


[www.revistalumiere.com.br](http://www.revistalumiere.com.br)
[glossário](#)
[anuário](#)
[assinaturas](#)

[serviço de consultas](#)


#### editorial

[Agenda & Cursos](#)  
[Serviços & Produtos](#)  
[Livros & Catálogos](#)  
[Galeria de fotos](#)  
[Últimas notícias](#)  
[Links úteis](#)

#### Colunistas

[Curso de Fotometria](#)  
[Artigos & Pesquisas](#)  
[Luz e Biofísica](#)  
[Iluminação Cênica](#)

#### editora lumière

[Revista Lumière](#)  
[Revista L+D](#)  
[Revista GTD](#)  
[Anuário](#)  
[Glossário](#)  
[Quem somos](#)

#### publicidade

[Anuncie](#)  
[Pautas 2005](#)

#### prêmio top10

[2001](#)  
[2002](#)  
[2003](#)  
[O que é](#)

#### menu principal

[home](#)  
[fale conosco](#)  
[Banco de profissionais](#)  
[Orçamento on-line](#)

#### cadastro

Usuário

Senha

[Esqueceu a senha?](#)

[Sem conta? Crie uma](#)

**Aula 4** 16/Aug/04 11:08



## CURSO DE FOTOMETRIA ON-LINE LUMIÈRE/IEE

### Aula 4: Equipamentos de medição

*Por Rinaldo Caldeira Pinto*  
*Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE-USP)*

Prezados Leitores, agora que já estamos familiarizados com as grandezas fotométricas vamos ver como medi-las. Nesta e na próxima aula vamos abordar os instrumentos utilizados em medições fotométricas. Falaremos sobre alguns tipos de goniofotômetros e, por ser um assunto de vital importância, voltaremos a falar nele na próxima aula. Vamos utilizar alguns conceitos de física do estado sólido (junção PN). Aos leitores que não estão familiarizados com estes conceitos recomendo consultar as referências bibliográficas.

#### Equipamentos de medição

Os instrumentos utilizados para medições fotométricas consistem, em geral, de um detector, um meio para condicionar ou amplificar o sinal do detector, um método para mostrar ou armazenar a medição, e, possivelmente, um elemento ou sistema ótico para coletar a quantidade a ser medida.

O equipamento para medição fotométrica não passa de um radiômetro que tem a resposta do detector de acordo com a curva  $V(\lambda)$ . Um radiômetro mede grandezas radiométricas. Quando adaptado à curva  $V(\lambda)$  medirá grandezas fotométricas. Temos aí um fotômetro. Existem fotômetros com resposta de acordo com a curva  $V'(\lambda)$  também.

#### O Luxímetro

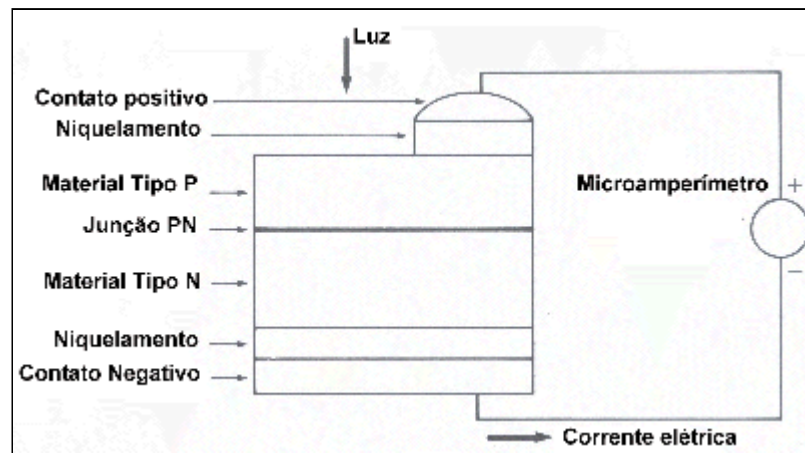
Muitos instrumentos modernos para medir iluminância e quantidades relacionadas fazem uso do efeito fotoelétrico descoberto por Hertz em 1887. Existem quatro tipos básicos de efeitos fotoelétricos: fotoemissivo, junção fotocondutiva, fotorresistor (photoconductive bulk) e fotovoltaico.

