENTS, LBNL-45864, (Figura), 2001 (Disponível em : <<http://enduse.lbl.gov/Projects/pavements.html>>. Acesso em 2002.

TORRES, Ary F. DOSAGEM dos CONCRETOS. BOLETIM N. 1, Escolas Prof. Salesianas do Lyceu C. de Jesus, 63p., São Paulo, junho de 1927. São Paulo, IPT, 1993.

TORRES de Araújo, Ione Maria, et al. Melhora da eficiência e do serviço de iluminação pública no Brasil. EM, p.120, mar., 2000.

TPE - Travaux Personnels Encadrés: La perception des couleurs par l'oeil. (Figura). Disponível em <http://www.bioinformatics.org/oeil-couleur/dossier/cones.html>. Acessado em 05/ jul.2002.

TRAVIS, J. C.; WINCHESTER, N. K.; SMITH, M. V. Determination of the Transmittance Uniformity of Optical Filter Standard Reference Materials. **Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology**, v.100, n.3, p.241-256, may/jun. 1995.

VAN BOMMEL, Wout J. M. Optimization of the quality of roadway lighting installations- especially under adverse weather conditions. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, p.99-106, Jan., 1976.

VAN BOMMEL, Wout J. M. Design considerations for roadway lighting. JOURNAL of the ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY - JIES, p.40-46, October, 1978.

VAN BOMMEL, Wout Road-Lighting research over the past 80 years; what lessons can we take with us into the next millennium?, CIE 24TH Session- Warsaw, p.174-178, 1999 (e palestra no espaço Litec, Philips em SP, no mesmo ano).

VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara Urban development and traffic accidents in Brazil. **Accident Analysis & Prevention**, v.31, n.4, p. 319 – 328, July, 1999.

VAUGHN, F. A. A Practical Application of the principles of scientific street lighting. **Transactions of the Illuminating Engineering Society**, v.10, p.282-314, (paper presented at the 9TH annual convention of the IES, September 20-23), 1915.

VERMEULEN, J. Security Lighting and Closed Circuit Television, **Journal of the Illuminating Engineering Society**, p.157-162, Summer, 1987.

VHRS - Visible Human Research System (Figuras). Disponível em : <<http://www.rsinc.com/vh>>. Acesso em 05/abr.2001.

WALERCZYK, Stan LD+A, IESNA, February, p. 8 e p.52, 2002.

WALSH, John W. T. **Photometry**. 2nd. ed. London: Constable & Company, 1953. 544p.

WALSH, JOHN W. T. **Textbook of Illuminating Engineering**. 2nd ed. London: SIR ISAAC PITMAN & SONS LTD, 1954.

Weber-Fechner (Steven) law: Lei sobre a relação entre estímulo físico e sensação a partir da visão humana. Disponível em : <<http://www.mises.org/easier/W.asp>>.

<<http://www.medfak.uu.se/fysiologi/Lectures//WebFech.html>>. Acesso em 25/set.2002.

WIGHTMAN, C., et al. A quantitative image analysis method for characterizing mixtures of granular materials. *Powder Technology*, n.89, p. 165-176, 1996.

WILLIAMS, C. David Establishment of diffuse reflectance scales using the NPL Reference Reflectometer. ***Analytica Chimica Acta***, n. 380, p.165-172, 1999.

WYSZECKI, Günter; Stiles, W. S. **Color Science Concepts and Methods Quantitative Data and Formulae**. New York: John Wiley & Sons, 1982. 950p. ISBN 0-471-02106-7.

YOUNG, JOHN W. Abstracts- Street Lighting. **ILLUMINATING ENGINEERING - IE**, v.52, n.9, p.468-470, sept., 1957.