

**Congresso Brasileiro de  
Metrologia 2015**



INTERNATIONAL  
YEAR OF LIGHT  
2015

**INMETRO**

Ministério do  
Desenvolvimento, Indústria  
e Comércio Exterior

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PÁTRIA EDUCADORA

# Impacto da tecnologia LED na metrologia óptica

**Thiago Menegotto**

Pesquisador-Tecnologista em Metrologia e Qualidade



# LED e Metrologia

**Vida útil e  
confiabilidade dos  
LED**

**Necessidade de nova  
métrica para o IRC**

**Padrões para  
laboratórios de ensaio**

**Nova metodologia  
para realização da  
Candela**



## Sobre os LED



Nick Holonyak  
Syracuse, NY

GaAsP



George Craford  
St. Louis, MI



\*Shuji Nakamura  
Tokushima, Japan

GaN



## Prêmio Nobel Física 2014

### New light to illuminate the world

This year's Nobel Laureates are rewarded for having invented a new energy-efficient and environment-friendly light source – **the blue light-emitting diode (LED)**. In the spirit of Alfred Nobel the Prize rewards an invention of **greatest benefit to mankind**; using blue LEDs, white light can be created in a new way. **With the advent of LED lamps we now have more long-lasting and more efficient alternatives to older light sources.**

**Isamu Akasaki** - Meijo University, Nagoya, Japan and Nagoya University, Japan

**Hiroshi Amano** - Nagoya University, Japan

**Shuji Nakamura** - University of California, Santa Barbara, CA, USA



# Luz branca

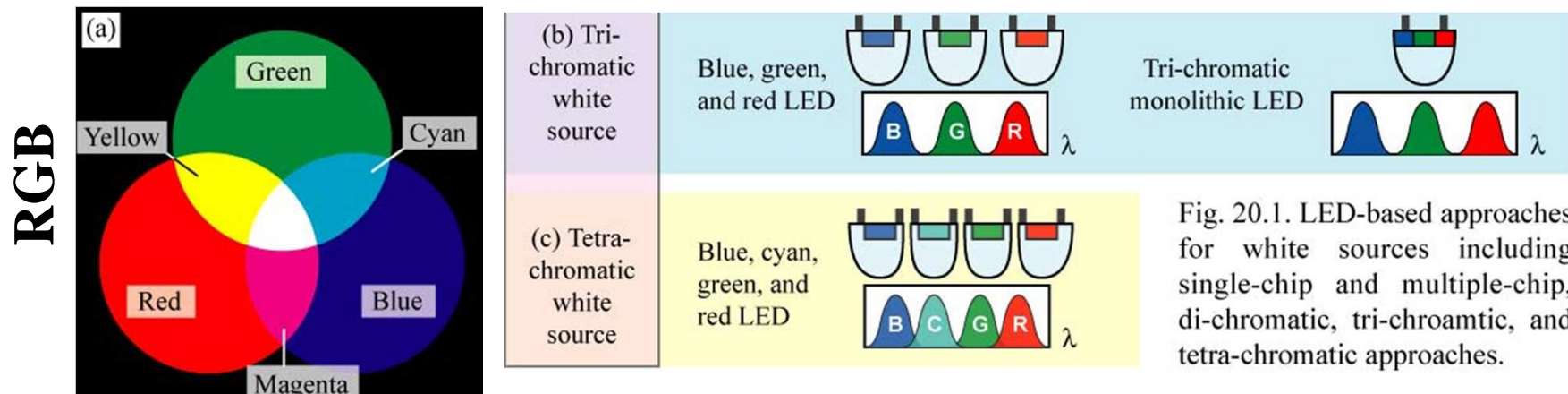


Fig. 20.1. LED-based approaches for white sources including single-chip and multiple-chip, di-chromatic, tri-chromatic, and tetra-chromatic approaches.



# Luz branca

LED UV / Azul  
+  
fósforo

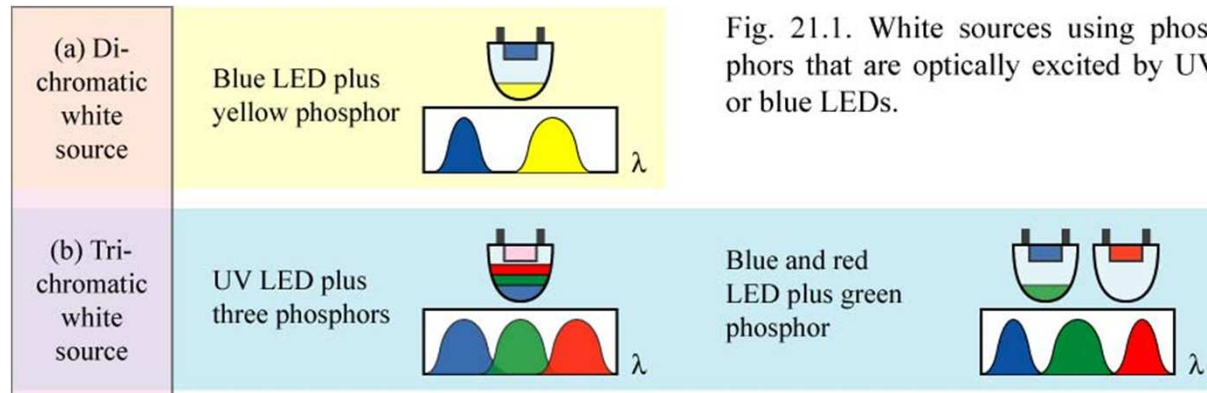


Fig. 21.1. White sources using phosphors that are optically excited by UV or blue LEDs.





