



Viviane Godinho Vaz

**Medição de iluminância por dispositivos móveis: uma
análise comparativa de diferentes plataformas e aplicativos**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Metrologia (Área de concentração:
Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio.

Orientadora: Prof^a. Elisabeth Costa Monteiro
Coorientadora: Prof^a. Roberta Dutra de Oliveira Pinto

Rio de Janeiro
Outubro de 2018



Viviane Godinho Vaz

Medição de iluminância por dispositivos móveis: uma análise comparativa de diferentes plataformas e aplicativos

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof^a. Elisabeth Costa Monteiro

Orientadora

Programa de Pós-Graduação em Metrologia - PUC-Rio

Prof^a. Roberta Dutra de Oliveira Pinto

Coorientadora

Programa de Pós-Graduação em Metrologia - PUC-Rio

Prof. Carlos Roberto Hall Barbosa

Programa de Pós-Graduação em Metrologia - PUC-Rio

Prof. Daniel Ramos Louzada

Programa de Pós-Graduação em Metrologia - PUC-Rio

Prof. Marcio da Silveira Carvalho

Coordenador Setorial de Pós-Graduação do
Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 29 de outubro de 2018

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora, da orientadora e da coorientadora.

Viviane Godinho Vaz

Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil, em 2010.

Ficha Catalográfica

Vaz, Viviane Godinho

Medição de iluminância por dispositivos móveis: uma análise comparativa de diferentes plataformas e aplicativos / Viviane Godinho Vaz; orientadora: Elisabeth Costa Monteiro; coorientadora: Roberta Dutra de Oliveira Pinto. – 2018.

80 f.: il. color. ; 29,7 cm

Dissertação (mestrado)—Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Centro Técnico Científico, Programa de Pós-Graduação em Metrologia, 2018.

Inclui bibliografia

1. Metrologia – Dissertações. 2. Metrologia para a Qualidade e Inovação – Dissertações. 3. Metrologia. 4. Medição de iluminância. 5. Luxímetro. 6. Aplicativos para *smartphone* e *tablet*. 7. Confiabilidade metrológica. I. Monteiro, Elisabeth Costa. II. Pinto, Roberta Dutra de Oliveira. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Centro Técnico Científico. Programa de Pós-Graduação em Metrologia. IV. Título.

CDD: 389.1

Agradecimentos

A Deus, aos meus pais Edir e José (*in memoriam*), e à minha irmã Valesca.

À minha Orientadora Elisabeth Costa Monteiro, profissional e pessoa mais admirável que já conheci! Sou muito sua fã...

À minha Coorientadora Roberta Dutra de Oliveira Pinto, que sempre me incentivou. Sou muito grata!

Aos amigos e professores do Programa da Metrologia, e, em especial, aos amigos Carlos Vinícius Nascimento Barbosa e Jherson Paul Medina Huacasi, e, ainda, à Paula Molinari à Márcia Ribeiro.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À PUC-Rio e ao Pós MQI pelos auxílios concedidos.

Ao Senhor Gregory Amaral Kyriazis, afinal foi quem me falou sobre a Metrologia, dizendo que eu tenho “esse perfil”. E tenho! Identifiquei-me totalmente. Muito obrigada!

A todos os meus “queridos mestres” da graduação realizada na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Ao Professor José Luiz Vaz Galvão, Mestre do curso Arquitetura de Iluminação, de onde surgiu a questão que me motivou a responder a pergunta da dissertação.

À Tereza Cristina Orvelin Sleman, minha terapeuta.

A toda família, em especial ao Marcio B. Godinho, “meu guru” e primo.

Ao amigo Joel Pereira de Lana.

À família Calçada, especialmente à tia Mari, por todo o incentivo, sempre...

E a todos que contribuíram de alguma forma com essa realização.

Resumo

Vaz, Viviane Godinho; Monteiro, Elisabeth Costa; Pinto, Roberta Dutra de Oliveira. **Medição de iluminância por dispositivos móveis: uma análise comparativa de diferentes plataformas e aplicativos.** Rio de Janeiro, 2018. 80 p. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A iluminância do ambiente apresenta impacto fisiológico, emocional e de produtividade, em função das atividades que os indivíduos estejam desempenhando. Normas técnicas internacionais, que são adotadas no Brasil pela ABNT, apresentam requisitos necessários para os níveis de iluminância existentes em ambientes *indoor* de forma a garantir segurança, conforto e eficiência em tarefas visuais durante todo um período de trabalho. Instrumentos de medição, como luxímetros, em geral, não são utilizados no cotidiano. No entanto, a possibilidade de que os sensores já existentes em dispositivos móveis possam realizar essas medições de iluminância tornará viável sua aplicação no cotidiano do usuário, permitindo avaliar a adequação dessa grandeza durante suas atividades diárias. Resultados preliminares disponíveis na literatura, comparando o desempenho de dispositivos móveis associados a diferentes aplicativos comparados aos resultados de medição fornecidos por um luxímetro, apontam para a inadequação da resposta dos dispositivos móveis. Por outro lado, há possibilidade de que o uso de uma cúpula difusora acoplada ao dispositivo móvel possa impactar em seu desempenho de forma a viabilizar a aplicação na medição de iluminância. Assim, neste trabalho são realizados estudos para análise da confiabilidade dos resultados de medição da iluminância obtidos pelos sensores já existentes em *smartphones* e *tablets*, utilizando ou não uma cúpula difusora. As medições foram feitas utilizando um luxímetro digital, e um conjunto de dispositivos de telefonia móvel ou *tablet* associados a diferentes aplicativos, com e sem cúpula difusora anexada. Dois arranjos experimentais foram desenvolvidos: um para medições utilizando uma lâmpada LED, e outra montagem utilizando uma lâmpada de xenônio. Com a análise comparativa evidenciou-se o impacto da utilização da cúpula difusora, a qual possibilitou que algumas das combinações dispositivo/aplicativo alcançassem desempenho adequado para sua aplicação na avaliação quotidiana de iluminância.

Palavras-chave

Metrologia; Medição de iluminância; Luxímetro; Aplicativos para *smartphone* e *tablet*; Confiabilidade metrológica.

Abstract

Vaz, Viviane Godinho; Monteiro, Elisabeth Costa (Advisor); Pinto, Roberta Dutra de Oliveira (Coadvisor). **Illuminance measurement by mobile devices: a comparative analysis of different platforms and applications.** Rio de Janeiro, 2018. 80 p. MSc. Dissertation - Programa de Pós-graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The illuminance of the environment has a physiological, emotional and productivity impact, depending on the activities that individuals are performing. International technical standards, such as ISO 8995-1: 2002 (CIE S 008 / E: 2001), also adopted in Brazil by ABNT, present requirements for the levels of illuminance existing in indoor environments in order to guarantee safety, comfort and efficiency in visual tasks throughout a work period. Measuring instruments such as luxmeters, are not used in everyday life. However, the possibility that the existing sensors in mobile devices can perform these measurements of illuminance will make its application viable in the daily life of the user, allowing to evaluate the adequacy of this greatness during his daily activities. Preliminary results available in the literature, comparing the performance of mobile devices associated with different applications in relation to the measurement results provided by a luxmeter, point to the inadequacy of the response of the mobile devices. On the other hand, it is possible that the use of a diffuser dome coupled to the mobile device may impact its performance to enable the application in the illuminance measurement. Thus, in this work are carried out studies to analyze the reliability of the illuminance values obtained by sensors already existing in smartphones and tablets, using or not a dome diffuser. The measurements were made using as reference, a digital luxmeter, and a set of mobile or tablet devices associated with different applications, in situations with and without diffuser dome attached. Two experimental arrangements were developed: one for measurements using a LED lamp, and another assembly using a xenon lamp. With the comparative analysis, the impact of the use of the diffusion dome was evidenced. The attachment of the dome enabled some of the device/application combinations to achieve adequate performance for application in the daily assessment of illuminance.

Keywords

Metrology; Illuminance Measurement; Luxmeter; Smartphone and Tablet Applications; Metrological Reliability.

Sumário

1 Introdução	16
1.1. Objetivo geral	18
1.2. Objetivos específicos	18
1.3. Estrutura da dissertação	18
2 Confiabilidade metrológica na medição de iluminância	20
2.1. Grandezas Fotométricas e Medição da Iluminância	20
2.1.1. Grandezas Fotométricas	20
2.1.2. Medição de iluminância	22
2.2. Organizações Internacionais	22
2.2.1. BIPM: <i>Bureau International des Poids et Mesures</i>	22
2.2.2. OIML: <i>Organisation Internationale de Métrologie Légale</i>	23
2.2.3. WHO: <i>World Health Organization</i>	23
2.2.4. ISO: <i>International Organization for Standardization</i>	24
2.2.5. IEC: <i>International Electrotechnical Commission</i>	24
2.2.6. CIE: <i>Comission Internationale de l'Eclairage</i>	25
2.3. Organizações Nacionais	26
2.3.1. INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia	26
2.3.2. ANVISA: Agência Nacional de Vigilância Sanitária	30
2.3.3. ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas	30
3 Materiais e Métodos	34
3.1. Dispositivos e aplicativos	34
3.1.1. Dispositivos móveis e aplicativos	34
3.1.2. Cúpula difusora de luz (" <i>Luxi for all</i> ")	35
3.1.3. Luxímetro digital	36
3.2. Montagens e procedimentos experimentais	37
3.2.1. Protótipo para suporte dos dispositivos de medição	37

3.2.2. <i>Setup</i> e procedimentos para medições com lâmpadas de LED e de xenônio	39
4 Resultados	50
4.1. Resultados do Luxímetro digital: valores de referência da iluminância	51
4.2. Resultados de iluminância com fonte luminosa de LED	52
4.2.1. Distância entre fonte de luz e sensor: 640 mm	53
4.2.2. Distância entre fonte de luz e sensor: 495 mm	54
4.2.3. Distância entre fonte de luz e sensor: 353 mm	54
4.3. Resultados referentes à lâmpada de xenônio	55
4.3.1. Abertura de diâmetro 3 mm:	56
4.3.2. Abertura de diâmetro 4,5 mm:	56
4.3.3. Abertura de diâmetro 7 mm:	57
4.3.4. Sem íris:	58
5 Discussão	59
5.1. $\% \Delta_{DL}$ nos ensaios com fonte luminosa de LED	60
5.2. $\% \Delta_{DL}$ nos ensaios com fonte de luminosa de xenônio	66
5.3. Comparação com os outros estudos da literatura	72
6 Conclusões	74
7 Referências bibliográficas e de outros meios	76

Lista de figuras

Figura 1: O banco fotométrico do Laraf (Inmetro)	29
Figura 2: Dispositivos móveis: a) Motorola; b) Nokia; e, c) Ipad. com a cúpula difusora “Luxi for all” acoplada	35
Figura 3: Vista superior (a) e vista lateral (b) da cúpula difusora <i>Luxi for all</i>	36
Figura 4: Luxímetro digital Minipa modelo MLM 1011	36
Figura 5: Desenho das bases B.1: base com recorte para o encaixe da cúpula difusora, e, B.2: base para os dispositivos, sem utilização da cúpula difusora	38
Figura 6: Desenho das bases B.3: base para o luxímetro, e, B.c: base centimetrada	39
Figura 7: Vista superior do local de medição, com o arranjo experimental posicionado acima da mesa de apoio (medidas em milímetros)	40
Figura 8: Vistas Ortográficas Principais da luminária utilizada para lâmpada de LED	41
Figura 9: Vistas ortográficas principais, do arranjo experimental (protótipo) para medições com a fonte de LED.	42
Figura 10: Vista frontal do arranjo experimental, com indicação das distâncias desde a base inferior da luminária (LED) às bases dos suportes	43
Figura 11: Distâncias entre a fonte de LED e os sensores, com indicação das medidas em milímetros	44
Figura 12: Local de medição utilizando o simulador solar (SF300A) com lâmpada de xenônio	45
Figura 13: Detalhe do simulador solar com base centimetrada na bancada de apoio	46
Figura 14: Projeção da luz emitida sem a adaptação da íris ao simulador, sobre a base centimetrada. À esquerda (a) é possível observar o espelho refletindo a câmera do observador.	

À direita (b): perspectiva lateral	46
Figura 15: Simulador solar com emissão de luz com abertura direcionada para cima em duas situações: (a) com adaptação da íris e (b) sem adaptação da íris ao simulador	47
Figura 16: Perspectivas da íris, sobre a base centimetrada	47
Figura 17: Detalhe da íris utilizada nas medições com a lâmpada de xenônio (acima da base centimetrada), com indicação do ajuste manual do diâmetro da íris e sua respectiva abertura	48
Figura 18: Projeção da luz: sobre a cúpula difusora (a); sobre a base centimetrada (b)	48
Figura 19: Com íris no simulador, o Ipad sob a projeção da luz: sobre a “tampa para vedar” (a); e, (b) sobre a cúpula difusora acoplada ao Ipad	49
Figura 20: Gráfico com a relação dos valores resultantes das médias de iluminância (em lux) registrados no luxímetro digital com as duas fontes de luz utilizadas na pesquisa	52
Figura 21: Gráfico com a relação da diferença $\% \Delta_{DL}$ entre os valores de referência (número 13) e dos dispositivos com e sem a cúpula difusora, nas três distâncias das medições realizadas com a lâmpada de LED.	61
Figura 22: Gráfico com as médias (em lux), com e sem cúpula, na maior distância (640 mm)	62
Figura 23: Gráfico com a relação de $\% \Delta_{DL}$, com e sem cúpula, na maior distância (640 mm)	63
Figura 24: Gráfico com as médias (em lux), com e sem cúpula, na distância intermediária (495 mm)	63
Figura 25: Gráfico com a relação de $\% \Delta_{DL}$, com e sem cúpula, na distância intermediária (495 mm)	64
Figura 26: Gráfico com as médias (em lux), com e sem cúpula, na menor distância (353 mm)	64
Figura 27 Gráfico com a relação de $\% \Delta_{DL}$, com e sem cúpula, na menor distância (353 mm)	65
Figura 28: Gráfico com a relação entre a diferença relativa obtida entre as médias dos dispositivos Ipad e Motorola, com cúpula,	

e do luxímetro digital	66
Figura 29: Gráfico com a relação das medições com a fonte de Xenônio, mostrando a diferença relativa, em porcentagem	68
Figura 30: Gráfico com a relação das medições dos ensaios com a fonte de Xenônio, mostrando a diferença relativa, em porcentagem, quando em uso da cúpula difusora	69
Figura 31: Gráfico com a relação das medições, em porcentagem, dos ensaios com a fonte de Xenônio, quando em uso da cúpula difusora	70
Figura 32: Gráfico com a relação das medições dos ensaios com a fonte de Xenônio, mostrando a diferença relativa, em porcentagem, sem uso da cúpula difusora	71
Figura 33: Gráfico com a relação das medições, em porcentagem, dos ensaios com a fonte de Xenônio, sem uso da cúpula difusora	71

Lista de tabelas

Tabela 1: Laboratórios da RBC, faixas de medição (em lux) e “capacidade de medição e calibração (CMC)” representada pela menor incerteza obtida pelo laboratório, com nível de confiança de aproximadamente 95%	29
Tabela 2: Planejamento de alguns ambientes (áreas), tarefas e atividades com a especificação da iluminância.	32
Tabela 3: Associação entre aplicativos e dispositivos móveis utilizados na pesquisa	34
Tabela 4: Especificações Técnicas do luxímetro digital modelo MLM 1011	36
Tabela 5: Código empregado para visualização dos resultados, definido para cada sistema de medição utilizado, considerando informações sobre dispositivo, sistema operacional e aplicativo	50
Tabela 6: Valores das médias de iluminância obtidos com o luxímetro digital nas medições realizadas com as fontes de LED e de xenônio	51
Tabela 7 Valores das médias de iluminância e desvio-padrão, obtidos com o luxímetro digital e com os dispositivos móveis e aplicativos, com a fonte luminosa de LED	53
Tabela 8: Valores das médias de iluminância (em lux), e do desvio-padrão, nos ensaios com a fonte luminosa de xenônio	55
Tabela 9: Porcentagem da diferença entre as médias ($\% \Delta_{DL}$) entre dispositivos móveis e luxímetro, para as três distâncias com a fonte de LED	60
Tabela 10: Relação dos melhores resultados obtidos nas medições com a fonte de LED	65
Tabela 11: Valores de $\% \Delta_{DL}$ em porcentagem, associados a todos os dispositivos móveis, nas diferentes condições de medição utilizando a fonte luminosa de xenônio	66

Tabela 12: Relação dos melhores resultados obtidos com a fonte de xenônio

68

Lista de Abreviaturas e siglas

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AMN: *Asociación Mercosur de Normalización*

Anvisa: Agência Nacional de Vigilância Sanitária

App: Aplicativo

BIPM: *Bureau International des Poids et Mesures*

CB: Comitês Brasileiros (ABNT/CB)

CBM: Comitê Brasileiro de Metrologia

CC: *Consultative Committees* (BIPM)

CCD: Com Cúpula Difusora

CCE: Comitê Consultivo para Eletricidade

CCP: Comitê Consultivo de Fotometria

CCPR: Comitê Consultivo para Fotometria e Radiometria

cd: candela

CE: Comissão de Estudo

CEE: Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE)

CGPM: Conferência Geral de Pesos e Medidas

CIE: *Commission Internationale de l'Eclairage*

CIE-Brasil: Comitê Brasileiro de Iluminação

CIF: Comissão Internacional de Fotometria

CIPM: Comitê Internacional de Pesos e Medidas

CMC: Capacidade de Medição e Calibração

Conmetro: Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

Copant: *Comisión Panamericana de Normas Técnicas*

Cor: *Corrigendum*

Dioptr: Divisão de Metrologia Óptica

GUM: Guia para a Expressão da Incerteza de Medição

Hz: hertz

IEC: *International Electrotechnical Commission*

Inmetro: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

INPM: Instituto Nacional de Pesos e Medidas (extinto)

ISO: *International Organization for Standardization*

JCGM: *Joint Committee for Guides in Metrology*

KCDB: *Key Comparison DataBase*

Laint: Laboratório de Interferometria

Laopt: Laboratório de Aplicações Ópticas

Laraf: Laboratório de Radiometria e Fotometria (Inmetro)

lm: lúmen

lx: lux

m: metro

NBR: Normas Brasileiras (ABNT NBR)

NMIs: *National Metrology Institutes*

OIML: *Organisation Internationale de Métrologie Légale*

OMS: Organização Mundial de Saúde = *WHO*

ONS: Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS)

PUC: Pontifícia Universidade Católica

RBC: Rede Brasileira de Calibração

RTM: Regulamento Técnico Metrológico

s: segundo

SCD: Sem Cúpula Difusora

SI: Sistema Internacional de Unidades

Sinmetro: Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

sr: esferorradiano

TC: *Technical Committee*

VIM: Vocabulário Internacional de Metrologia

W: watt

WHO: *World Health Organization* = OMS

1 Introdução

A luz, ou luz visível, é uma sucessão contínua de irradiação magnética e elétrica que pode ser caracterizada pela frequência ou comprimento de onda. É identificada pela radiação da porção do espectro eletromagnético, na região de aproximadamente 380 nanômetros (violeta) até 770 nanômetros (vermelho) de comprimento da onda, que pode ser captado pela visão humana (espectro visível). [1]

A iluminação deve satisfazer os aspectos quantitativos e qualitativos exigidos pelo ambiente, pois é essencial que as tarefas sejam realizadas facilmente e com conforto. A prática de uma boa iluminação para locais de trabalho é muito mais que fornecer uma boa visualização da tarefa. [2]

A norma técnica internacional ISO 8995-1: 2002 [3], adotada no Brasil como ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: 2013 [2]; e a norma técnica europeia EN 12464-1: 2011 [4] fornecem orientação sobre características de iluminação de acordo com o tipo de atividade que está sendo realizada e recomendam valores de iluminância média para realização de tarefas visuais em ambientes de trabalho.

A ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: 2013 [2] “especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos e os requisitos para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de trabalho”.

A iluminância é um dos principais parâmetros que contribuem para o ambiente luminoso, pois geralmente, a iluminação assegura: conforto visual (sensação de bem-estar); desempenho visual (capacidade para realizar as tarefas visuais, rápida e precisamente, mesmo sob circunstâncias difíceis e durante longos períodos); e, segurança visual (olhar ao redor e detectar perigos). [2]

Os principais parâmetros são: distribuição da luminância; iluminância; ofuscamento; direcionalidade da luz; aspectos da cor da luz e superfícies; cintilação; luz natural; manutenção.

A distribuição da iluminância nas áreas de trabalho e entorno imediato apresentam impacto significativo na eficiência, conforto e segurança da tarefa visual. [2]

Para a medição da iluminância utilizam-se luxímetros. Esse tipo específico de instrumento de medição deve obedecer à norma técnica ISO/CIE 19476:2014 [5]. O luxímetro é utilizado para medir a iluminância de ambientes em indústrias, escritórios, hospitais, residências, escolas, restaurantes, entre outros espaços. Ele consiste basicamente de uma célula fotoelétrica e de um miliamperímetro. A célula fotoelétrica é um material semicondutor, sensível à luz. Quando a luz incide sobre a fotocélula, ocorre a formação de corrente no semicondutor, que depois de amplificada é medida no amperímetro, utilizando-se uma escala graduada adequadamente para medir o nível de iluminância, que é proporcional à radiação luminosa incidente no local de medição. [6]

A possibilidade de que os sensores já existentes em dispositivos móveis possam realizar as medições de iluminância, tornaria viável sua aplicação, sem a necessidade de recorrer ao uso (ou até mesmo à aquisição) do luxímetro digital.

