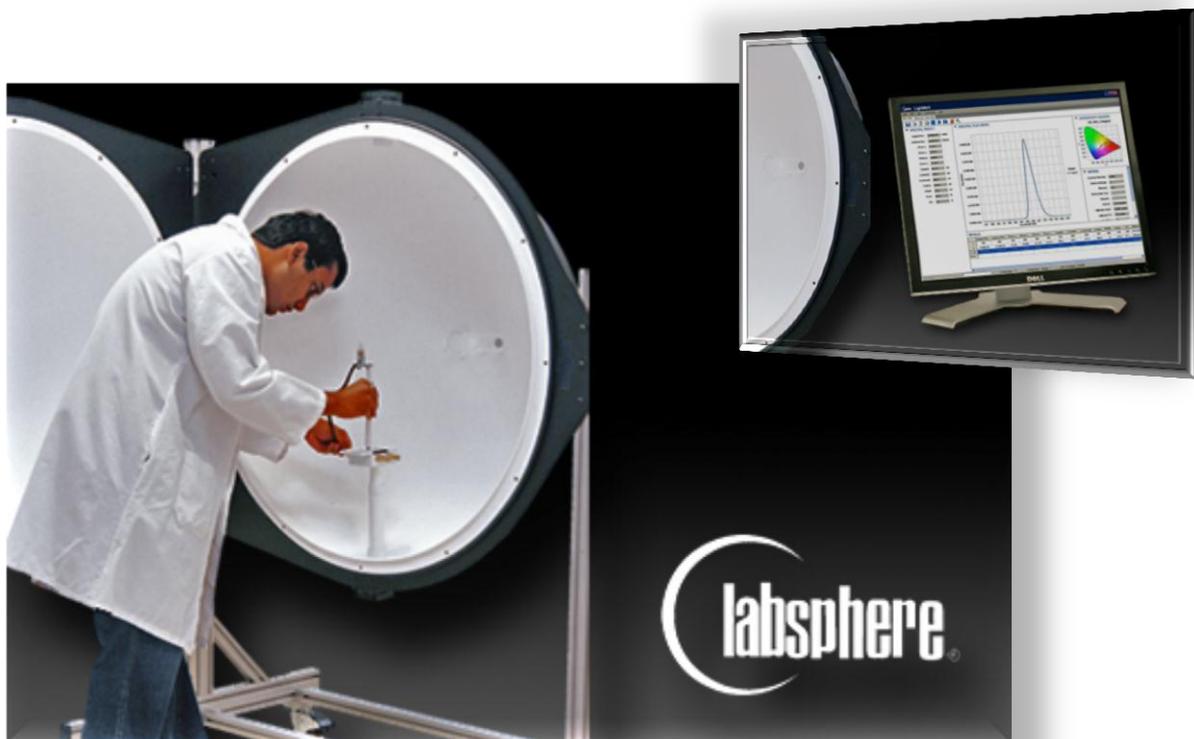


# Esferas Integradoras

LMS 400

LMS 200



**Pedro S. Almeida**  
**Mestrando (NIMO – UFJF)**

UFJF – Juiz de Fora

# Sumário

## Introdução

## Esferas Integradoras

 LMS 400

 LMS 200

## Lâmpadas-padrão

 SCL 1400 & LPS 150

 SCL 600 & LPS 100

## Espectrômetros

 CDS 2100

 CDS 600

 CDS 610

 Fibras ópticas

## Calibração

## Medição

# Introdução

- 💡 Esfera integradora: equipamento de medição de fluxo e espectro
- 💡 Pintura reflexiva (> 97%)
- 💡 Detector: esfera satélite
- 💡 Rebatedor: evita incidência direta de luz no detector
- 💡 Saída da esfera satélite: fibra óptica → espectrômetro