## Evolução na participação de mercado

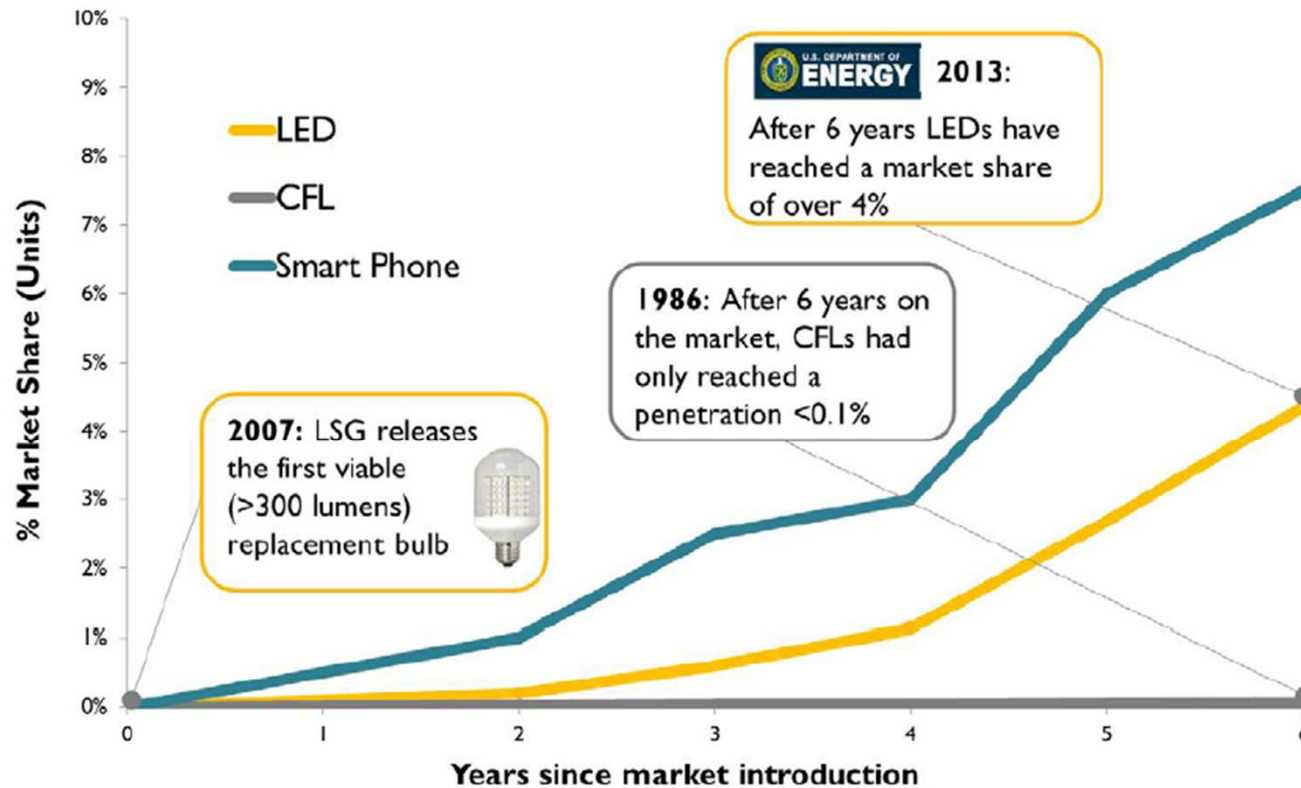
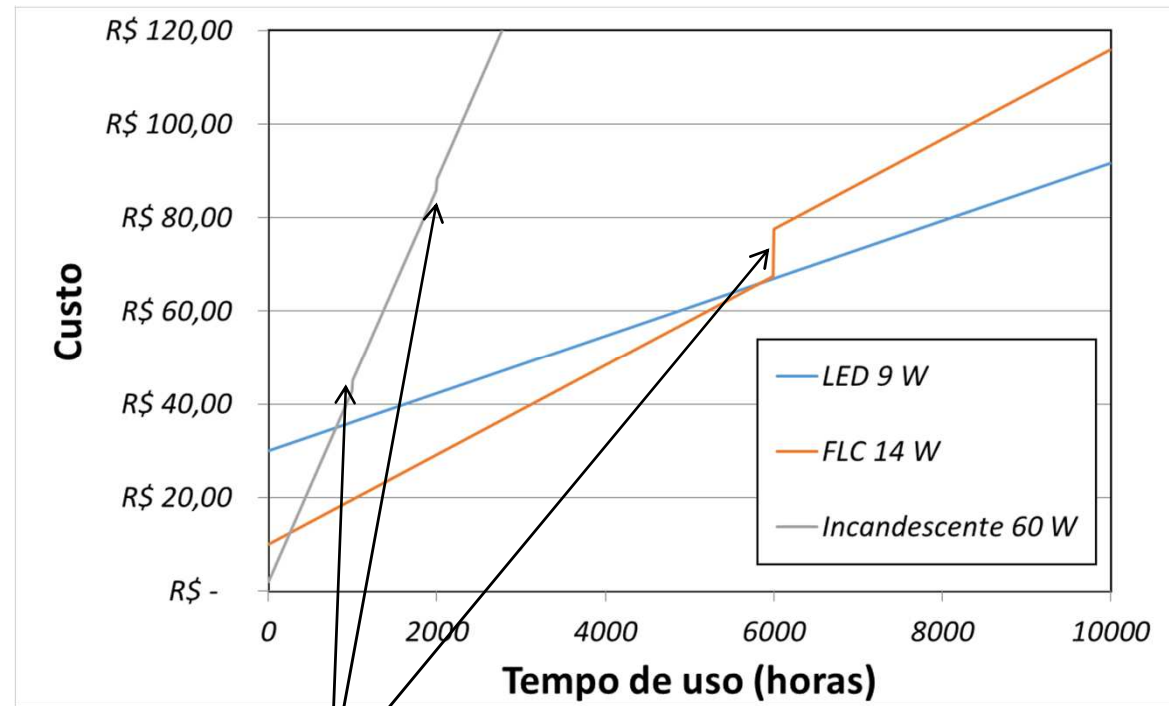


Figure 4.1. Comparison of Market Share Increases after Product Introductions for CFLs, LEDs (Lamps and Luminaires), and Smart Phones. Source: Navigant Consulting, Inc.



