

Modelos de Iluminação

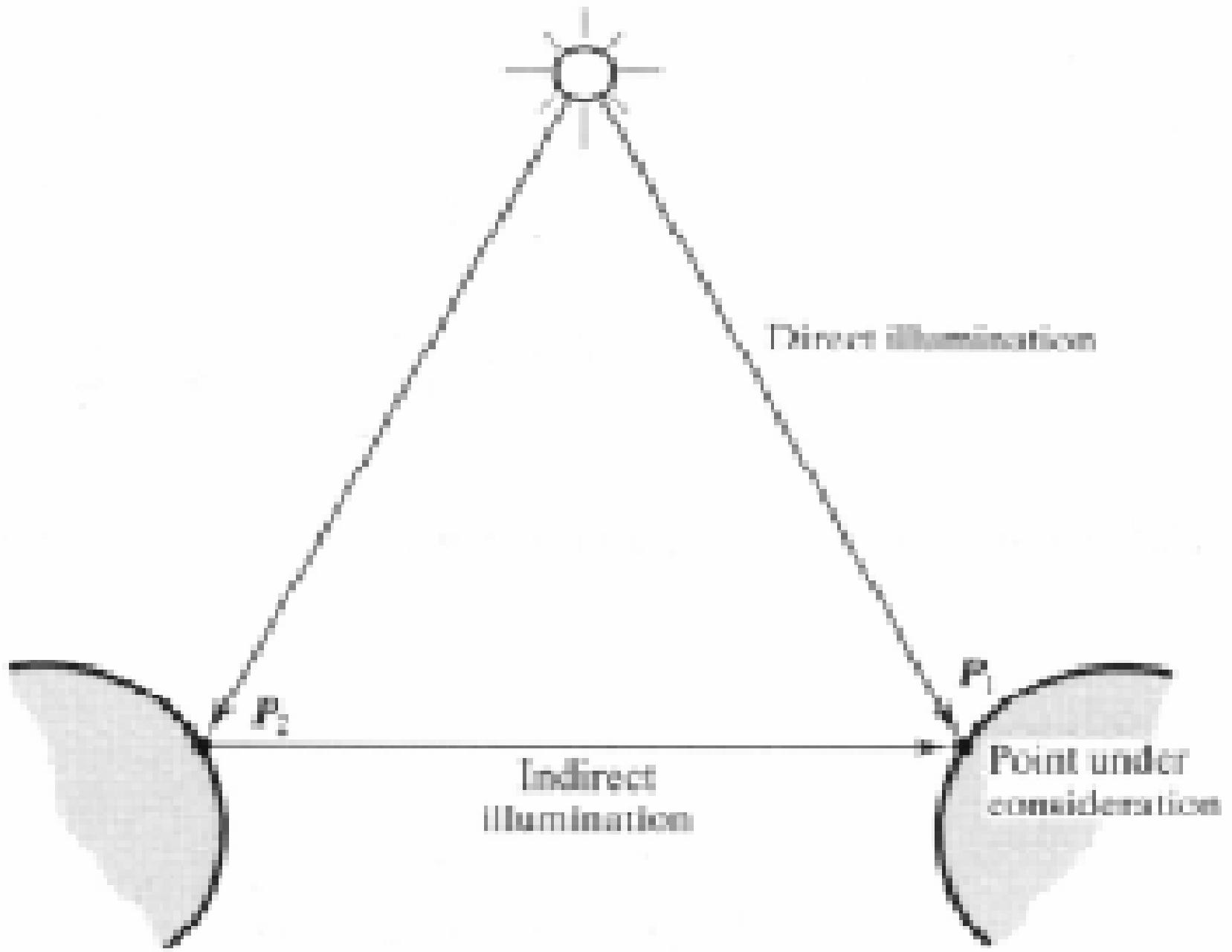
Prof. Jonh Edson R. de Carvalho

Modelo de Iluminação

- A base para a construção de imagens realistas (no sentido de representarem de forma adequada a noção de volume de um objeto) é a análise a interação fonte de luz / objeto.
- Podemos caracterizar essa interação de duas formas.
- A primeira se dá quando um objeto recebe luz diretamente de uma fonte luminosa. Tomando por base a figura a seguir é o que ocorre nos pontos P1 e P2.
- Os raios de luz que emanam da fonte, percorrem o espaço e atingem de forma direta o ponto P1 e P2. Nesses casos estamos diante do que chamamos de ***iluminação direta***.

Modelo de Iluminação

- Ao atingir o ponto P2 parte da energia luminosa pode ser refletida e atingir novamente o ponto P1. Esse raio de luz que não parte de uma fonte luminosa mais sim de outro objeto da cena faz parte do que denominamos ***iluminação indireta***.
- Em um mundo real os objetos estão sujeitos sempre aos dois tipos de iluminação.



Modelo de Iluminação

- A iluminação direta é relativamente simples de ser calculada, visto que depende apenas da avaliação da fonte de luz e do objeto em questão. Já a luz indireta é muito mais complexa, pois é função do número de objetos da cena.
- Afinal todos os objetos podem contribuir indiretamente para a iluminação de um único ponto da superfície de um objeto.
- O modelo de iluminação que apresentaremos a seguir irá levar em conta apenas a iluminação direta de uma cena. Modelos que pertencem a essa classe são denominados ***modelos de iluminação local***. Depois apresentaremos um ***modelo de iluminação global*** (que irá levar em conta a iluminação indireta).

Modelo Físico

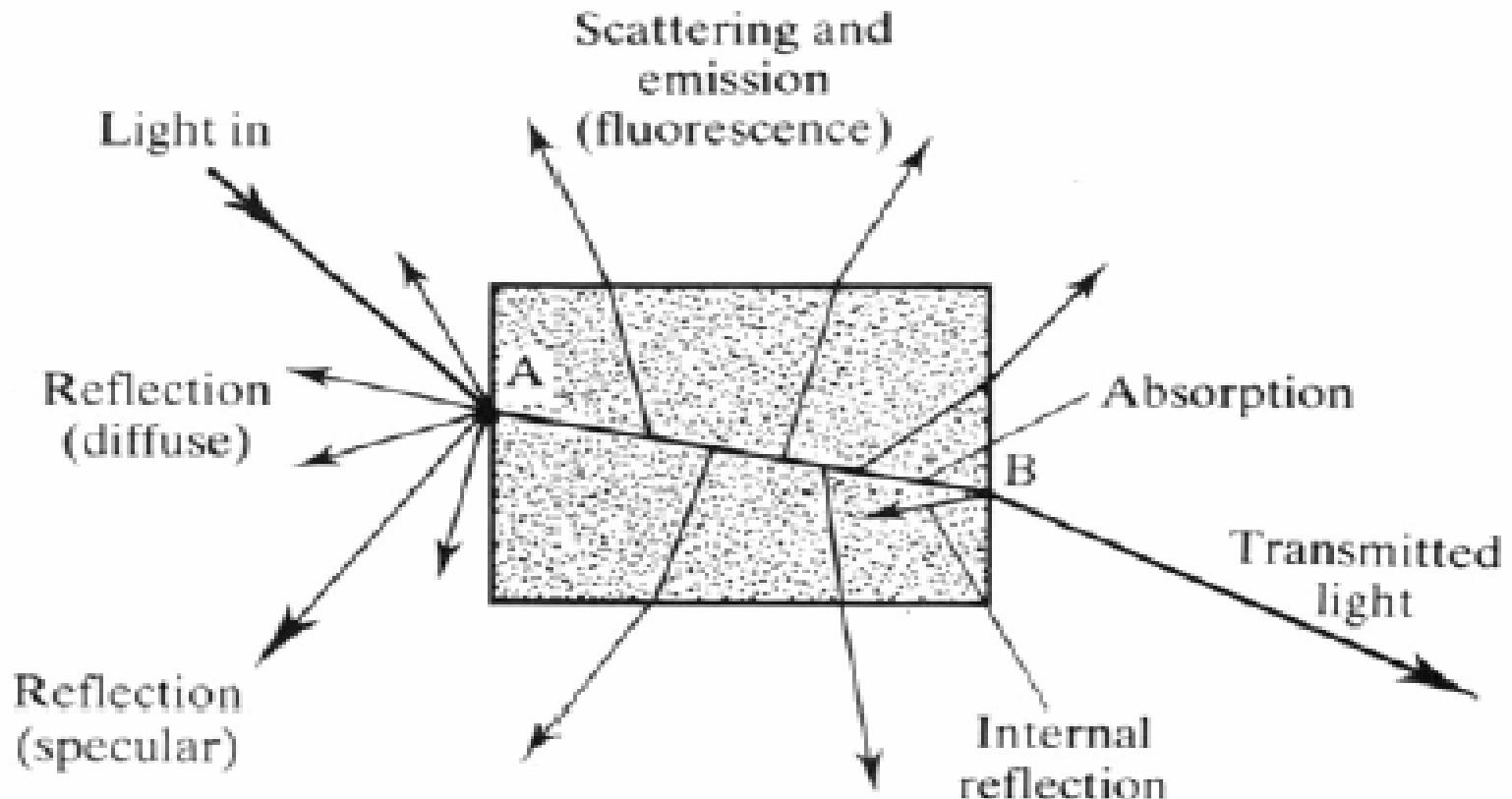
- Um modelo de iluminação geral deve considerar todos os tipos de fenômenos que podem ocorrem com um raio de luz ao entrar em contato com a superfície de um objeto.
- A próxima figura representa essa situação.
- As possibilidades são :
 - Reflexão;
 - Em última análise a reflexão de um raio de luz na superfície de um objeto é o que permite que um observador enxergue esse objeto.
 - Transmissão;
 - Alguns materiais – tais como vidro, cristal, acrílico, água, etc – permitem que um raio de luz os atravesse. Esse tipo de interação está sujeito ao efeito da refração – passagem da luz de um meio para outro.

Modelo Físico

- Absorção:
 - Cada material possui entre suas características a capacidade de reter determinados comprimentos de onda luminosa, convertendo essas freqüências em outro tipo de energia (tipicamente térmica, e em alguns casos elétrica). A percepção da cor de um material se dá em função da sua capacidade de absorção.
 - Por exemplo, se um material tem cor azul significa que é capaz de absorver todas as freqüências da luz exceto aquela correspondente ao azul⁵. Portanto, todos os raios refletidos a partir desse material contém apenas ondas luminosas de freqüência equivalente a cor azul.
- Emissão.
 - Certos corpos quando aquecidos ou sujeitos a algum tipo de processo químico são capazes de emitir ondas luminosas.