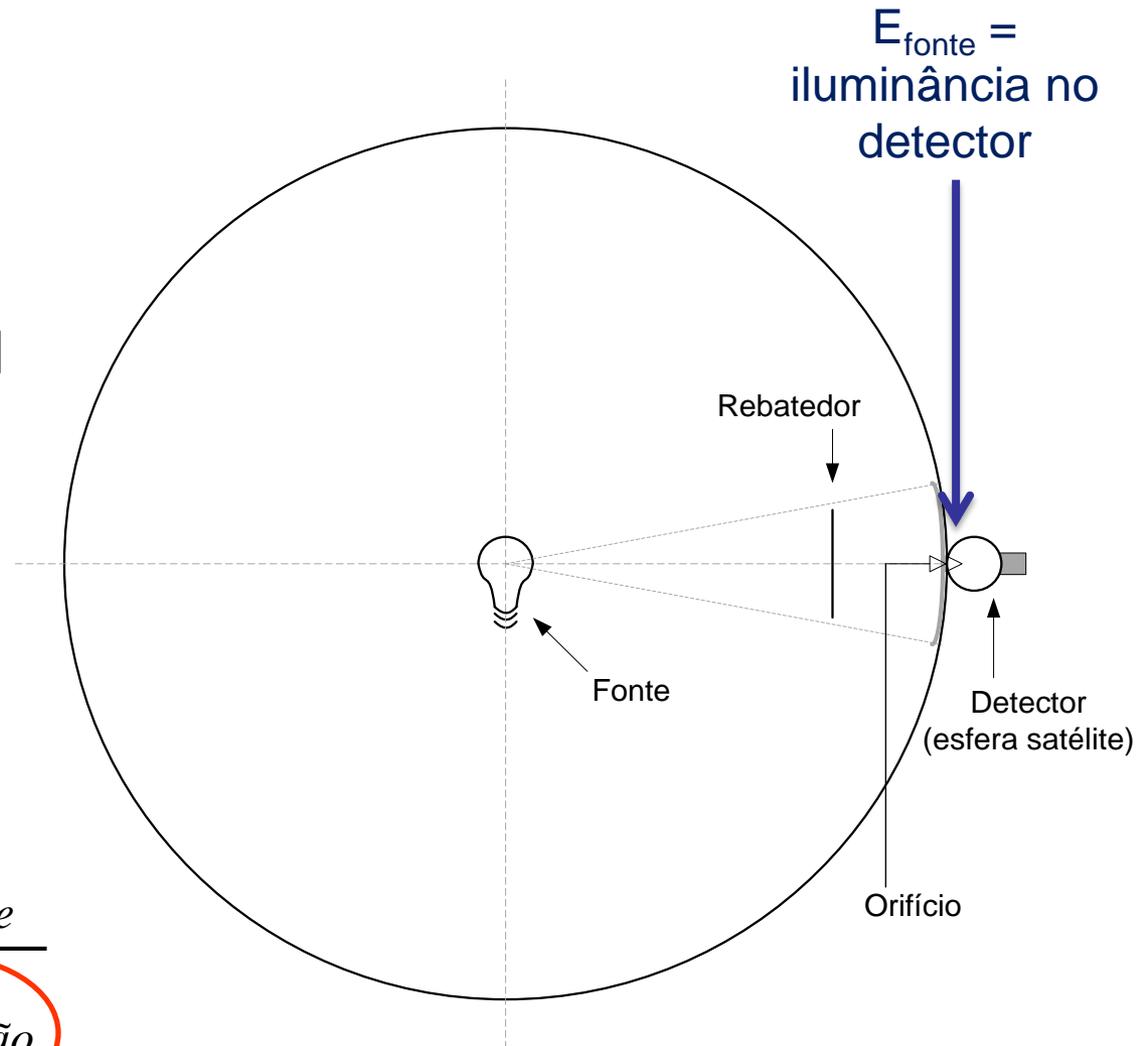


# Introdução

- Integra o fluxo:  
iluminância no detector é diretamente proporcional ao fluxo da fonte.
- Usa-se lâmpada-padrão de fluxo conhecido para calcular o fluxo da lâmpada sob teste.

$$F_{\text{fonte}} = F_{\text{padrão}} \times \frac{E_{\text{fonte}}}{E_{\text{padrão}}}$$

conhecidos pela calibração

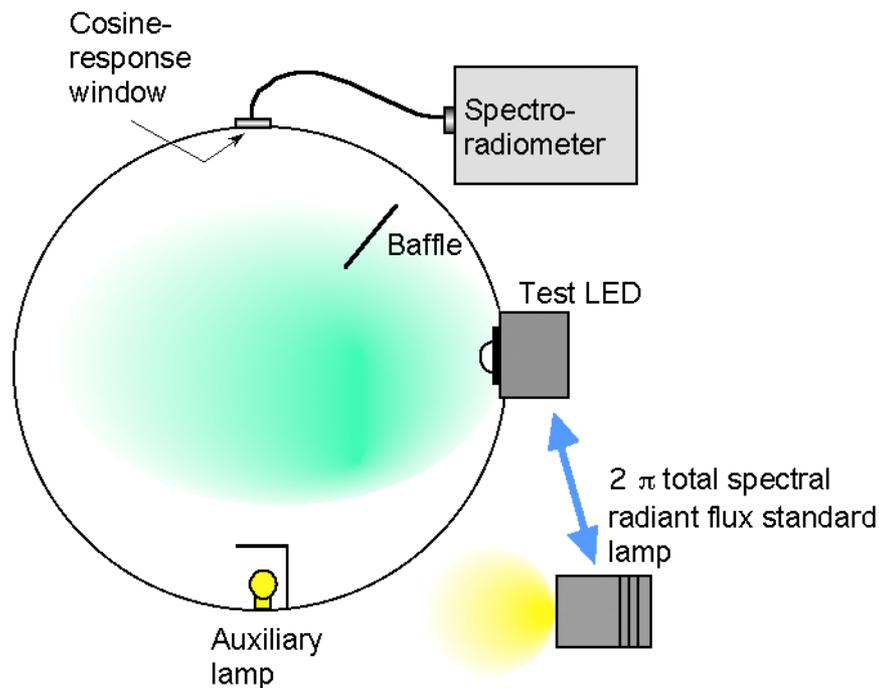


# Introdução

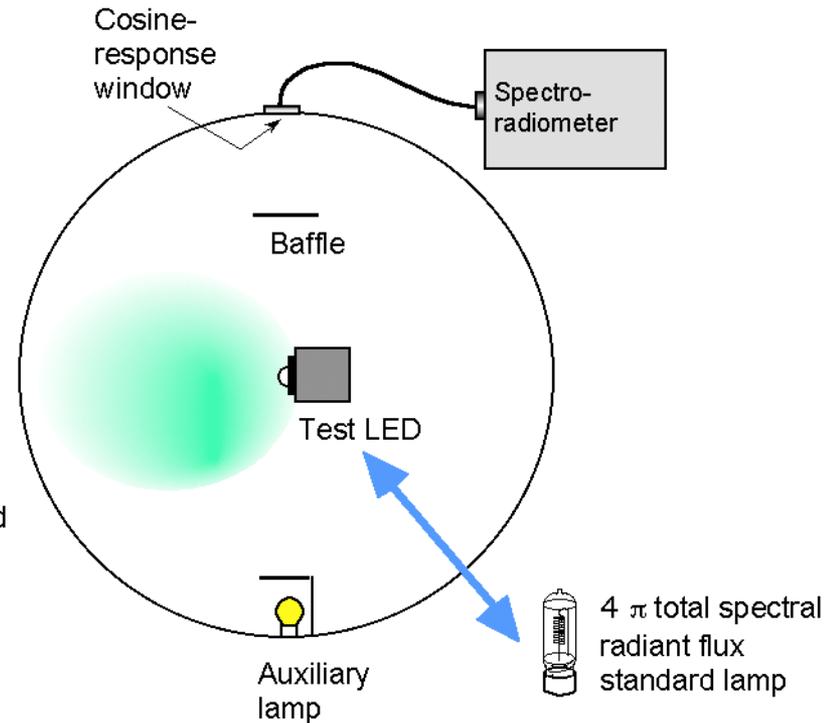
- 💡 Quanto maior a esfera, melhor a medição – menor a influência do equipamento e maior pode ser a fonte, que ainda assim parecerá pontual.
- 💡 O tempo de integração (tempo de exposição do espectrômetro à incidência de luz) cresce junto com o tamanho da esfera e é inversamente proporcional à potência da radiação da fonte.
- 💡 Esferas pequenas: adequadas a fontes de pequenos tamanhos e potências; esferas grandes: adequadas a fontes de médias e grandes potências e tamanhos.