O efeito fotoemissivo é a liberação de elétrons de uma superfície fotosensível quando a luz atinge esta. Fotomultiplicadores operam nesse modo.

O efeito fotocondutivo é manifestado por certos dispositivos semicondutores. O fenômeno básico é que a condutividade do material é alterada drasticamente pela radiação incidente. A energia radiante causa a quebra de ligações covalentes dentro do material semicondutor, criando assim muito mais pares elétron-lacuna que aqueles gerados normalmente por efeito térmico. O resultante incremento da corrente de portadores diminui a resistência do material.

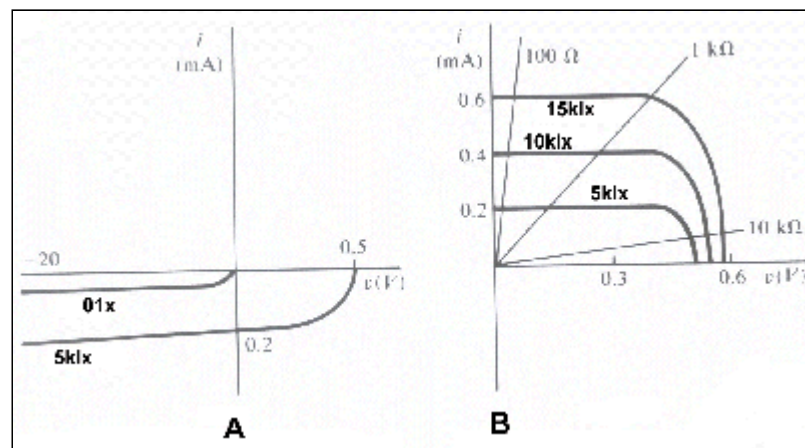
Existem dois tipos de dispositivos fotocondutivos. Dispositivos de junção fotocondutiva, tal como um fotodiodo ou um fototransistor, são feitos de germânio ou silício. Estes dispositivos exibem resposta muito rápida, mas sensibilidade relativamente baixa (mA/lx). Os fotorresistores (LDR) utilizam cristais, tal como o sulfeto de cádmio, que são dopados com impurezas de Prata, Antimônio ou Índio. Estes dispositivos tem alta sensibilidade. Suas resistências podem variar de  $2M\Omega$  (na absoluta escuridão) até  $10\Omega$  (em ambiente altamente iluminado).

O quarto tipo de efeito fotoelétrico, que é utilizado em dispositivos para medição de iluminância, é o efeito fotovoltaico. Uma célula fotovoltaica típica é mostrada na figura 1.



**Figura 1: Fotocélula de silício**

O material tipo P de Silício é dopado com o Boro; o tipo N com Arsênio. Quando a luz incide sobre o material tipo P, é gerado um excesso de pares elétron-lacuna. As lacunas migram atravessando a junção até o material tipo P e os elétrons até o material tipo N. O desbalanceamento de portadores de cargas cria uma tensão nos terminais do diodo. Esta é a tensão fotovoltaica e ela é da ordem de 0,5V para o silício e de 0,1V para o Germânio. A característica volt-ampère de uma fotocélula típica de silício é mostrada na figura 2.



**Figura 2: Característica elétrica da fotocélula**

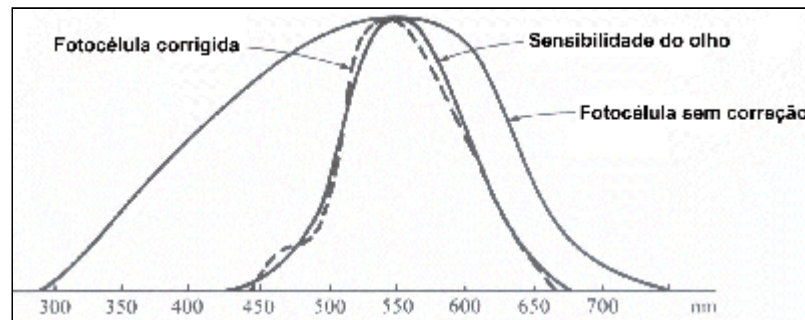
No terceiro quadrante, onde a tensão e a corrente são negativas, a fotocélula atua no modo fotocondutivo. Neste quadrante é necessária uma fonte externa (bateria) para operar o dispositivo. No quarto quadrante, com corrente negativa e tensão positiva, ele opera no modo fotovoltaico e não é necessária uma bateria. Esta última situação é utilizada quando a fotocélula é utilizada para medir iluminância.