Na literatura, alguns estudos analisaram o desempenho para medição de iluminância utilizando diversas combinações de smartphones com aplicativos e comparando-os aos resultados de medição fornecidos por um luxímetro. [7, 8] Os dispositivos foram submetidos a três diferentes níveis de iluminância, com valor máximo de 1000 lx. Os resultados obtidos indicaram limitações para medição de iluminância associadas aos sensores dos dispositivos e inadequação dos aplicativos avaliados. [7, 8]

Por outro lado, há disponível no mercado, a baixo custo, cúpulas difusoras destinadas a aumentar a região de absorção de luz da câmera de dispositivos móveis, quando a esses anexadas. Não existem estudos descritos na literatura, nos quais se realizou avaliação do desempenho dos dispositivos móveis anexados a essas cúpulas, cujo emprego pode contribuir para viabilizar a aplicação na medição de iluminância.

1.1. Objetivo geral

Avaliar o desempenho metrológico de dispositivos móveis *smartphones* e *tablets* para medição de iluminância, com diferentes configurações de associação a aplicativos, investigando-se a contribuição do acoplamento à cúpula difusora.

1.2. Objetivos específicos

Realizar revisão bibliográfica da literatura científica e das diretrizes normativas/ regulatórias relativas à medição da iluminância e ao luxímetro;

Identificar e selecionar o conjunto de aplicativos de luxímetro em aparelhos de telefonia celular e *tablets*, para avaliação do desempenho metrológico; assim como as fontes luminosas a serem empregadas no estudo.

Desenvolver arranjo experimental adequado às medições de iluminância, para as condições selecionadas.

Comparar os resultados de desempenho obtidos nas medições utilizando as associações de dispositivos móveis/aplicativos, anexados ou não à cúpula difusora, com valores de referência fornecidos por um luxímetro digital nas mesmas condições e avaliar a adequação dos resultados, com base em requisitos definidos por documentos normativos.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos, descritos a seguir:

Capítulo 1: Introdução. Neste capítulo se faz uma breve introdução ao tema de pesquisa da dissertação apresentando a justificativa que deu origem à pesquisa e a motivação do trabalho, assim como a definição dos objetivos geral e específicos.

Capítulo 2: Confiabilidade metrológica na medição da iluminância. Neste capítulo destacam-se as organizações internacionais e nacionais e suas diretrizes.

Capítulo 3: Materiais e Métodos. São descritos neste capítulo os elementos necessários utilizados para a realização dos ensaios utilizando instrumentos para medição da iluminância.

Capítulo 4: Apresentam-se os resultados obtidos.

Capítulo 5: Discutem-se os resultados e compara-se com estudos descritos na literatura.

Capítulo 6: As conclusões são apresentadas, como resultado de aspectos evidenciados ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Capítulo 7: Encontram-se as referências bibliográficas e de outros meios.

2 Confiabilidade metrológica na medição de iluminância

Neste capítulo, em seguida a uma breve apresentação das grandezas fotométricas, dentre as quais se inclui a unidade derivada iluminância, cuja unidade de base correspondente é a candela, são apresentadas as principais organizações internacionais e nacionais vinculadas à preservação de aspectos metrológicos para assegurar a confiabilidade de dispositivos destinados à medição da iluminância, como os luxímetros.

2.1. Grandezas Fotométricas e Medição da Iluminância

No campo da Metrologia, a única grandeza fotobiológica formalmente definida para medição no Sistema Internacional de Unidades (SI) [9] é a interação da luz com o olho humano na visão. Uma unidade de base do SI, a candela, foi definida para essa importante grandeza fotobiológica. Outras grandezas fotométricas com unidades derivadas da candela também foram definidas, como por exemplo, o lúmen e o lux. [10]

2.1.1. Grandezas Fotométricas

A fotometria descreve os efeitos da luz visível no olho humano, em termos de luminância e cor. A radiometria, por sua vez, é o campo da metrologia relacionado com a medição física das propriedades da radiação eletromagnética, incluindo a luz visível. [10]

As unidades fotométricas e radiométricas estão intimamente relacionadas através da definição da unidade de base do SI para a grandeza fotométrica da intensidade luminosa: a candela, que é a única unidade de base do SI relacionada a um processo biológico, a visão humana.

As unidades de intensidade luminosa baseadas em padrões de chama ou filamento incandescente, que eram usadas em diversos países, foram substituídas

em 1948 pela “vela nova”, que correspondia à luminância do emissor de radiação Planck (corpo negro) à temperatura de solidificação da platina.

Esta decisão preparada pela Comissão Internacional de Iluminação e pelo CIPM, desde antes de 1937, foi tomada pelo Comitê Internacional em sua sessão de 1946. A 9ª CGPM (1948) ratificou a decisão do Comitê e adotou novo nome internacional, candela, para designar a unidade de intensidade luminosa. [9]

Em 1967, a 13ª CGPM modificou a definição de 1946. Em virtude das dificuldades experimentais da realização do irradiador de Planck a temperaturas elevadas e das novas possibilidades oferecidas pela radiometria, isto é, a medição de potência dos raios ópticos, a 16ª CGPM adotou em 1979 a nova definição da candela:

“A candela é a intensidade luminosa, numa dada direção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz e que tem uma intensidade radiante nessa direção de 1/683 watt por esferorradiano.” [9]

A eficácia luminosa espectral de uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz é exatamente igual a 683 lúmens por watt: $K = 683$ lm/W = 683 cd sr/W. [9]

O lúmen (lm) é o fluxo luminoso emitido por uma fonte puntiforme e invariável de 1 (uma) candela, de mesmo valor em todas as direções, no interior de um ângulo sólido de 1 (um) esferorradiano ($\text{lm} = \text{cd sr}$). [11]

O lux (lx) é a iluminância de uma superfície plana de 1 (um) metro quadrado de área, sobre a qual incide perpendicularmente um fluxo luminoso de 1 (um) lúmen, uniformemente distribuído ($\text{lx} = \text{lm}/\text{m}^2$). [11]

O esferorradiano (sr) é o ângulo sólido que tendo vértice no centro de uma esfera, subtende na superfície uma área igual ao quadrado do raio da esfera ($\text{sr} = 1 = \text{m}^2/\text{m}^2$) [9, 11].

A candela por metro quadrado (cd/m^2) é a luminância de uma fonte com 1 (um) metro quadrado de área e com intensidade luminosa de 1 (uma) candela. [9]

2.1.2. Medição de iluminância

As medições de iluminância são medições influenciadas por vários parâmetros, tais como condições operacionais, propriedades de fontes de luz, bem como características dos instrumentos de medição, os luxímetros.

A utilização do luxímetro é essencial para a área industrial, principalmente para os profissionais da área de higiene ocupacional e engenharia, no que diz respeito ao conforto do funcionário, com a adequação de sua atividade (ou função) às exigências estabelecidas por normas ABNT específicas para medição de iluminância. [12]

2.2. Organizações Internacionais

2.2.1. BIPM: *Bureau International des Poids et Mesures*

O BIPM é uma organização internacional, fundada pela Convenção do Metro, em que os Estados Membros agem conjuntamente em matérias relacionadas à ciência da medição e padrões de medida.

Os objetivos do BIPM são: representar a comunidade “de medição” por todo o mundo; ser um centro para colaboração técnica e científica entre Estados Membros, fornecendo capacidade para comparações internacionais “de medida” com base em custos compartilhados; e, ser o coordenador do sistema de medição mundial, assegurando que os resultados de medição sejam comparáveis e internacionalmente aceitos.

O CIPM é o Comitê Internacional de Pesos e Medidas, cuja principal tarefa é promover por todo o mundo uniformidade em unidades de medição, o que ocorre por ação direta ou por submissão de resoluções à Conferência Geral CGPM.

Os Comitês Consultivos do CIPM foram instituídos pelo CIPM em 1927. Devido à relação com o assunto dessa pesquisa, foi destacado o CCPR: *Consultative Committee for Photometry and Radiometry*, que recebeu essa denominação em 1971, tendo sido criado em 1933 como *Consultative Committee*

for Photometry (CCP). Entre 1930 e 1933, as questões da fotometria foram tratadas pelo *Consultative Committee for Electricity* (CCE). [13]

Foi destacado também o Comitê Conjunto para Guias em Metrologia (JCGM), instituído para promover o uso do Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (GUM), preparar guias suplementares para sua ampla aplicação, e, revisar e promover o uso do Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (VIM).

2.2.2. OIML: *Organisation Internationale de Métrologie Légale*

A OIML é uma organização mundial intergovernamental cujo objetivo é harmonizar os regulamentos e controles metrológicos aplicados por serviços metrológicos nacionais, ou organizações relacionadas, dos seus Estados-Membros.

A OIML emite várias categorias de publicações onde principais categorias são: '*International Recommendations*': *OIML R* (Recomendações internacionais, regulamentos modelo que estabelecem as características metrológicas necessárias de certos instrumentos de medição e que especificam métodos e equipamentos para checar sua conformidade); '*International Documents*' *OIML D* (Documentos Internacionais, de caráter informativo e que visam harmonizar e melhorar o trabalho dos serviços metrológicos); e outras publicações, como Vocabulários, Guias, Publicações Básicas e Relatórios de Especialistas. [14]

Não há recomendação internacional para luxímetros.

2.2.3. WHO: *World Health Organization*

WHO ou OMS (Organização Mundial de Saúde) é a autoridade diretora e coordenadora em saúde internacional dentro do sistema das Nações Unidas. Seu objetivo é construir um futuro melhor e mais saudável para pessoas de todo o mundo. A equipe da OMS trabalha lado a lado com os governos e outros parceiros para garantir o mais alto nível atingível de saúde para todas as pessoas. [15]

2.2.4. ISO: *International Organization for Standardization*

A ISO é uma organização internacional independente, não governamental, que reúne especialistas para compartilhar conhecimento e desenvolver normas internacionais relevantes voluntárias, baseadas em consenso e relevantes para o mercado, que apoiem a inovação e forneçam soluções para os desafios globais.

O Comitê Técnico ISO/TC 12 '*Quantities and units*' é responsável pela Norma Técnica ISO 80000-7:2008 - *Quantities and units – Part 7: Light*, que fornece nomes, símbolos e definições para grandezas e unidades de luz e outras radiações eletromagnéticas.. Essa norma foi revisada pela última vez e confirmada em 2012. Portanto, a versão citada permanece atual. [16]

O Comitê Técnico ISO/TC 274 *Light and Lighting* é o responsável pela padronização no campo de aplicação de iluminação, que em casos específicos complementam os trabalhos da CIE, e, a coordenação de projetos da CIE, em conformidade com a Resolução do Conselho 19/1984 e com a Resolução do Conselho 10/1989 sobre visão, fotometria e colorimetria, envolvendo radiação natural e provocada pelo homem sobre o UV, as regiões visível e infravermelha do espectro, e assuntos de aplicação cobrindo todo o uso de luz, interiores e exteriores, desempenho energético, incluindo efeitos ambientais, biológicos não visuais e de saúde. [17]

A correção da norma técnica ISO 8995-1:2002/Cor 1:2005 *Lighting of work places — Part 1: Indoor* [3] foi realizada juntamente com a CIE, apresentada mais adiante. (Comitê Técnico ISO/TC 159 *Ergonomics, Subcommittee SC 5, Ergonomics of the Physical Environment*).

2.2.5. IEC: *International Electrotechnical Commission*

A IEC é uma organização mundial que publica normas internacionais e que gerencia sistemas de avaliação de conformidade para produtos elétricos e eletrônicos, sistemas e serviços, conhecidos como “eletro-tecnologia”. [18]

O Comitê Técnico TC 1 *Terminology* é o comitê responsável em dar a terminologia geral sobre grandezas e unidades, a terminologia do SI, termos usados em nomes e definições de grandezas, e alguns conceitos básicos em metrologia.

O Comitê Técnico TC 34: Lâmpadas e equipamentos relacionados é responsável em preparar Padrões Internacionais para lâmpadas e outros equipamentos relacionados. O objetivo do trabalho de padronização realizado pelo TC 34 e seus subcomitês é definir as características que garantem a segurança, a confiabilidade funcional e a intercambiabilidade desses componentes mencionado acima, juntamente com o seu desempenho.

2.2.6. CIE: *Comission Internationale de l'Eclairage*

A CIE é uma entidade internacional independente, sem fins lucrativos. Foi fundada em 1913 para incorporar novos campos de pesquisa, como a iluminação elétrica, a visão, a luz e a colorimetria. Então, substituiu a Comissão Internacional de Fotometria (CIF) criada em 1900 com o objetivo de harmonizar internacionalmente os critérios de medição fotométrica para a iluminação a gás. [19]

Reconhecida pela ISO e pela IEC como uma organização internacional de caráter normativo, a CIE é a autoridade máxima na área da iluminação. O Comitê Brasileiro de Iluminação (CIE-Brasil) foi estabelecido em 2002 e é coordenado pelo Inmetro. A CIE tem como objetivo principal a cooperação internacional e o intercâmbio de informações sobre todos os temas relacionados à ciência e à arte da luz e da iluminação, cor e visão, fotobiologia e tecnologia da imagem. [20]

Destaca-se na CIE a norma técnica ISO/CIE 19476:2014 *Characterization of the performance of illuminance meters and luminance meters* [5]. Essa norma técnica visa à caracterização do desempenho de medidores de iluminância e luminância. Ela define índices de qualidade que caracterizam o desempenho de tais dispositivos em uma situação geral de medição de iluminação, bem como procedimentos de medição para índices individuais e condições de calibração padrão.

Outra norma técnica publicada pela CIE é do comitê técnico TC 3-21, em conjunto com a ISO/TC 159: a correção da norma técnica para iluminação de ambientes de trabalho, em interiores. ISO 8995:2002/Cor.1:2005(E) + CIE S 008/E-2001/Cor.1:2005(E) *Lighting of work places — Part 1: Indoor*. [3]

2.3. Organizações Nacionais

2.3.1. INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

O INMETRO é uma autarquia federal, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, que atua como Secretaria Executiva do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro), colegiado interministerial, que é o órgão normativo do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro).

Objetivando integrar uma estrutura sistêmica articulada, o Sinmetro, o Conmetro e o Inmetro foram criados, cabendo a este último substituir o então Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM) e ampliar significativamente o seu raio de atuação a serviço da sociedade brasileira. [21]

O Inmetro tem como objetivo fortalecer as empresas nacionais, aumentando sua produtividade por meio da adoção de mecanismos destinados à melhoria da qualidade de produtos e serviços.

Sua missão é prover confiança à sociedade brasileira nas medições e nos produtos, através da metrologia e da avaliação da conformidade, promovendo a harmonização das relações de consumo, a inovação e a competitividade do País.

A Metrologia foi organizada em: Metrologia Científica (que organiza, desenvolve e conserva os padrões de medida); Metrologia Industrial (que assegura o funcionamento adequado dos instrumentos de medição usados na indústria, garantindo a qualidade dos produtos); e Metrologia Legal (relacionada aos sistemas de medição usados nas transações comerciais e nos setores da saúde, segurança e meio ambiente). [22]

O Inmetro tem como atribuição as atividades da Metrologia Legal, e, colabora para a uniformidade da sua aplicação no mundo, com ativa participação no Mercosul e na OIML.

A Metrologia Legal é parte da metrologia relacionada às atividades resultantes de exigências obrigatórias, referentes às medições, unidades de medida, instrumentos e métodos de medição, que são desenvolvidas por organismos competentes. Tem como objetivo principal proteger o consumidor

tratando das unidades de medida, métodos e instrumentos de medição, de acordo com as exigências técnicas e legais obrigatórias. [22]

Com a supervisão do Governo, o controle metrológico estabelece adequada transparência e confiança com base em ensaios imparciais. A exatidão dos instrumentos de medição garante a credibilidade nos campos econômico, da saúde, da segurança e do meio ambiente. [22]

Quanto à Metrologia Científica e Industrial, o Inmetro é responsável pelo Comitê Brasileiro de Metrologia (CBM), que elabora o documento “Diretrizes Estratégicas para a Metrologia Brasileira”; pela Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM); e, pela Coordenação do Comitê Brasileiro de Iluminação (CIE-Brasil), na Divisão de Metrologia Óptica. [23]

No Inmetro, A Divisão de Metrologia Óptica (Diopt) é responsável pelas unidades de medidas das grandezas da fotometria, da radiometria e do comprimento. A candela é a unidade de base para as grandezas fotométricas e radiométricas, no SI.

Os Laboratórios da Divisão de Metrologia Óptica são: Laboratório de Radiometria e Fotometria (Laraf), Laboratório de Aplicações Ópticas (Laopt) e Laboratório de Interferometria (Laint). Sendo o Laraf, o laboratório de maior relevância para a pesquisa. [23]

2.3.1.1. Infraestrutura laboratorial para fornecer rastreabilidade metrológica

A calibração é a operação que estabelece, sob condições especificadas, numa primeira etapa, uma relação entre os valores e as incertezas de medição, fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; numa segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção dum resultado de medição a partir duma indicação. [24]

O Laboratório de Radiometria e Fotometria (Laraf, do Inmetro) fornece rastreabilidade aos laboratórios da Rede Brasileira de Calibração (RBC), que serão citados mais adiante. Suas atividades principais são: Radiometria criogênica; Fotônica quântica; Goniofotometria e esfera integradora; e, Intensidade luminosa, descritas a seguir:

- **Radiometria Criogênica:**

O Inmetro possui um Radiômetro criogênico, que é o padrão primário para medições de potência óptica. Este instrumento é utilizado para a determinação da responsividade espectral (A/W) de fotodetectores de silício, utilizados como padrões de transferência na disseminação dessa grandeza para outros sistemas de calibração do Inmetro, que fornecem rastreabilidade às grandezas radiométricas e fotométricas.

- **Fotônica quântica:**

Pesquisa na área da metrologia radiométrica onde as técnicas de geração de pares de fótons temporariamente correlatos, emaranhados ou não, são utilizadas na calibração absoluta de detectores (por exemplo, em eficiência quântica) ou fontes (irradiância espectral) e propriedades de materiais (elipsometria).

- **Goniofotometria e esfera integradora:**

A goniofotometria é uma técnica utilizada para medir as grandezas ópticas, especialmente o fluxo luminoso (quantidade de luz produzida) e a distribuição luminosa (como a luz é distribuída) em lâmpadas e luminárias, e fornecer à indústria subsídios para avaliar o desempenho de seus produtos. O laboratório possui um goniofotômetro de espelho para medições de fluxo luminoso em lâmpadas e luminárias e uma esfera integradora que permite determinar, a partir de padrões calibrados, o fluxo luminoso de diversos tipos de lâmpadas utilizadas pelos laboratórios acreditados e pela indústria em geral.

- **Intensidade Luminosa:**

O sistema de intensidade luminosa é baseado em um conjunto de fotômetros *trap* padrões rastreados ao radiômetro criogênico (padrão primário em potência óptica). A candela é mantida através de fotômetros padrão e lâmpadas padrão. As lâmpadas padrão de intensidade luminosa são calibradas com esses fotômetros padrão.

Esse sistema é a referência fotométrica para a realização da candela, onde utiliza um banco fotométrico de 10 (dez) metros de comprimento para realizar as medições referentes às calibrações de: lâmpadas padrão na grandeza intensidade luminosa (cd), e, fotômetros e luxímetros na grandeza iluminância (lux). [23]

A figura 1 mostra o banco fotométrico do Laboratório de Radiometria e Fotometria (Laraf), no Inmetro. [23]

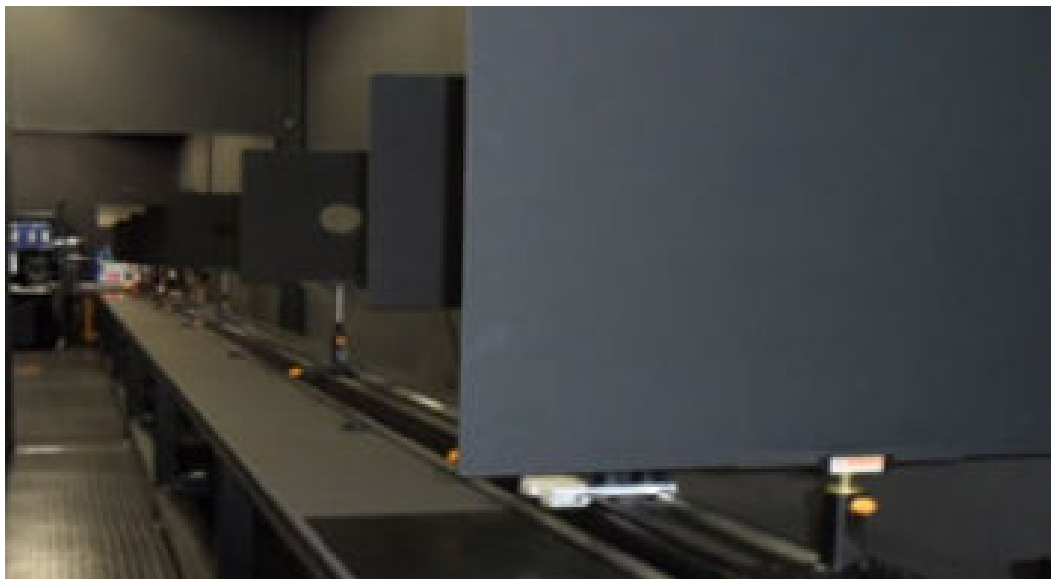


Figura 1: O banco fotométrico do Laraf (Inmetro)

A calibração de luxímetros no Brasil é um serviço realizado pelos laboratórios da Rede Brasileira de Calibração (RBC), que estão representados na tabela 1, com as faixas de medição (em lux) e a respectiva “Capacidade de Medição e Calibração (CMC)” que, nesse caso, refere-se à menor incerteza que o laboratório é capaz de obter, com uma probabilidade de abrangência ou nível da confiança de aproximadamente 95%.