## Custo versus tecnologia



Troca de lâmpada

Custo energia - 0,70 R\$/kWh

$\Phi v = 800 \text{ lm}$

6000 horas (4 horas/dia) - 4 anos





## Evolução de custo

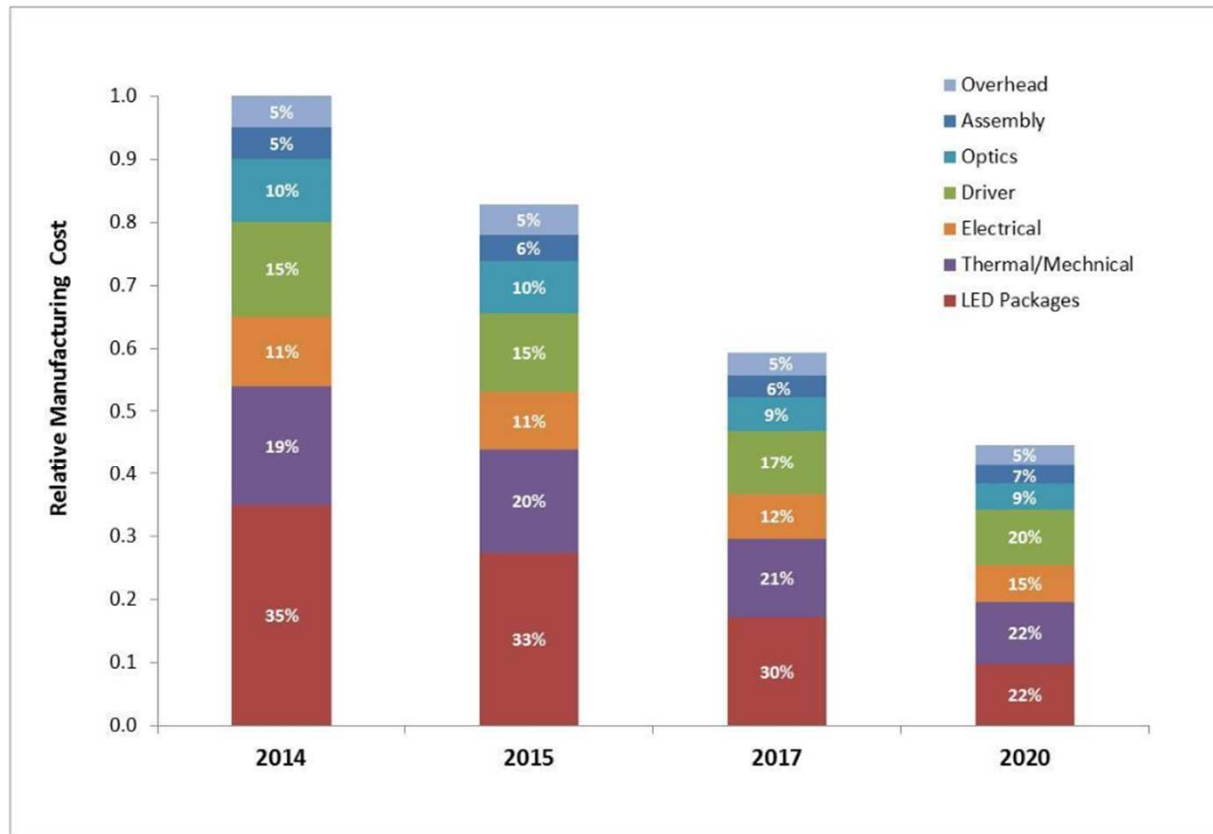


Figure 1.8 Cost Breakdown Projection for a Typical A19 Replacement Lamp

Source: DOE SSL Roundtable and Workshop attendees



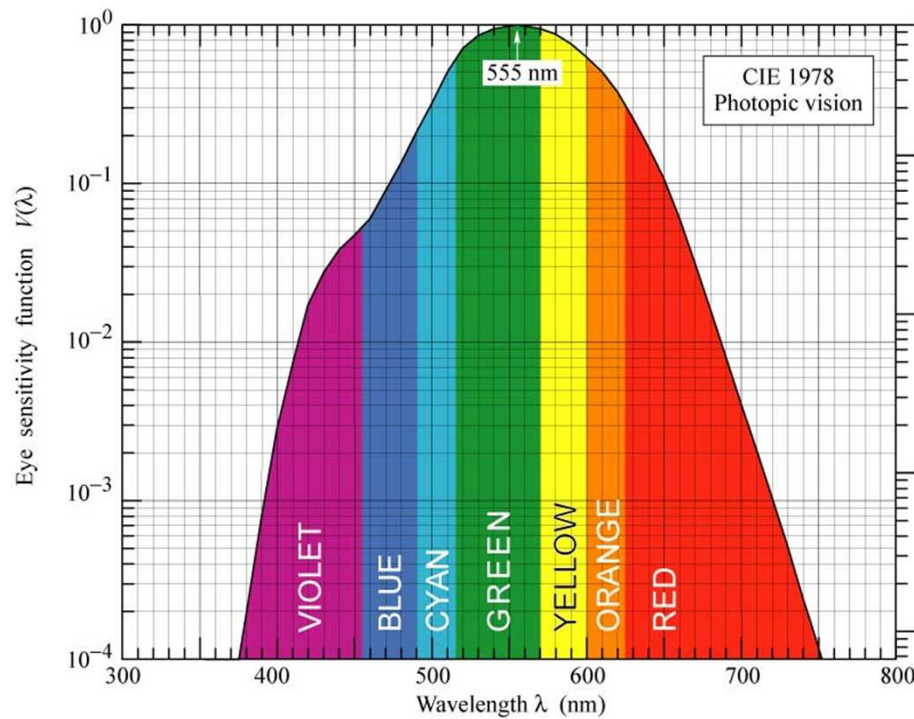
## Onde a lâmpada incandescente é melhor que o LED



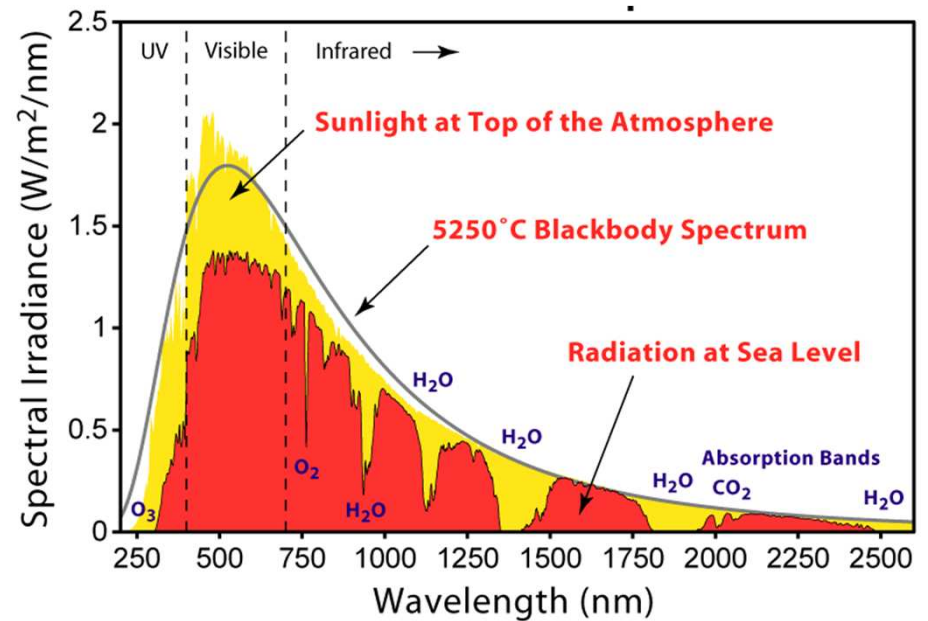


# Fotometria

## Sensibilidade espectral visão



## Espectro de radiação solar





## Cones - fotorreceptores

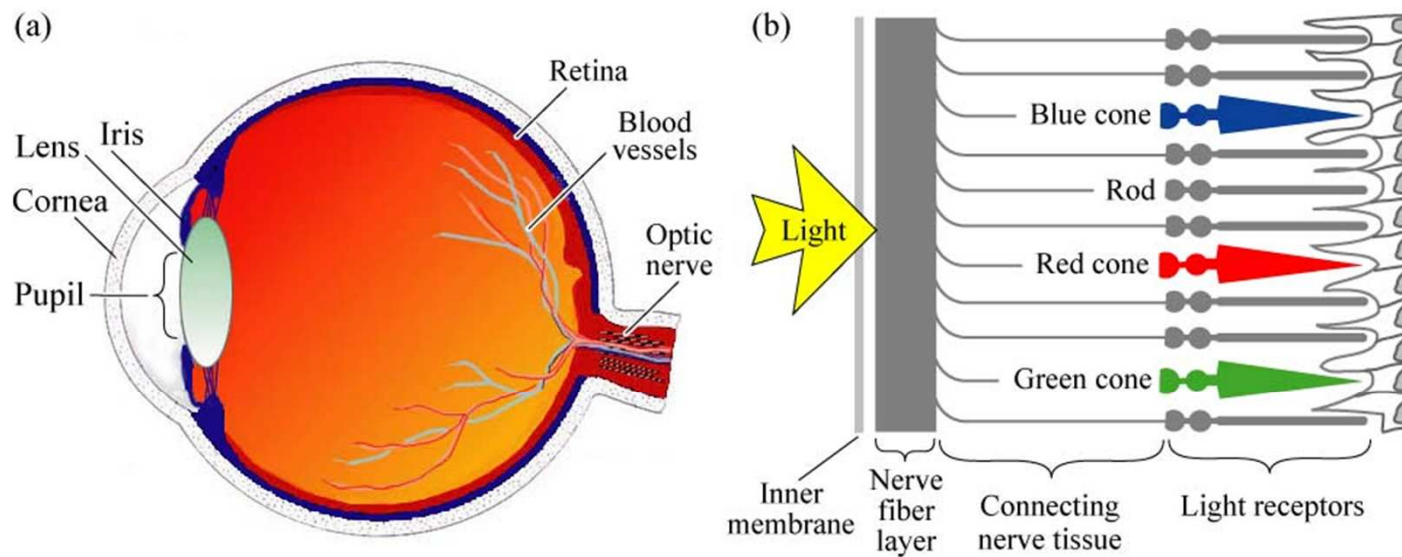


Fig. 16.1. (a) Cross section through a human eye. (b) Schematic view of the retina including rod and cone light receptors (adapted from Encyclopedia Britannica, 1994).