O quarto quadrante da figura 2a é invertido e ampliado na figura 2b. Vemos que a tensão de saída para circuito aberto (alta impedância) varia não linearmente (logaritmicamente) com o nível de iluminância. Seria o equivalente a uma carga de alta resistência (10MΩ). Por outro lado, a corrente de curto-circuito varia linearmente com o nível de iluminância, e a corrente para cargas de baixa resistência também (100Ω).

Esta última condição é utilizada num luxímetro (medidor de iluminância), isto é, a saída de corrente no amperímetro (baixa resistência) é diretamente proporcional ao nível de iluminância, e assim, desde que a deflexão do microamperímetro é proporcional a corrente que passa por ele, podemos calibrar a escala do microamperímetro diretamente em lux.

O primeiro medidor de luz com célula fotovoltaica foi desenvolvido pela Weston Instrument Company em 1931 e levou a indústria da iluminação a ter os primeiros medidores de iluminância portáteis e medidores de exposição fotográficas. Os medidores modernos são mais sofisticados que seus antecessores, mas utilizam o mesmo princípio. O Selênio que era utilizado em fotocélulas até bem pouco tempo deu espaço ao Silício. Este último é bem mais linear e menos dependente da temperatura. Nos medidores atuais o microamperímetro também foi trocado por amplificadores com componentes eletrônicos e por mostradores digitais.

A maioria dos medidores contemporâneos tem cor e coseno corrigido. Vamos ver o que significa isto: na figura 3 temos uma comparação entre uma fotocélula de selênio sem correção, uma corrigida e o olho humano.



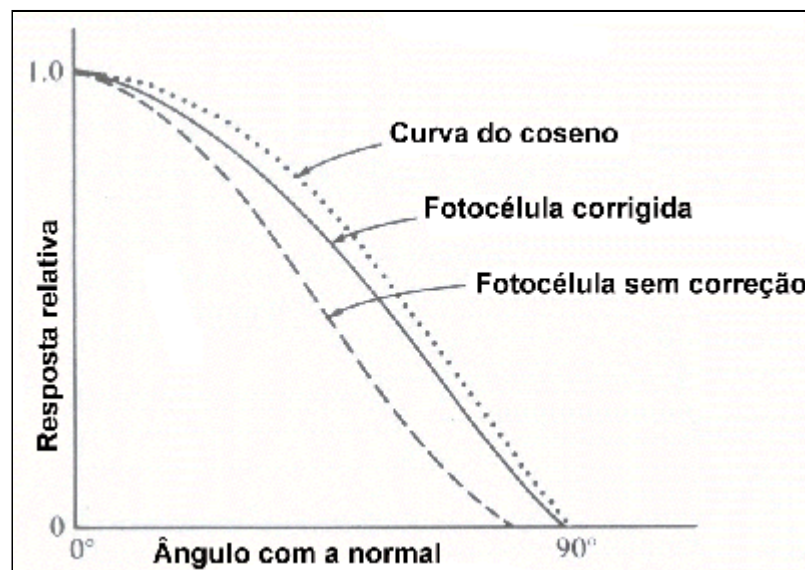
**Figura 3: Correção de cor**

O problema é que nós precisamos de um medidor de iluminância que avalie o fluxo luminoso da mesma forma que o olho humano. Isto significa que a resposta da fotocélula deve ter uma resposta o mais próxima possível da resposta do olho humano (curva  $V(\lambda)$ ). Uma fotocélula não corrigida tem uma resposta muito maior que a do olho humano nas faixas de comprimentos de onda do violeta-azul e do vermelho-laranja.

As fotocélulas respondem também na região do ultravioleta. O que os fabricantes fazem é projetar um filtro que adapta a resposta da fotocélula a resposta do olho humano (figura 3). Claro que este ajuste não é perfeito. A diferença entre a situação ideal e a situação real define um erro que é chamado de  $f_1$  (conforme veremos em outra aula).