E a CMC que está identificada por um asterisco (*) na tabela 1: não inclui todas as contribuições oriundas do instrumento ou padrão calibrado ou do dispositivo medido. [25]

Tabela 1: Laboratórios da RBC, faixas de medição (em lux) e “capacidade de medição e calibração (CMC)” representada pela menor incerteza obtida pelo laboratório, com nível de confiança de aproximadamente 95%

Laboratórios da RBC	Faixa (em lux)	“CMC”
1) Laboratórios Especializados em Eletro-Eletrônica - Labelo (Porto Alegre, RS)	13 até 500	(*) 2,3 %
	> 500 até 1000	2,4 %
	> 1000 até 1500	2,6 %
	> 1500 até 2000	2,7 %
2) Laboratório de Equipamentos Elétricos e	110 até 2000	± 2,8 até 3,1 %

Ópticos do Centro de Tecnologia Mecânica, Naval e Elétrica (São Paulo, SP)		
3) Laboratório Chrompack Instrumentos Científicos Ltda. (São Paulo, SP)	0 até 1600	2,8 lux relativo
4) Gero Comércio e Serviços Ltda. (Cerquilha, SP)	100 até 2000	3,3 até 3,9 %
5) Laboratório de Produtos de Saúde (Salvador, BA)	0 até 2500 (5500 K)	4,5 % *
	50 a 800 (2856 K)	4,5 % *
6) Inter-metro Serviços Especiais Ltda. (São Paulo, SP)	4 até 2500	1,3 %

2.3.2. ANVISA: Agência Nacional de Vigilância Sanitária

A Anvisa é uma autarquia sob regime especial, que tem sede e foro no Distrito Federal, e está presente em todo o território nacional por meio das coordenações de portos, aeroportos, fronteiras e recintos alfandegados.

A Anvisa tem por finalidade promover a proteção da saúde da população, por intermédio do controle sanitário da produção e consumo de produtos e serviços submetidos à vigilância sanitária, inclusive dos ambientes, dos processos, dos insumos e das tecnologias a eles relacionados, bem como o controle de portos, aeroportos, fronteiras e recintos alfandegados. [26]

2.3.3. ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

A ABNT é responsável pela elaboração das Normas Brasileiras (ABNT NBR), elaboradas por seus Comitês Brasileiros (ABNT/CB), Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE).

Entidade privada e sem fins lucrativos, a ABNT é membro fundador da ISO, da *Comisión Panamericana de Normas Técnicas* (Copant) e da *Asociación*

Mercosur de Normalización (AMN). Desde a sua fundação, é também membro da *International Electrotechnical Commission* (IEC).

A ABNT atua também na avaliação da conformidade e dispõe de programas para certificação de produtos, sistemas e rotulagem ambiental; trabalha em sintonia com governos e com a sociedade, e, contribui para a implementação de políticas públicas, promove o desenvolvimento de mercados, a defesa dos consumidores e a segurança de todos os cidadãos. [27]

A norma técnica ABNT NBR 5461: 1991 - Iluminação [28] define termos relacionados com radiações, grandezas, unidades, visão, reprodução das cores, colorimetria, emissão, propriedades ópticas dos materiais, medições radiométricas, fotométricas, colorimétricas, detectores físicos, efeitos actínicos da radiação óptica, fontes de luz, componentes de lâmpadas e dispositivos auxiliares, luminotécnica, iluminação diurna, luminárias e seus componentes, sinalização visual e suas aplicações.

A norma técnica ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: 2013 [2] corresponde à ISO/CIE 8995-1:2002/Cor 1:2005 [3]. Foi confirmada em 12/09/2017, e especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos e os requisitos para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de trabalho.

Essa norma foi elaborada pelo Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-003), pela Comissão de Estudo de Aplicações Luminotécnicas e Medições Fotométricas (CE-03:034.04). A mesma norma cancela e substitui as normas ABNT NBR 5413:1992 e ABNT NBR 5382:1985. E, apresenta quatro anexos informativos. [2]

Geralmente, a iluminação assegura: conforto visual (sensação de bem-estar); desempenho visual (capacidade para realizar as tarefas visuais, rápida e precisamente, mesmo sob circunstâncias difíceis e durante longos períodos); e, segurança visual (olhar ao redor e detectar perigos). [2]

Os principais parâmetros que contribuem para o Ambiente Luminoso são: distribuição da luminância; iluminância; ofuscamento; direcionalidade da luz; aspectos da cor da luz e superfícies; cintilação; luz natural; manutenção.

A iluminância e sua distribuição nas áreas de trabalho e no entorno imediato têm um maior impacto em como uma pessoa percebe e realiza a tarefa visual de forma rápida, segura e confortável. Para lugares onde a área específica é

desconhecida, a área onde a tarefa pode ocorrer é considerada a área de tarefa. O entorno imediato é uma zona de no mínimo 0,5 m (meio metro) de largura ao redor da área da tarefa dentro do campo de visão.

A iluminância mantida ($\overline{E_m}$) é o valor abaixo do qual não convém que a iluminância média da superfície especificada seja reduzida. Por exemplo: Não pode ser inferior a 200 lx em áreas onde é realizado um trabalho contínuo.

Quanto aos procedimentos de verificação da iluminância: a iluminância deve ser mantida em pontos específicos em áreas pertinentes. As leituras não podem ser inferiores às calculadas para o ponto. A iluminância mantida deve ser calculada através dos valores medidos na mesma malha de pontos utilizada no cálculo do projeto, e o valor não pode ser inferior ao especificado para aquela tarefa. Para medições repetidas devem ser utilizados os mesmos pontos. [2]

Sobre a tolerância nas medições, pode haver muitos fatores que podem causar uma disparidade entre uma estimativa calculada e o desempenho medido de uma instalação de iluminação. A principal razão para isto é que, mesmo se o processo de cálculo tiver sido realizado com a mais alta precisão, foi assumido que cada lâmpada, circuito e luminária têm um desempenho fotométrico idêntico. Isto é claramente impossível e algumas tolerâncias devem ser esperadas. A magnitude da diferença esperada, baseada em experiência prática, está dentro de 10% para as medidas de iluminância. [2]

Foram destacadas da mesma norma técnica [2] recomendações/requisitos para o planejamento de alguns ambientes internos, quanto a valores de iluminância, e observações importantes.

A tabela 2 indica o tipo de ambiente, tarefa ou atividade, na primeira coluna; na segunda coluna, os valores referem-se à iluminância mantida (em lux); e, as observações correspondentes encontram-se na terceira coluna.

Nas observações da tabela 2, o asterisco (*) refere-se à iluminação de estações de trabalho com monitores VDT (*Visual display terminals*), também conhecido como monitores de vídeo e *displays* visuais. [2]

Tabela 2: Planejamento de alguns ambientes (áreas), tarefas e atividades com a especificação da iluminância.

TIPO DE AMBIENTE, TAREFA OU ATIVIDADE	Em (em lux)	OBSERVAÇÕES
ÁREAS GERAIS DA EDIFICAÇÃO		
Áreas de circulação e corredores	100	Nas entradas e saídas, estabelecer uma zona de

		transição, a fim de evitar mudanças bruscas
Escadas, escadas rolantes e esteiras rolantes	150	
Refeitório/ Cantinas	200	
Salas de descanso	100	
Salas para exercícios físicos	300	
Vestiários, banheiros, toaletes	200	
INDÚSTRIA DE BORRACHA, INDÚSTRIA PLÁSTICA E QUÍMICA		
Metrologias, laboratórios	500	
Corte, acabamento, inspeção	750	
Inspeção de cor	1000	
INDÚSTRIA ELÉTRICA		
Montagem: de precisão, por exemplo, equipamentos de medição	1000	
Oficinas eletrônicas, ensaios, ajustes	1500	
ESCRITÓRIOS		
Arquivamento, cópia, circulação etc.	300	
Escrever, teclar, ler, processar dados	500	Para trabalho com VDT, ver *
Desenho Técnico	750	
Estações de projeto assistido por computador	500	Para trabalho com VDT, ver *
Salas de reunião e conferência	500	Recomenda-se que a iluminação seja controlável
Recepção	300	
Arquivos	200	
CONSTRUÇÕES EDUCACIONAIS		
Salas de aula, salas de aulas particulares	300	Recomenda-se que a iluminação seja controlável
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500	
Sala de leitura	500	Recomenda-se que a iluminação seja controlável
Quadro negro	500	Prevenir reflexões especulares
Mesa de demonstração	500	Em salas de leitura 750 lux
Salas de desenho técnico	750	
Salas de aplicação e laboratórios	500	
Salas de ensino de computador	500	Para trabalho com VDT, ver *
Salas comuns de estudantes e salas de reunião	200	
Salas dos professores	300	

3 Materiais e Métodos

Neste capítulo apresentam-se os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do trabalho. Na seção 3.1 são descritos os dispositivos móveis, os aplicativos, a cúpula difusora; além do instrumento de medição de iluminância, o luxímetro digital, cujos resultados foram utilizados como referência para análise comparativa. A seção seguinte, 3.2, detalha os dois modelos de arranjo e condições experimentais desenvolvidos para realização das medições com todos os dispositivos em função da fonte luminosa utilizada.

3.1. Dispositivos e aplicativos

Nesta seção descrevem-se todos os dispositivos, incluindo *smartphones*, *tablet*, cúpula difusora e luxímetro digital; e os diversos aplicativos empregados com os dispositivos móveis para a medição da iluminância.

3.1.1. Dispositivos móveis e aplicativos

Os dispositivos móveis foram fornecidos por voluntários, totalizando três modelos: um *tablet* Ipad modelo A1395, da marca Apple, com sistema operacional IOS; um *smartphone* Motorola modelo Moto G XT1032, com sistema operacional Android; e um *smartphone* Nokia Lumia 520, com sistema operacional Windows Phone.

Foram selecionados dez aplicativos luxímetro gratuitos. No entanto, nenhum dos aplicativos pôde ser instalado na totalidade dos dispositivos. A tabela 3 apresenta as associações entre os aplicativos e os dispositivos móveis utilizados na pesquisa.

Tabela 3: Associação entre aplicativos e dispositivos móveis utilizados na pesquisa

Aplicativos	<i>Tablet</i> Ipad (IOS)	<i>Smartphone</i> Motorola (Android)	<i>Smartphone</i> Nokia (Windows Phone)
Dr. Led	x	x	

Lux Light Meter	x		
Lux Camera	x		
Luxi	x	x	
Ourolux		x	
Light Meter		x	
Luxímetro		x	
Light Meter Premium			x
Light Scales			x
Lux-O-Meter			x

A figura 2 mostra respectivamente os dispositivos móveis Motorola, Nokia e Ipad, com a cúpula “*Luxi for all*” (detalhada na subseção 3.1.2) acoplada e posicionada na direção da câmera frontal. Percebe-se a assimetria em relação ao eixo longitudinal do dispositivo e a angulação com o plano horizontal, produzida pelo encaixe da cúpula.

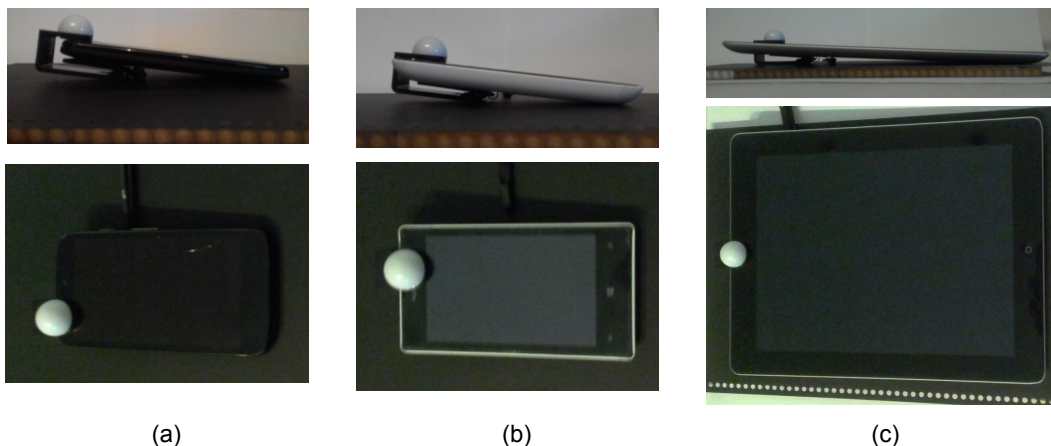


Figura 2: Dispositivos móveis: a) Motorola; b) Nokia; e, c) Ipad. com a cúpula difusora “*Luxi for all*” acoplada

3.1.2. Cúpula difusora de luz (“*Luxi for all*”)

A cúpula difusora de luz “*Luxi for all*” é utilizada com o emprego de aplicativos nos dispositivos móveis, onde é acoplada. A figura 3 mostra em perspectiva suas vistas superior e lateral.

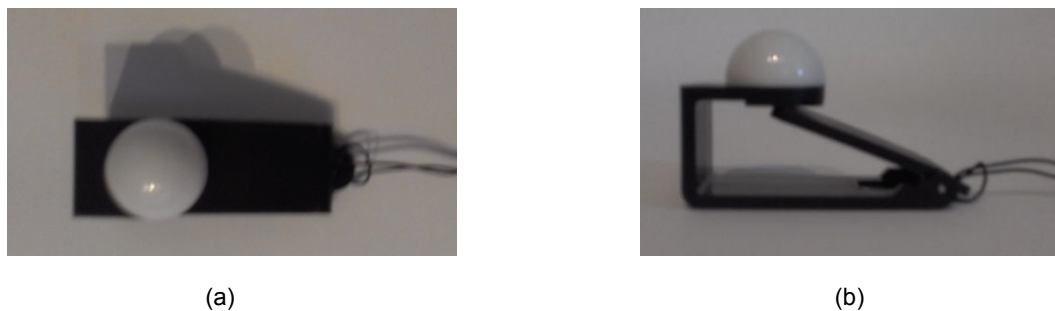


Figura 3: Vista superior (a) e vista lateral (b) da cúpula difusora *Luxi for all*

3.1.3. Luxímetro digital

Foi usado como referência, o instrumento de medição de iluminância constituído pelo luxímetro digital, modelo MLM 1011, da marca Minipa, ilustrado na figura 4.



Figura 4: Luxímetro digital Minipa modelo MLM 1011

As principais informações sobre as especificações técnicas do luxímetro digital modelo MLM 1011, da Minipa, constam na tabela 4. [29]

Tabela 4: Especificações Técnicas do luxímetro digital modelo MLM 1011

Modelo	MLM-1011
Display LCD	31/2dígitos/2000

Faixa de medição	2000/ 20000/ 100000 lux
Resposta espectral	Fotópica CIE
Valor corrigido	Regra do Cosseno
Sensor	Fotodiodo de Silício
Precisão básica	4%
Alimentação	1 x 9 V

3.2. Montagens e procedimentos experimentais

Nesta seção, apresentam-se os procedimentos experimentais com a descrição dos *set-up* desenvolvidos para os estudos com cada uma das fontes de intensidade luminosa empregadas: lâmpada de LED e lâmpada de xenônio.

3.2.1. Protótipo para suporte dos dispositivos de medição

Para utilização da cúpula difusora, foi necessário o desenvolvimento de bases para nivelar os dispositivos (paralelos em relação ao plano horizontal de referência, que eram as mesas/bancadas utilizadas como apoio para os arranjos experimentais).

Dessa forma, foram elaboradas três bases, sendo uma para cada situação de medição: uma destinada ao uso da cúpula (B.1), outra para o momento em que a cúpula não fosse utilizada (B.2), e a terceira para o uso do luxímetro digital (B.3). Além dessas, pode se observar a base centimetrada (B.c) que foi utilizada nas medições com a fonte de xenônio, nas figuras 5 e 6, respectivamente.

Para comparação dos valores entre o luxímetro digital e os dispositivos com o uso da cúpula difusora, buscou-se que ambos tivessem a mesma distância entre a fonte de luz e o topo das cúpulas. Já para a medição sem cúpula, foi considerada a distância resultante sem a cúpula.

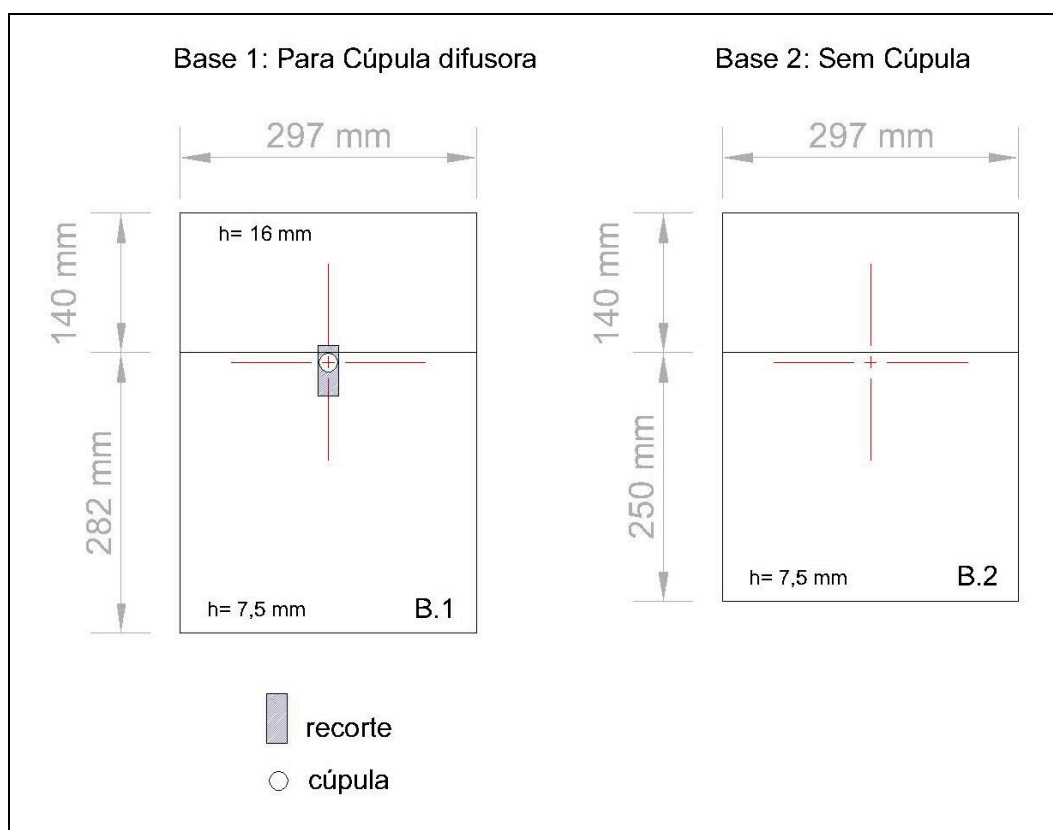


Figura 5: Desenho das bases B.1: base com recorte para o encaixe da cúpula difusora, e, B.2: base para os dispositivos, sem utilização da cúpula difusora

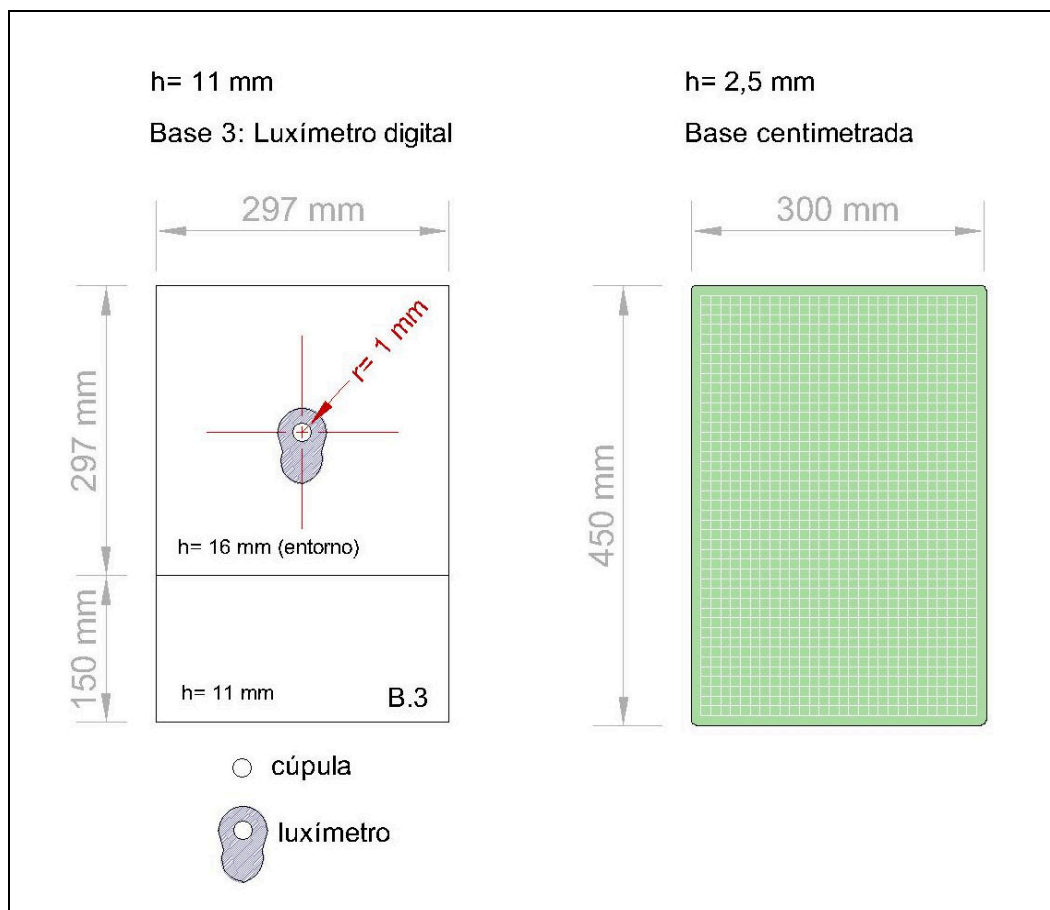


Figura 6: Desenho das bases B.3: base para o luxímetro, e, B.c: base centimetrada

Além disso, outras bases foram feitas para apoio de cada um dos dispositivos, pois suas superfícies possuíam texturas que deslizavam facilmente sobre as superfícies planas e sem textura aderente, causando a variação da posição dos mesmos. E também pelo fato de que, à exceção do Ipad, a posição da abertura da câmera, onde estão os sensores que fazem a leitura, não coincidirem com o eixo longitudinal do dispositivo (Figura 2).