# Introdução

💡 Geometrias de medição (de acordo com LM-80):



**Geometria 2  $\pi$**   
(esferas pequenas)



**Geometria 4  $\pi$**   
(esferas grandes)

# Introdução

💡 Relação entre grandezas radiométricas e fotométricas:

Radiometria	Espectroradiometria	Fotometria
<b>Potência da radiação (ou fluxo radiante)</b> SI: W	Potência num intervalo de comprimento de onda SI: W/nm	Fluxo luminoso  SI: lm
<b>Irradiância</b>  SI: W/m <sup>2</sup>	Irradiância espectral  SI: W/m <sup>2</sup> nm	Iluminância  SI: lm/m <sup>2</sup> = lx
<b>Intensidade (radiante)</b>  SI: W/sr	Intensidade espectral  SI: W/sr nm	Intensidade (luminosa)  SI: lm/sr = cd
<b>Radiância</b>  SI: W/m <sup>2</sup> sr	Radiância espectral  SI: W/m <sup>2</sup> sr nm	Luminância  SI: lm/m <sup>2</sup> sr = cd/m <sup>2</sup>

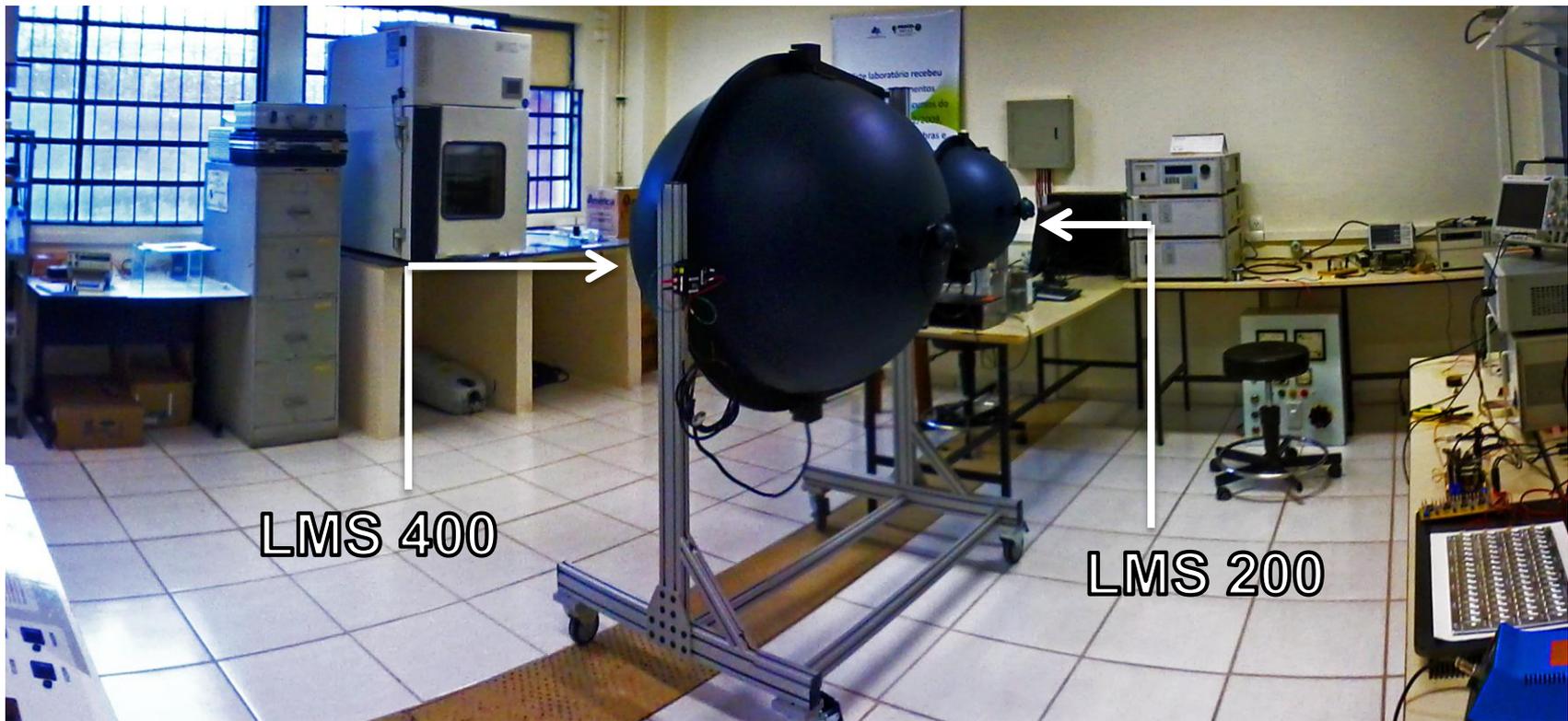
# Introdução

- 💡 Cuidados com a esfera:
  - 💡 Nunca se deve tocar a pintura interna (mesmo com luvas).
  - 💡 A abertura intermitente da casca deve ser evitada, a fim de reduzir a deposição de poeira na pintura, que prejudica sua refletância.
  - 💡 Instalação longe de janelas, para evitar a incidência de poeira.



# Esferas Integradoras

💡 O NIMO conta com duas esferas integradoras da Labsphere:



# Esferas Integradoras

💡 Dados técnicos:

💡 LMS 200:

- 💡 Diâmetro: 20 polegadas (~ 50 cm)
- 💡 Montagem de bancada
- 💡 Conectores internos de parafuso
- 💡 Fontes de até 25 cm
- 💡 Mínimo de 0,04 lm
- 💡 Até 400 W de potência
- 💡 Fechamento com imã