Outro erro associado à medição de iluminância é o erro devido ao coseno do ângulo de incidência. Os instrumentos que não têm correção de coseno, em geral têm uma placa de vidro cobrindo a fotocélula. Os raios de luz que incidem em ângulos próximos de  $90^\circ$ , em relação à normal, são refletidos e não atingem a fotocélula, gerando assim um erro. Os instrumentos que têm coseno corrigido em geral têm esta placa de vidro trocada por um difusor de plástico branco, projetado de forma que os raios que incidem de forma rasante são dirigidos a fotocélula.

Na maioria das aplicações é necessário corrigir este erro. Existem algumas situações em que não é necessário que o instrumento tenha esta correção, o que pode diminuir o custo. O instrumento corrigido em geral custa mais caro. Mais adiante veremos situações deste tipo. A figura 4 ilustra a situação da correção de coseno.



**Figura 4: Correção de coseno**

Devemos lembrar sempre que teremos resultados mais próximos da realidade se o instrumento for calibrado em um laboratório que tenha rastreabilidade a padrões nacionais e internacionais. Com o tempo estes instrumentos podem apresentar desvios que só descobriremos se o instrumento for calibrado

periodicamente.

Existem luxímetros com fotocélula intercambiável e com fotocélula acoplada. No tipo com fotocélula acoplada, a fotocélula está rigidamente ligada ao corpo do instrumento e não pode ser destacada.

Para o caso de fotocélula intercambiável, existe um meio de destacarmos a fotocélula do corpo do instrumento. Normalmente se tem um cabo de ligação da fotocélula ao luxímetro que permite fazer medições à distância. Este tipo de instrumento evita que o operador produza sombra sobre a fotocélula durante as medições: pode se colocar a fotocélula no local a ser medido e ficar a certa distância fazendo a medição.

### **Sistemas de Medição Fotométrica: Equipamentos básicos**

#### **Banco Fotométrico**

Os Bancos Fotométricos são usados para calibração de luxímetros. Eles têm um tipo de montagem em que a fotocélula de um instrumento e uma lâmpada, padrão de intensidade luminosa, podem ser alinhados, permitindo medir a distância entre eles. Se a distância for suficiente para considerarmos a fonte como pontual, podemos calibrar o instrumento da seguinte forma:

Como nós vimos,  $E = I/d^2$ . Se nós conhecermos o valor da intensidade ( $I$ ) e pudermos medir a distância ( $d$ ) entre a fotocélula e a lâmpada, saberemos qual a iluminância que deve ser lida pelo instrumento. Neste caso nosso padrão será a lâmpada.

#### **Goniofotômetro**

Um goniofotômetro serve para caracterizar uma fonte luminosa do ponto de vista de distribuição de intensidades. Nós temos vários tipos de goniofotômetros. Vamos destacar, nesta aula, o goniofotômetro composto por um goniômetro e um detector simples. Cada tipo tem suas vantagens e desvantagens. A significância das vantagens está relacionada ao espaço disponível, necessidades de polarização e considerações econômicas.

##### **1) Goniômetro e um detector simples**

Neste tipo de goniofotômetro, a fonte de luz é montada no goniômetro, que permite que ela seja girada em torno de um eixo vertical e um eixo horizontal. A iluminância é medida por uma fotocélula que fica numa posição fixa a uma certa distância do goniômetro.

Existem diversos tipos de goniofotômetros compostos por um goniômetro e um detector simples. Cada um deles pode servir melhor a um determinado tipo de aplicação. Por enquanto, vamos definir três tipos: A, B e C. Estes três tipos estão ilustrados nas figuras 5, 6 e 7. Este tipo de classificação é utilizado pela Illuminating Engineering Society of North América (IESNA). A CIE adota outro sistema, que é um sistema de planos e não de goniofotômetros, que tem diferenças em relação a este. Nas próximas aulas vamos conhecer o sistema CIE. Portanto, não confundamos planos A, B e C com goniofotômetros tipos A, B e C.

##### **2) Goniofotômetro Tipo A**

Na figura 5a podemos ver um goniofotômetro deste tipo. Este tipo de goniofotômetro tem um eixo fixo, que é o eixo horizontal, sobre o qual temos um eixo móvel que é o vertical. O eixo vertical acompanha a rotação do eixo horizontal, mudando sua direção conforme a rotação do outro eixo. Desta forma, obtemos a malha descrita na figura 5b e o sistema de planos da figura 5c. Por analogia ao globo terrestre, podemos dizer que a rotação do eixo horizontal produz os meridianos e, a rotação do eixo vertical produz as latitudes.