Portanto, a fim de que os dispositivos tivessem a mesma posição quando inserida ou não a cúpula, suas bases foram desenvolvidas com o intuito de serem removíveis e deslizantes sobre as bases citadas anteriormente.

3.2.2. Setup e procedimentos para medições com lâmpadas de LED e de xenônio

Foram desenvolvidas montagens experimentais e procedimentos para realização das medições com uma fonte luminosa comumente utilizada,

constituída por uma lâmpada LED, e para medições com uma lâmpada de xenônio, que simula a radiação luminosa emitida pelo Sol.

3.2.2.1. Medições com lâmpadas de LED

A lâmpada de LED utilizada como fonte luminosa, da marca Osram, possui as seguintes especificações: LED A60/830; 100-240 V; 50/60 Hz; 8 W; 3000 K; 806 lm; E 27; FP 0,9.

Para realizar os experimentos foram utilizadas uma mesa e um painel vertical, ambos com superfícies de cor preta, como está ilustrado na figura 7, que mostra a vista superior do local de medição onde utilizou-se a fonte de LED, com a indicação da projeção do eixo central da fonte luminosa, que coincide com o centro dos furos do arranjo experimental, para que estejam posicionados perpendicularmente em relação à fonte de LED.

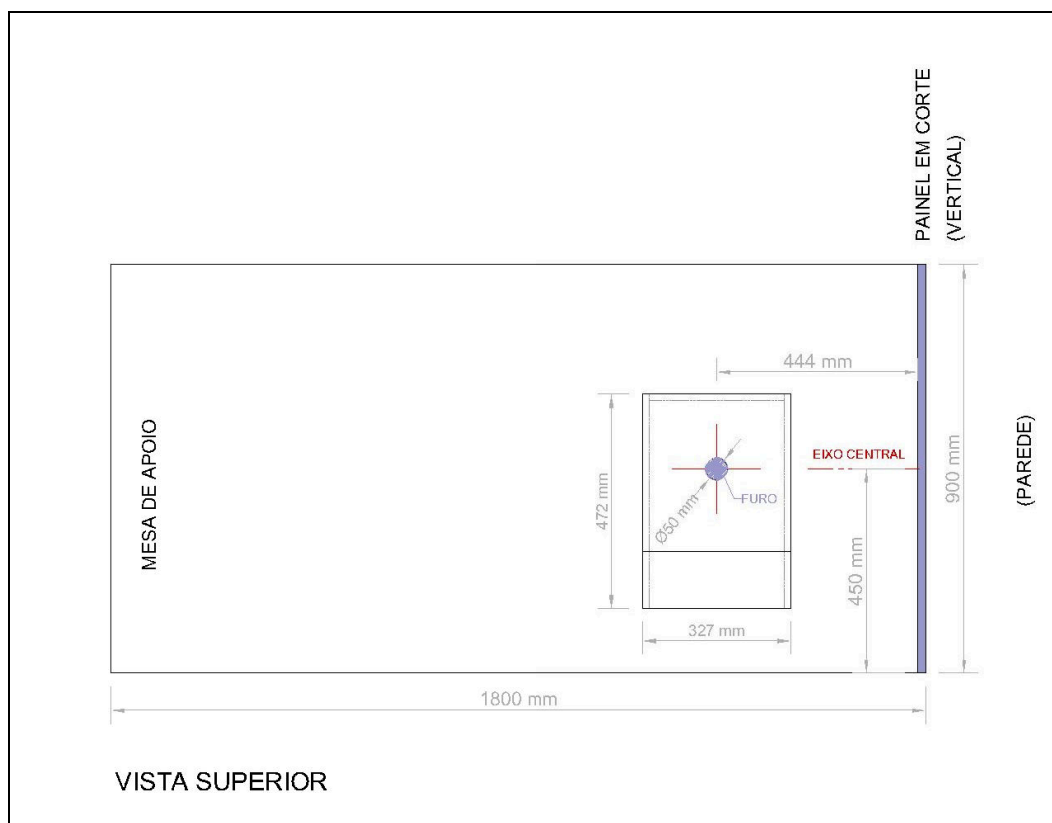
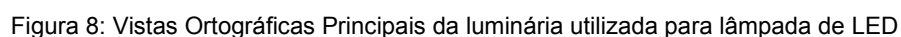


Figura 7: Vista superior do local de medição, com o arranjo experimental posicionado acima da mesa de apoio (medidas em milímetros)

Considerando-se o alto nível de iluminância, foi feita uma adaptação com uma capa plástica de cor preta na parte inferior e externa à luminária, para redução da luminosidade, portanto foi feita uma abertura central com diâmetro de aproximadamente 66 mm. O diâmetro da lâmpada é de aproximadamente 60 mm.



Foram desenvolvidos três suportes que possibilitaram a medição em diferentes distâncias em relação à fonte de luz. Para que possuísem refletâncias similares umas em relação às outras, suas superfícies foram forradas com materiais de cor preta. As vistas ortográficas principais do arranjo experimental para as medições com a fonte de LED apresentam-se na figura 9.

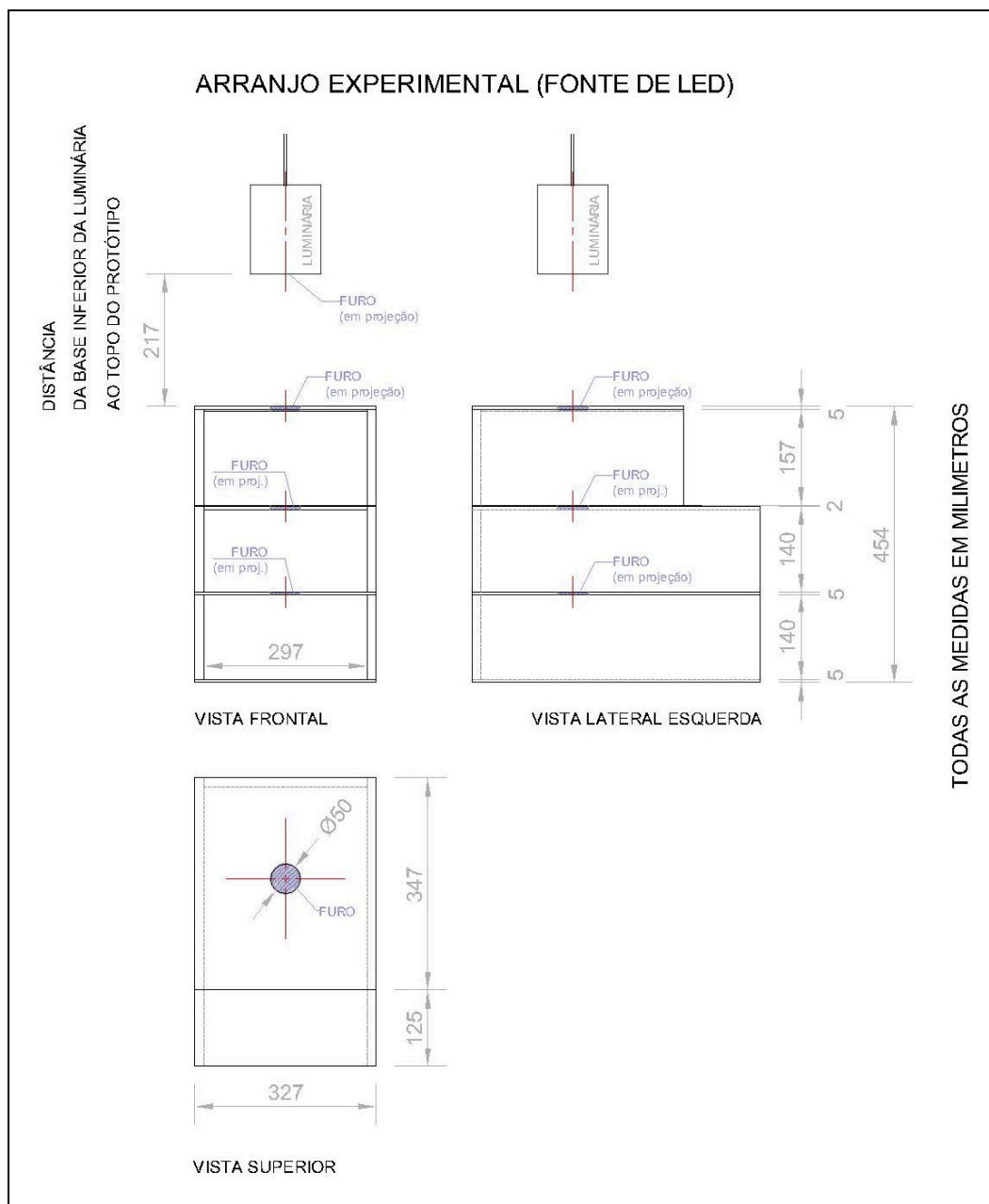


Figura 9: Vistas ortográficas principais, do arranjo experimental (protótipo) para medições com a fonte de LED.

Com relação à superfície horizontal superior (“cobertura”, ou topo), esta tinha como função limitar e direcionar a incidência da luz nos suportes. Nela não eram apoiados os instrumentos para medição, mas possuía um furo de aproximadamente 50 mm, para a passagem da luz, também feito nos outros níveis, com a diferença de que neles havia a possibilidade da inserção e retirada das bases com os dispositivos.

Portanto, em cada superfície horizontal havia um furo de 50 mm, para a passagem da luz em direção aos níveis inferiores, onde eram posicionados os instrumentos para a realização das medições.

A figura 10 ilustra o arranjo experimental em vista, com indicação das distâncias (em milímetros) obtidas, desde a base inferior da luminária até as bases dos suportes em questão.

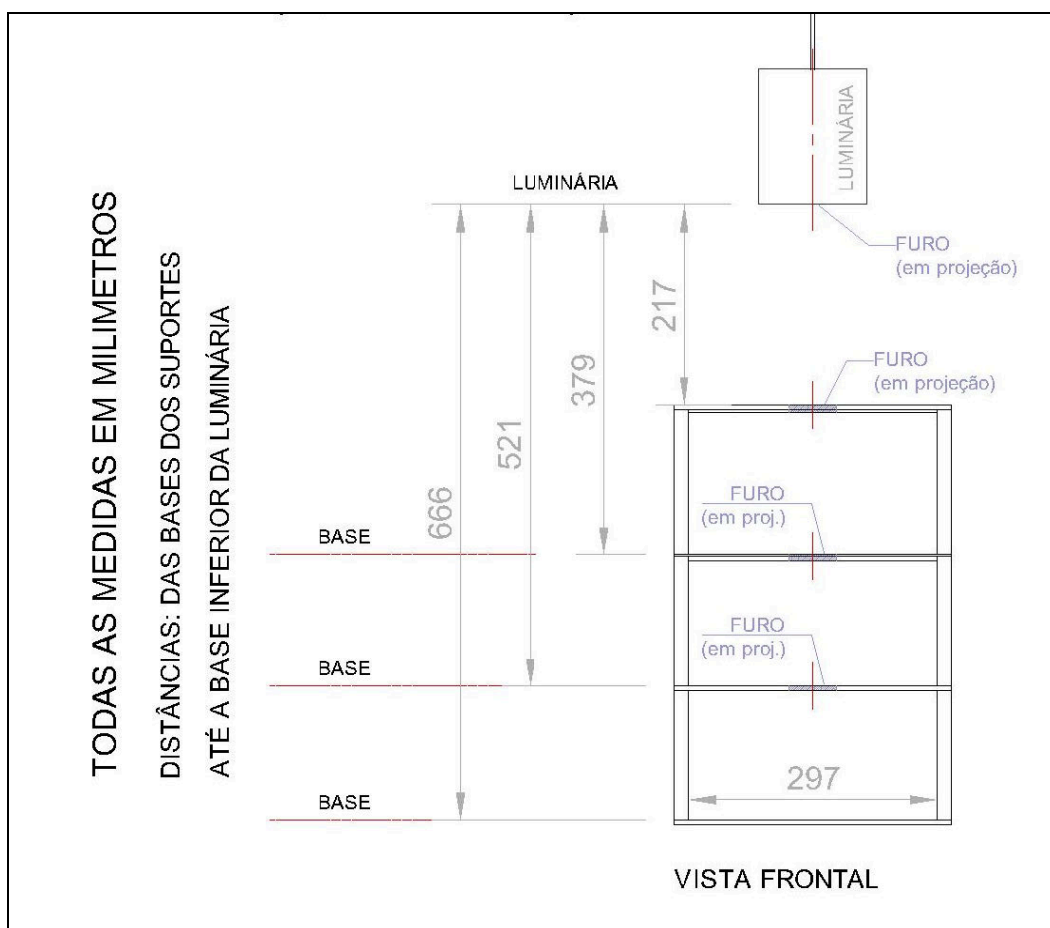


Figura 10: Vista frontal do arranjo experimental, com indicação das distâncias desde a base inferior da luminária (LED) às bases dos suportes

Já a figura 11 indica as distâncias levadas em consideração como referência, entre a fonte de LED e os sensores (cúpulas difusoras). Onde o desenho possui as medidas em milímetros.

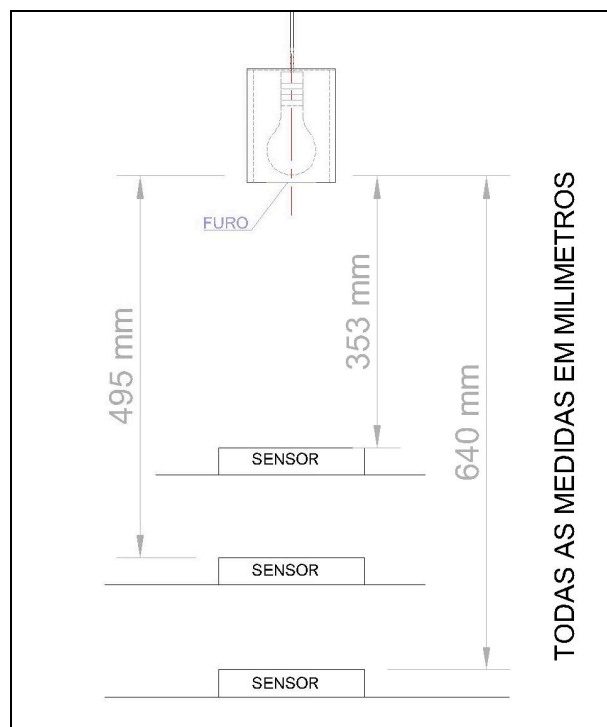


Figura 11: Distâncias entre a fonte de LED e os sensores, com indicação das medidas em milímetros

Quando realizadas as medições com a fonte de LED, estas se deram em número de 31 repetições.

3.2.2.2. Medições com lâmpada de xenônio

A fonte luminosa lâmpada de xenônio tinha as seguintes especificações/características: “*Xenon Short Arc Lamp*”, Type: UXL – 302 –0, No. TK 0561. Marca: Ushio Inc. Japan.

As medições foram realizadas por meio de um simulador solar, modelo SF300A, da marca *Sciencetech*, fonte modelo 500-300, instalado no Laboratório de Semicondutores (LabSem) da PUC-Rio.

A configuração do simulador solar inclui, à frente da lâmpada, um filtro AM1.5G. A lâmpada de xenônio cuja calibração fora feita com uma célula solar de referência, medida no Instituto *Fraunhofer* na Alemanha e tem como referência 315 W, equivalente a 1 Sol.

Na figura 12 apresenta-se o LabSem, local onde está instalado o simulador solar SF300A, onde pode se observar a capa preta que recobre o espaço de medição e um dispositivo *smartphone* posicionado nas bases utilizadas durante a medição.

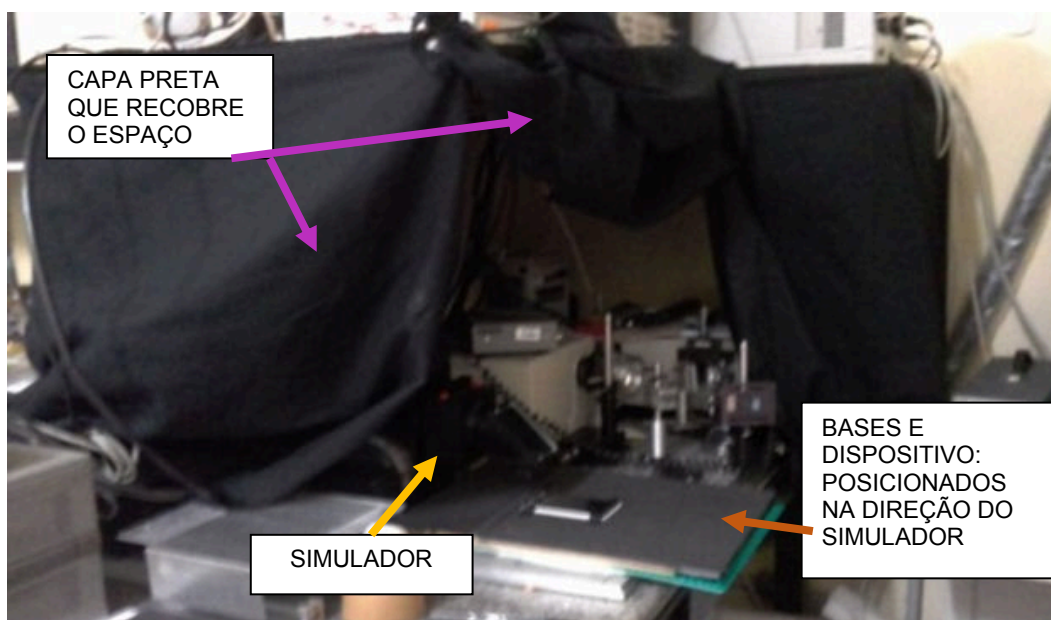


Figura 12: Local de medição utilizando o simulador solar (SF300A) com lâmpada de xenônio

O simulador utilizado para a medição da iluminância pode ser visto com mais detalhes abaixo, na figura 13, com uma base centimetrada (apoiada na bancada de medição) para auxiliar o posicionamento dos suportes desenvolvidos para os dispositivos de medição, de forma a facilitar a visualização do foco de luz projetado na superfície.

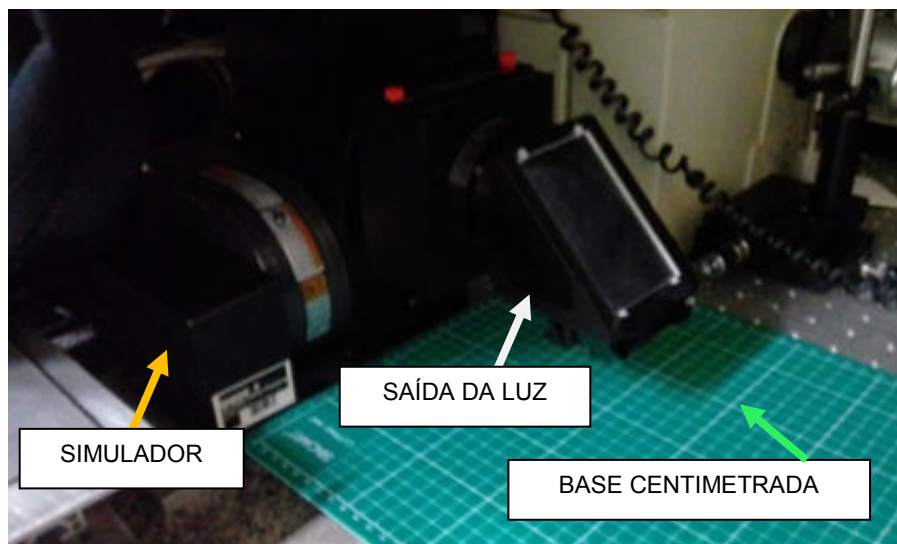


Figura 13: Detalhe do simulador solar com base centimetrada na bancada de apoio

A projeção da luz emitida sem a adaptação da íris ao simulador, sobre a base centimetrada pode ser vista na figura 14, onde: (a) mostra o espelho; (b) perspectiva lateral.