Modelo Físico

Possíveis formas de interações entre um raio de luz e um objeto.



Modelo Físico

- Um modelo que se proponha a representar todos esses tipos de interação torna-se bastante complexo, tanto do ponto de vista físico/matemático quanto do ponto de vista computacional.
- Como nosso objetivo principal é dar uma impressão “realista” as imagens de modelos sintéticos, podemos fazer algumas suposições a respeito desses tipos de interação da luz e simplificar os requisitos do nosso modelo.

Modelo Físico

- Um modelo que se proponha a representar todos esses tipos de interação torna-se bastante complexo, tanto do ponto de vista físico/matemático quanto do ponto de vista computacional.
- Como nosso objetivo principal é dar uma impressão “realista” as imagens de modelos sintéticos, podemos fazer algumas suposições a respeito desses tipos de interação da luz e simplificar os requisitos do nosso modelo.

Modelo Físico

- A primeira delas é quanto a emissão. Em geral a emissão, quando ocorre, é o tipo de interação predominante. Da mesma, poucos são os materiais capazes de, em condições normais, emitir ondas de luz. Resumindo, podemos simplificar nosso modelo considerando que os objetos ou são emissores, e nesse caso podem ser encarados apenas como tal (fontes luminosas) ou não irão possuir componente emissora (considerada desprezível).
- Podemos considerar também que todos os nossos modelos serão constituídos de materiais opacos. Dessa forma não precisaremos, nesse momento, nos preocupar com a transmissão do material. Estaremos perdendo em poder de representação, mas ganhando em simplicidade / velocidade de processamento do modelo.

Modelo Físico

- A primeira delas é quanto a emissão. Em geral a emissão, quando ocorre, é o tipo de interação predominante. Da mesma, poucos são os materiais capazes de, em condições normais, emitir ondas de luz. Resumindo, podemos simplificar nosso modelo considerando que os objetos ou são emissores, e nesse caso podem ser encarados apenas como tal (fontes luminosas) ou não irão possuir componente emissora (considerada desprezível).
- Podemos considerar também que todos os nossos modelos serão constituídos de materiais opacos. Dessa forma não precisaremos, nesse momento, nos preocupar com a transmissão do material. Estaremos perdendo em poder de representação, mas ganhando em simplicidade / velocidade de processamento do modelo.

Modelo Físico

- Por fim podemos associar a componente de absorção como uma função do material do objeto. Dessa forma, uma vez conhecido o material a componente absorção é constante para esse material.
- A forma de interação restante é a reflexão. É com base nessa componente que somos capazes de enxergar os objetos, já que a imagem que se forma em nossa retina é resultado dos raios de luz refletidos pelos objetos.

Modelo Físico

- Por fim podemos associar a componente de absorção como uma função do material do objeto. Dessa forma, uma vez conhecido o material a componente absorção é constante para esse material.
- A forma de interação restante é a reflexão. É com base nessa componente que somos capazes de enxergar os objetos, já que a imagem que se forma em nossa retina é resultado dos raios de luz refletidos pelos objetos.

Modelo Físico

- Em resumo, iremos transformar o **modelo físico** em um **modelo de reflexão**.
- Historicamente essas simplificações fazem sentido, uma vez que os recursos computacionais necessários para se implementar modelos completos de iluminação eram proibitivos a maioria das aplicações a alguns anos atrás.
- Atualmente, com a popularização de placas aceleradoras 2D e 3D, diminuição do custo de memória e aumento na capacidade de processamento, muitas dessas barreiras foram quebradas. No entanto, esses modelos ainda se justificam quando queremos ter visualização interativa (em tempo real) de modelos complexos e com efeitos de iluminação.

Modelo Físico

- Modelar todas as interações é muito complicado
- Simplificação
 - Refração -> não representada
 - Absorção -> constante do material do obj.
 - Emissão ->só para fontes
- Modelo de Reflexão

Modelo de Reflexão

- Nosso objetivo é formular um modelo que permita calcular a intensidade da luz refletida em um ponto da superfície de um objeto. Para isso vamos considerar uma fonte de luz pontual, que emite raios de luz uniformemente em todas as direções. Cada raio de luz tem intensidade li .
- O motivo pelo qual dizemos que esse é um **modelo de reflexão local** é que iremos considerar para efeitos de sua formulação, apenas contribuições resultantes de iluminação direta. Interações entre objetos não serão levadas em consideração – de forma precisa – pelo nosso modelo.

Modelo de Reflexão

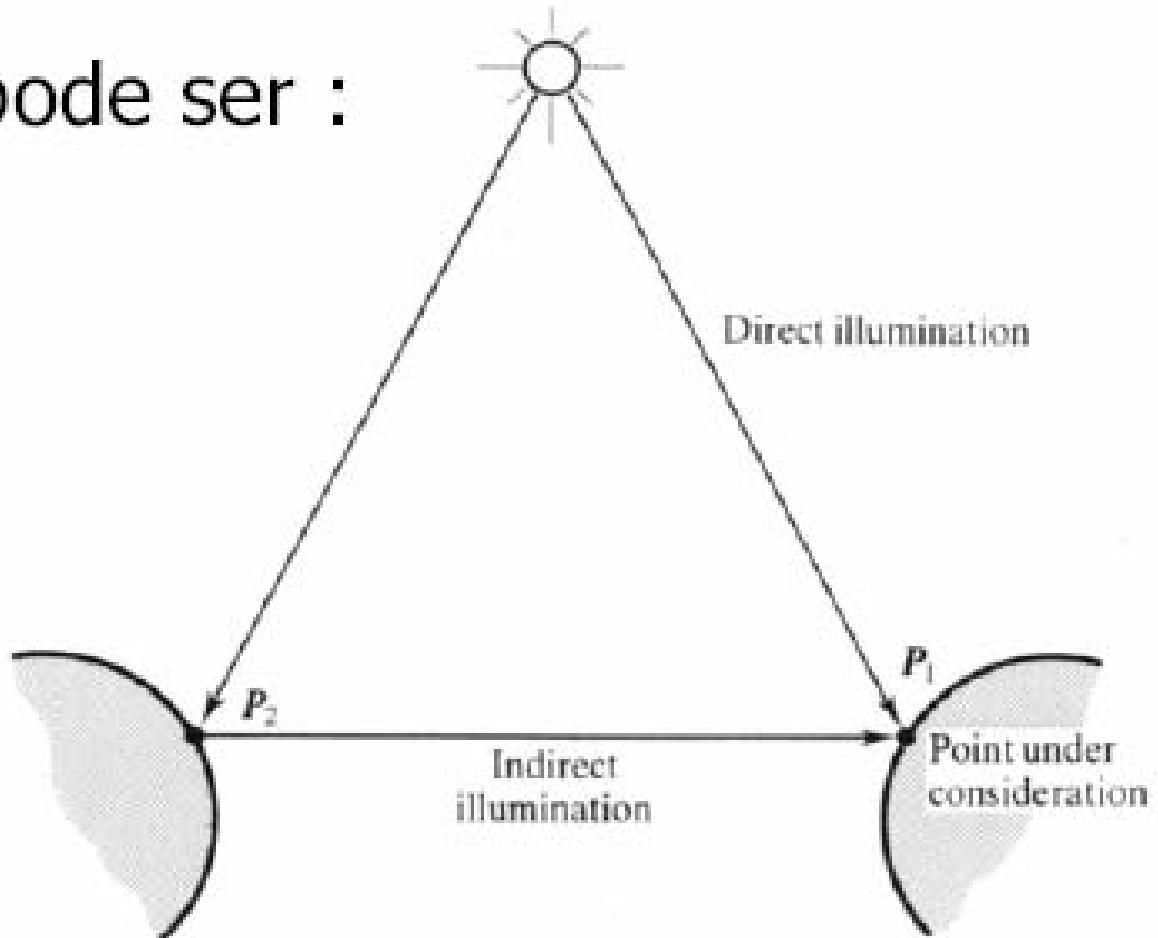
- Porém, não deixaremos de representar a componente de iluminação indireta. Utilizaremos uma aproximação que irá considerar que essa contribuição é uniforme em toda a cena.
- A seguir vamos apresentar os três componentes nos quais o nosso modelo de reflexão local estará baseado.

Modelo de Reflexão

- Porém, não deixaremos de representar a componente de iluminação indireta. Utilizaremos uma aproximação que irá considerar que essa contribuição é uniforme em toda a cena.
- A seguir vamos apresentar os três componentes nos quais o nosso modelo de reflexão local estará baseado.