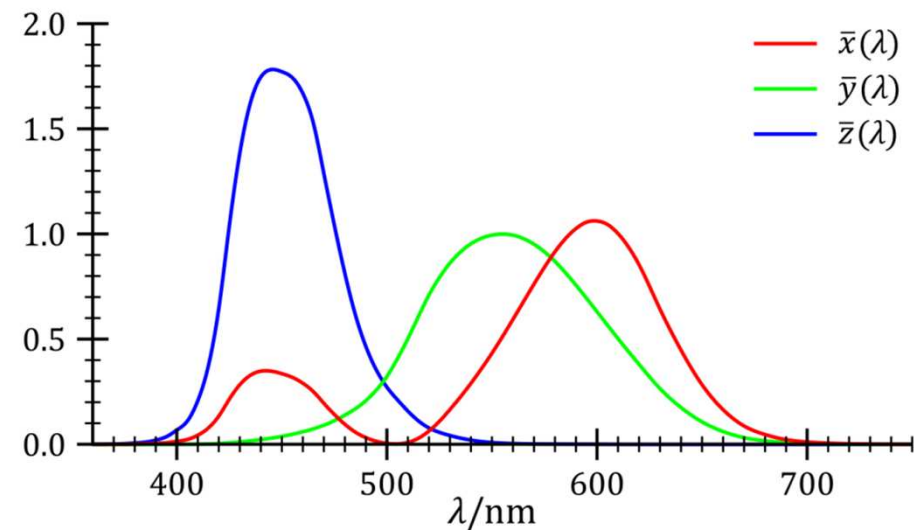
## Color-matching functions

Três diferentes tipos de cones:

✓ Vermelho;

✓ Verde;

✓ Azul.



Representam o tricromatismo da visão humana.



## Valores de Triestímulos

$$X = k \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \phi_{\lambda}(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda, Y = k \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \phi_{\lambda}(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, Z = k \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \phi_{\lambda}(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

Distribuição de potência espectral

## Coordenadas de cromaticidade

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

z é redundante

$$x + y + z = 1$$





## Diagrama de cromaticidade

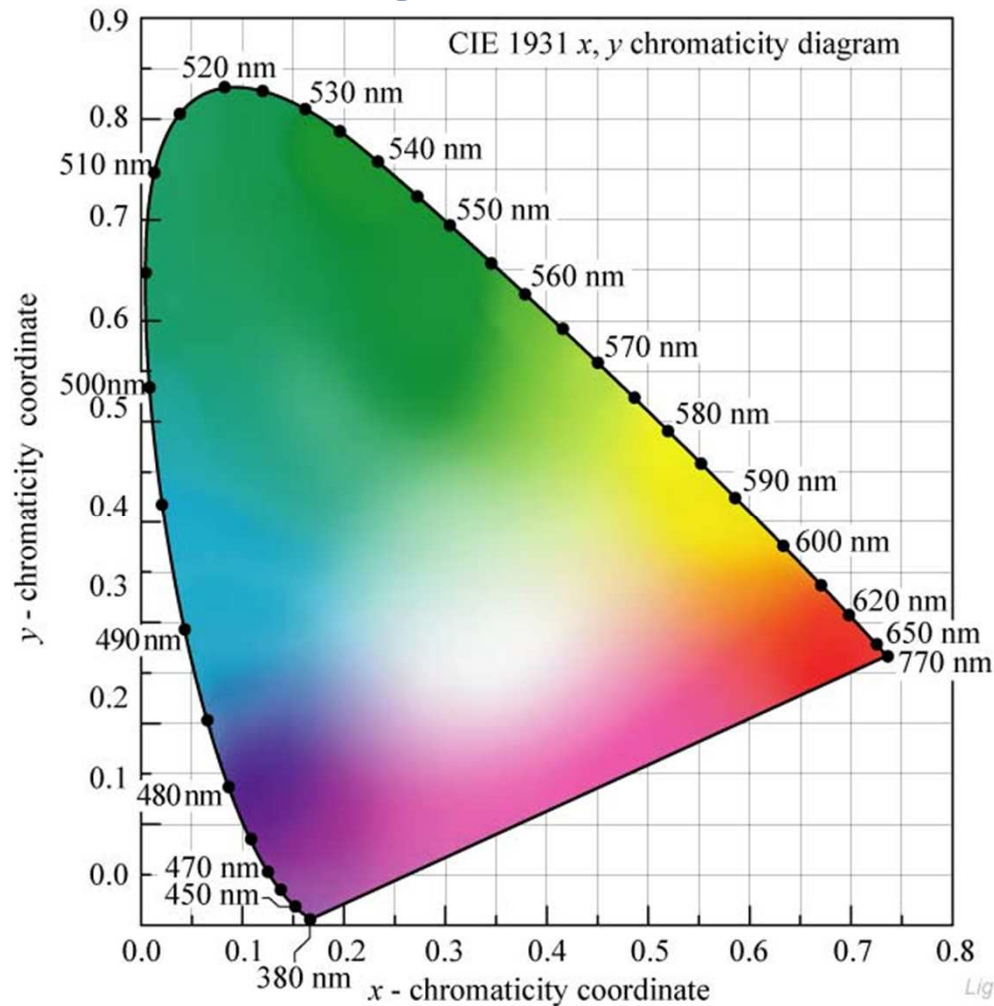


Fig. 17.2. CIE 1931 ( $x, y$ ) chromaticity diagram. Monochromatic colors are located on the perimeter and white light is located in the center of the diagram.