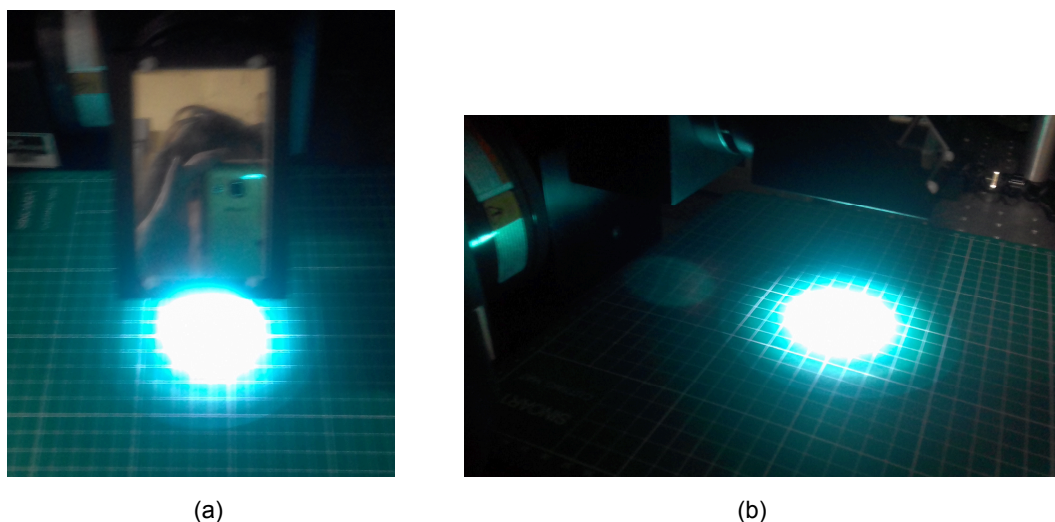
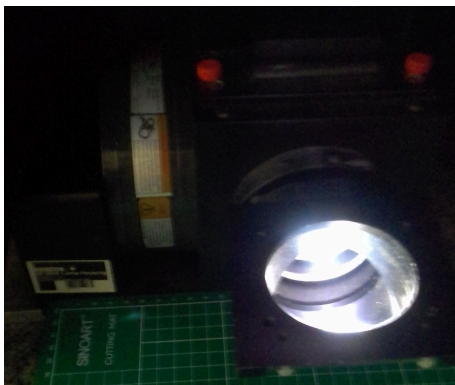


Figura 14: Projeção da luz emitida sem a adaptação da íris ao simulador, sobre a base centimetrada. À esquerda (a) é possível observar o espelho refletindo a câmera do observador. À direita (b): perspectiva lateral

Dado o modo de operação do simulador solar, não foi possível variar a iluminância por meio da distância entre o sensor e a fonte luminosa. Dessa forma, o arranjo experimental foi adaptado para produzir diferentes níveis de iluminância por meio da variação do diâmetro de abertura de uma íris, que foi posicionada na saída do simulador, como pode ser observado na figura 15-b.



(a)



(b)

Figura 15: Simulador solar com emissão de luz com abertura direcionada para cima em duas situações: (a) com adaptação da íris e (b) sem adaptação da íris ao simulador

A íris pode ser vista com detalhes na figura 16, representada em perspectiva sobre a base centimetrada.



Figura 16: Perspectivas da íris, sobre a base centimetrada

O controle do diâmetro da abertura da íris é feito por meio de ajuste manual, como pode ser observado na figura 17.

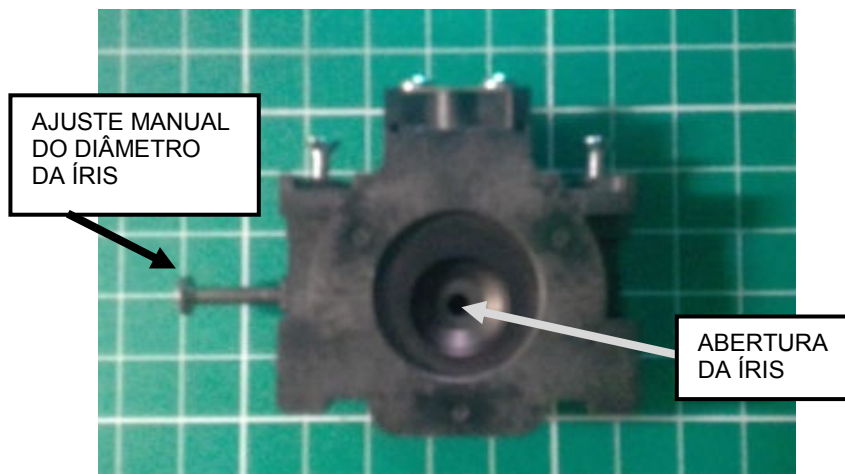


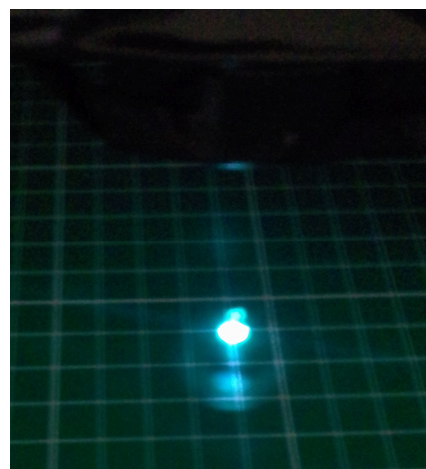
Figura 17: Detalhe da íris utilizada nas medições com a lâmpada de xenônio (acima da base centimetrada), com indicação do ajuste manual do diâmetro da íris e sua respectiva abertura

Para adaptar a íris à saída de luz do simulador solar, foi incorporada uma capa de cor preta, e foram fixadas no simulador por meio de uma fita adesiva também de cor preta, evitando o vazamento da luz pelas laterais.

A figura 18 apresenta a projeção da luz emitida pela lâmpada de xenônio, através da abertura da íris no simulador, na base centimetrada, para auxiliar a visualização do eixo entre as linhas brancas, e assim, o posicionamento das bases e dispositivos utilizados.



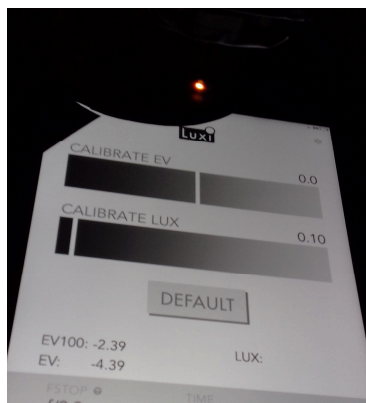
(a)



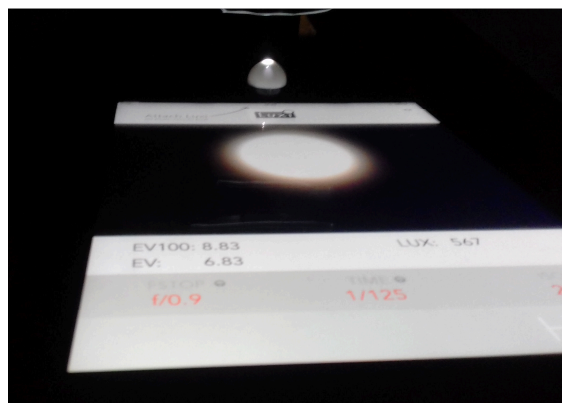
(b)

Figura 18: Projeção da luz: sobre a cúpula difusora (a); sobre a base centimetrada (b)

Outras projeções da luz com a íris adaptada ao simulador estão ilustradas na figura 19, onde (a) é a projeção sobre a tampa com a função de vedação, composta por material opaco, a fim de impedir a entrada de luz na câmera frontal do Ipad, onde se localiza o sensor; (b) é a projeção da luz sobre a cúpula difusora acoplada ao Ipad.



(a)



(b)

Figura 19: Com íris no simulador, o Ipad sob a projeção da luz: sobre a “tampa para vedar” (a); e, (b) sobre a cúpula difusora acoplada ao Ipad

As medições com a fonte de xenônio, em sua maioria foram em número de 31 repetições, com exceção das medições realizadas sem a íris.

4 Resultados

Neste capítulo estão retratados os resultados obtidos nos ensaios realizados para medição de iluminância, de acordo com as fontes de luz utilizadas. O item 4.1 refere-se aos resultados obtidos com o luxímetro digital, que foi utilizado como referência para comparação dos valores, para medições utilizando a fonte de LED e de Xenônio. E os itens 4.2 e 4.3 referem-se aos resultados obtidos pelos conjuntos de dispositivos/aplicativos nas medições utilizando, respectivamente, a fonte de LED e a fonte de Xenônio.

Para análise de desempenho, foram consideradas as recomendações da norma técnica ABNT ISO/CIE 8995-1: 2013, na qual são indicadas tolerâncias de 10% nas medições de iluminância. Os resultados das medições de iluminância são apresentados por meio do cálculo da média e do desvio padrão dos valores medidos por cada dispositivo, nas diferentes condições de medição.

Para facilitar a visualização dos resultados, foram definidos códigos para a identificação das diferentes associações entre dispositivo móvel (e respectivo sistema operacional) com os diversos aplicativos empregados no estudo. Esses códigos de identificação são apresentados na tabela 5.

Tabela 5: Código empregado para visualização dos resultados, definido para cada sistema de medição utilizado, considerando informações sobre dispositivo, sistema operacional e aplicativo

Código	Dispositivo [Sistema operacional]	Aplicativo
DA₁	Ipad [IOS]	Dr. Led
DA₂	Ipad [IOS]	Lux Light Meter
DA₃	Ipad [IOS]	Lux Camera
DA₄	Ipad [IOS]	Luxi
DA₅	Motorola [Android]	Dr. Led
DA₆	Motorola [Android]	Ourolux
DA₇	Motorola [Android]	Light Meter
DA₈	Motorola [Android]	Luxímetro
DA₉	Motorola [Android]	Luxi

DA₁₀	Nokia Lumia 520 [Windows Phone]	Light Meter Premium
DA₁₁	Nokia Lumia 520 [Windows Phone]	Light Scales
DA₁₂	Nokia Lumia 520 [Windows Phone]	Lux-o-Meter
D₁₃	Luxímetro digital	---

4.1. Resultados do Luxímetro digital: valores de referência da iluminância

O luxímetro digital utilizado como referência para a comparação dos valores medidos com os dispositivos móveis foi da marca Minipa, modelo MLM-1011 (descrito no capítulo 3).

Os resultados dos valores das médias de iluminância obtidos com o luxímetro digital nos ensaios realizados apresentam-se na tabela 6, de acordo com as duas fontes de luz, que foram: a lâmpada de LED em três distâncias diferentes em relação à fonte de luz; e, a lâmpada de xenônio com o uso da íris em três aberturas distintas, e, sem o uso da íris.

Tabela 6: Valores das médias de iluminância obtidos com o luxímetro digital nas medições realizadas com as fontes de LED e de xenônio

Fonte luminosa	Distâncias entre Fonte e dispositivo	Íris	Médias da iluminância luxímetro digital
LED	640 mm	(não se aplica)	294,84 lx
	495 mm		475,58 lx
	353 mm		880,39 lx
Xenônio	47 mm	íris: 3 mm	607,94 lx
		íris: 4,5 mm	1013,72 lx
		íris: 7 mm	4012,26 lx
		sem íris	23933,33 lx

A figura 20 mostra a relação dos valores das médias de iluminância obtidos com o luxímetro digital, conforme os níveis de iluminância das duas fontes de luz utilizadas na pesquisa.

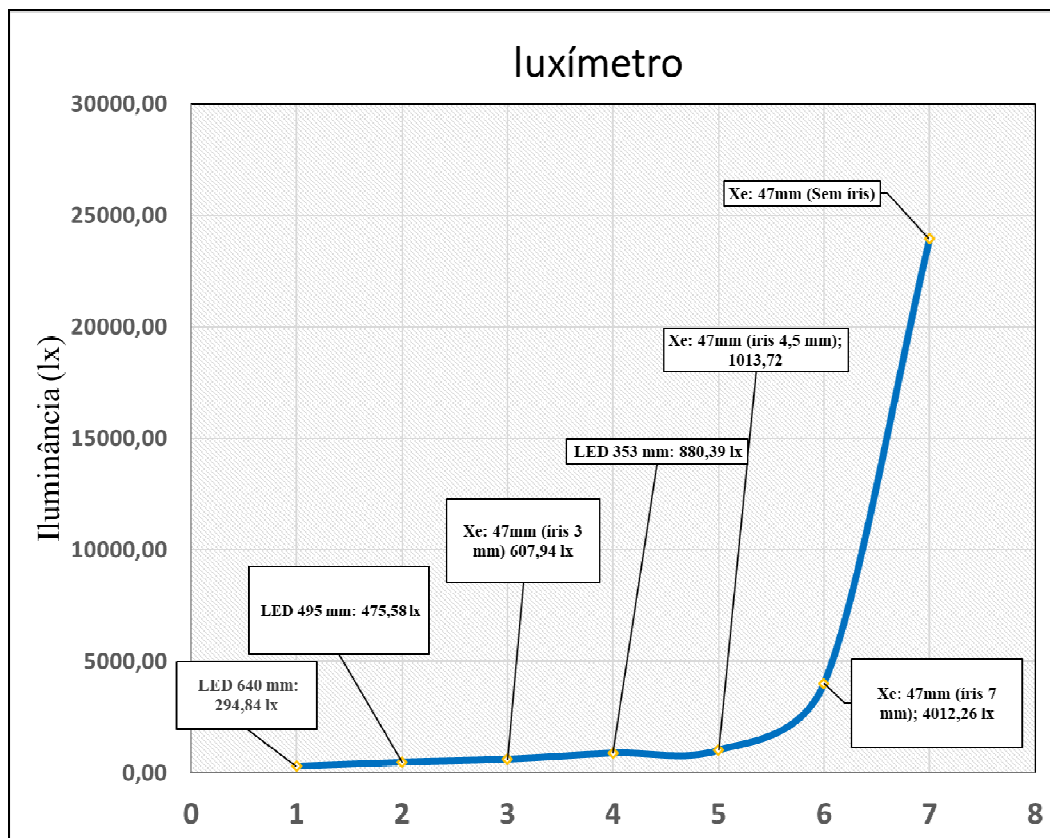


Figura 20: Gráfico com a relação dos valores resultantes das médias de iluminância (em lux) registrados no luxímetro digital com as duas fontes de luz utilizadas na pesquisa

4.2. Resultados de iluminância com fonte luminosa de LED

Nos ensaios realizados com a lâmpada de LED, os níveis de iluminância foram definidos em função das distâncias entre a fonte de luz e o topo da cúpula difusora do luxímetro digital ou da cúpula difusora “Luxi for all”, com a observação de que sem a cúpula, foi considerada a distância da fonte de luz até os dispositivos móveis.

Os níveis de iluminância obtidos a partir do desenvolvimento do arranjo experimental totalizaram três distâncias entre a fonte de luz e o topo dos sensores de luminosidade, sendo: 640 mm, 495 mm e 353 mm, conforme ilustrado na figura 11.

A tabela 7 apresenta os valores das médias dos resultados das medições de iluminância e desvio-padrão, utilizando os sensores do luxímetro digital e dos dispositivos móveis associados aos respectivos aplicativos, obtidos para cada uma das três distâncias entre fonte-sensor. Os resultados dos dispositivos móveis são

apresentados tanto para sua configuração utilizando a cúpula difusora, indicado como CCD, como sem o emprego da cúpula, SCD.

Tabela 7 Valores das médias de iluminância e desvio-padrão, obtidos com o luxímetro digital e com os dispositivos móveis e aplicativos, com a fonte luminosa de LED

	Distância: 640 mm		Distância: 495 mm		Distância: 353 mm	
	VALORES DA MÉDIA DE ILUMINÂNCIA E DO DESVIO-PADRÃO					
D ₁₃	294,84 ± 0,37		475,58 ± 0,50		880,39 ± 0,67	
	CCD	SCD	CCD	SCD	CCD	SCD
DA ₁	279,00 ± 0,00	122,26 ± 9,24	475,00 ± 0,00	204,48 ± 7,81	855,00 ± 0,00	437,03 ± 14,73
DA ₂	135,00 ± 0,00	x	267,00 ± 0,00	x	x	x
DA ₃	144,00 ± 0,00	x	276,00 ± 0,00	x	x	x
DA ₄	249,32 ± 0,65	x	391,14 ± 0,35	x	x	x
DA ₅	182,16 ± 1,49	198,35 ± 1,36	526,00 ± 0,00	666,10 ± 11,39	1285,68 ± 10,12	1333,10 ± 12,36
DA ₆	157,58 ± 0,92	132,42 ± 1,20	456,00 ± 0,00	445,19 ± 8,01	882,48 ± 2,69	903,52 ± 13,23
DA ₇	121,26 ± 0,68	132,81 ± 0,60	350,55 ± 2,51	441,77 ± 7,59	857,00 ± 0,00	911,19 ± 4,77
DA ₈	120,81 ± 0,79	131,06 ± 1,61	344,68 ± 8,73	448,55 ± 4,51	848,87 ± 16,07	909,87 ± 11,32
DA ₉	815,65 ± 3,36	863,49 ± 6,04	1847,00 ± 0,00	2223,70 ± 0,00	4111,80 ± 0,00	4329,54 ± 50,70
DA ₁₀	37,52 ± 0,57	469,16 ± 1,77	59,52 ± 0,68	x	108,06 ± 0,85	x
DA ₁₁	37,22 ± 0,25	472,10 ± 1,49	59,22 ± 0,64	x	108,00 ± 0,86	x
DA ₁₂	37,48 ± 0,28	475,47 ± 1,29	59,14 ± 6,22	737,47 ± 6,22	108,88 ± 0,76	1261,23 ± 4,19

4.2.1. Distância entre fonte de luz e sensor: 640 mm

Para a distância de 640 mm, correspondente ao maior afastamento entre sensor e fonte de luz LED, o valor de referência constituído pela média dos resultados obtidos utilizando o luxímetro digital foi de 294,84 lx. Analisando-se a

tabela 4, o dispositivo móvel Ipad, com a cúpula difusora a ele anexada, obteve valores médios próximos aos do luxímetro digital (medição de referência) em sua configuração com os aplicativos Dr. Led (279,00 lx) e Luxi (249,32 lx). Porém, somente o resultado de medição obtido utilizando o aplicativo Dr. Led apresentou desempenho dentro do limite de 10% de tolerância do erro das medições, segundo a norma técnica ABNT ISO/CIE 8995-1: 2013 [2].

Por sua vez, o *smartphone* Motorola, tanto com o uso da cúpula difusora quanto sem o seu uso, apresentou no aplicativo Luxi valores muito superiores e, com os outros aplicativos, valores muito inferiores ao valor de referência (Tabela 7).

Já o *smartphone* Nokia, com a cúpula difusora, apresentou valores muito inferiores aos da referência, para todos os aplicativos. Sem a cúpula, esse dispositivo forneceu valores muito superiores à referência (Tabela 7).

4.2.2. Distância entre fonte de luz e sensor: 495 mm

A tabela 7 apresenta os valores referentes às médias de iluminância e os resultados de desvio-padrão referentes ao luxímetro digital e aos outros instrumentos utilizados nas medições na distância de 495 mm entre a fonte de luz e os sensores. Onde o luxímetro digital obteve 475,58 lx para a iluminância e o respectivo valor de desvio-padrão 0,50.

4.2.3. Distância entre fonte de luz e sensor: 353 mm

O valor da média resultante dos valores registrados no luxímetro digital, com a distância entre a fonte de luz e o sensor de 353 mm foi de 880,39 lx. O aplicativo Dr. Led, que foi o único medido no Ipad, registrou com a cúpula difusora 855,00 lx.

No Motorola, tanto com a cúpula quanto sem esta, em 3 (três) dos 5 (cinco) aplicativos os valores estavam próximos aos da média de referência: no OuroLux (com cúpula = 882,48 lx e sem cúpula = 903,52 lx); no Light Meter (com cúpula = 857,00 lx e sem cúpula = 911,19 lx) e no aplicativo Luxímetro (com cúpula = 848,87 lx e sem cúpula = 909,87 lx).

Na tabela 7 apresentam-se os valores de desvio-padrão referentes ao luxímetro digital e aos dispositivos móveis, na distância de 353 mm até a fonte de LED.

4.3. Resultados referentes à lâmpada de xenônio

As medições feitas com a lâmpada de xenônio diferenciaram-se pelos níveis de iluminância através da adaptação da íris com aberturas nos diâmetros de aproximadamente 3 mm, 4,5 mm e 7 mm, e, também sem a adaptação da íris ao simulador solar.

Os valores das médias de iluminância (em lux) obtidos com o luxímetro digital e também com os dispositivos móveis e seus respectivos aplicativos, assim como os valores de desvio-padrão, apresentam-se na tabela 8, onde foram adotadas as seguintes abreviações: CCD= Com Cúpula Difusora e SCD= Sem Cúpula Difusora.