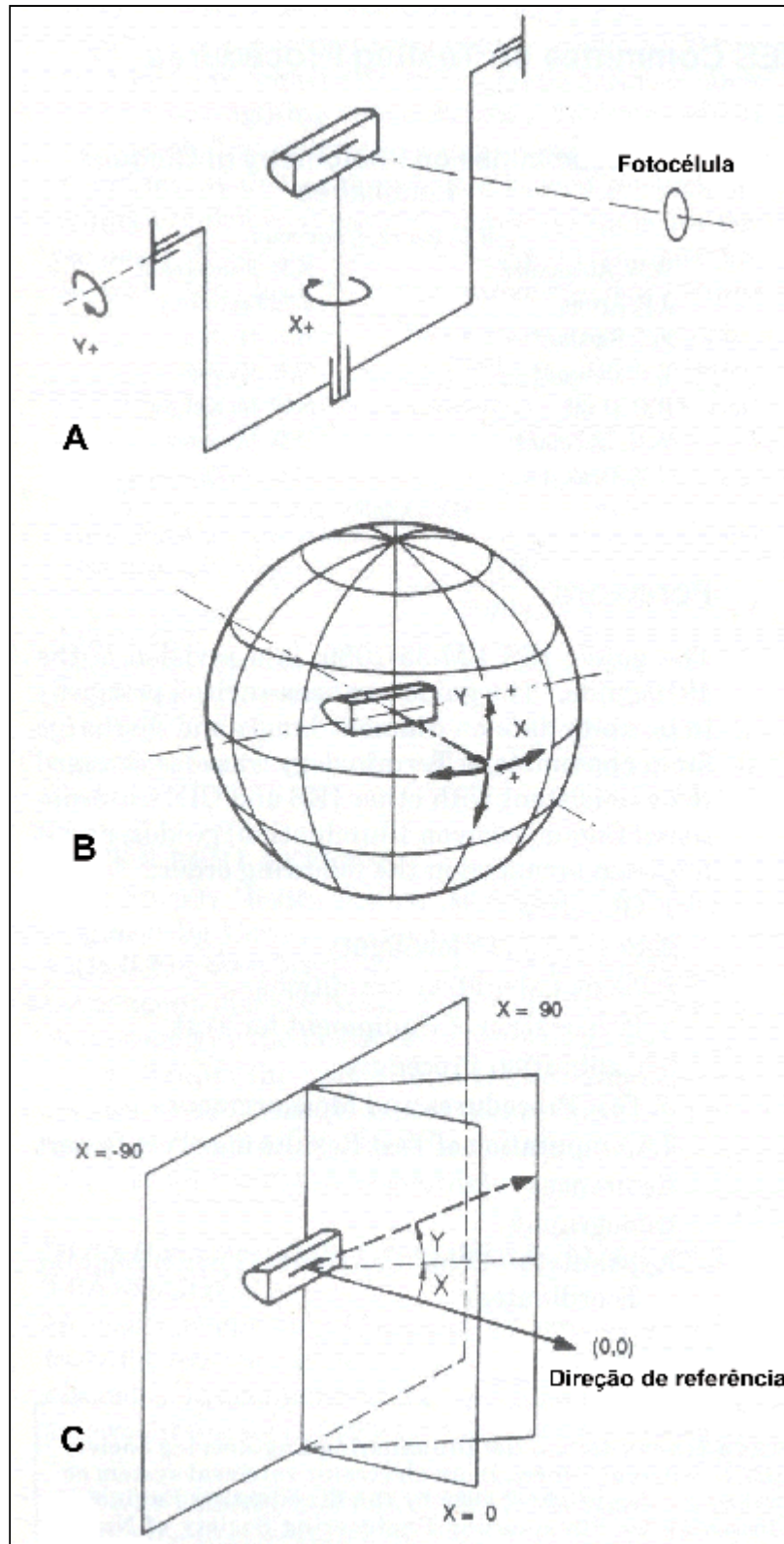


Figura 5: Goniofotômetro Tipo A

a) Goniofotômetro

b) representação na esfera

c) sistema de coordenadas

**3) Goniofotômetro Tipo B**

Na figura 6a podemos ver um goniofotômetro deste tipo, que possui um eixo fixo, que é o eixo vertical, sobre o qual temos um eixo móvel que é o horizontal. O eixo horizontal acompanha a rotação do eixo vertical, mudando sua direção conforme a rotação do outro eixo. Desta forma obtemos a malha descrita na figura 6b e o sistema de planos da figura 6c. Por analogia ao globo terrestre, podemos dizer que a rotação do eixo vertical produz os meridianos e, a rotação do eixo horizontal produz as latitudes.