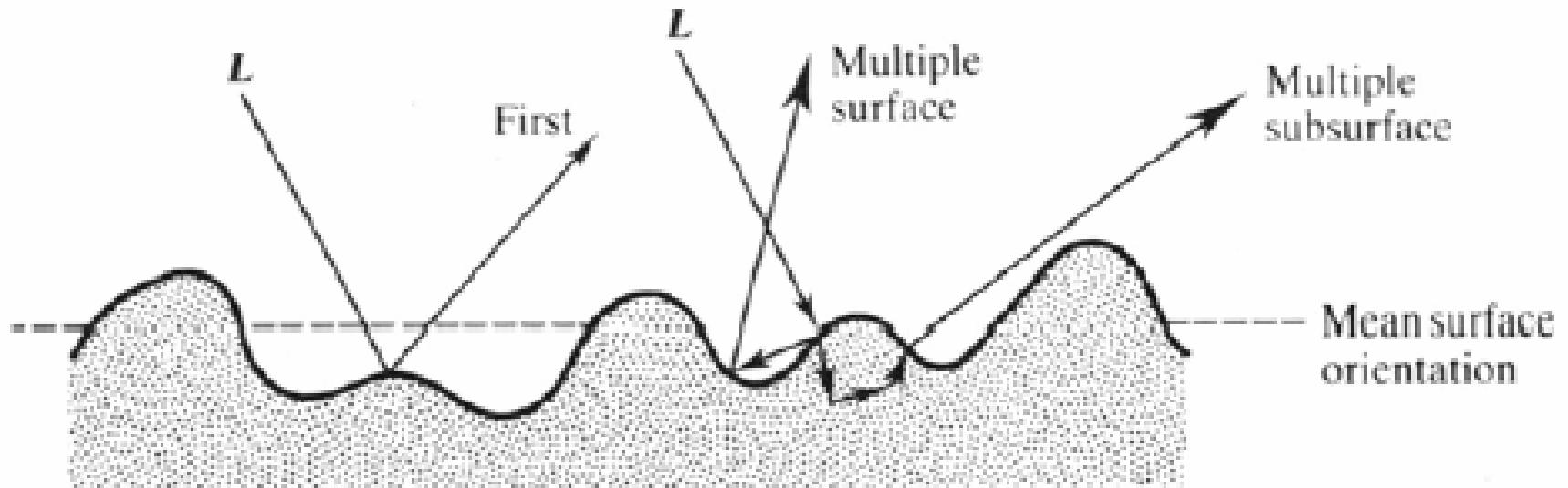
Modelo de Reflexão

- Reflexão pode ser :
 - Direta
 - Indireta



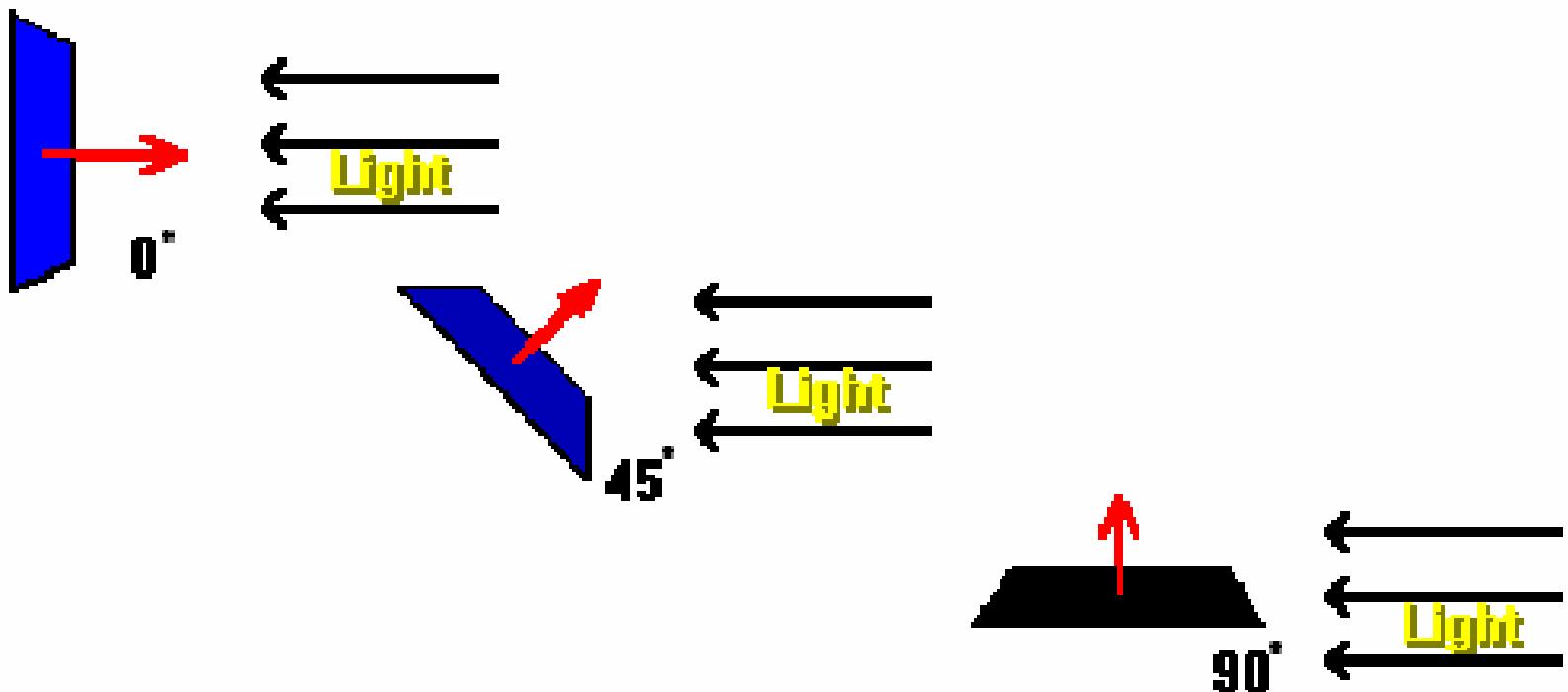
Modelo de Reflexão

- Luz refletida é função :
 - Material do objeto (absorção)
 - Superfície do objeto



Modelo de Reflexão

- Luz refletida é função :
 - Orientação da superfície



Modelo de Reflexão

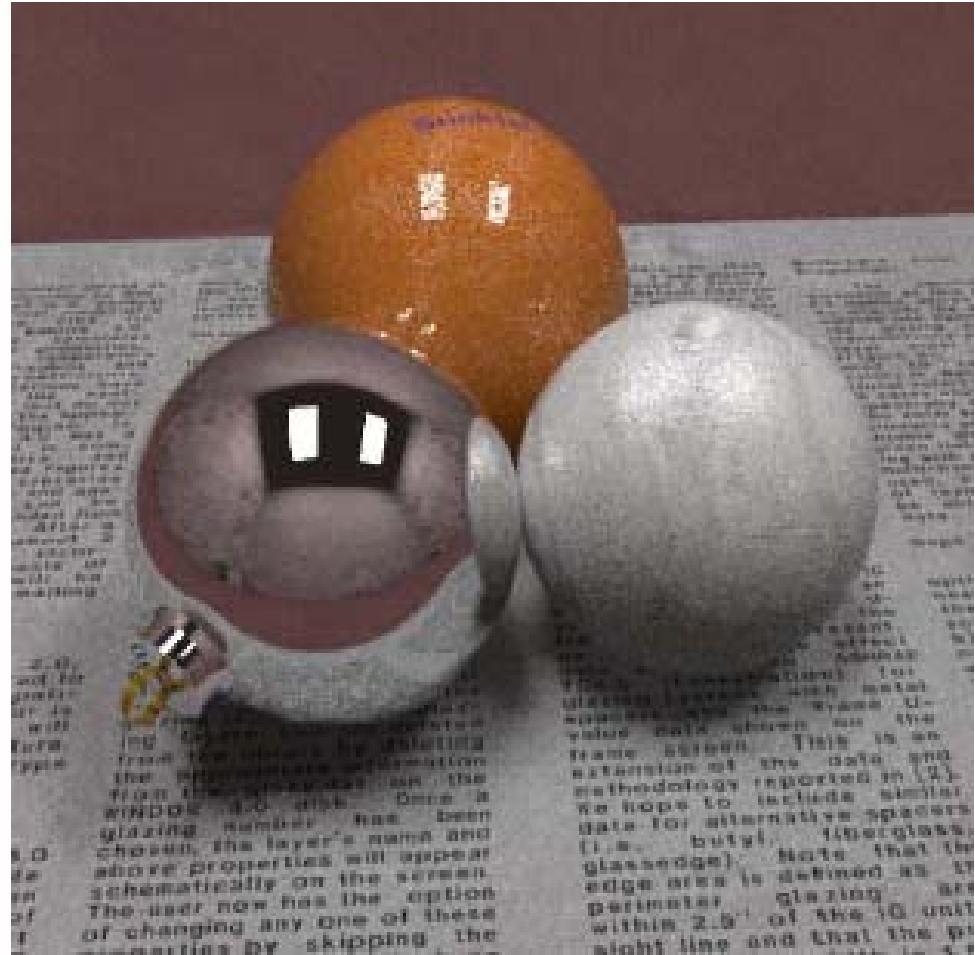
- Quanto a superfície :
 - Espelho perfeito
 - Nenhuma dispersão
 - Predomínio da componente *especular*

Modelo de Reflexão

- Quanto a superfície :
 - Superfícies Lambertianas
 - Dispersão total
 - Predomínio da componente *difusa*
 - Ex: papel, argila, etc

Modelo de Reflexão

- Na maioria dos materiais há mistura das duas componentes



Modelo de Reflexão

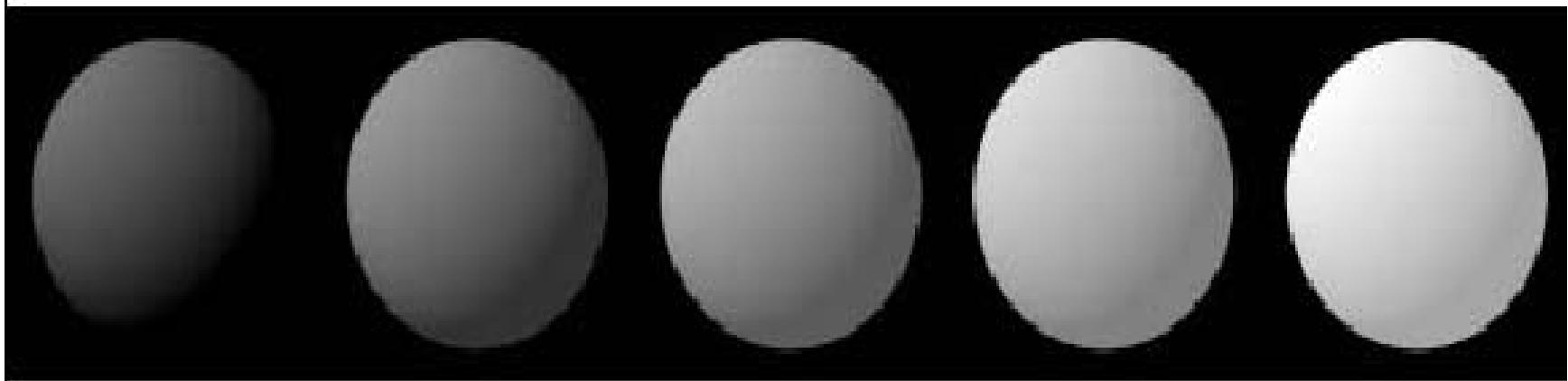
- Quanto a superfície :
 - Superfícies Lambertianas
 - Dispersão total
 - Predomínio da componente *difusa*
 - Ex: papel, argila, etc

Componente Ambiente

- Conforme foi dito anteriormente um objeto pode ser iluminado direta ou indiretamente. Modelar a contribuição indireta de cada objeto da cena pode ser muito custoso.
- No entanto, uma forma simples de aproximar essa contribuição é considerá-la uma constante dentro da cena. Dessa forma iremos calcular uma valor de intensidade luminosa que chega a todos os pontos de todos os objetos da cena de forma idêntica. A essa componente damos o nome de **componente de luz ambiente**, já que está representando a luz dispersa no ambiente, resultado das reflexões entre objetos.