Tabela 8: Valores das médias de iluminância (em lux), e do desvio-padrão, nos ensaios com a fonte luminosa de xenônio

	íris: 3 mm		íris: 4,5 mm		íris: 7 mm		sem íris	
	MÉDIA ± DESVIO-PADRÃO		MÉDIA ± DESVIO-PADRÃO		MÉDIA ± DESVIO-PADRÃO		MÉDIA ± DESVIO-PADRÃO	
D ₁₃	607,94 ± 8,23		1013,72 ± 22,83		4012,26 ± 41,21		23933,33 ± 377,71	
	CCD	SCD	CCD	SCD	CCD	SCD	CCD	SCD
DA ₁	544,00 ± 0	13707,77 ± 1230,59	1235,19 ± 26,97	7697,39 ± 201,17	8164,10 ± 445,77	14249,52 ± 1397,52	25031,00	39123,00 ± 0,00
DA ₂	267,00 ± 0	7124,35 ± 500,57	609,32 ± 10,81	3925,29 ± 145,97	4019,55 ± 267,11	7383,94 ± 554,29	12511,00	19557,00 ± 0,00
DA ₃	276,00 ± 0	6543,48 ± 419,49	623,06 ± 17,01	3884,81 ± 94,56	4130,19 ± 282,32	7252,32 ± 437,24	12...	19...
DA ₄	568,45 ± 27,00	10.../ 11...	1129,61 ± 12,90	*nenhum valor	5368,32 ± 357,66	*	17...	30...
DA ₅	3,00 ± 0	3,00 ± 0	3,00 ± 0	3,00 ± 0	3,00 ± 0,00	3,00 ± 0,00	303,00 ± 3,46	290,19 ± 11,97
DA ₆	2,00 ± 0	2,00 ± 0	2,00 ± 0	2,00 ± 0	2,00 ± 0,00	2,00 ± 0,00	202,00 ± 5,29	207,13 ± 7,28
DA ₇	2,00 ± 0	2,00 ± 0	2,00 ± 0	2,00 ± 0	2,00 ± 0,00	2,00 ± 0,00	x	210,94 ± 5,53

DA ₈	2,00 ± 0	2,00 ± 0	2,00 ± 0	2,00 ± 0	2,00 ± 0,00	2,00 ± 0,00	194,33 ± 4,04	217,00 ± 4,70
DA ₉	279,00 ± 0	279,00 ± 0	279,00 ± 0	279,00 ± 0	279,00 ± 0,00	279,00 ± 0,00	1146,70	1169,20
DA ₁₀	43,32 ± 1,08	12351,77 ± 321,52	70,13 ± 0,67	12389,52 ± 376,04	258,29 ± 9,16	13740,84 ± 635,68	1543,00 ± 1,73	15185,00 ± 393,90
DA ₁₁	43,91 ± 0,73	12317,00 ± 623,39	69,73 ± 0,82	12032,26 ± 139,97	261,19 ± 10,27	13603,23 ± 455,69	1551,33 ± 7,57	15300,00 ± 100,00
DA ₁₂	45,08 ± 0,54	11417,34 ± 148,31	69,35 ± 1,70	11298,52 ± 435,89	262,42 ± 14,38	13553,15 ± 255,64	1565,70 ± 11,18	15471,20 ± 125,91

4.3.1. Abertura de diâmetro 3 mm:

Com a íris adaptada ao simulador, e com sua abertura de diâmetro 3 mm, o luxímetro digital registrou valor de média 607,94 lx. O Ipad, com a cúpula difusora obteve no aplicativo Dr. Led 544,00 lx e no aplicativo Luxi 568,45 lx.

Na tabela 8 estão os valores das médias de iluminância, em lux e os valores de desvio-padrão referentes aos instrumentos utilizados para medição.

No Ipad, sem a utilização da cúpula, as médias indicaram desempenho diferente daqueles registrados com a cúpula. Ao utilizar o aplicativo Luxi, foram apresentados valores com reticências.

Com o *smartphone* Motorola foram encontrados os mesmos resultados com, ou sem o uso da cúpula: no aplicativo Dr. Led de 3,00 lx; no Ourolux, no Light Meter e no Luxímetro de 2,00 lx; e, no Luxi de 279,00 lx.

4.3.2. Abertura de diâmetro 4,5 mm:

Na tabela 8 encontram-se os valores das médias e os valores de desvio-padrão que foram obtidos no luxímetro digital e nos dispositivos móveis e seus respectivos aplicativos, com a indicação da adoção ou não da cúpula difusora.

O luxímetro digital teve como média 1013,72 lux. O dispositivo em que os valores mais se aproximaram aos dessa média foi o Ipad, com o uso da cúpula, no aplicativo Luxi, cujo resultado foi de 1129,61 lx e, no aplicativo Dr. Led com 1235,19 lx. Observação: no Ipad sem a cúpula com o aplicativo Luxi não foi apresentado nenhum valor no visor do dispositivo móvel.

Com o *smartphone* Motorola foram encontrados os mesmos resultados ao utilizar e também sem utilizar o anexo da cúpula, que foram iguais à situação anterior.

No Nokia, com a cúpula: os valores de todos os aplicativos foram próximos a 70 lx. E sem a cúpula: todos os aplicativos tiveram valores próximos a 12000 lx.

4.3.3. Abertura de diâmetro 7 mm:

Na tabela 8 encontram-se os valores das médias e os valores de desvio-padrão, usando a abertura da íris com diâmetro de 7 mm, que foram obtidos no luxímetro digital e nos dispositivos móveis e seus respectivos aplicativos, com a indicação da adoção ou não da cúpula difusora.

O valor médio obtido com o luxímetro digital foi de 4012,26 lx onde o dispositivo móvel cujos valores mais se aproximaram aos da média do luxímetro digital foi o Ipad, com a utilização da cúpula, nos aplicativos: Lux Light Meter (com 4019,55 lx) e Lux Camera (com 4130,19 lx).

Com o *smartphone* Motorola, adotando ou não a cúpula difusora, os mesmos valores foram obtidos de acordo com cada aplicativo, nesta abertura em questão, assim como ocorreu nas outras aberturas. Foram eles: no aplicativo Dr. Led o valor de 3,00 lux; no Ourolux, no Light Meter e no Luxímetro de 2,00 lux; e, no Luxi, o valor foi de 279,00 lux.

Quanto ao desvio-padrão, os valores para o luxímetro digital corresponderam a 41,21. Com a cúpula no Ipad, todos os valores foram maiores do que 250. No Motorola, como os valores das médias eram os mesmos, o desvio-padrão foi zero. E com o *smartphone* Nokia, para todos os aplicativos os valores foram abaixo de 15.

Já sem a utilização da cúpula: os valores foram elevados, com exceção do dispositivo Motorola (que não sofre alteração ao ter coberto ou descoberto o sensor que faz a leitura da iluminância). Observação: Não foi calculado o desvio-padrão com o aplicativo Luxi no Ipad, devido ao valor da média respectiva ter tido reticências.

4.3.4. Sem íris:

O luxímetro digital registrou nas medições sem a adaptação da íris ao simulador solar: média de 23933,33 lx. Os valores mais próximos aos dessa média foram obtidos no Ipad, com a cúpula difusora, no aplicativo Dr. Led com 25031,00 lx. Observação: Para os valores acima de 9999 lx no Ipad, com os aplicativos Luxi e Lux Camera os valores possuíam reticências, como pode ser observado na tabela 8.

No *smartphone* Motorola, com ou sem a cúpula difusora, os mesmos valores foram obtidos de acordo com cada um dos aplicativos, em todas as variações de abertura adotadas quando a íris foi adaptada ao simulador solar. Sem a íris, o dispositivo apresentou desempenho diferente.

Quando não houve a utilização da íris adaptada ao equipamento utilizado, o desempenho do Motorola foi diferente do que o registrado com a inserção da íris, pois os valores nos 3 (três) primeiros aplicativos foram de 200 a 300 lx, e, de aproximadamente 1000 lx com o aplicativo Luxi.

5 Discussão

Neste trabalho realizaram-se medições de iluminância com duas diferentes fontes de luz, em dois ambientes distintos, na tentativa de verificar a possibilidade da utilização de dispositivos móveis, com aplicativos específicos para medição de iluminância, na unidade lux.

Uma cúpula difusora de luz ainda não havia sido introduzida em nenhum dos autores das pesquisas até o presente momento. Além disso, o Ipad foi um dispositivo móvel que também não havia sido utilizado nos ensaios das outras pesquisas/medições.

Para avaliação do desempenho dos dispositivos móveis, nas diferentes configurações, foram consideradas as recomendações da norma técnica ABNT ISO/CIE 8995-1: 2013 [2], onde a tolerância nas medições é de 10% para valores de iluminância.

A análise foi efetuada por meio do percentual da diferença entre o entre o resultado da medição do dispositivo em relação ao valor de referência (correspondente ao resultado da medição utilizando o luxímetro digital) $\% \Delta_{DL}$, conforme a eq. (1).

$$\Delta_{DL} = \frac{\bar{x}_D - \bar{x}_L}{\bar{x}_L} \times 100 \quad (1)$$

Onde \bar{x}_D é valor médio dos resultados da medição de iluminância obtidos pelo sensor do dispositivo móvel e \bar{x}_L o valor de referência, correspondente à média dos resultados de iluminância fornecidos pelo luxímetro digital, medidos na unidade lux.

5.1. $\% \Delta_{DL}$ nos ensaios com fonte luminosa de LED

A tabela 9 apresenta os valores em porcentagem da diferença entre o valor médio dos resultados das medições com os dispositivos móveis em relação ao valor de referência obtido com luxímetro digital ($\% \Delta_{DL}$). Os resultados são apresentados para as condições em que a cúpula difusora é empregada (CCD) e sem o uso da mesma (SCD).

Tabela 9: Porcentagem da diferença entre as médias ($\% \Delta_{DL}$) entre dispositivos móveis e luxímetro, para as três distâncias com a fonte de LED

	Distância: 640 mm		Distância: 495 mm		Distância: 353 mm	
D ₁₃	294,84 lx		475,58 lx		880,39 lx	
	$\% \Delta_{DL}$ CCD	$\% \Delta_{DL}$ SCD	$\% \Delta_{DL}$ CCD	$\% \Delta_{DL}$ SCD	$\% \Delta_{DL}$ CCD	$\% \Delta_{DL}$ SCD
DA ₁	-5%	-59%	0%	-57%	-3%	-50%
DA ₂	-54%	-100%	-44%	-100%	-100%	-100%
DA ₃	-51%	-100%	-42%	-100%	-100%	-100%
DA ₄	-15%	-100%	-18%	-100%	-100%	-100%
DA ₅	-38%	-33%	11%	40%	46%	51%
DA ₆	-47%	-55%	-4%	-6%	0%	3%
DA ₇	-59%	-55%	-26%	-7%	-3%	3%
DA ₈	-59%	-56%	-28%	-6%	-4%	3%
DA ₉	177%	193%	288%	368%	367%	392%
DA ₁₀	-87%	59%	-87%	-100%	-88%	-100%
DA ₁₁	-87%	60%	-88%	-100%	-88%	-100%
DA ₁₂	-87%	61%	-88%	55%	-88%	43%

Percebe-se na tabela 9, que o único dispositivo que atendeu aos limites de 10% em relação ao valor medido pelo luxímetro digital para todas as três distâncias de medição até a fonte de LED foi o Ipad, em sua configuração com o aplicativo Dr. Led, com a cúpula difusora (CCD).

O dispositivo Motorola, por sua vez, embora não tenha apresentado bom desempenho para a maior distância e, portanto, menor iluminância (294,84 lx);

para as distâncias de 353 e 495 mm até a fonte luminosa (880,39 e 475,58 lx, respectivamente), quando associado aos aplicativos Ourolux, Light Meter e Luxímetro, e sem uso da cúpula, atendeu ao limite de 10% de $\% \Delta_{DL}$. Para a menor distância, iluminância de 880,39 lx, a associação do Motorola a esses três aplicativos possibilitou obter bom desempenho independentemente do uso de cúpula difusora. Particularmente a associação Motorola/Ourolux apresentou desempenho adequado independente do uso ou não da cúpula difusora, para os dois maiores níveis de iluminância de 475,58 e 880,39 lx.

Embora o aplicativo Dr. Led tenha proporcionado o desempenho adequado quando associado ao dispositivo Ipad, o mesmo não foi observado quando associado aos outros dispositivos. Porém, para a distância de 495 mm (475,58 lx), forneceu ao Motorola em uso da cúpula, um desempenho muito próximo do aceitável, $\% \Delta_{DL}$ de 11%.

A figura 21 ilustra os valores de $\% \Delta_{DL}$ para cada associação dispositivo/aplicativo, em uso ou não da cúpula difusora, nas três condições de iluminância avaliadas no arranjo experimental utilizando a fonte de LED.

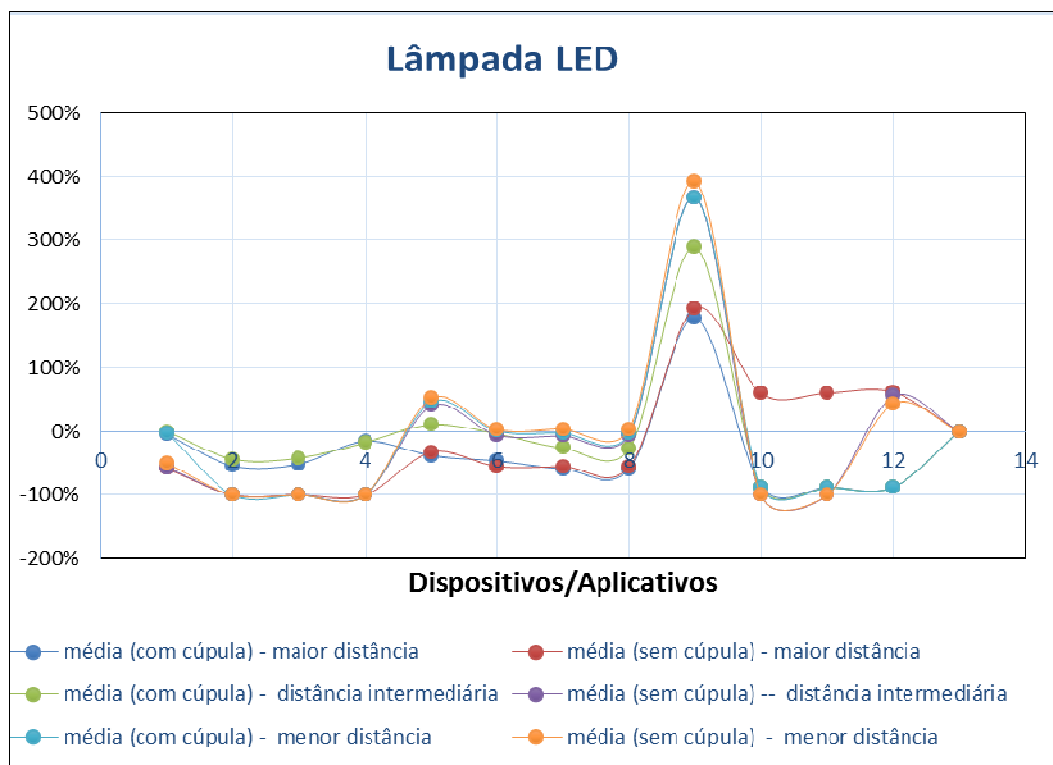


Figura 21: Gráfico com a relação da diferença $\% \Delta_{DL}$ entre os valores de referência (número 13) e dos dispositivos com e sem a cúpula difusora, nas três distâncias das medições realizadas com a lâmpada de LED.

A figura 21 permite observar o bom desempenho: do Ipad/Dr Led CCD (dispositivo 1) para as três distâncias de medição; das três associações do Motorola, SCD ou CCD, com Ourolux, Light Meter e Luxímetro, para a menor distância; das três associações do Motorola SCD com Ourolux, Light Meter e Luxímetro, para a distância intermediária (495 mm); além da associação Motorola/Ourolux (dispositivo 6) para ambas configurações CCD e SCD, nas duas menores distâncias (353 e 495 mm). Observa-se, também, a proximidade de bom desempenho do Motorola/Dr. Led (dispositivo 5), para a distância intermediária, em uso de cúpula. O desempenho inadequado de todas as configurações do Nokia, para todas as condições de medição, e os elevados $\% \Delta_{DL}$ obtidos com a configuração Motorola/Luxi, são facilmente evidenciados na figura 21.

Os gráficos com as médias e as diferenças relativas ($\% \Delta_{DL}$) estão dispostos nas figuras: 22, 23, 24, 25, 26 e 27, de acordo com as distâncias entre a fonte de luz e os sensores.

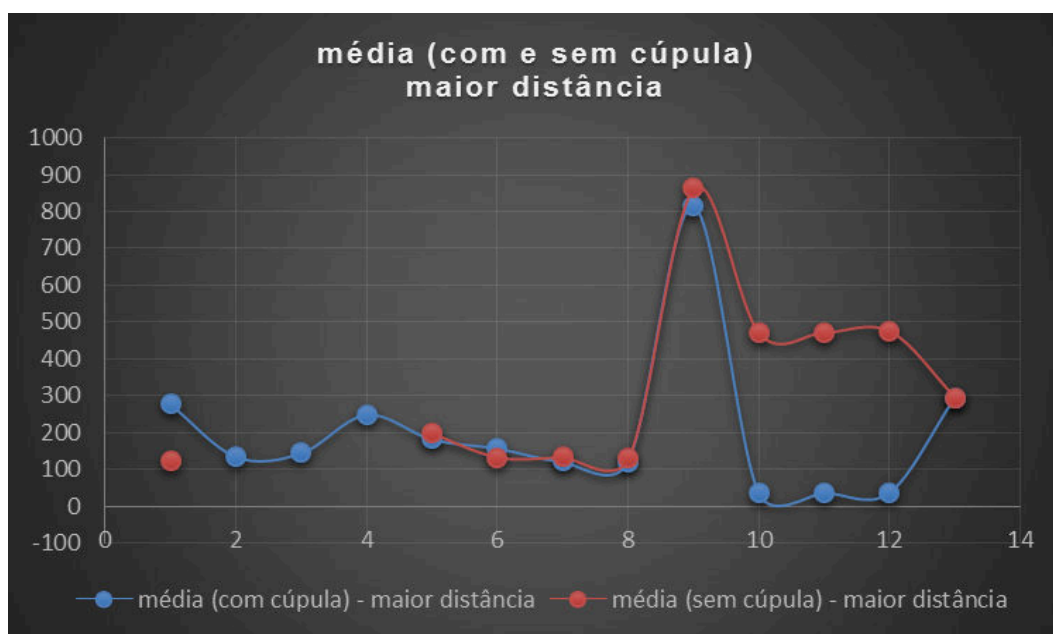


Figura 22: Gráfico com as médias (em lux), com e sem cúpula, na maior distância (640 mm)

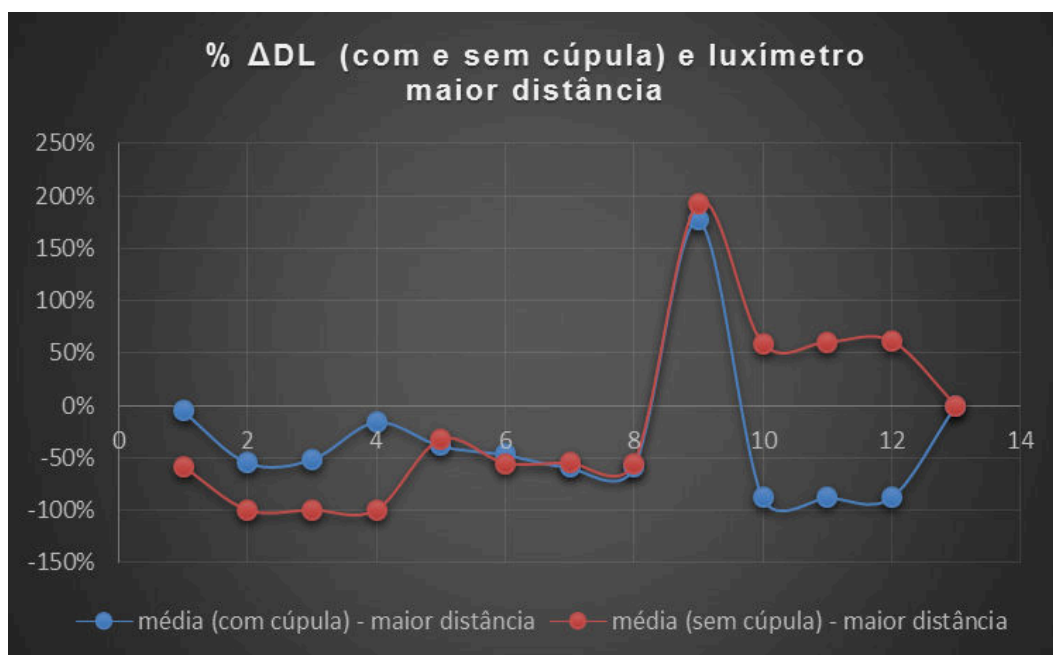


Figura 23: Gráfico com a relação de % Δ DL, com e sem cúpula, na maior distância (640 mm)