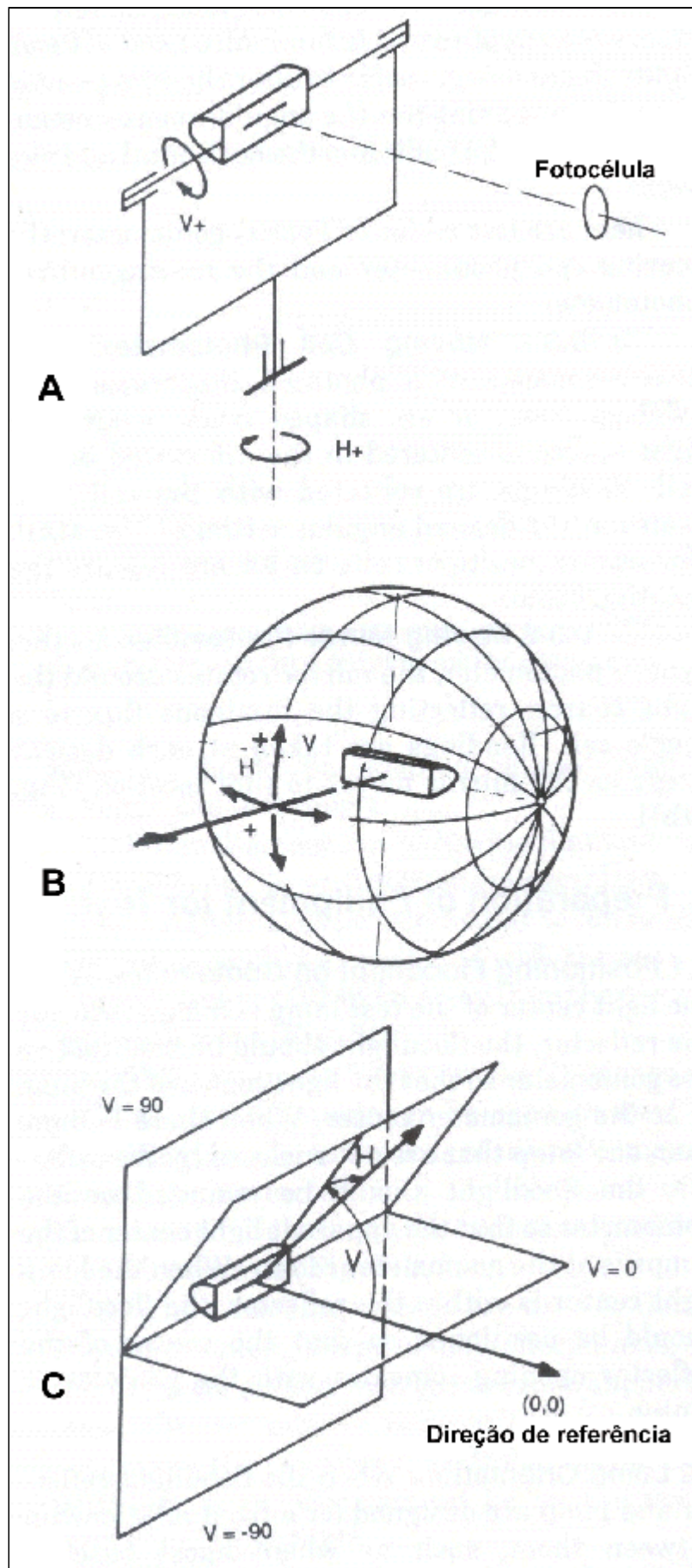


Figura 6: Goniômetro Tipo B

a) Goniômetro

b) representação na esfera

c) sistema de coordenadas

#### 4) Goniofotômetro Tipo C

O goniofotômetro Tipo C, com fotocélula ou espelho que se movem em torno de um eixo horizontal, está representado na figura 7. Ele é caracterizado por ter a luminária suspensa numa orientação fixa no espaço, movendo-se só em torno de um eixo vertical. A fotocélula (ou um espelho) é girada em torno da luminária num plano vertical.