## Diagrama de cromaticidade

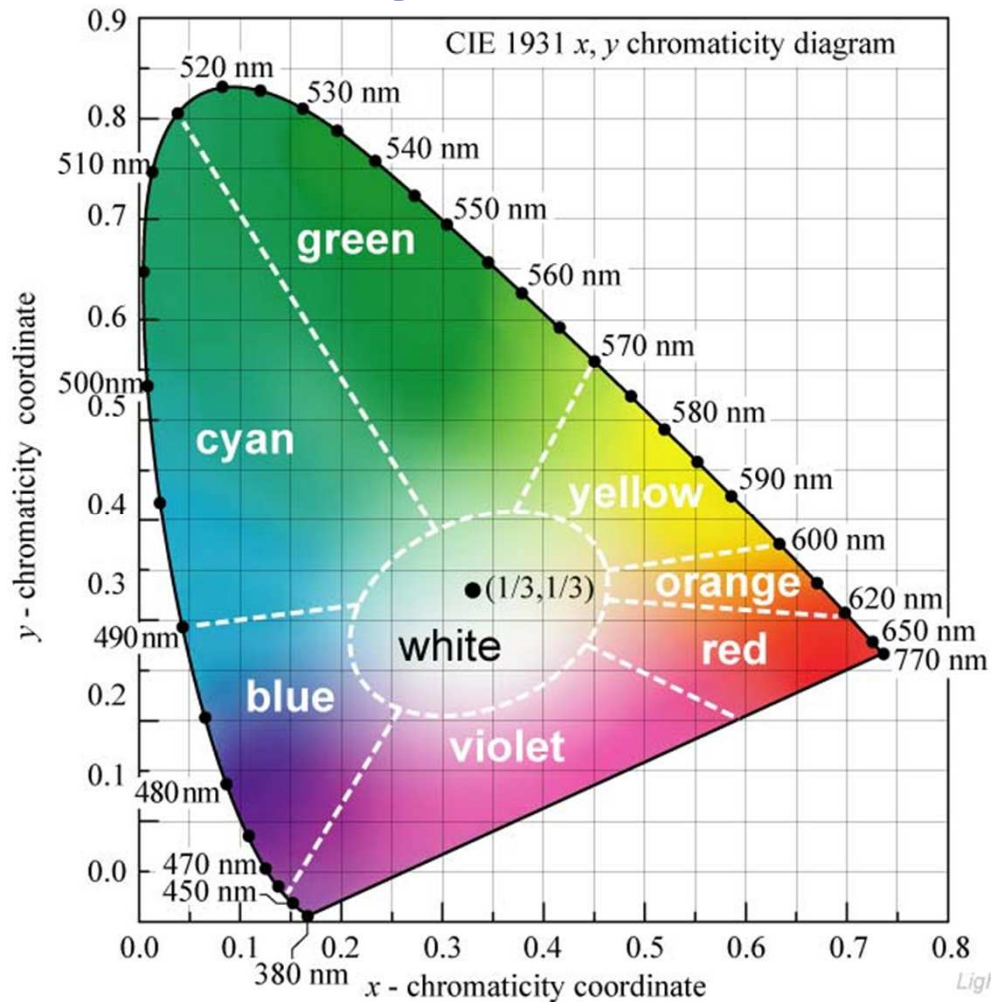


Fig. 17.4. CIE 1931 ( $x, y$ ) chromaticity diagram. Monochromatic colors are located on the perimeter. Color saturation decreases towards the center of the diagram. White light is located in the center. Also shown are the regions of distinct colors. The equal-energy point is located at the center and has the coordinates  $(x, y) = (1/3, 1/3)$ .

Não uniforme.



## Diagrama de cromaticidade

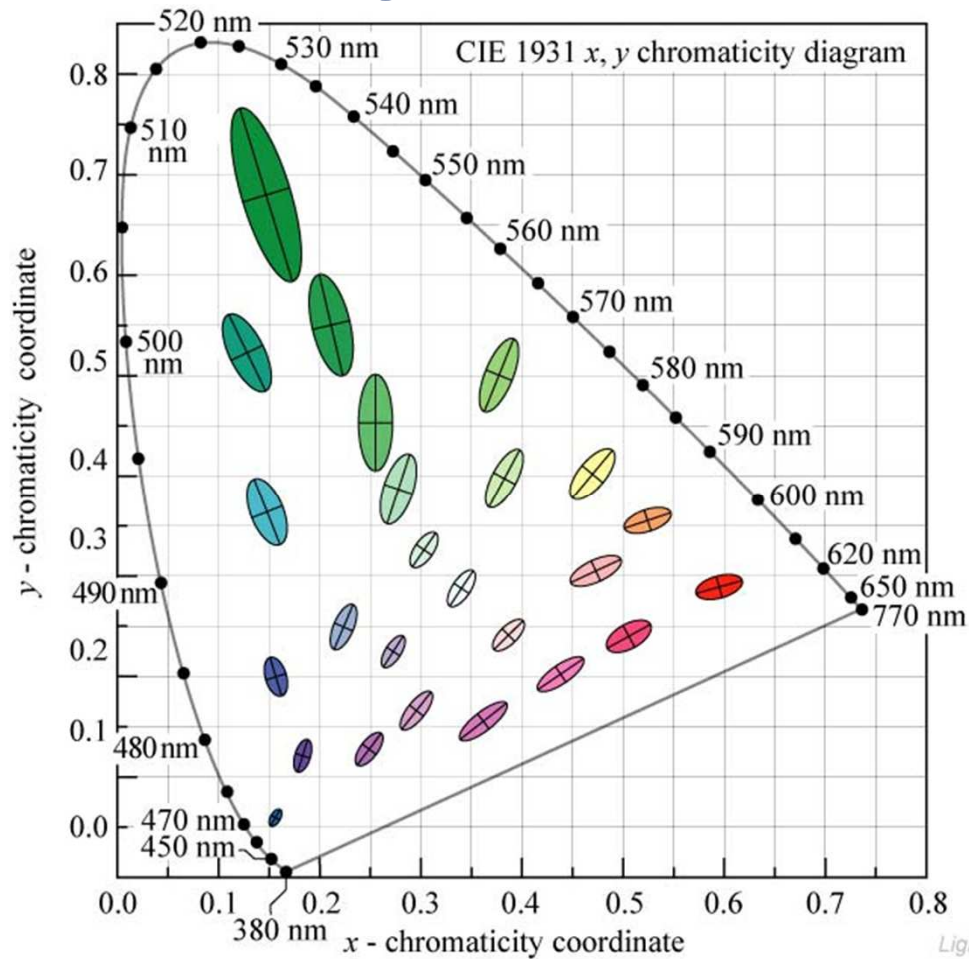


Fig. 17.5. MacAdam ellipses plotted in the CIE 1931 ( $x, y$ ) chromaticity diagram. The axes of the ellipses are ten times their actual lengths (after MacAdam, 1943; Wright, 1943; MacAdam, 1993).



## Diagrama de cromaticidade uniforme

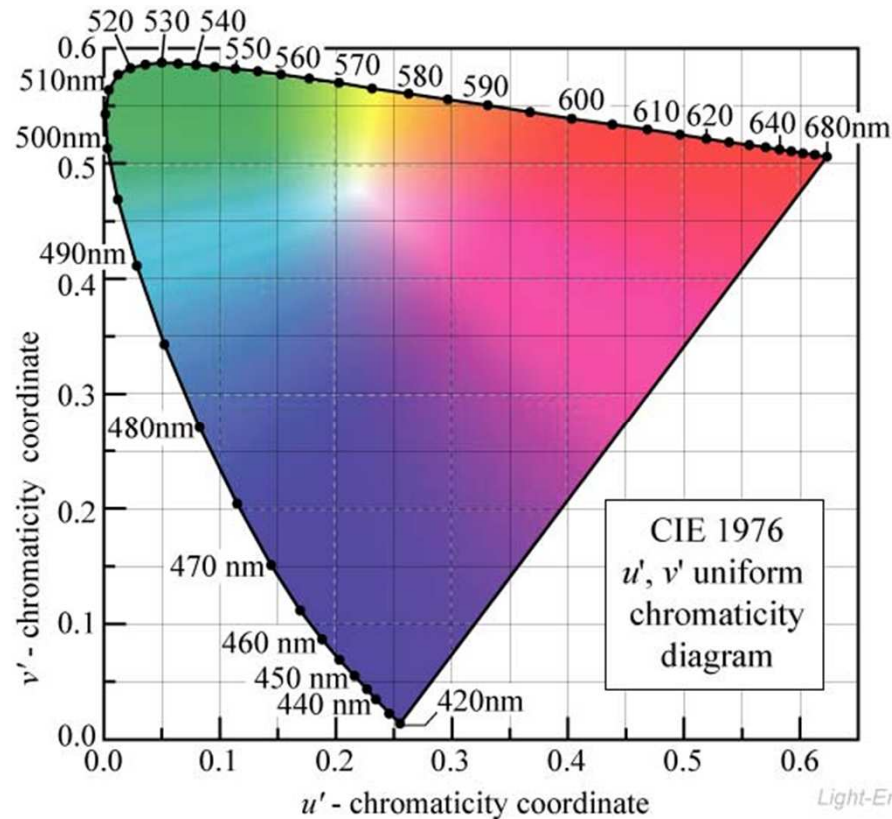


Fig. 17.6. CIE 1976 ( $u', v'$ ) uniform chromaticity diagram calculated using the CIE 1931 2° standard observer.