Componente Ambiente

- Simula as reflexões indiretas



Componente Ambiente

- O valor dessa componente é dado pela equação :
 - $I_g = I_a \cdot k_a$
- onde **Ig** é a *intensidade de luz “global” ou indireta* que chega em um dado ponto da superfície do objeto;
- **Ia** é a *intensidade da luz ambiente* da cena e
- **ka** é um valor definido no intervalo [0,1] denominado ***coeficiente de reflexão ambiente***. Essa constante visa atenuar a contribuição da luz ambiente em função do material do objeto. Sua determinação é empírica (visual) e não tem qualquer correspondência com propriedades físicas reais dos materiais.

Componente Ambiente

- A componente ambiente sozinha não tem muita utilidade, já que o seu efeito equivale a aplicação de uma cor constante em todas faces do objeto .
- Sua principal função é, em composição com as demais componentes da luz refletida, permitir que haja alguma intensidade luminosa em locais onde não há incidência direta de luz.

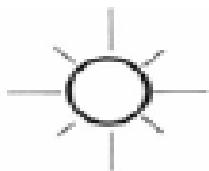
Componente Difusa

- Materiais foscos, sem brilho, como papel, giz, etc são denominados **refletores Lambertianos perfeitos**.
- A principal características desse tipo de material é que ele reflete a luz incidente em todas as direções. Dessa forma não há noção de reflexo.
- Nesse caso, a intensidade de luz refletida um uma direção particular é função apenas da orientação da superfície no ponto a ser analisado.

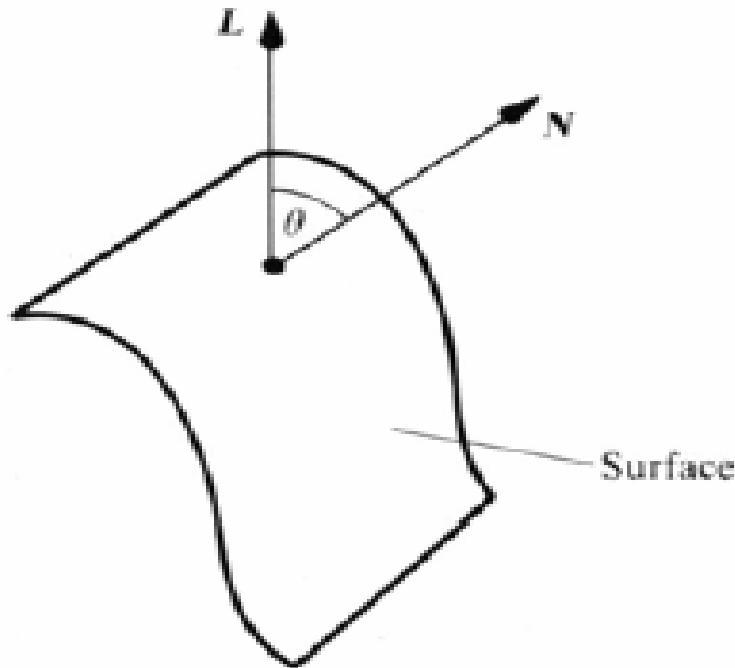
Componente Difusa

- Para definirmos a orientação da superfície em um dado ponto P utilizamos um vetor ortogonal ao plano tangente a superfície em P .
- Esse vetor denominamos ***vetor normal N***, como na figura a seguir
- Nessa mesma figura, temos um raio de luz proveniente de uma fonte pontual, que incide em na superfície de um objeto em um ponto.
- O vetor L , definido com base no ponto da superfície e na posição da fonte de luz, representa a direção do raio de luz incidente.

Componente Difusa



$$\begin{aligned} &= I_i \cdot K_d \cdot \cos(\theta) \\ &= I_i \cdot K_d \cdot (L \cdot N) \end{aligned}$$



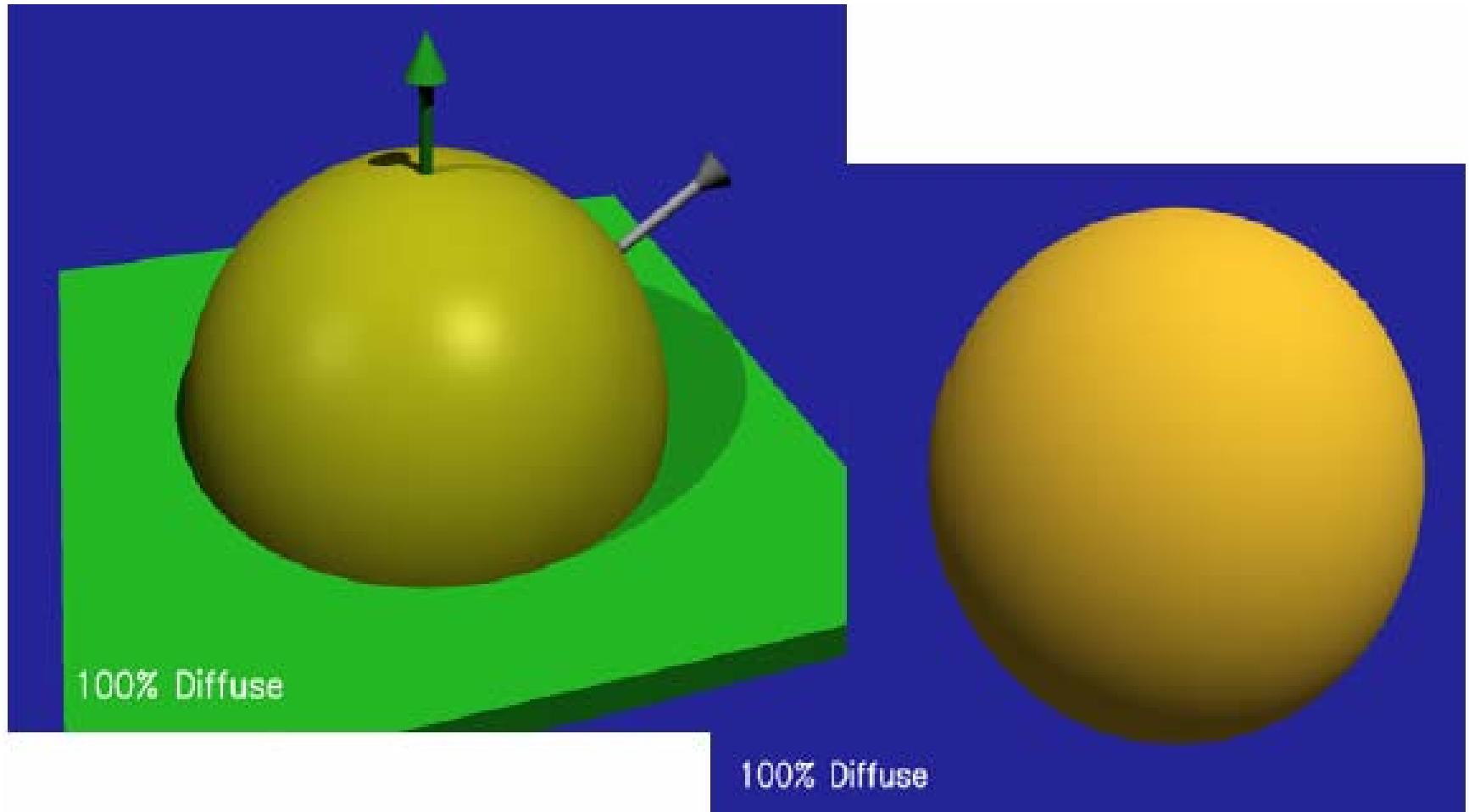
Componente Difusa

- Um resultado básico da óptica geométrica é que a intensidade de luz refletida de forma difusa é proporcional ao angulo que o raio de luz incidente forma com a normal à superfície em um dado ponto. Esse resultado é expresso pela ***lei de Lambert*** :
 - $I_d = I_i \cdot k_d \cdot \cos(\theta)$ (1)
 - Onde :
 - I_d é a intensidade da luz refletida,
 - I_i é a intensidade da luz incidente,
 - θ é o ângulo que o vetor normal faz com a direção do raio de luz incidente e
 - k_d é uma constante com valores no intervalo [0,1].

Componente Difusa

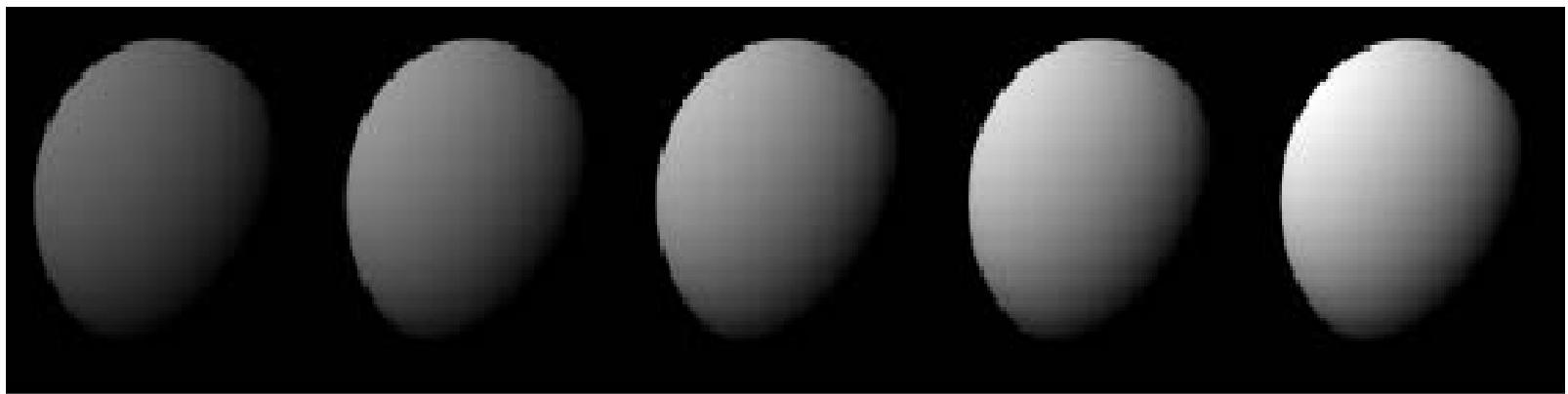
- O valor de k_d é uma constante definida em função de cada tipo de material. A influência da constante k_d em uma imagem pode ser vista na figura a seguir.
- Uma forma de aumentar a velocidade do cálculo da componente difusa é substituir o termo $\cos(\theta)$ por um produto escalar dos vetores L e N . Como sabemos o produto escalar é dado pela expressão :
 - $L \cdot N = |L| \cdot |N| \cdot \cos(\theta)$
- Como os dois vetores L e N podem ser considerados unitários temos que :
 - $\cos(\theta) = L \cdot N$
- Dessa forma podemos reescrever (1) como :
 - $I_d = I_i \cdot k_d \cdot (L \cdot N) \quad (2)$
- O produto escalar pode ser feito através de operações de soma e produto, enquanto que a função \cos em geral é implementada através de uma expansão de uma série, que é bem mais custoso que o produto escalar.