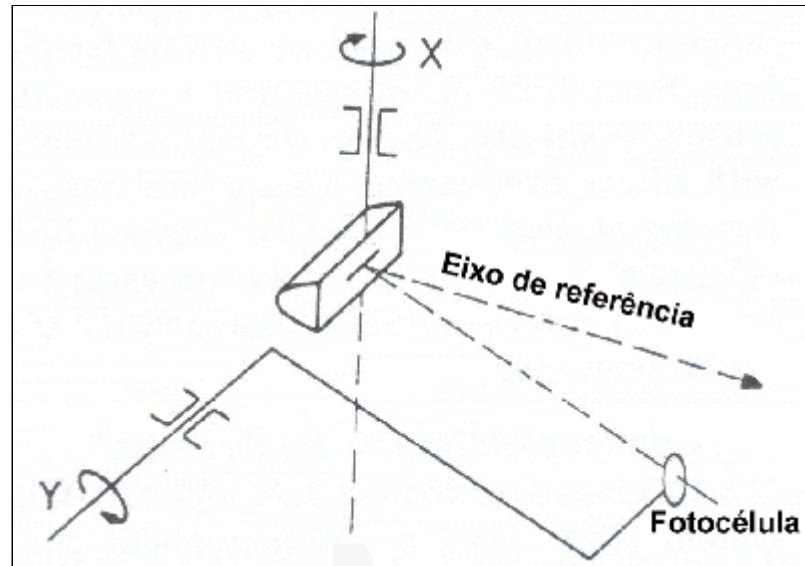


Figura 7: Goniofotômetro Tipo C

#### Exercícios Propostos:

Envie a resposta do exercício para [redacao@edlumiere.com.br](mailto:redacao@edlumiere.com.br), para ser corrigida pelo professor

1. Descreva o efeito fotovoltaico.
2. Explique porque utilizamos o quarto quadrante da curva de uma junção PN num luxímetro.
3. Que correções podemos fazer num luxímetro. Explique.
4. Como podemos calibrar um luxímetro?
5. Qual a diferença entre um goniofotômetro Tipo A e Tipo B?

Bem, vamos ficando por aqui. Na próxima aula estudaremos um pouco mais sobre os goniofotômetros, além da esfera integradora de Ulbricht e os métodos de medição de fluxo luminoso. Até lá!

#### Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5461: Iluminação. São Paulo, 2002.
- ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. Lighting handbook: reference & application. New York : Illuminating Engineering Society of North America, 9ª Ed., 2000.
- MURDOCH, Joseph B. Illumination engineering: from Edison's lamp to the laser, Visions Communications, Pennsylvania, 1994.
- BOYD, Robert W. Radiometry and the detection of optical radiation. New York: John Wiley & Sons, 1983. 253p.
- COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE. CIE 69: methods of characterizing illuminance meters and luminance meters: performance, characteristics and specifications. Austria:, 1987.
- IES approved method for photometric testing of floodlights using incandescent filament or discharge lamps: LM-35(89) Journal of the Illuminating Engineering Society, p.173-191, summer, 1990.
- MILMAN, Jacob , HALKIAS, Christos C. Eletrônica: dispositivos e circuitos. São Paulo: McGraw-Hill, 1981. 412p.



- MOREIRA, Vinicius de Araújo. Iluminação elétrica. São Paulo : Edgard Blucher, 1999. 189p.
- SINGH, Jasprit Optoelectronics: an introduction to materials and devices. New York :McGraw-Hill, 1996. 537p.

#### Organização e promoção

Lumière<sup>revista</sup>

**Este material não pode ser reproduzido sem a devida autorização da Editora Lumière e do IEE/USP**

Editora Lumière ©2003 - 2004 Todos direitos reservados.

Copyright (C) 2000 - 2004 Miro International Pty Ltd :: Mambo Open Source is Free Software under GNU/GPL