E. F. Schubert  
Light-Emitting Diodes (Cambridge Univ. Press)  
[www.LightEmittingDiodes.org](http://www.LightEmittingDiodes.org)

A diferença de cor entre duas posições é aproximadamente proporcional a distância geométrica entre os pontos.





## Diagrama de cromaticidade uniforme

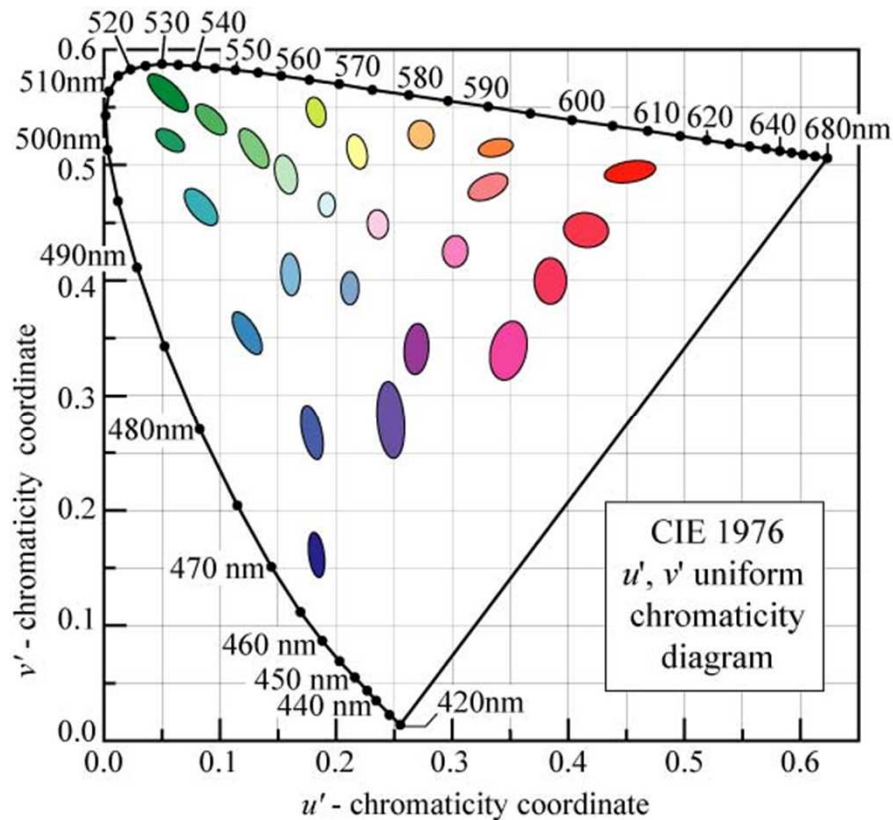


Fig. 17.7. MacAdam ellipses transformed to uniform CIE 1976 ( $u'$ ,  $v'$ ) chromaticity coordinates. For clarity, the axes of the transformed ellipses are ten times their actual lengths. Transformed ellipses are not ellipses in a strict mathematical sense, but their shapes closely resemble those of ellipses. The areas of the transformed ellipses in the ( $u'$ ,  $v'$ ) diagram are much more similar than the MacAdam ellipses in the ( $x$ ,  $y$ ) diagram.



## Temperatura de cor

Distribuição espectral da emissão de corpo negro

$$I(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1 \right]}$$

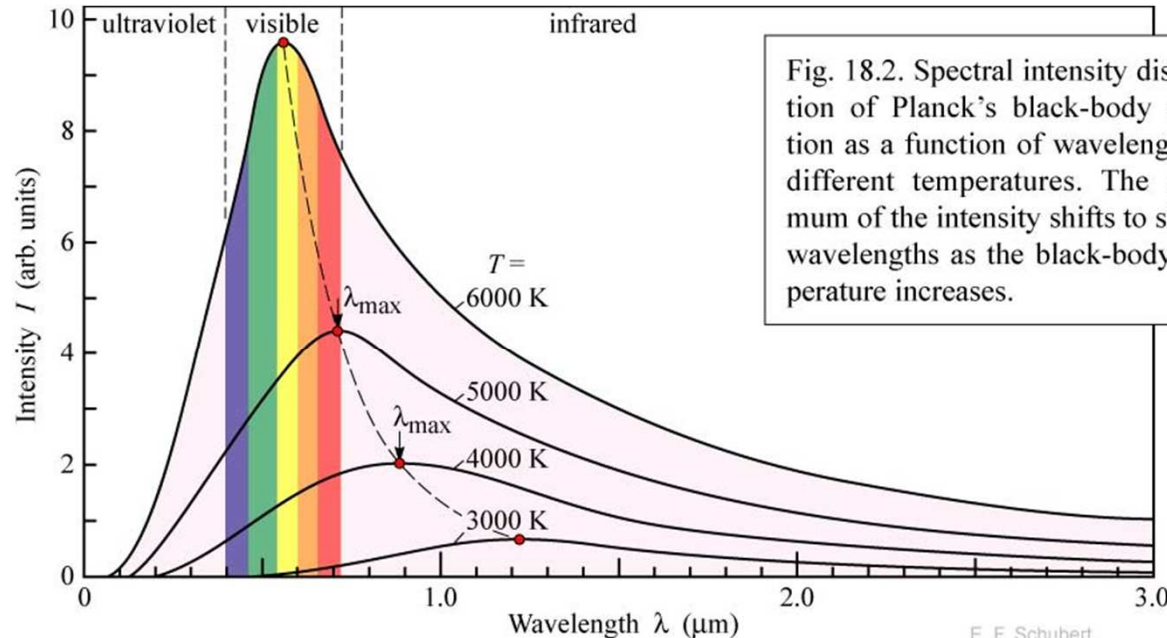


Fig. 18.2. Spectral intensity distribution of Planck's black-body radiation as a function of wavelength for different temperatures. The maximum of the intensity shifts to shorter wavelengths as the black-body temperature increases.





## Temperatura de cor

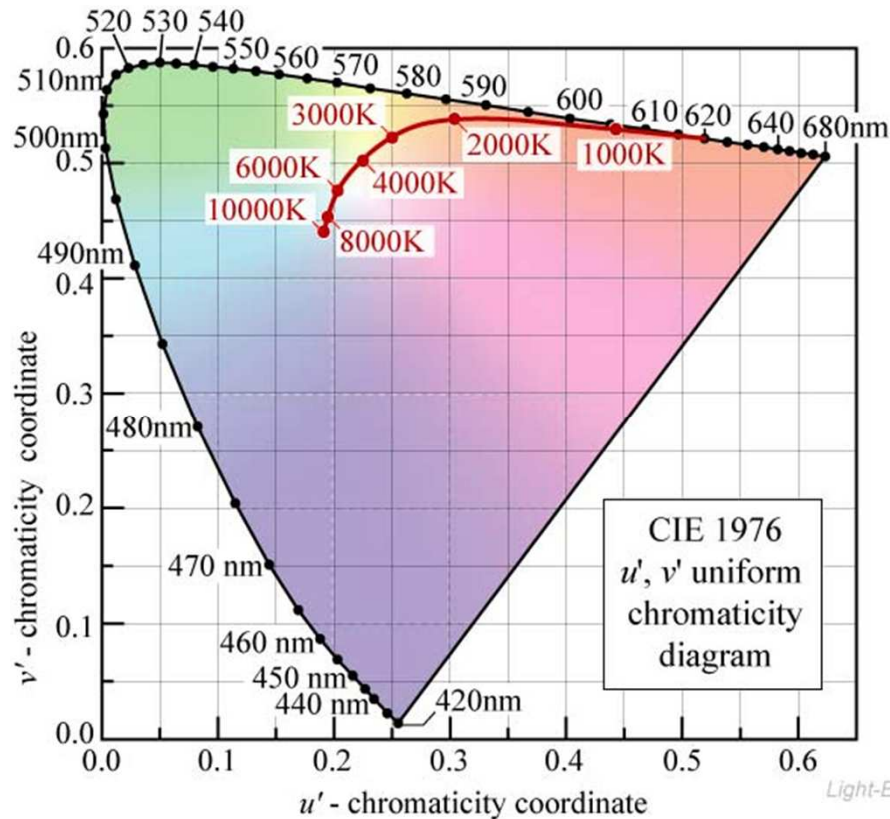


Fig. 18.4. CIE 1976 ( $u', v'$ ) uniform chromaticity diagram calculated using the CIE 1931 2° standard observer and planckian locus.