Componente Difusa



Componente Difusa

- Esferas iluminadas a partir da aplicação da equação (2). Para todas as esferas o valor de $I_i=1.0$. Da esquerda para a direita os valores de k_d são respectivamente 0.4, 0.55, 0.7, 0.85 e 1.0. (Foley et al.)

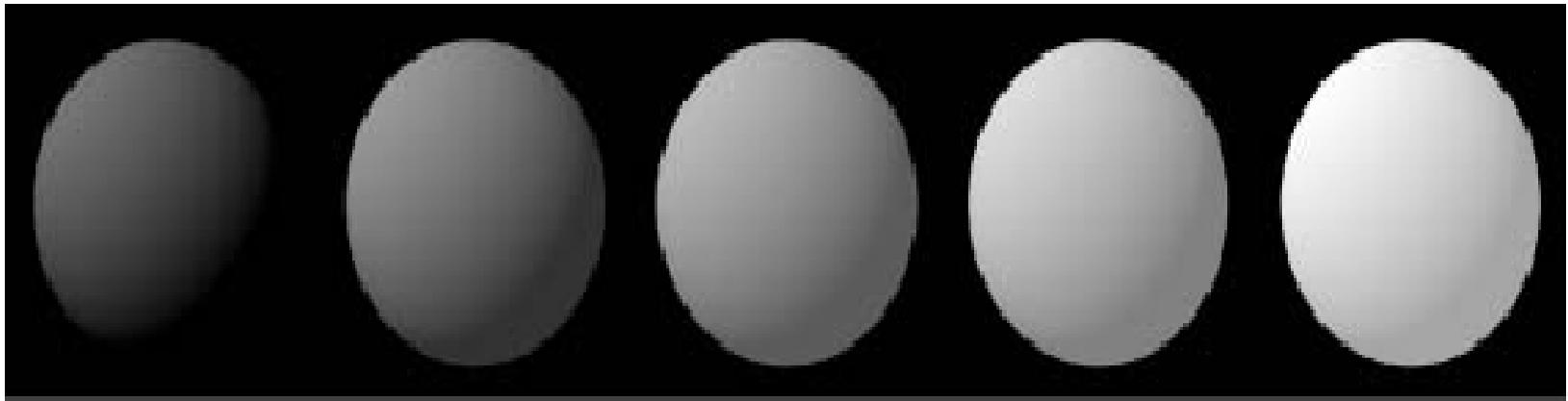


Componente Difusa

- Na figura a seguir podemos ver o efeito da composição das duas componentes definidas até o momento : ambiente e difusa. Na esfera mais à esquerda, onde temos somente a componente difusa, podemos observar que a região posterior da esfera, que não recebe iluminação direta, fica completamente escura. Conforme a componente ambiente é aumentada essa região passa a receber iluminação.
- Vale lembrar novamente que o nosso objetivo (por enquanto) não é construir um modelo rigoroso do ponto de vista da física envolvida na iluminação de um objeto ou cena. Queremos obter um modelo o mais simples possível, mas que seja visualmente aceitável, ou seja, o resultado final visual seja capaz de “enganar” o olho humano e dar a este a sensação de estar vendo algo próximo da realidade. E nesse sentido nosso modelo para a representação da componente difusa da luz refletida ainda apresenta uma falha.

Componente Difusa

- Esferas iluminadas com as componentes difusa e ambiente. Para todas as esferas temos $I_g=I_d=1.0$ e $k_d=0.4$. Da esquerda para a direita temos os valores de ka assumindo os valores 0.0, 0.15, 0.30, 0.45 e 0.60 respectivamente. (Foley et al.)

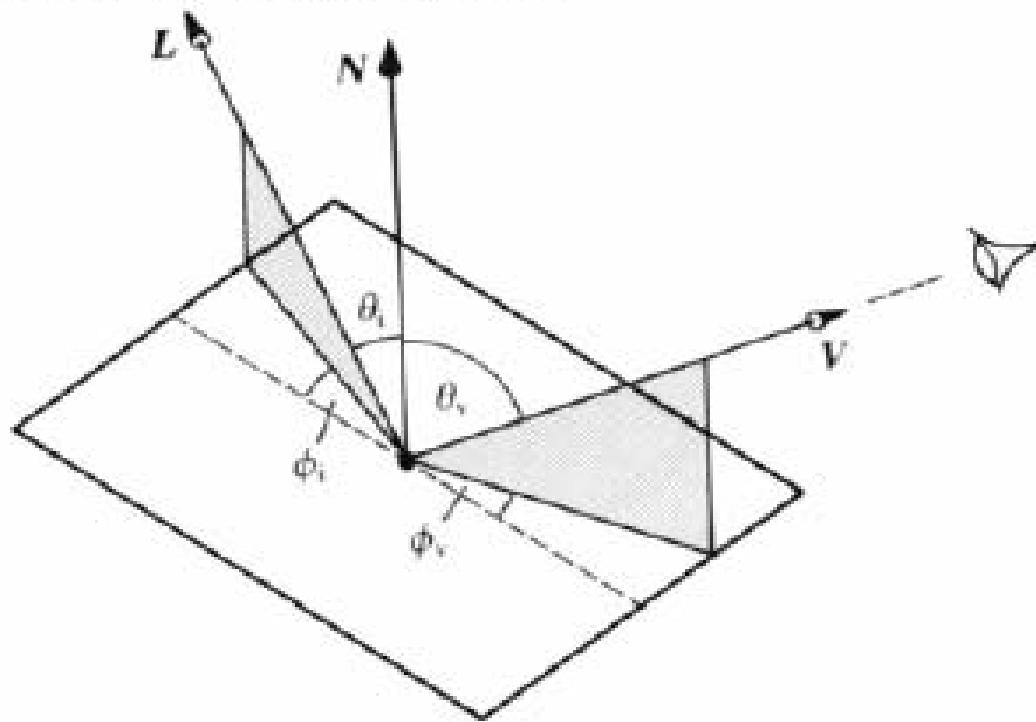


Componente Difusa

- Na figura a seguir podemos ver o efeito da composição das duas componentes definidas até o momento : ambiente e difusa. Na esfera mais à esquerda, onde temos somente a componente difusa, podemos observar que a região posterior da esfera, que não recebe iluminação direta, fica completamente escura. Conforme a componente ambiente é aumentada essa região passa a receber iluminação.
- Vale lembrar novamente que o nosso objetivo (por enquanto) não é construir um modelo rigoroso do ponto de vista da física envolvida na iluminação de um objeto ou cena. Queremos obter um modelo o mais simples possível, mas que seja visualmente aceitável, ou seja, o resultado final visual seja capaz de “enganar” o olho humano e dar a este a sensação de estar vendo algo próximo da realidade. E nesse sentido nosso modelo para a representação da componente difusa da luz refletida ainda apresenta uma falha.

Modelo de Reflexão

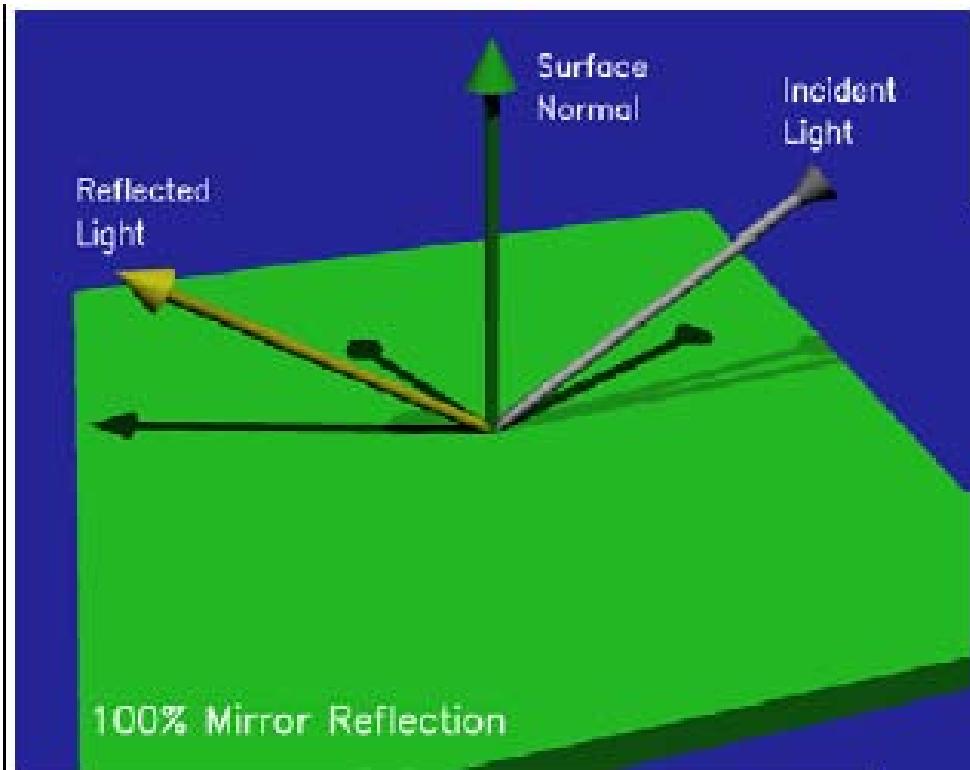
- Para superfícies perfeitamente especulares :
 - incidencia° = reflexão °



Componente Especular

- Certos materiais ao invés de refletir a luz incidente em todas as direções – como as superfícies Lambertianas – refletem a luz em uma única direção. Esse tipo de superfície é chamada de **“espelho perfeito”**.
- A componente de luz refletida nesse caso é dita **especular**.
- Superfícies que possuem componente especular, mas não são espelhos perfeitos refletem a luz segundo uma direção preferencial. Nessa direção temos a intensidade de luz refletida (de forma especular) máxima.
- Conforme nos afastamos dessa direção, a intensidade de luz refletida especular diminui.