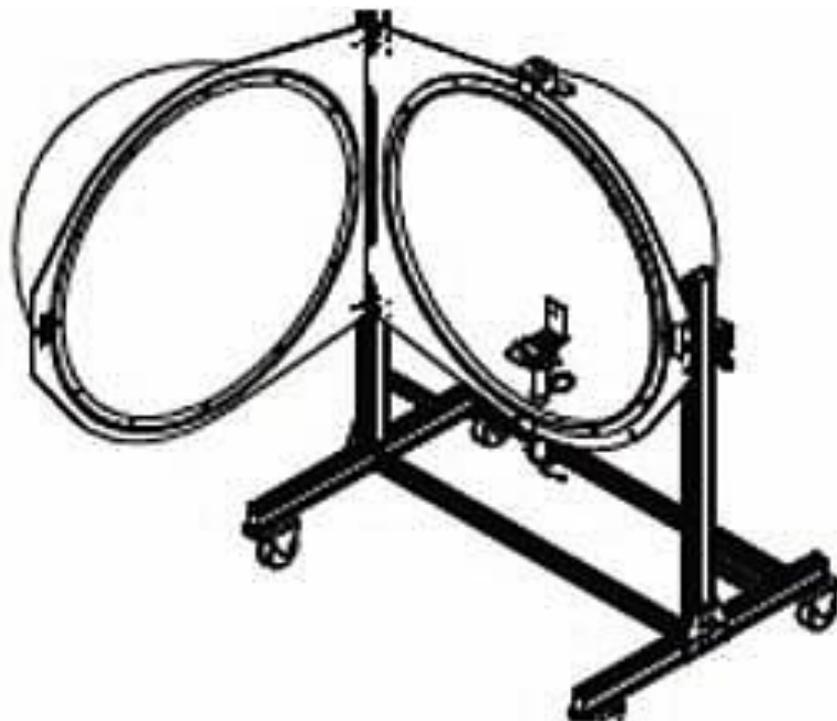


# Esferas Integradoras

💡 Dados técnicos:

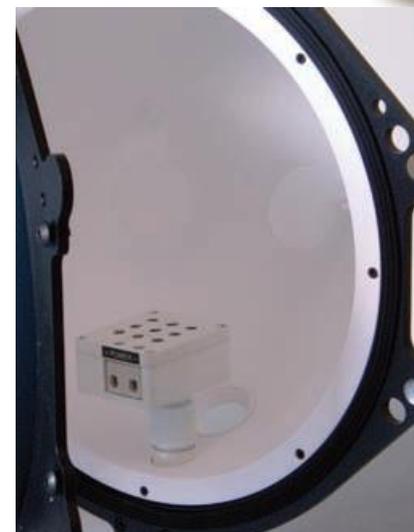
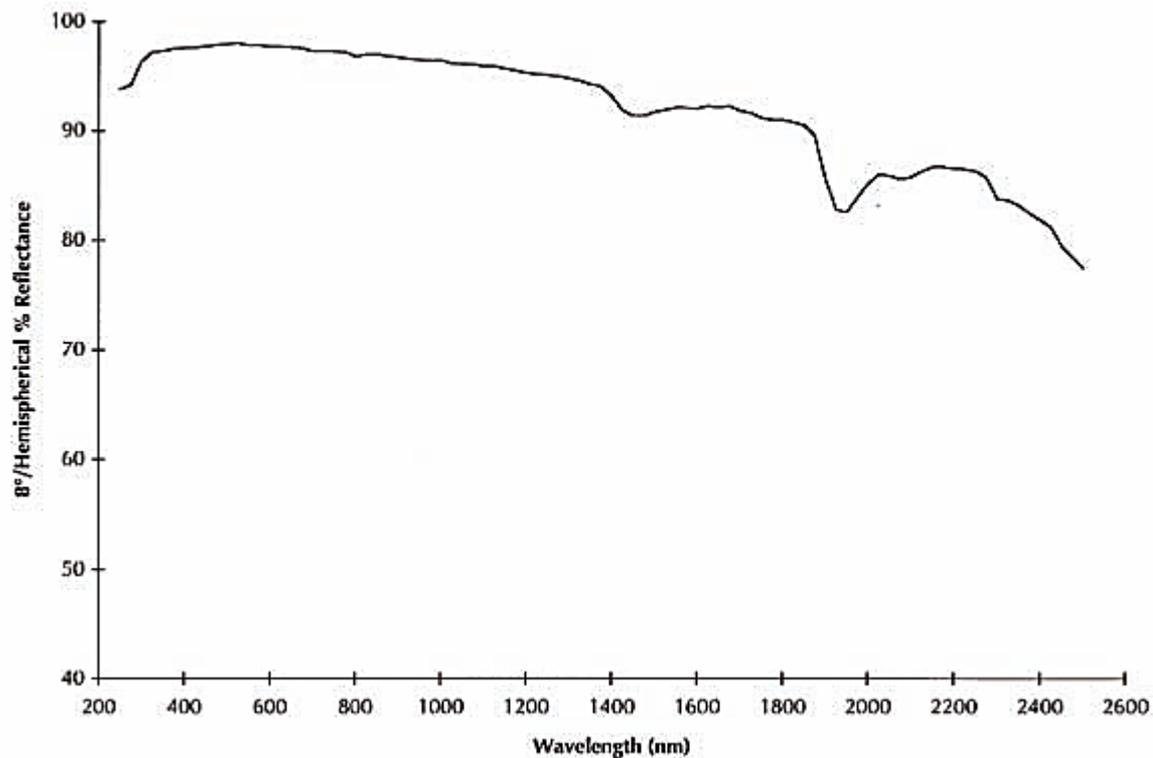
💡 LMS 400:

- 💡 Diâmetro: 40 polegadas ( $\sim 1$  m)
- 💡 Montagem no chão
- 💡 Conectores internos banana
- 💡 Fontes de até 61 cm
- 💡 Mínimo de 0,5 lm
- 💡 Até 1500 W de potência
- 💡 Fechamento com trava



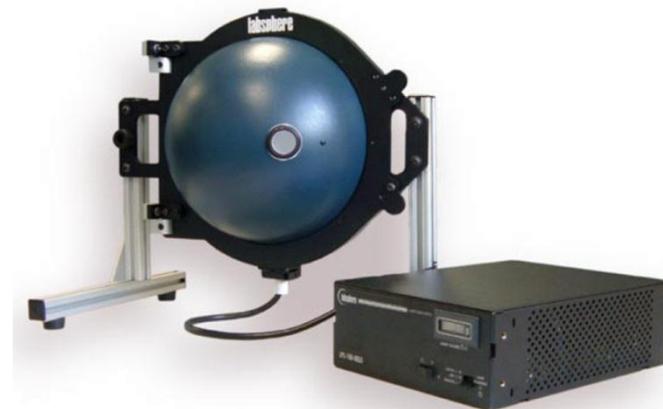
# Esferas Integradoras

💡 Refletância da cobertura interna (SPECTRAFLECT™):



# Lâmpadas-padrão

- 💡 São lâmpadas halógenas registradas no NIST\* com fluxo e espectro contínuo conhecidos, alimentadas por fonte DC dedicada.
- 💡 Para as esferas LMS 200 e LMS 400 são empregadas as lâmpadas SCL 600 e SCL 1400, respectivamente.
- 💡 Lâmpadas extremamente frágeis: bulbo de quartzo e base de porcelana.
- 💡 Fonte dedicada com ligamento suave.
- 💡 Devem ser observados 5-10 min. de pré-aquecimento antes de calibração.