## LED e Metrologia

Vida útil e  
confiabilidade dos  
LED

Necessidade de nova  
métrica para o IRC

Padrões para  
laboratórios de ensaio

Novo método para  
realização da Candela



## Índice de reprodução de cor (IRC)



Habilidade de um iluminante de representar a cores reais de um objeto.

Definição do ILV (International Lighting Vocabulary):

“Effect of **an illuminant** on the **color appearance of objects** by **conscious or subconscious comparison** with their color appearance under a **reference illuminant.**”



## Illuminante de referência para IRC

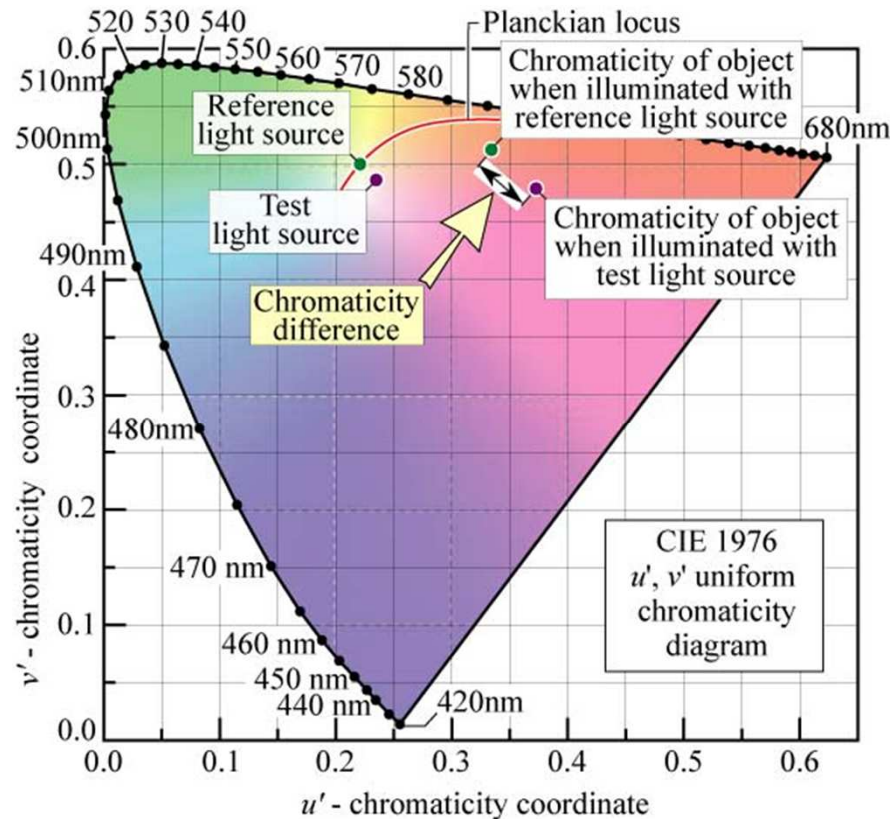


Fig. 19.6. Chromaticity difference resulting from the illumination of an object with a reference and a test light source. In the CIE 1976  $u', v'$  uniform chromaticity diagram, the color difference is directly proportional to the geometric distance. The reference light source is located on the planckian locus at the correlated color temperature of the test light source.



## Índice de reprodução de cor



$$R_i = 100 - 4.6\Delta E_i \quad \text{and} \quad R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i$$

↓  
IRC

### Problemas:

- ✓ Métrica desenvolvida para lâmpadas fluorescentes (1974);
- ✓ Leds possuem maior liberdade para a elaboração do espectro;
- ✓ Não necessariamente se traduz em melhor aceitação por parte dos consumidores nos casos dos LED.





## Índice de reprodução de cor



$$R_i = 100 - 4.6\Delta E_i \quad \text{and} \quad R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i$$

↓  
IRC

$R_9$

$R_{14a}$

- ✓ Outros aspectos devem ser considerados: TCC, saturação de cor e posição no diagrama de cromaticidade.





International Commission on Illumination  
Commission Internationale de l'Eclairage  
Internationale Beleuchtungskommission



[CIE Lighting Quality & Energy Efficiency Conference](#), March 3 to 5, 2016, Melbourne, Australia. Followed by Divisions 2, 4 & 5 Annual Meetings, March 7 to 9, 2016.

CIE Position Statement on CRI and Colour Quality Metrics

October 15, 2015



**Position Statement on Colour Rendering Index**

**18 September 2015**



Illuminating Engineering Society  
of North America  
120 Wall Street 17th Floor  
New York, NY 10005-4001  
T 212-248-5000  
F 212-248-5017, 18  
www.ies.org

PS-8-15  
Color Rendering Index

1. Alerta sobre regulação de mercado com valores desnecessariamente elevados de  $R_a$ ;
2. A adoção de métricas regionais podem introduzir confusão;
3. A obtenção de consenso sobre a métrica mais adequada requer tempo - (CIE 177-2007).

$R_a > 80$  para iluminação de interior (EC1194/2012).



## LED e Metrologia

Vida útil e  
confiabilidade dos  
LED

Necessidade de nova  
métrica para o IRC

Padrões para  
laboratórios de ensaio

Novo método para  
realização da Candela



## Padrão para laboratórios de ensaio



Teste



Padrão

- ✓ Distribuição espectral das duas fontes é muito diferente;
- ✓ Distribuição geométrica são diferentes;
- ✓ Não-uniformidade da esfera pode induzir erros de medição.



## Padrão para laboratórios de ensaio



Teste



Padrão

Desenvolvimento de um conjunto de padrões de referência com diferentes propriedades;

ENG62 MESaIL





## LED e Metrologia

**Vida útil e  
confiabilidade dos  
LED**

**Necessidade de nova  
métrica para o CRI**

**Padrões para  
laboratórios de ensaio**

**Novo método para  
realização da Candela**



## Vida útil e Confiabilidade

- ✓ Tempo de vida longo é uma das vantagens do LED;
- ↕
- ✓ Para outras tecnologias é necessário avaliar apenas o tempo de vida da lâmpada;
- ✓ LED - desempenho pode ser afetado pela interação entre componentes;
- ✓ Não há um método consensual para a estimativa da vida útil e confiabilidade dos dispositivos LED.