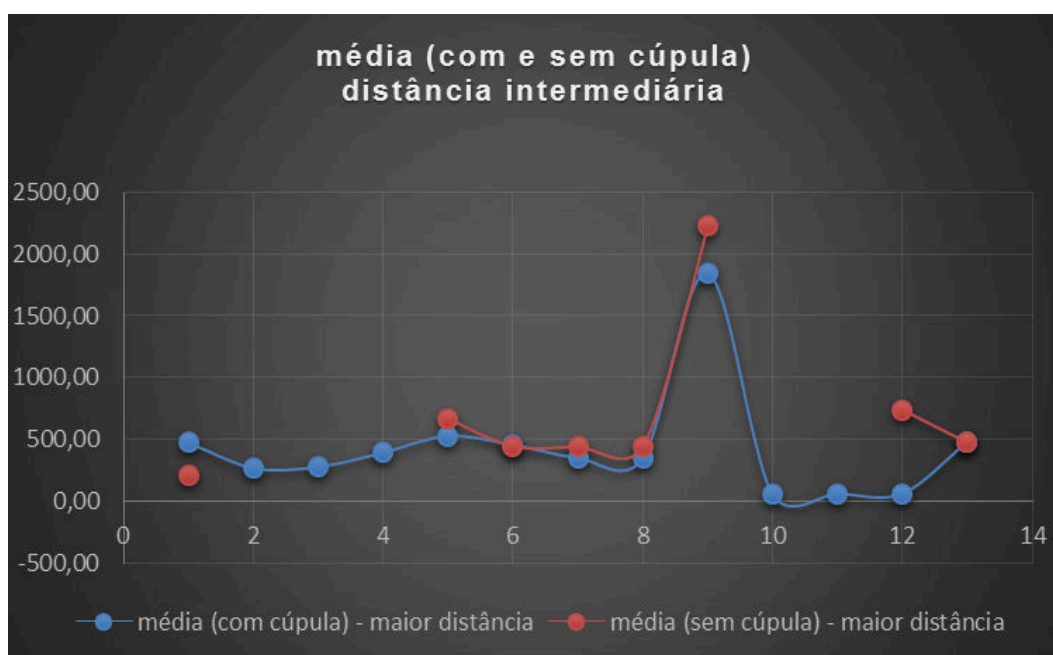


Figura 24: Gráfico com as médias (em lux), com e sem cúpula, na distância intermediária (495 mm)

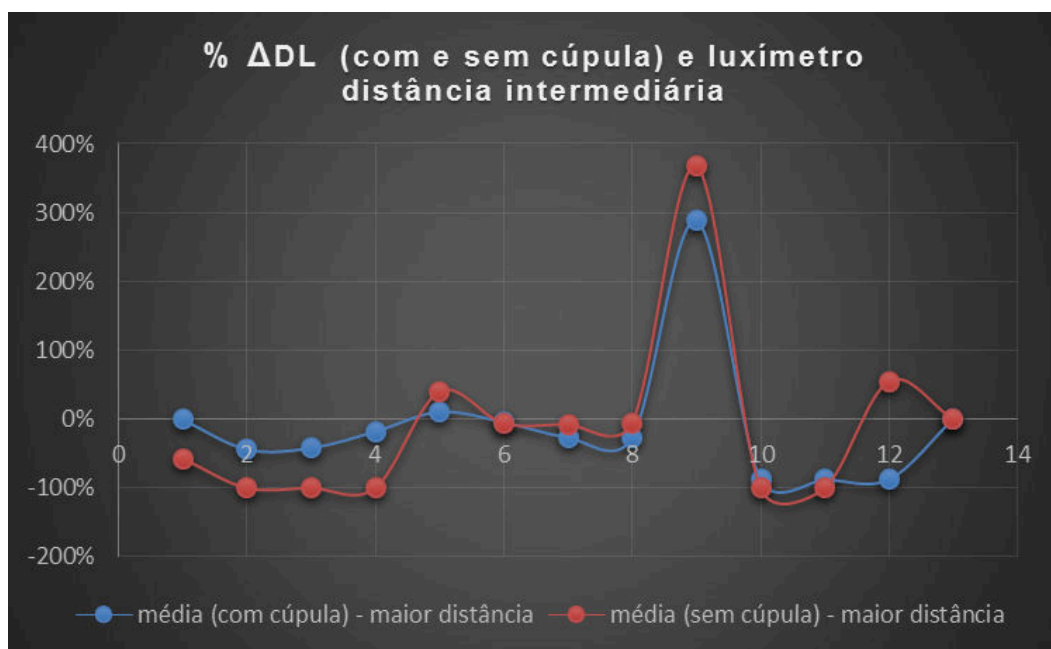


Figura 25: Gráfico com a relação de % Δ DL, com e sem cúpula, na distância intermediária (495 mm)

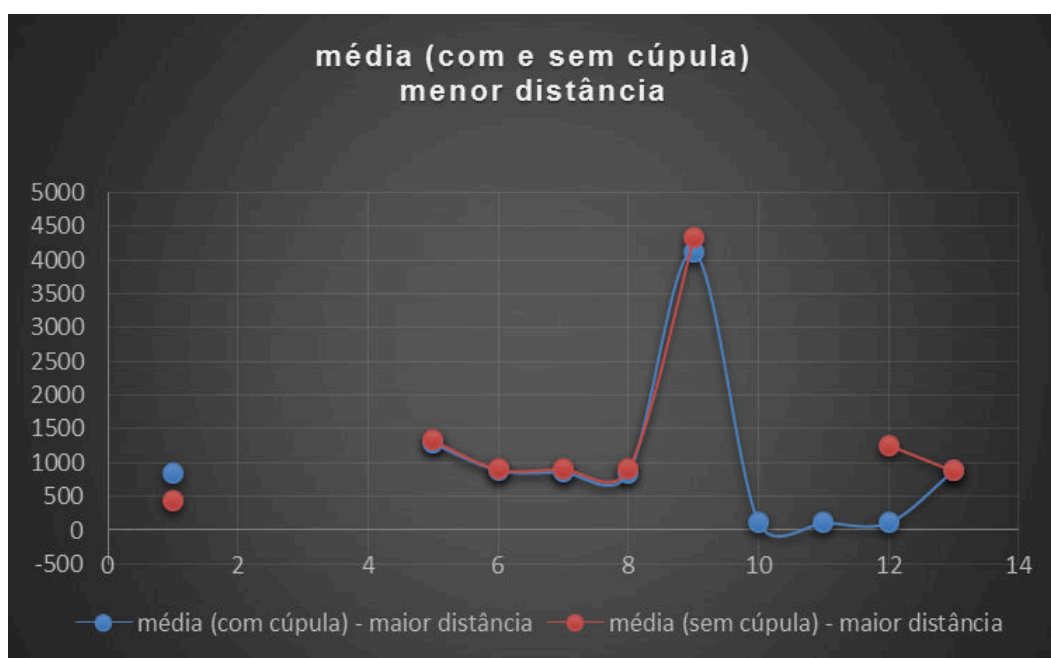


Figura 26: Gráfico com as médias (em lux), com e sem cúpula, na menor distância (353 mm)

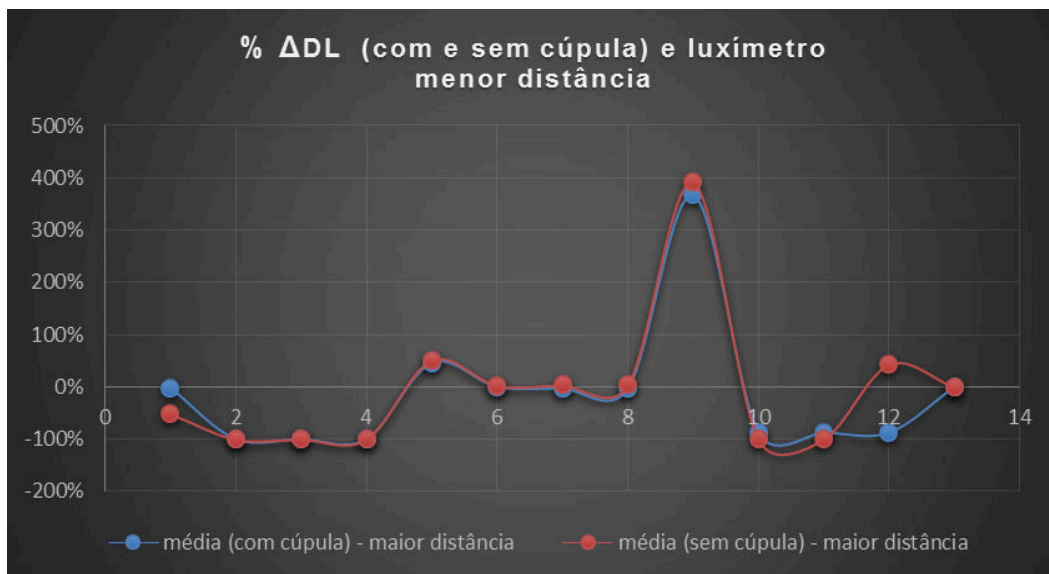


Figura 27 Gráfico com a relação de % Δ_{DL} , com e sem cúpula, na menor distância (353 mm)

Os melhores resultados obtidos nas medições com a fonte de LED se encontram na tabela 10, onde estão destacados em negrito quando foram atendidos, ou se aproximaram dos valores toleráveis na medição, de 10% recomendados por norma técnica [2].

Tabela 10: Relação dos melhores resultados obtidos nas medições com a fonte de LED

Fonte: LED	Código	Dispositivo/ Aplicativo	CCD	SCD
Distância: 640 mm	DA ₁	IPad/ Dr.Led	SIM	NÃO
	DA ₄	IPad/ Luxi	15%	NÃO
Distância: 495 mm	DA ₁	IPad/Dr.Led	SIM	NÃO
	DA ₅	Motorola/ Dr.Led	11%	NÃO
	DA ₆	Motorola/ Ourolux	SIM	SIM
	DA ₇	Motorola/ Lightmeter	NÃO	SIM
Distância: 353 mm	DA ₁	IPad/ Dr.Led	SIM	NÃO
	DA ₆	Motorola/ Ourolux	SIM	SIM
	DA ₇	Motorola/ Lightmeter	SIM	SIM
	DA ₈	Motorola/ Luxímetro	SIM	SIM

A figura 28 representa em porcentagem, a diferença relativa obtida entre as médias dos dispositivos e do luxímetro digital.

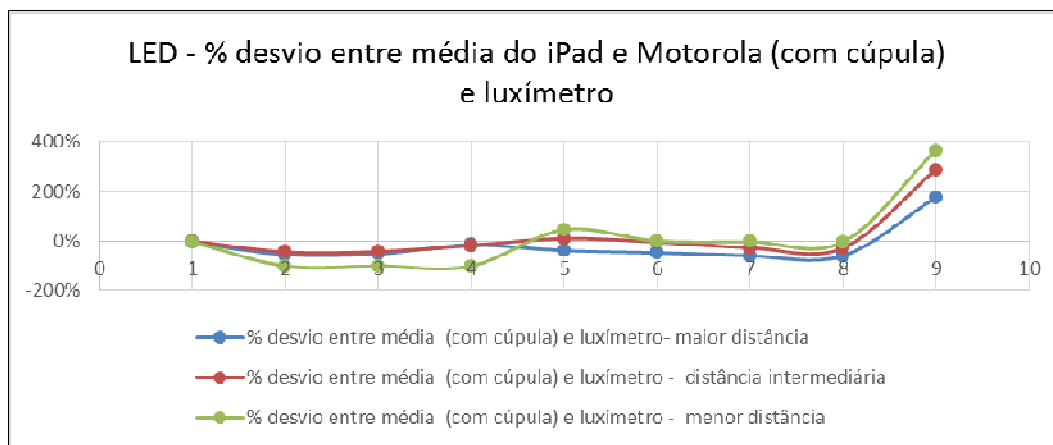


Figura 28: Gráfico com a relação entre a diferença relativa obtida entre as médias dos dispositivos Ipad e Motorola, com cúpula, e do luxímetro digital

5.2. $\% \Delta_{DL}$ nos ensaios com fonte de luminosa de xenônio

Na tabela 11 são mostrados os valores $\% \Delta_{DL}$ obtidos nas medições utilizando como fonte luminosa a lâmpada de xenônio.

Tabela 11: Valores de $\% \Delta_{DL}$ em porcentagem, associados a todos os dispositivos móveis, nas diferentes condições de medição utilizando a fonte luminosa de xenônio

	Íris: 3 mm		Íris: 4,5 mm		Íris: 7 mm		Sem Íris	
D₁₃	607,94 lx		1013,72 lx		4012,26		23933,33lx	
	$\% \Delta_{DL}$ CCD	$\% \Delta_{DL}$ SCD	$\% \Delta_{DL}$ CCD	$\% \Delta_{DL}$ SCD	$\% \Delta_{DL}$ CCD	$\% \Delta_{DL}$ SCD	$\% \Delta_{DL}$ CCD	$\% \Delta_{DL}$ SCD
DA₁	-11%	2155%	22%	659%	103%	255%	5%	63%
DA₂	-56%	1072%	-40%	287%	0%	84%	-48%	-18%
DA₃	-55%	976%	-39%	283%	3%	81%	x	x
DA₄	-6%	-100%	11%	-100%	34%	x	x	x
DA₅	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-99%	-99%
DA₆	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-99%	-99%
DA₇	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	x	-99%
DA₈	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-99%	-99%
DA₉	-54%	-54%	-72%	-72%	-93%	-93%	-95%	-95%

DA₁₀	-93%	1932%	-93%	1122%	-94%	242%	-94%	-37%
DA₁₁	-93%	1926%	-93%	1087%	-93%	239%	-94%	-36%
DA₁₂	-93%	1778%	-93%	1015%	-93%	238%	-93%	-35%

Observa-se, ainda na tabela 11, que somente nas medições com o Ipad foram encontrados valores de $\% \Delta_{DL}$ inferiores a 50%. Valores adequados, com até 10%, ou muito próximos (com 11%), só foram observados nas condições em que a cúpula foi empregada (CCD). Nenhuma associação dispositivo/aplicativo CCD apresentou adequação para todas as condições de iluminância, identificando-se o bom desempenho para o Ipad CCD com Luxi, utilizando a íris com 3 mm de diâmetro; Ipad CCD com Lux Light Meter ou Lux Camera, utilizando íris com 7 mm de diâmetro; e Ipad CCD com Dr. Led, nas medições sem íris.

Nas medições utilizando a lâmpada de xenônio, o desempenho dos dispositivos pode ter sido prejudicado pela extrema iluminância proporcionada pela fonte ou, quando feito uso da íris, pela limitação da área de emissão luminosa. Na condição de elevada iluminância (sem íris), como mencionado, somente o dispositivo CCD Ipad/Dr. Led atendeu aos limites especificados na norma de referência [2].

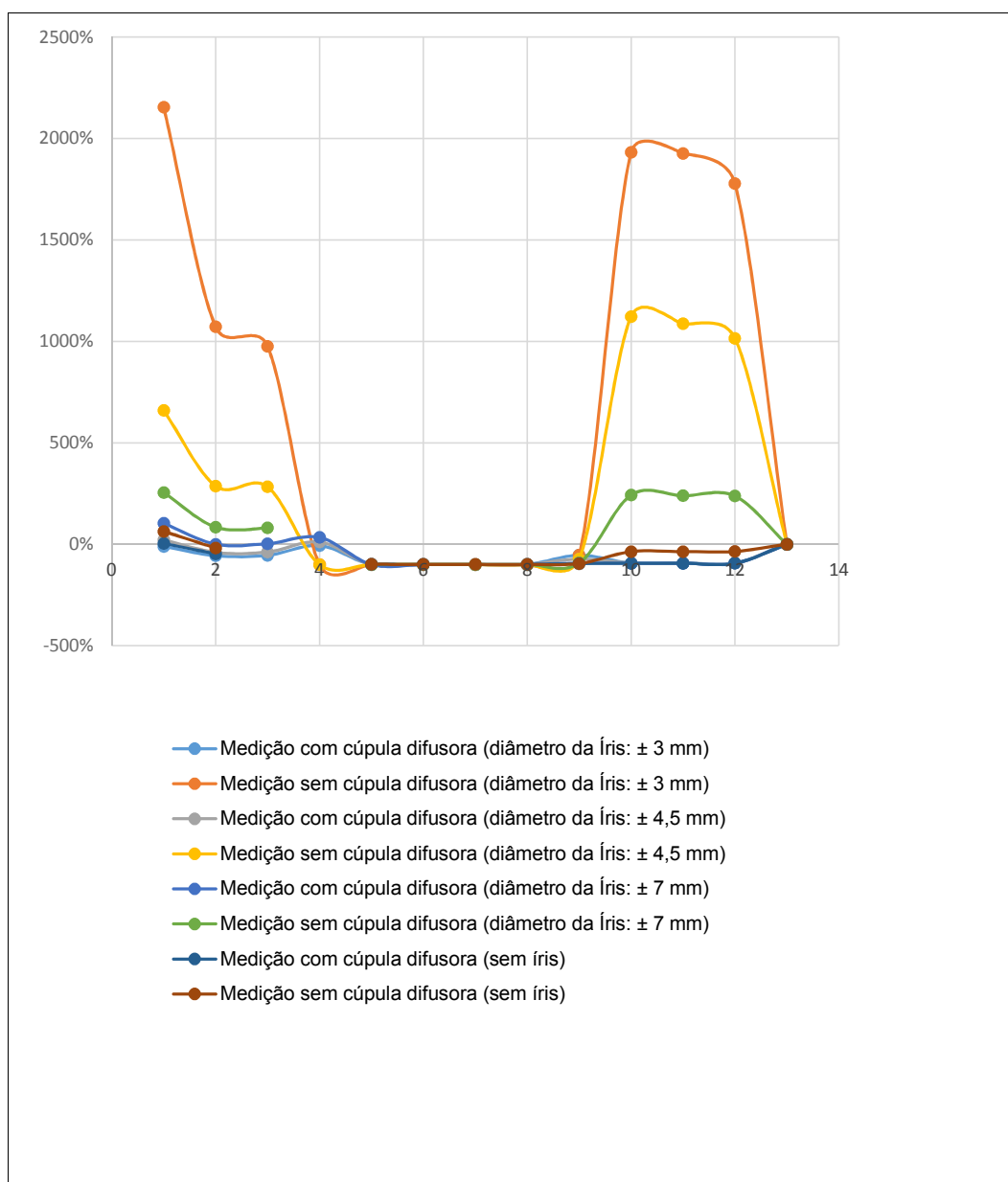


Figura 29: Gráfico com a relação das medições com a fonte de Xenônio, mostrando a diferença relativa, em porcentagem

Na tabela 12 se encontram os melhores resultados obtidos nas medições com a fonte de xenônio, dando destaque em negrito quando foram atendidos, ou se aproximaram dos valores toleráveis quanto à medição, de 10% segundo recomendações especificadas em norma técnica [2].

Tabela 12: Relação dos melhores resultados obtidos com a fonte de xenônio

Fonte: Xenônio	Código	Dispositivo/ Aplicativo	CCD	SCD
Íris: 3 mm	DA ₁	IPad/ Dr. Led	-11%	NÃO

	DA ₄	IPad/ Luxi	SIM	NÃO
Íris: 4,5 mm	DA ₄	IPad/ Luxi	11%	NÃO
Íris: 7 mm	DA ₂	IPad/Lux Light Meter	SIM	NÃO
	DA ₃	IPad/ Lux Camera	SIM	NÃO
Sem íris	DA ₁	IPad/ Dr. Led	SIM	NÃO

As figuras 30 e 31 ilustram em porcentagem as relações obtidas nas medições realizadas com a fonte de xenônio, quando em uso da cúpula difusora, em diferentes escalas.