*\*National Institute of Standards and Technology*

# Lâmpadas-padrão

- 💡 SCL 600
  - 💡 Montagem tipo baioneta
  - 💡 Fluxo: ~ 600 lm
  - 💡 Range: 350-1050 nm
  - 💡 12,8 V @ 2,6 A
  - 💡 30 W aprox.
  - 💡 Vida: 600 hrs
  - 💡 TCC: ~ 3000 K
  - 💡 Fonte empregada: LPS 100



# Lâmpadas-padrão

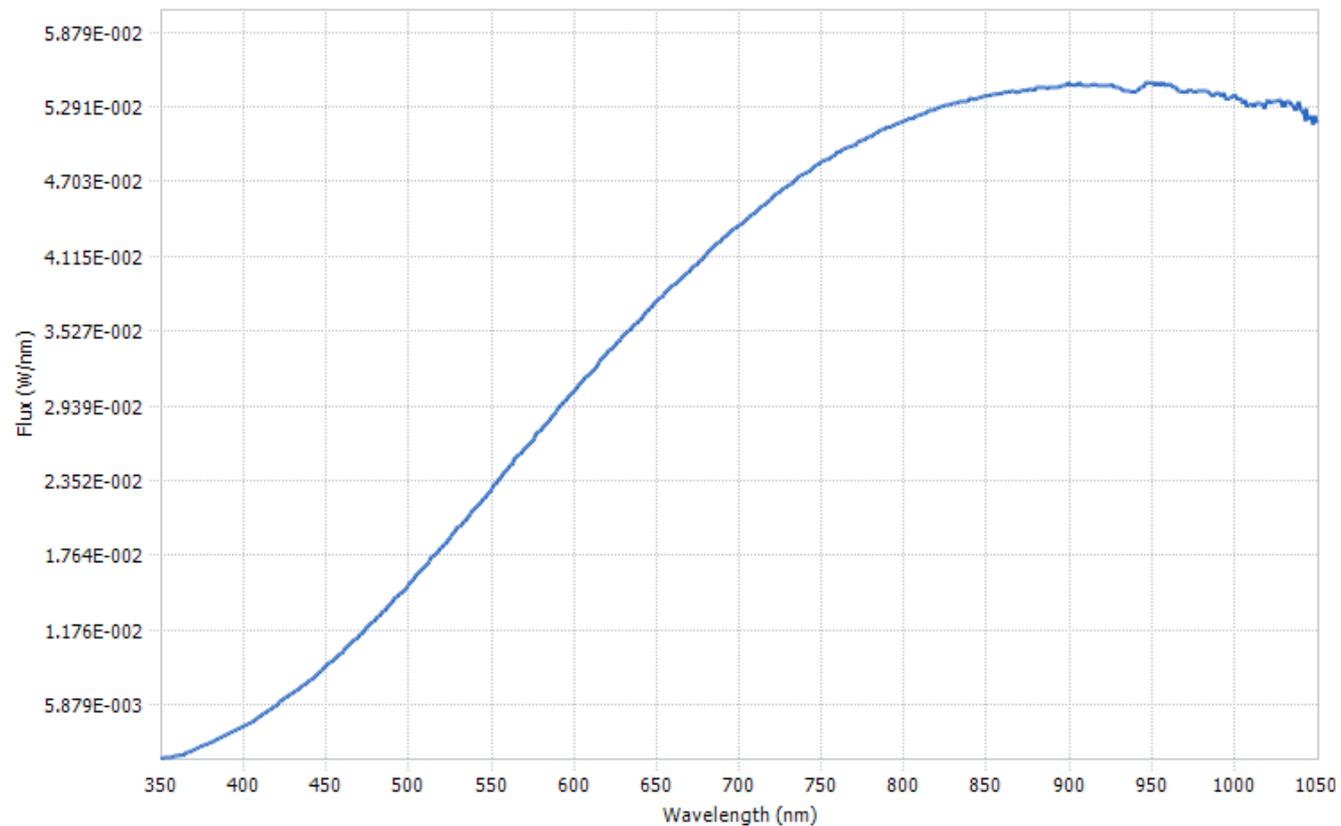
- 💡 SCL 1400
  - 💡 Montagem tipo mini rosca
  - 💡 Fluxo: ~ 1400 lm
  - 💡 Range: 350-1050 nm
  - 💡 28 V @ 2,68 A
  - 💡 75 W aprox.
  - 💡 Vida: 2000 hrs
  - 💡 TCC: ~ 3000 K
  - 💡 Fonte empregada: LPS 150



# Lâmpadas-padrão

💡 Espectro típico:

▼ SPECTRAL FLUX GRAPH:



# Espectrômetros

- 💡 São empregados em conjunto à fibra óptica no detector (esfera satélite).
- 💡 O NIMO conta com 3 espectrômetros da Labsphere:
  - 💡 CDS 600
  - 💡 CDS 610
  - 💡 CDS 2100
- 💡 Também conta com 3 fibras ópticas da Labsphere de 600  $\mu\text{m}$  e 1 fibra óptica da Ocean Optics de 300  $\mu\text{m}$ .