Componente Especular

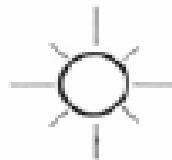


100% Mirror reflection.

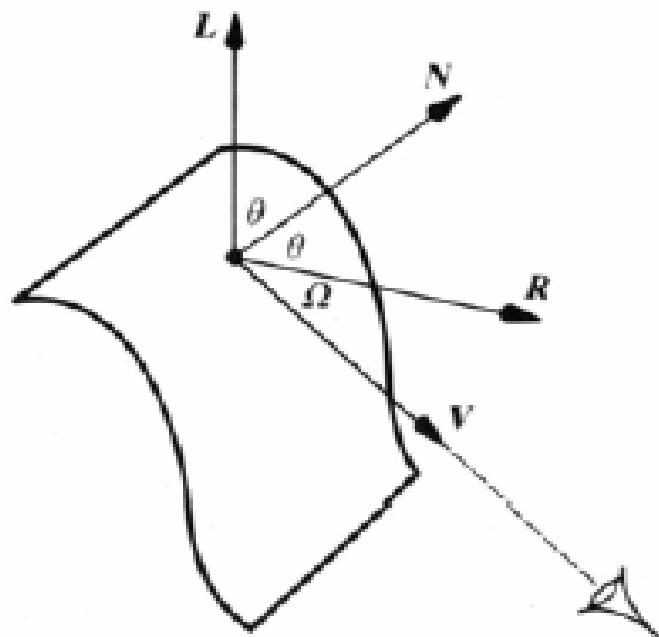
Componente Especular

- Como essa componente define uma direção na qual os raios de luz refletidos seguem, devemos levar em consideração a posição do observador no cálculo da sua intensidade.
- Considere a figura a seguir. Da óptica geométrica temos que o **angulo de incidência** (θ_i , formado pelos vetores L e N), deve ser igual ao **angulo de reflexão** (formado pelos vetores R e N). Portanto com esse resultado podemos calcular qual será a direção em que a luz refletida especular será máxima.

Componente Especular



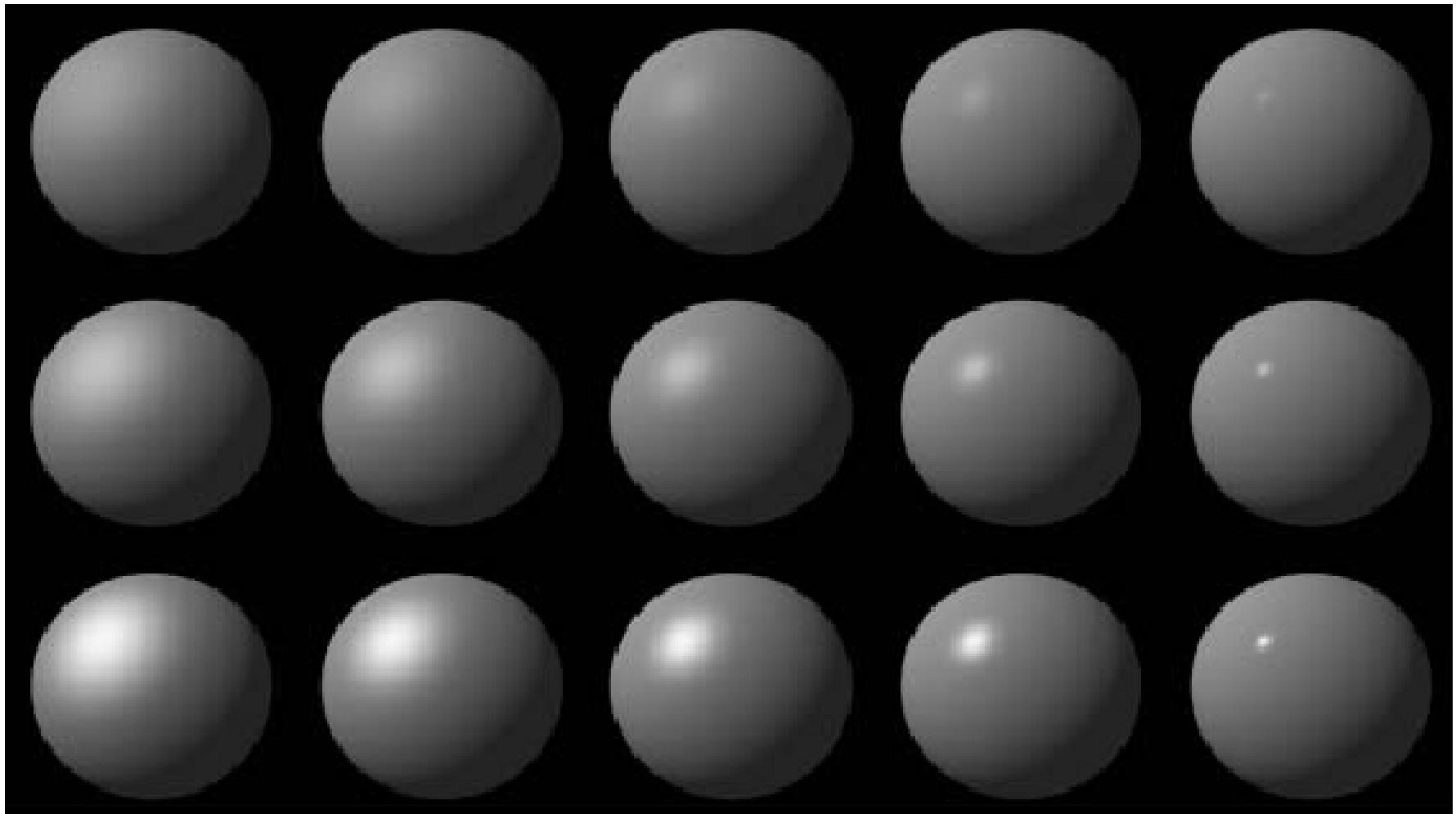
$$I_e = I_i \cdot K_e \cdot \cos^n(\Omega)$$
$$= I_i \cdot K_e \cdot (R \cdot V)^n$$



Componente Especular

- No entanto o que precisamos saber é, em relação a essa direção máxima, onde se localiza o observador. Na figura 107 podemos ver que essa medida será dada pelo angulo Ω (definido pelos vetores R e V). Quanto maior o valor de Ω menor será a intensidade da componente especular na direção V do observador.
- A expressão matemática que representa esse modelo é dada por :
 - $I_e = I_i \cdot k_e \cdot \cos^n(\Omega)$ (4)
- O valor de k_e , a semelhança de k_d no modelo de reflexão difusa, é uma constante definida em função de cada tipo de material. Podemos observar o efeito de sua variação na figura a seguir – em cada linha o valor de k_e é constante .

Componente Especular

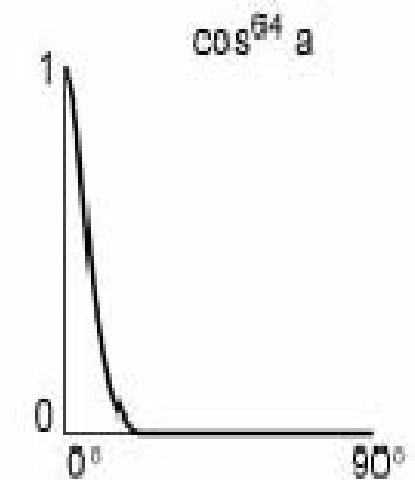
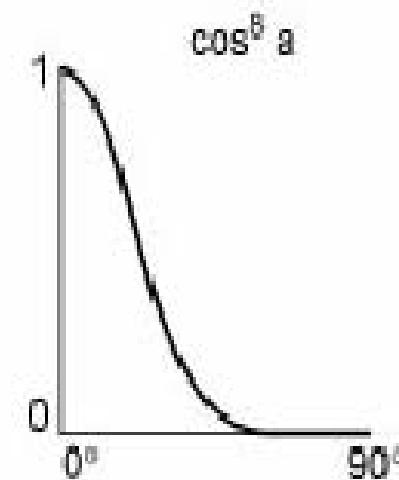
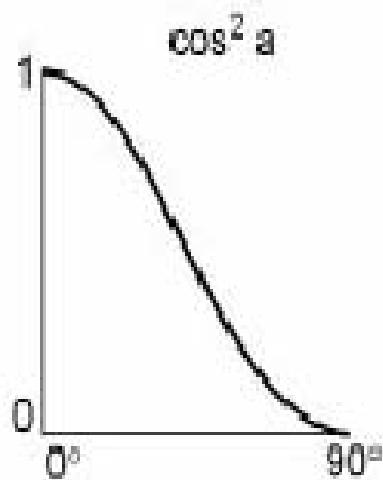
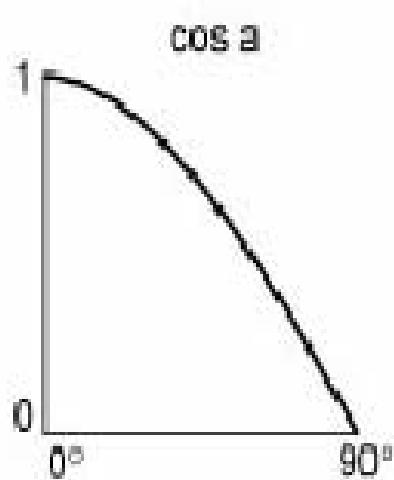


Componente Especular

- Tal como foi feito para a componente difusa, podemos substituir o termo $\cos^n(\Omega)$ pelo produto escalar dos vetores R e V . Dessa forma a expressão da luz refletida pode ser escrita como :
 - $I_e = I_i \cdot k_e \cdot (R \cdot V)^n \quad (5)$
- A função do expoente n associado ao $\cos(\Omega)$ é produzir o efeito de atenuação da intensidade da luz refletida. Analisando o comportamento da função \cos em relação ao expoente n temos os gráficos da figura a seguir.
- Podemos observar que quanto maior o expoente mais rapidamente o valor da função tende a zero.