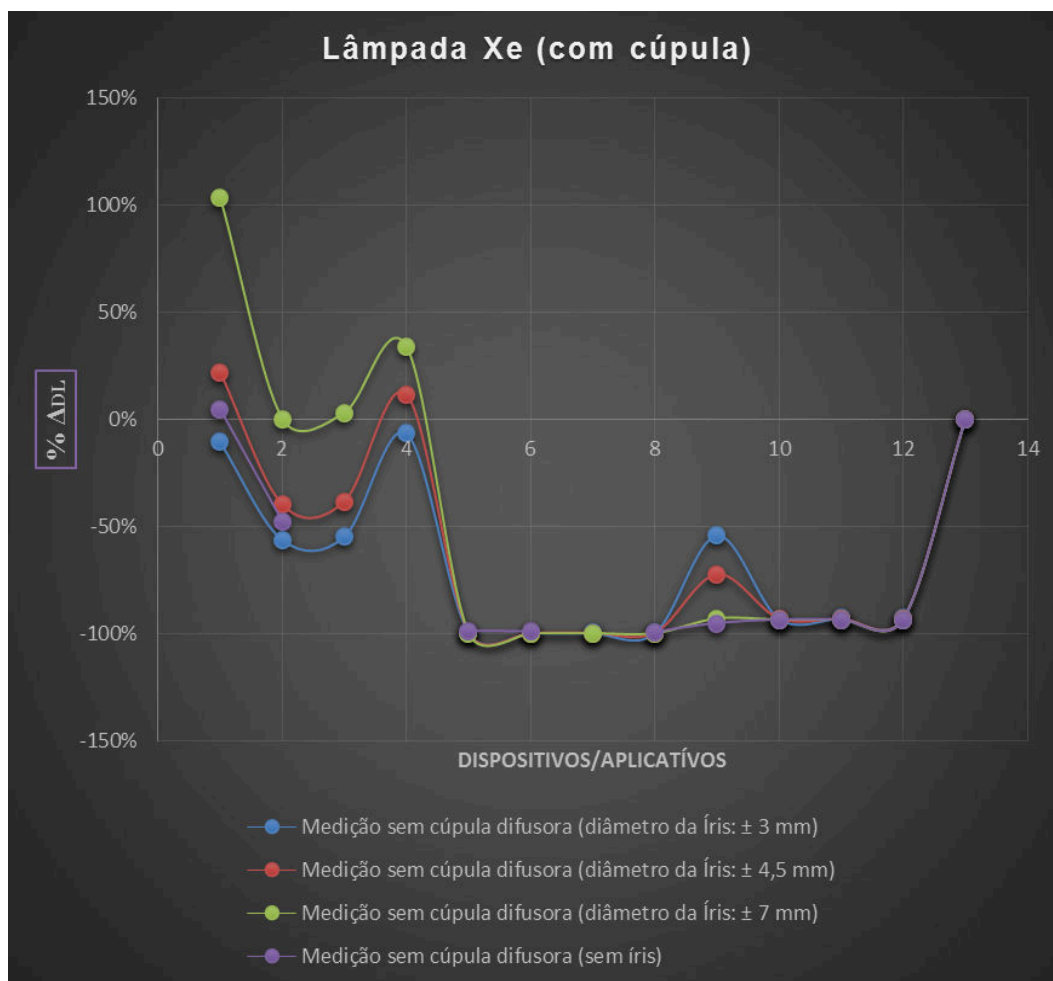


Figura 30: Gráfico com a relação das medições dos ensaios com a fonte de Xenônio, mostrando a diferença relativa, em porcentagem, quando em uso da cúpula difusora

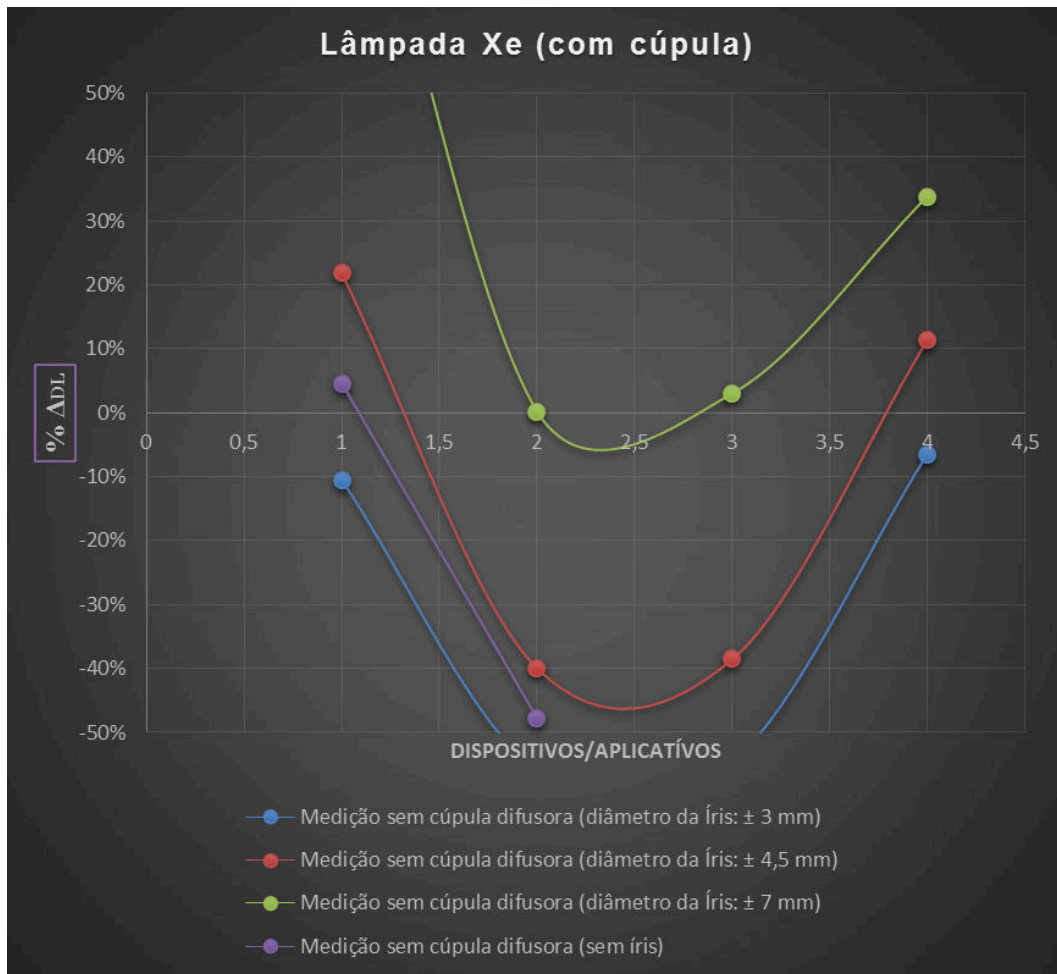


Figura 31: Gráfico com a relação das medições, em porcentagem, dos ensaios com a fonte de Xenônio, quando em uso da cúpula difusora

As figuras 32 e 33 mostram as relações obtidas nas medições realizadas com a fonte de xenônio, em porcentagem, quando não foi utilizada a cúpula difusora, em duas proporções distintas umas das outras.

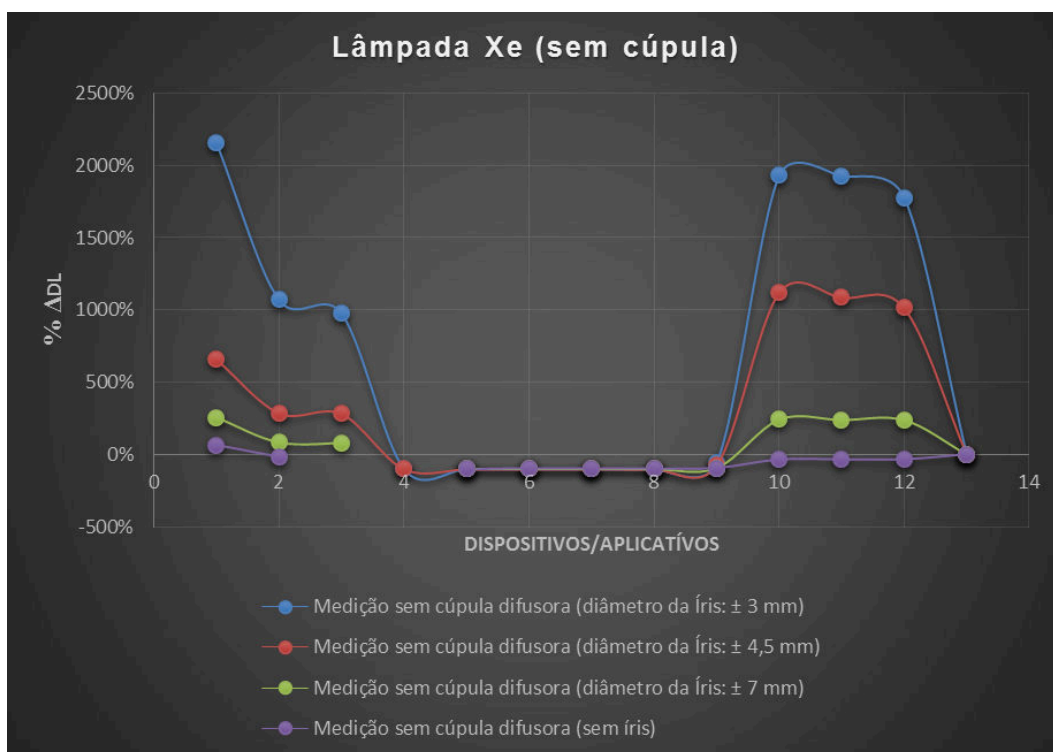


Figura 32: Gráfico com a relação das medições dos ensaios com a fonte de Xenônio, mostrando a diferença relativa, em porcentagem, sem uso da cúpula difusora

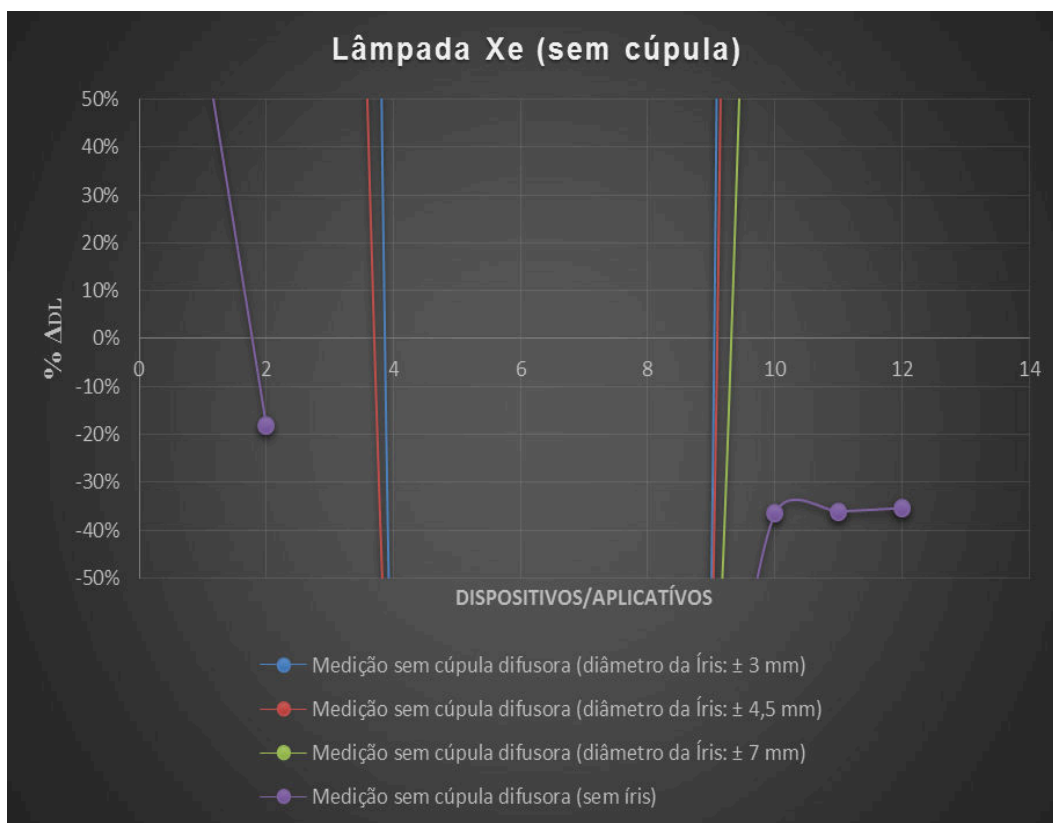


Figura 33: Gráfico com a relação das medições, em porcentagem, dos ensaios com a fonte de Xenônio, sem uso da cúpula difusora

5.3. Comparação com os outros estudos da literatura

Na literatura encontram-se estudos realizados utilizando o dispositivo Motorola [30], e aplicativo específico, que foi programado e teve seu código-fonte *online* publicado, o aplicativo AndroidTM. Os valores da medição da iluminância foram avaliados na faixa entre 50 lx e 1000 lx, sem o uso de uma cúpula difusora.

No presente trabalho, os resultados obtidos com a fonte LED corroboram com esse estudo, uma vez que bons resultados para iluminâncias próximas a 500 e 1000 lx foram alcançados utilizando o dispositivo Motorola[®] sem uso da cúpula (SCD). O bom desempenho observado nos resultados obtidos com o dispositivo Motorola, para iluminâncias de 475 e 880 lx, com a fonte de LED, sem necessitar do uso da cúpula difusora, corroboram com os bons resultados observados em Alcino *et al.* [30], no qual foram realizados ensaios utilizando também um *smartphone* Motorola[®]. De acordo com esse estudo, é possível utilizar o *smartphone* Motorola[®] XT 1068 para a medição da iluminância na avaliação de laringoscópios, já que não foi encontrada diferença significativa na comparação com os valores obtidos com o luxímetro digital, utilizado como referência, ou seja, a diferença média foi inferior a 1 lx. Assim, sob as condições de medição exigidas por norma ISO, específica para laringoscópios, o desempenho para medição de iluminância do *smartphone* Motorola[®] no modelo mencionado foi considerado satisfatório pelo estudo.

Em contraponto, em outro estudo, no qual se realizaram ensaios com sete dispositivos de telefonia móvel, em diferentes sistemas operacionais (três IOS, três Android e um Windows Phone) e, para três diferentes níveis de iluminância (100 lx, 500 lx e 1000 lx), concluiu-se que os aplicativos não são adequados para medição de iluminância. [8] Da mesma forma, o estudo realizado por Cerqueira *et al.* [7], abrangendo 9 dispositivos; 3 Sistemas operacionais; 14 aplicativos; para quatro níveis de iluminância (300 lx, 500 lx, 750 lx and 1000 lx) indicou que os *smartphones* apresentam de limitações para estimar os níveis de iluminância, variando o desempenho em relação aos níveis de referência pré-especificados e as características da fonte de luz. O estudo descrito em [7] apontou inadequações de medição da iluminância pelos dispositivos móveis muito mais acentuadas do que as descritas em [8].

Os aplicativos, sistemas operacionais e dispositivos utilizados em comum em [7] e no presente trabalho consistiram nas configurações de Ipad, Motorola e Nokia correspondentes a DA_2 , DA_3 , DA_7 , DA_8 e DA_{12} . Assim como em [30], no presente trabalho a configuração utilizando Nokia/Lux-o-Meter (DA_{12}) não apresentou bom desempenho em nenhuma das medições. Nesse caso, o uso da cúpula difusora possibilitou uma maior aproximação do resultado ao valor de referência, mas não o suficiente para torná-lo satisfatório. Já as outras configurações em comum, utilizando Ipad ou Motorola, diferentemente de [30], os resultados foram satisfatórios para ao menos algumas das condições de medição.

O dispositivo Ipad, nas configurações DA_2 , DA_3 , nas quais utilizou, respectivamente, os aplicativos Lux Light Meter e Lux Camera, apresentou bom desempenho apenas nas medições realizadas com a fonte de xenônio, especificamente na condição em que se utilizou a cúpula difusora e íris com o diâmetro de 7 mm. Nessa condição de medição utilizou-se um nível de iluminância elevado, da ordem de 4000 lx, que não foi avaliado em [30]. As configurações em comum com [30], utilizando o dispositivo Motorola (DA_7 , DA_8), empregando os aplicativos Light Meter e Luxímetro, observou-se um bom desempenho somente em medições com a fonte de LED, para iluminância de 475 lx, somente com cúpula, e para 880 lx mesmo sem uso da cúpula. Este último resultado, no qual a mesma configuração de medição foi utilizada, sem uso de cúpula, e para níveis de iluminância equivalentes aos avaliados em [30], o resultado obtido não corrobora com aqueles apresentados na literatura. De qualquer forma, essas não foram as configurações que apresentaram os melhores desempenhos na avaliação realizada no presente trabalho, tendo o desempenho satisfatório sido observado apenas em condições muito específicas.

6 Conclusões

Neste trabalho analisa-se o desempenho de sensores de luz presentes em *smartphones* e *tablets* para medição da iluminância, utilizando ou não uma cúpula difusora anexada aos dispositivos, associados a diferentes aplicativos. Foram desenvolvidos dois arranjos experimentais, sendo um com a fonte luminosa de LED, onde os diferentes níveis de iluminância foram proporcionados pela variação da distância entre o sensor e a fonte de luz. No outro arranjo empregou-se uma lâmpada de xenônio como fonte luminosa, utilizando-se um simulador solar com um filtro, e por meio da abertura ou uma íris ou sua ausência, obteve-se a variação da iluminância. As medições realizadas tiveram como referência para comparação dos resultados, um luxímetro digital.

Utilizando a fonte LED os únicos dispositivos que atenderam aos limites de 10% de diferença em relação ao valor nominal medido pelo luxímetro digital foram o Ipad e o Motorola.

Para as medições realizadas com a lâmpada de xenônio, o Ipad foi o único dispositivo que apresentou resultados próximos ao valor fornecido pelo luxímetro digital, ao menos para algumas das condições, e nessas sempre em uso da cúpula difusora.

Evidenciou-se o impacto da utilização da cúpula difusora para a adequação do desempenho dos dispositivos, tanto nos experimentos utilizando a fonte LED quanto de xenônio. O uso da cúpula nos ensaios com a fonte luminosa de LED possibilitou que algumas das combinações, como por exemplo, o dispositivo Ipad com o aplicativo Dr. Led apresentassem desempenho aceitável de 10% de tolerância, segundo a norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 [2], nos três níveis de distâncias analisados.

Assim, a análise comparativa realizada no presente trabalho caracterizou o impacto da utilização da cúpula difusora no desempenho dos dispositivos móveis avaliados. Sua utilização possibilitou que algumas das combinações

dispositivo/aplicativo alcançassem desempenho adequado para aplicação na avaliação quotidiana de iluminância.

Perspectivas de trabalhos futuros

O presente estudo tem várias limitações, principalmente devido à quantidade de dispositivos medidos. É possível estender o trabalho com o uso de outros dispositivos móveis de outras marcas e modelos; assim como outros tipos de sensores de luz adaptáveis em dispositivos móveis. Além disso, apenas aplicativos gratuitos foram considerados, pode-se buscar algumas versões pagas que podem ter um desempenho diferente. Deve-se também ampliar o estudo para outras fontes luminosas e avaliar outras condições do arranjo experimental.

A rastreabilidade metrológica dos resultados do presente trabalho poderá ser obtida por meio da calibração do instrumento de medição utilizado como referência, o luxímetro digital, seguida da revisão da análise dos valores de $\% \Delta_{DL}$.

7 Referências bibliográficas e de outros meios

- 1 ELETROBRAS (PROCEL). Manual de iluminação. Rio de Janeiro, 2011.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior. Rio de Janeiro. 2013.
- 3 ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 8995-1 /Cor 1. Lighting of work places - Part 1: Indoor.* 2005.
- 4 CEN. *EN 12464: Light and lighting - lighting of work places part 1: indoor work places.* 2011.
- 5 ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION / CIE - COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. *ISO/CIE 19476: Characterization of the performance of illuminance meters and luminance meters.* 2014.
- 6 COSTA, G.J.C. Iluminação econômica. EDPUCRS. Brasil. 2006.
- 7 CERQUEIRA, Diogo; CARVALHO, Filipa; MELO, Rui Bettencourt. *Is it smart to Use Smartphones to Measure Illuminance for Occupational Health and safety Purposes?* Portugal. 2018.
- 8 DIAL. *Luxmeter App versus measuring device: Are smartphones suitable for measuring illuminance?* Alemanha. 2017. Disponível em: <<https://www.dial.de/en/blog/article/luxmeter-app-versus-measuring-device-are-smartphones-suitable-for-measuring-illuminance>> Acesso em 12/02/2017.
- 9 INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Sistema Internacional de Unidades. 2012. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/si_versao_final.pdf> Acesso em 02/09/2016.
- 10 BIPM. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. *Metrology. Photometry and radiometry.* Disponível em: <www.bipm.org/metrology/photometry-radiometry/>
- 11 FROTA, M.N., OHAYON, P. & Maguellone Chambon (BNM/França). Padrões e unidades de medida: referências

metrológicas da França e do Brasil. ISBN 85-7303- 211-1, editado na França e impresso no Brasil por Editora Qualitymark. 1999.

- 12 Calibração rastreada à RBC. Óptica. Disponível em: <http://www.calibracao.com.br/calibracao-rastreada-a-rbc/optica/>.
- 13 BIPM. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. *Consultative Committees*. Disponível em: www.bipm.org/en/committees/cc/ccpr/ Acesso em 12/03/2018.
- 14 OIML - ORGANISATION INTERNATIONALE DE MÉTROLOGIE LÉGALE.
- 15 WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION.
- 16 ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/31892.html>.
- 17 _____. *Committee*. Disponível em: <https://www.iso.org/committee/4418564.html>.
- 18 IEC - INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *International Electrotechnical Commission*. Disponível em: <https://www.iec.org>
- 19 CIE - COMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. *Comission Internationale de l'eclairage*. França. Disponível em: <https://www.cie.org>
- 20 CIE- Brasil. Comitê Brasileiro de Iluminação. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/ciebrasil/>.
- 21 INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Sobre o Inmetro. Disponível em www.inmetro.gov.br/inmetro/oque.asp.
- 22 _____. Metrologia Legal. Disponível em: <http://inmetro.gov.br/metlegal/index.asp>.
- 23 _____. Metrologia Científica e Industrial. Divisão de Metrologia Óptica. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/optica/laraf_Novo.asp?iacao=imprimir.
- 24 INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM). 2012. Disponível em: www.inmetro.gov.br/.
- 25 RBC - REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO. Laboratórios da Rede Brasileira de Calibração. Palavra-chave: Luxímetros.

Disponível em
<http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rbc/lista_servicos.asp?nom_servico=Lux%EDmetro>. Acesso em 30/08/2017.

- 26** ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br>>.
- 27** ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/>>.
- 28** _____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5461: Iluminação. Código Secundário ABNT/ TB 23. Rio de Janeiro. 1991.
- 29** MINIPA. Manual do luxímetro digital modelo MLM-1011.
- 30** REVISTA BRASILEIRA DE ANESTESIOLOGIA. Precisão de um smartphone para testar a luz de laringoscópio e uma auditoria de nossos laringoscópios usando as normas da ISO. Portugal, 2017.