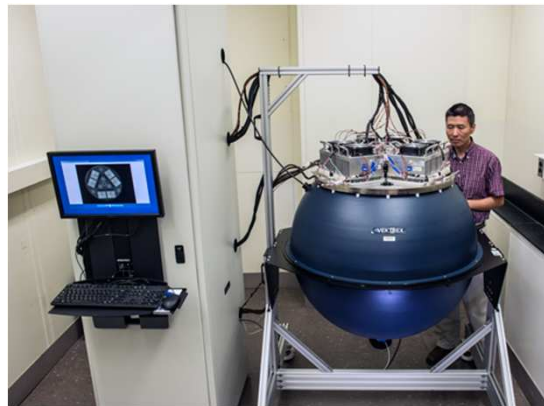






## Vida útil e Confiabilidade

- ✓  $L_{70}$  – manutenção de fluxo (IES-LM-80-2008);
- ✓ Mudança das propriedades colorimétricas (IES-LM-84-2014);
- ✓ Confiabilidade dos componentes eletrônicos.



<http://www.nist.gov/pml/div685/grp03/led-lifetime-measurements.cfm>

Comunidade científica;  
Órgãos reguladores;  
Fabricantes.



## LED e Metrologia

Vida útil e  
confiabilidade dos  
LED

Necessidade de nova  
métrica para o IRC

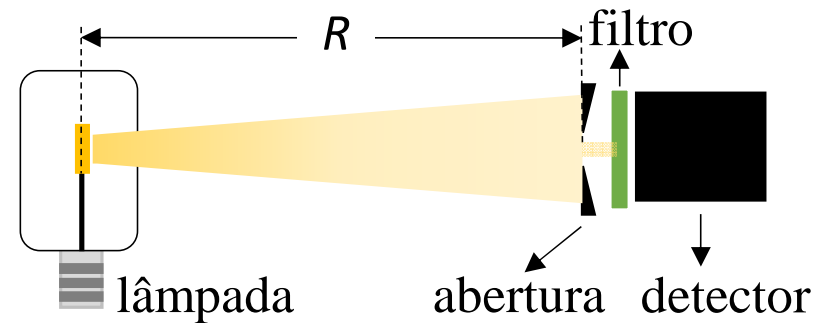
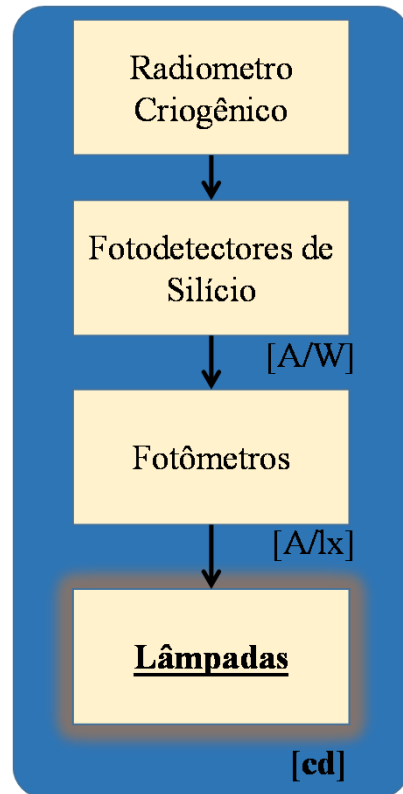
Padrões para  
laboratórios de ensaio

Novo método para  
realização da Candela



## Realização da Candela

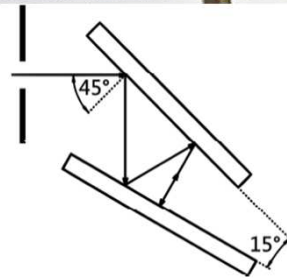
Realização baseada em detectores:



1) Coelho, C. T. ; ALVES, L. C. . Realization of the Candela at Inmetro. In: CIE Centenary Conference "Towards a New Century of Light", 2013, Paris. PROCEEDINGS of CIE Centenary Conference "Towards a New Century of Light" CIE x038:2013. Vienna: CIE, 2013. p. 643-647.



## Realização da Candela com lâmpadas LEDs

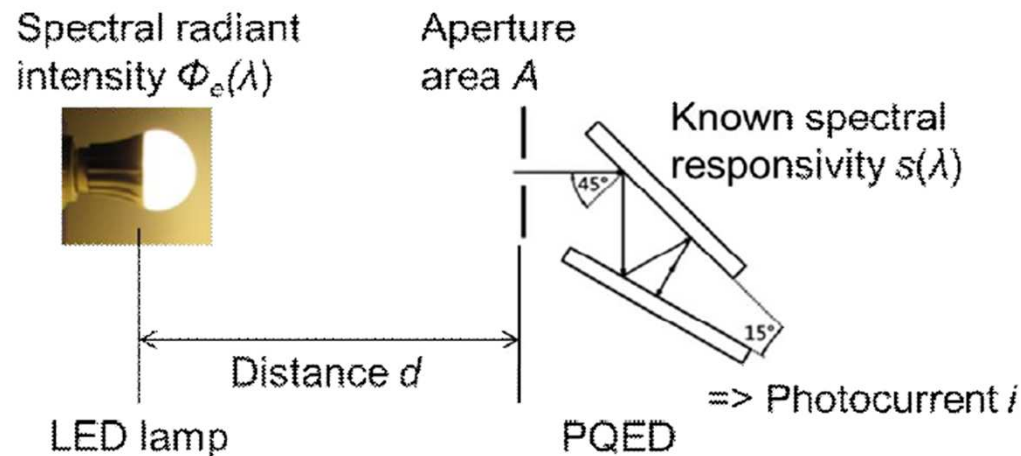


- ✓ Incerteza 0,008 %;
- ✓ Faixa de 400 nm a 800 nm;
- ✓ Responsividade calculada das propriedades físicas dos detectores.

- ✓ Escolher lâmpadas que não emitam radiação fora da região do visível;



## Realização da Candela com lâmpadas LEDs



**Table 1.** Main uncertainty components of illuminance measurements using the reference photometer and PQED.

Source of uncertainty	Relative standard uncertainty / %	
	Photometer	PQED
Absolute responsivity of the detector	0.10	0.01
Aperture area, $A$	0.07	0.07
Spectral mismatch correction factor, $F$	0.50	0.40
Photocurrent measurement, $i$	0.01	0.01
Combined standard uncertainty	0.51	0.41





## LED e Metrologia

**Vida útil e  
confiabilidade dos  
LED**

**Necessidade de nova  
métrica para o CRI**

**Padrões para  
laboratórios de ensaio**

**Nova metodologia  
para realização da  
Candela**

**Congresso Brasileiro de  
Metrologia 2015**



INTERNATIONAL  
YEAR OF LIGHT  
2015



Ministério do  
**Desenvolvimento, Indústria  
e Comércio Exterior**



---

**Muito obrigado.**

**email: [tmenegotto@inmetro.gov.br](mailto:tmenegotto@inmetro.gov.br)**

**Congresso Brasileiro de  
Metrologia 2015**



INTERNATIONAL  
YEAR OF LIGHT  
2015



Ministério do  
Desenvolvimento, Indústria  
e Comércio Exterior



---

# Títulos

(fonte Arial Bold - corpo 32 a 36)

## Subtítulos

(fonte Arial Bold - corpo 25 a 28)

■ **Cor: Azul marinho**

**Texto** (fonte Arial Bold - corpo 18 a 21)

Texto para tabelas (fonte Arial Bold Italic - corpo 16)

■ ■ **Cor: Preto ou cinza**

**Cor para linhas e setas**



**Cores para aplicações em gráficos e desenhos:**