# Espectrômetros

- 💡 CDS 600 e CDS 610:
  - 💡 Alimentação por USB
  - 💡 Sensor CCD 2048 pixels
  - 💡 A/D 16 bits
  - 💡 8 ms a 30 s de integração
  - 💡 Resolução: 2 nm



**CDS 600:**            UV-VIS  
                              200-850 nm

**CDS 610:**            VIS-NIR  
                              350-1000 nm

# Espectrômetros

- 💡 CDS 2100:
  - 💡 Alimentação pela rede
  - 💡 Sensor CCD 64 x 1044 pixels
  - 💡 Estabilização térmica ativa (Peltier)
  - 💡 A/D 16 bits
  - 💡 10 ms a 60 s de integração
  - 💡 Resolução: 0,25 nm

**CDS 2100:** VIS-NIR  
350-1050 nm



# Espectrômetros

## 💡 Fibras ópticas:

💡 Labsphere 600  $\mu\text{m}$ , 3 m  
(medições gerais)

💡 Ocean Optics 300  $\mu\text{m}$ , 1 m  
(medição de fontes mais potentes)



# Calibração

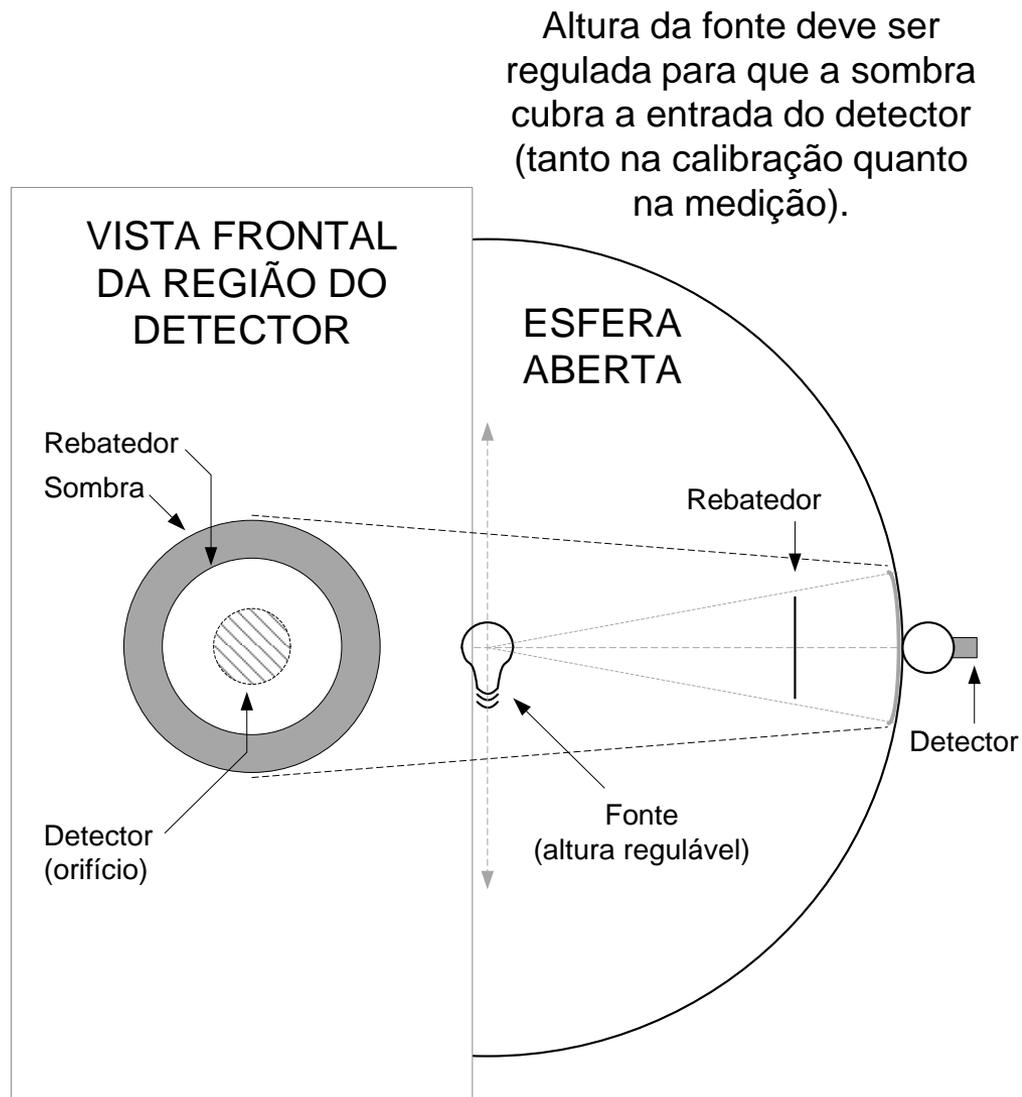
- 💡 Cada conjunto ESFERA + ESPECTRÔMETRO + FIBRA deve ter sua própria calibração (ex.: LMS 400 + CDS 2100 + fibra 300  $\mu\text{m}$ ).
- 💡 Para a esfera maior (LMS 400) deve ser utilizada, preferencialmente, a lâmpada padrão SCL-1400.
- 💡 Para esfera menor (LMS 200) deve ser utilizada, preferencialmente, a lâmpada padrão SCL-600.



# Calibração

## 💡 Procedimento:

- 💡 A lâmpada padrão deve ser colocada no suporte e centralizada. Deve estar desligada para os ajustes de escuro.
- 💡 Rebatedor evita incidência direta de luz da fonte sobre o orifício do detector (esfera satélite).



# Calibração

## Procedimento:

-  O espectrômetro conectado deve ser selecionado no software de medição e calibração (usar obturador no CDS 2100).
-  Fazer as correções de escuro do espectrômetro.
-  Ligar a lâmpada padrão através da fonte adequada e esperar 5-10 minutos para estabilização térmica da lâmpada.
-  Regular a exposição automaticamente.
-  Selecionar o arquivo .txt correspondente à lâmpada.
-  Calibrar e salvar a calibração com nome adequado.

# Medição

- 💡 Procedimento:
  - 💡 A fonte deve ser ajustada da mesma forma dentro da esfera.
  - 💡 Deve ser selecionada a calibração adequada para o conjunto ESFERA + ESPECTRÔMETRO + FIBRA sendo utilizado.
  - 💡 Seleciona-se o tempo de exposição automaticamente e mede-se a fonte.