Componente Especular

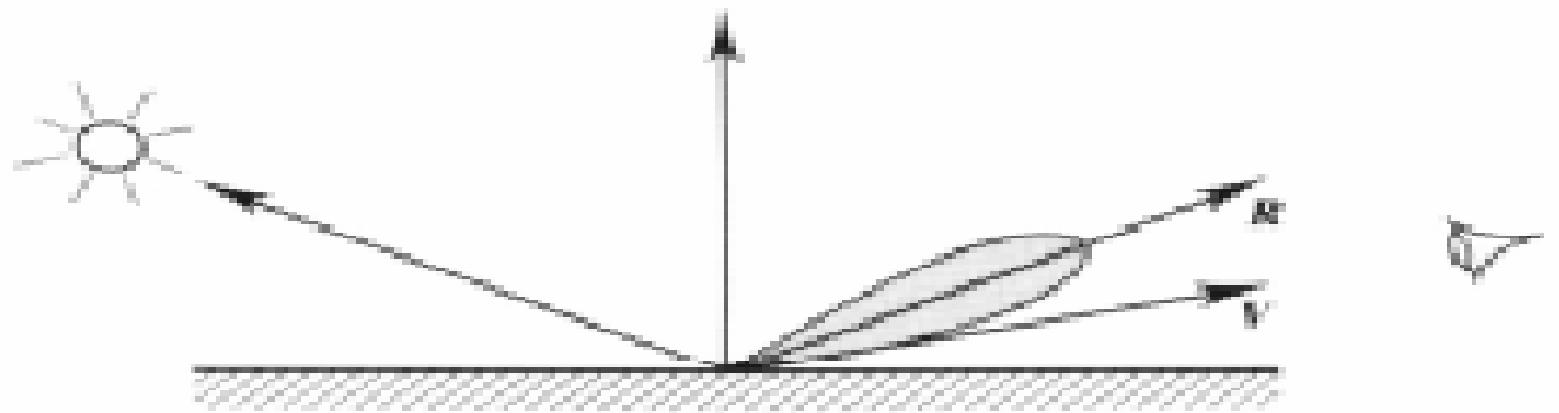
- Variação do expoente n :



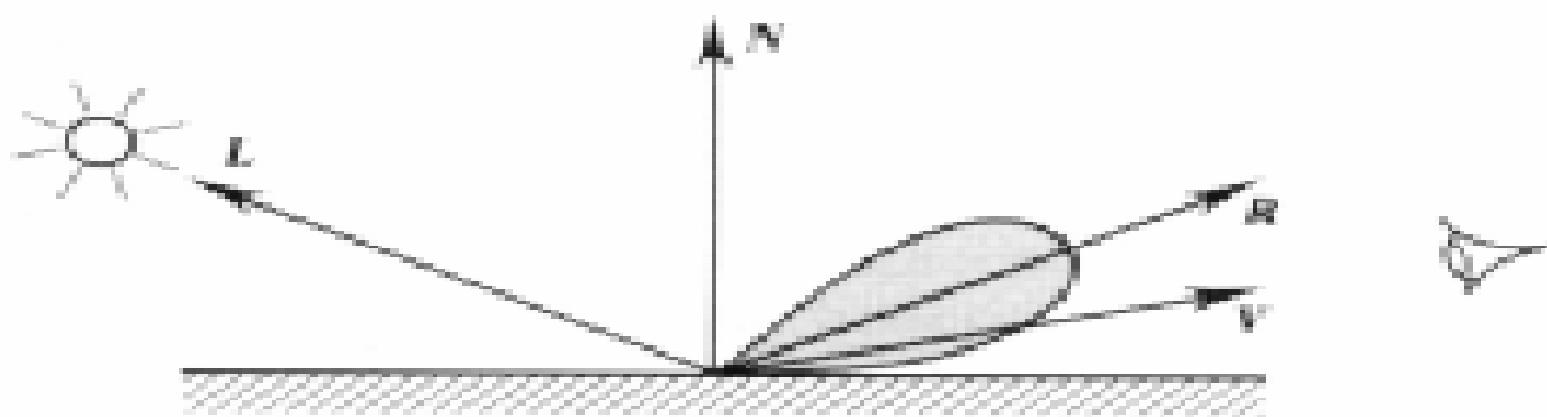
Componente Especular

- O efeito que esse expoente produz na avaliação da componente refletida especular pode ser visto na figura a seguir.
- Quanto maior o expoente mais rápido a intensidade da luz refletida especular diminui, conforme o observador se afasta da direção de reflexão especular máxima.
- Na figura “a” temos um valor de n maior que na figura “b”.

Componente Especular



(a)



(b)

Componente Especular

- O efeito que esse expoente produz na avaliação da componente refletida especular pode ser visto na figura a seguir.
- Quanto maior o expoente mais rápido a intensidade da luz refletida especular diminui, conforme o observador se afasta da direção de reflexão especular máxima.
- Na figura “a” temos um valor de n maior que na figura “b”.

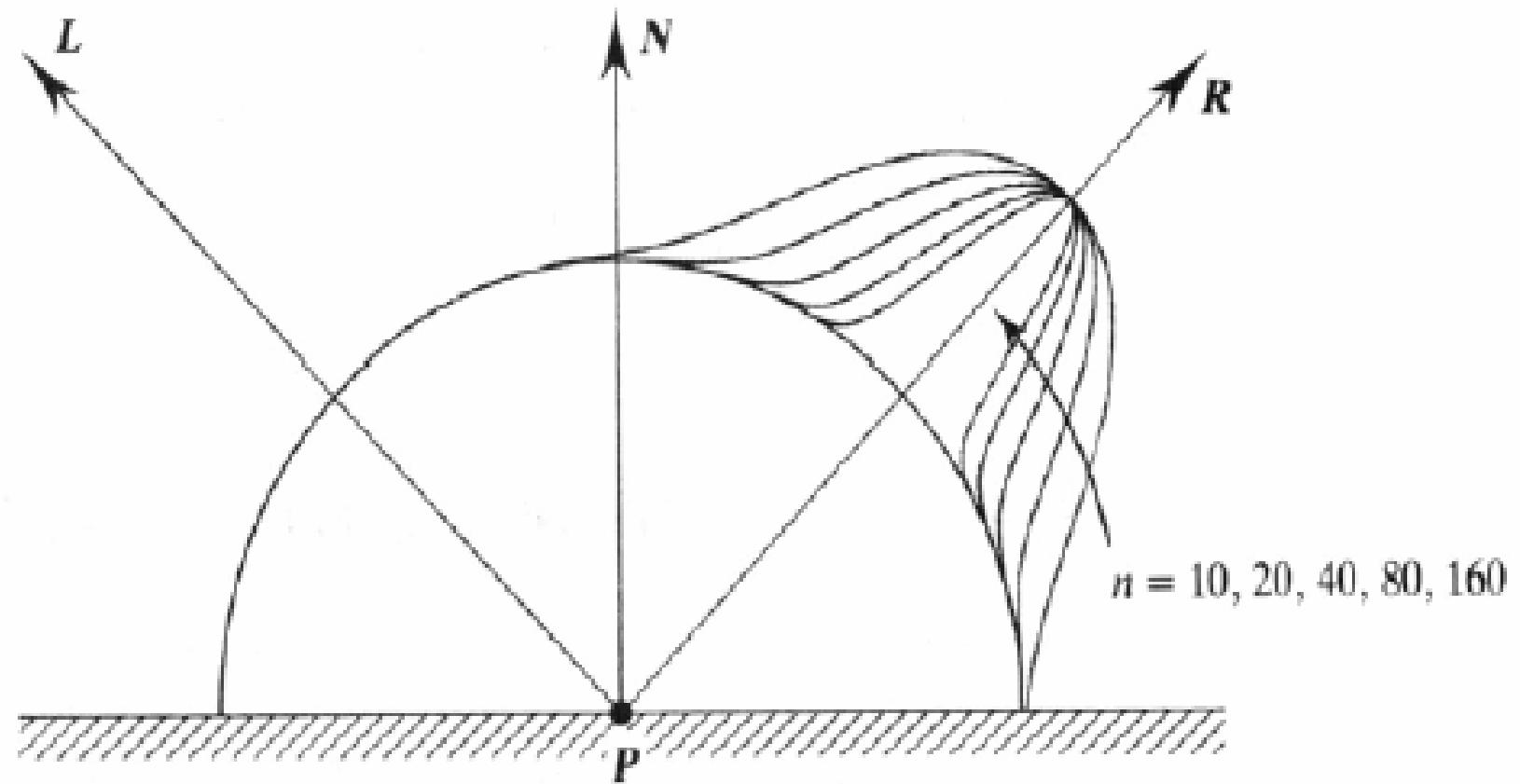
Composição das Componentes

- Uma vez definidos os componentes do nosso modelo de reflexão, temos agora que compo-los. Dessa forma teremos um modelo geral para o cálculo da intensidade da luz refletida. Esse modelo composto foi primeiro proposto por *Phong* e por isso é usualmente denominado **modelo de reflexão de Phong**.
- Dada uma fonte de luz de intensidade I_i o valor da intensidade refletida I_r , será dado pela composição das componentes difusa, especular e ambiente, ou seja :
 - $I_r = I_g + I_d + I_e = I_a \cdot k_a + I_i (k_d \cdot \cos(\theta) + k_e \cdot \cos^n(\Omega)) \quad (6)$