Medição de módulos de LEDs  
com a LMS 400

# Medição

💡 Procedimento  
(no software  
Light MtrX):

2- Selecionar a  
calibração

1- Nomear o método  
(opcional)

3- Selecionar tempo  
por auto-exposição

Tempo de  
integração  
(resultante)

5- Aplicar

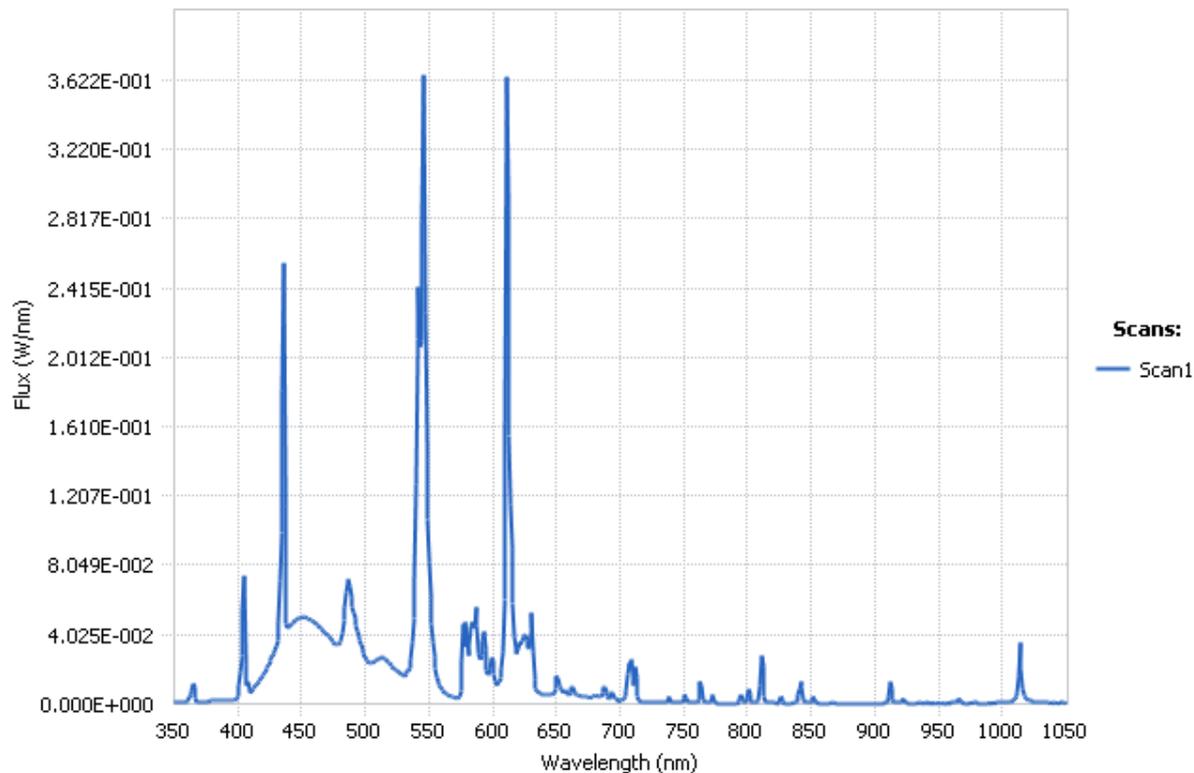
4- Salvar

# Medição

💡 Resultados da medição:

💡 Curva espectral da fonte (ex.: fluorescente compacta 58 W):

▼ SPECTRAL FLUX GRAPH:



# Medição

💡 Resultados da medição:

💡 Dados espectrais e fotométricos da fonte:

Símbolo	Significado	Unidade
$\phi$	Fluxo radiante (potência da radiação)	W
$\phi(v)$	Fluxo luminoso fotópico	lm
$\phi(v')$	Fluxo luminoso escotópico	lm'
Chrom x	Coordenada x de cromaticidade	-
Chrom y	Coordenada y de cromaticidade	-
$\lambda$ (peak)	Comprimento de onda de pico	nm
$\lambda$ (center)	Comprimento de onda central	nm
$\lambda$ (dom)	Comprimento de onda dominante	nm
CCT	Temperatura de cor correlata	K
RA	Índice de reprodução de cores médio	%

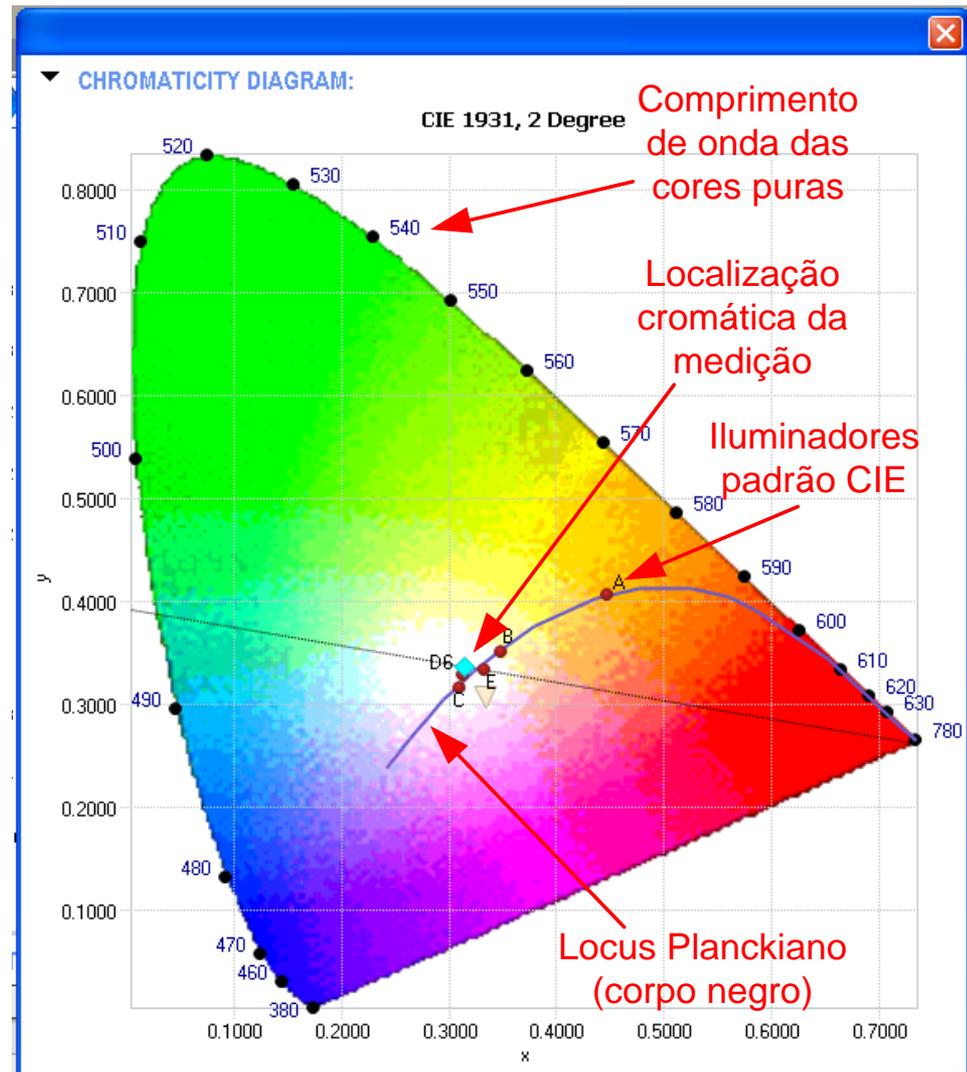
# Medição

💡 Resultados da medição:

💡 Diagrama de cromaticidade com coordenadas da fonte:

$$x = 0,3141$$

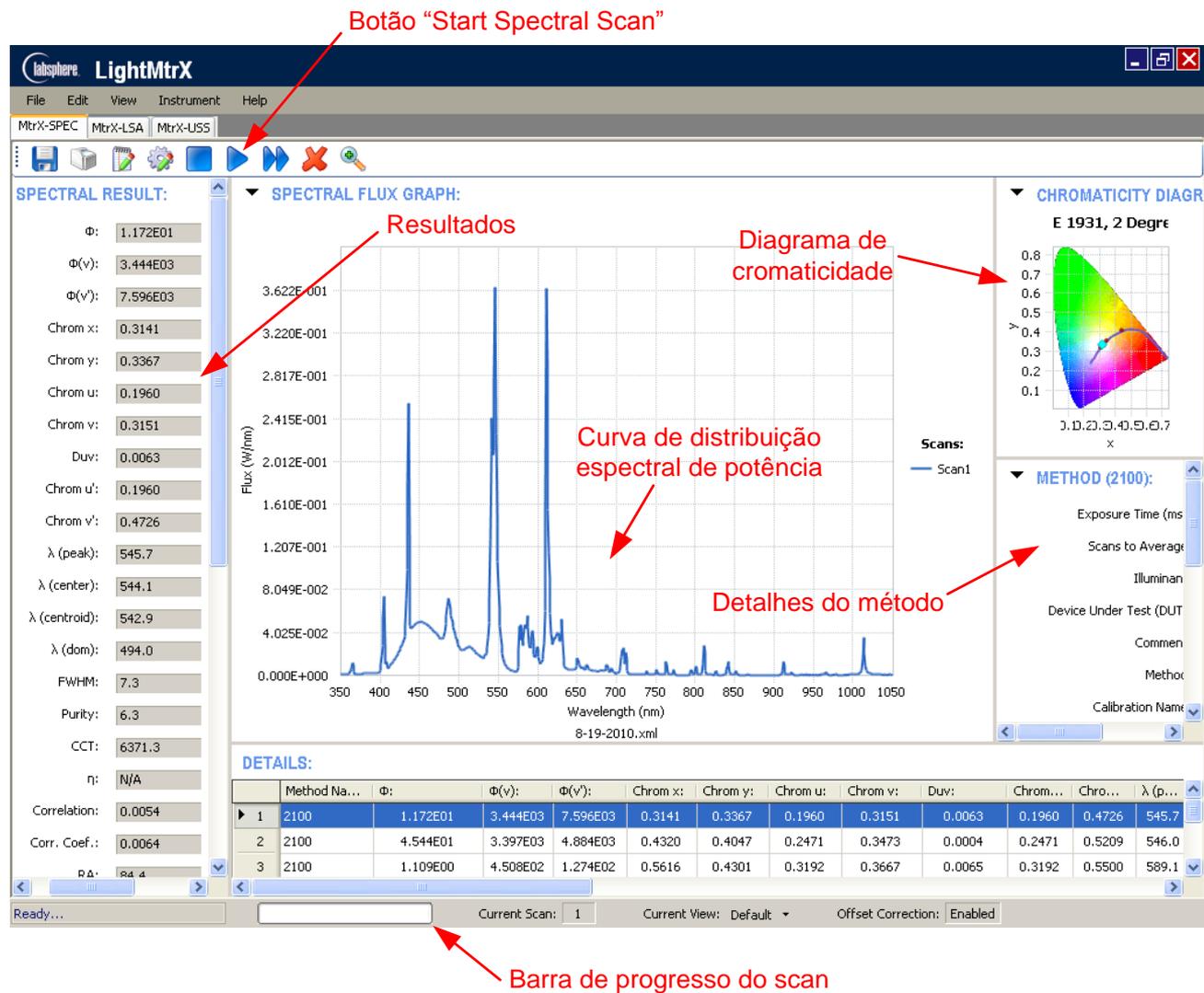
$$y = 0,3367$$



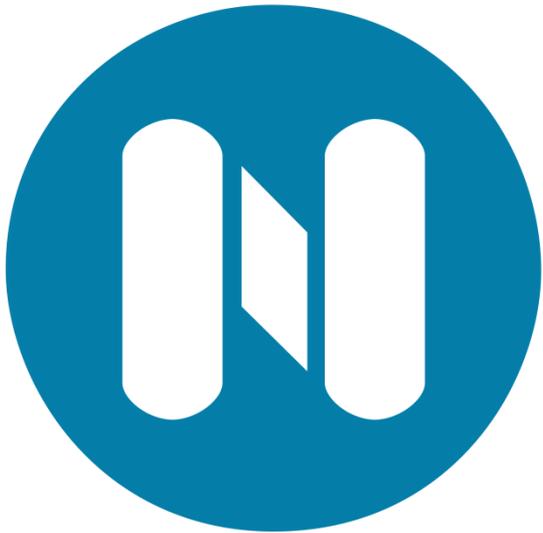
# Medição

Janela de medição:

- $\phi(v)$  – Fluxo luminoso fotópico: 3444 lm
- CCT – Temperatura de cor correlata: 6371,3 K
- RA – IRC médio: 84,4 %



# Perguntas?



# NIMO

NÚCLEO DE ILUMINAÇÃO MODERNA

[www.ufjf.br/nimo](http://www.ufjf.br/nimo)