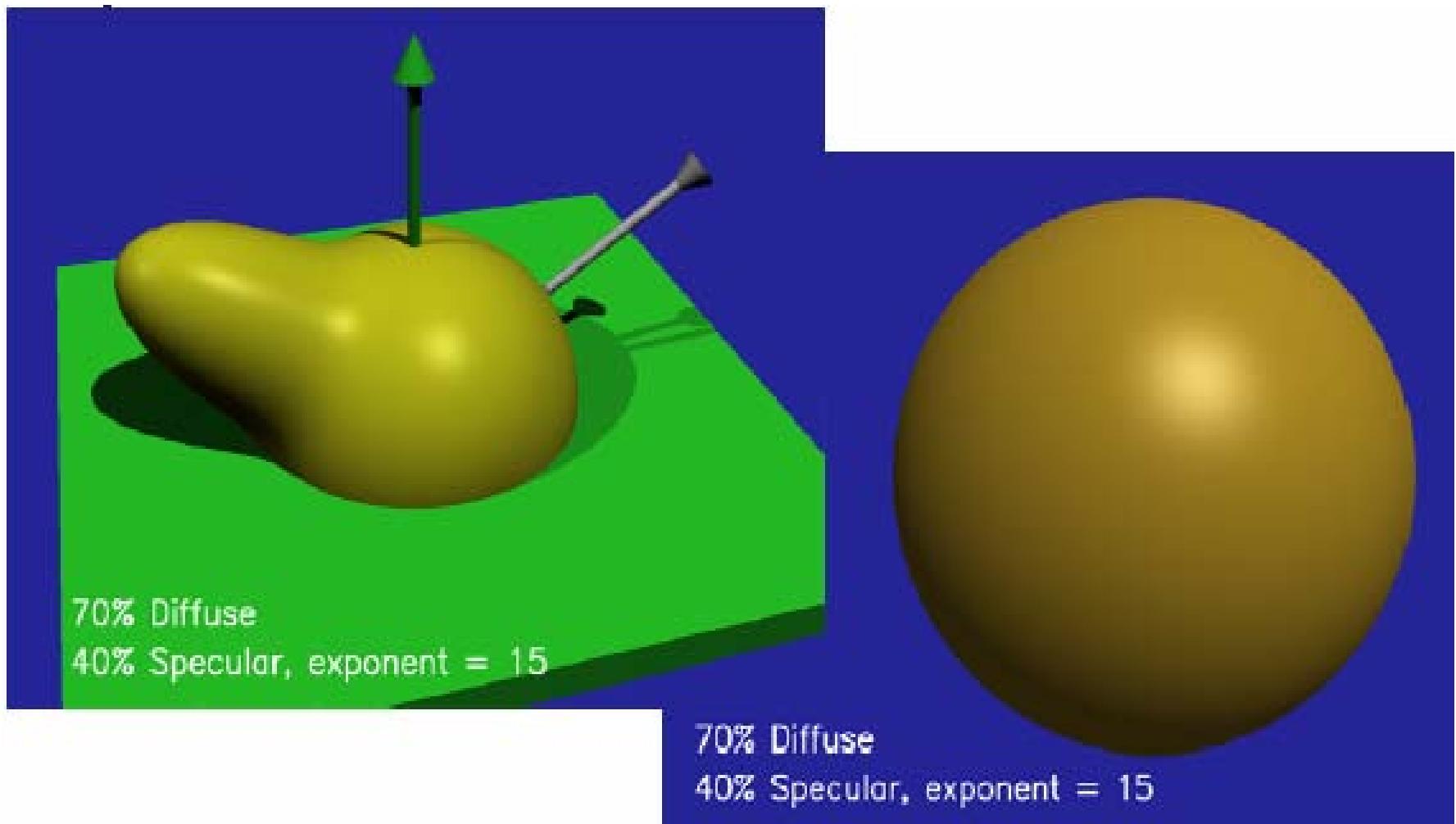
Composição das Componentes

- O gráfico da função que representa a distribuição da intensidade de luz refletida a partir de um ponto P , dado um raio de luz incidente na direção L , pode ser visto na figura a seguir.
- Nesse gráfico temos de forma clara a composição da reflexão difusa com a especular. Quanto mais afastado um observador estiver da direção de reflexão especular máxima maior a tendência a componente difusa ser predominante. Nessa figura podemos ver novamente o efeito do expoente n na variação dessa função.
- A participação da luz ambiente só faz com que o gráfico seja “expandido”, já que sua contribuição é constante em todas as direções em todos os pontos.

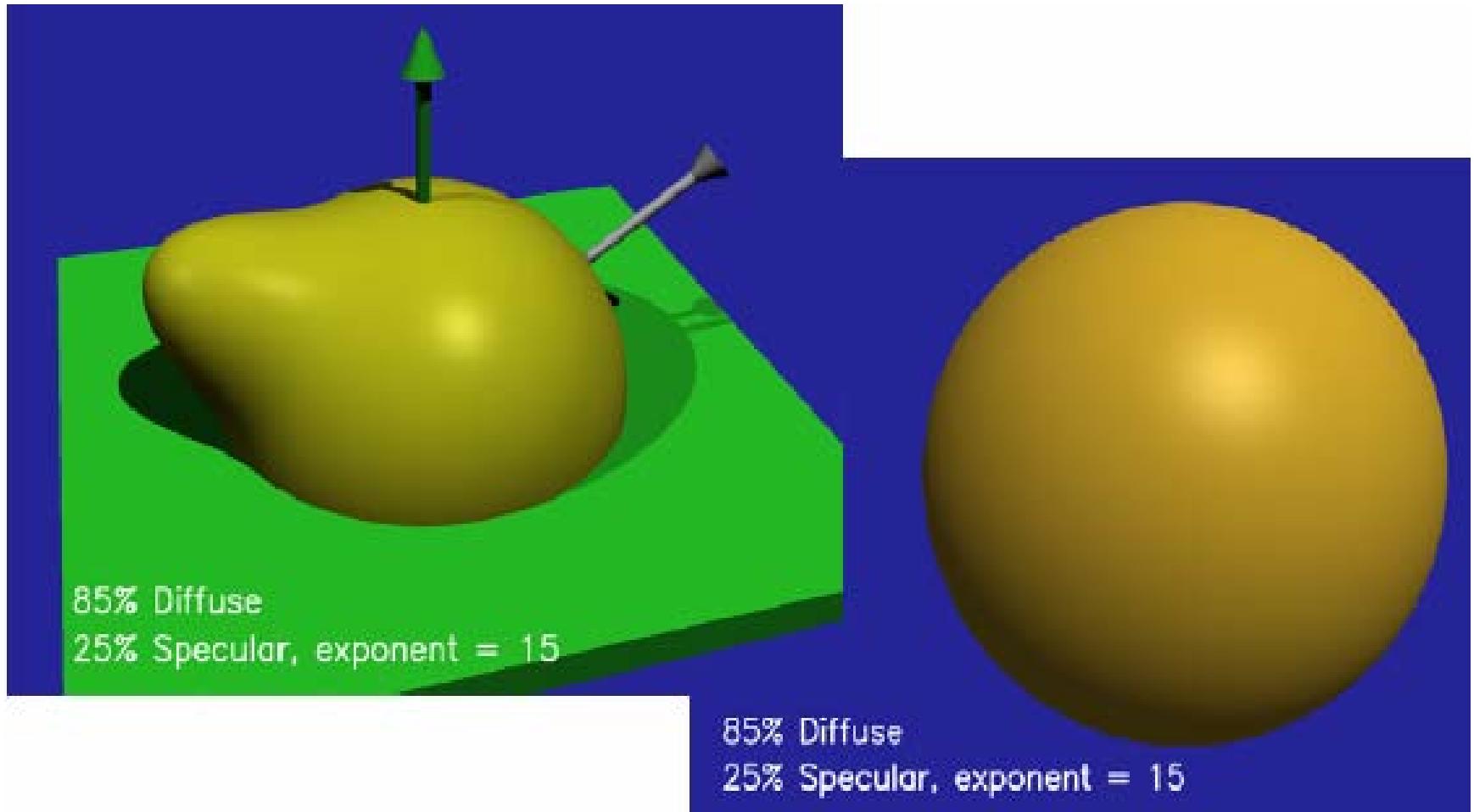
Componente Especular e Difusa



Componente Especular e Difusa

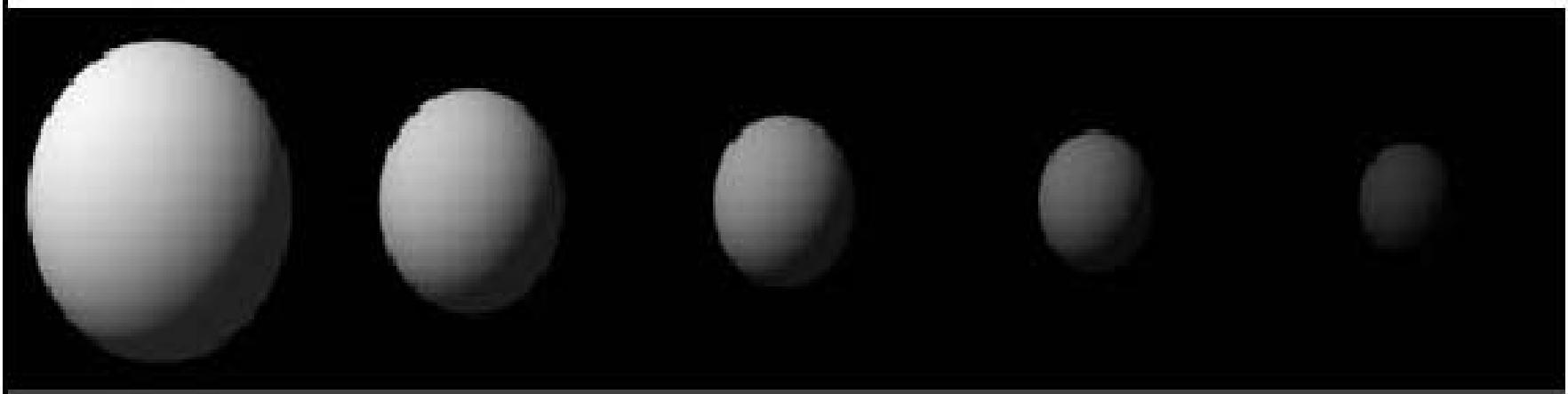


Componente Especular e Difusa



Atenuação

- A intensidade luminosa de uma fonte se torna mais fraca quanto maior sua distância ao objeto



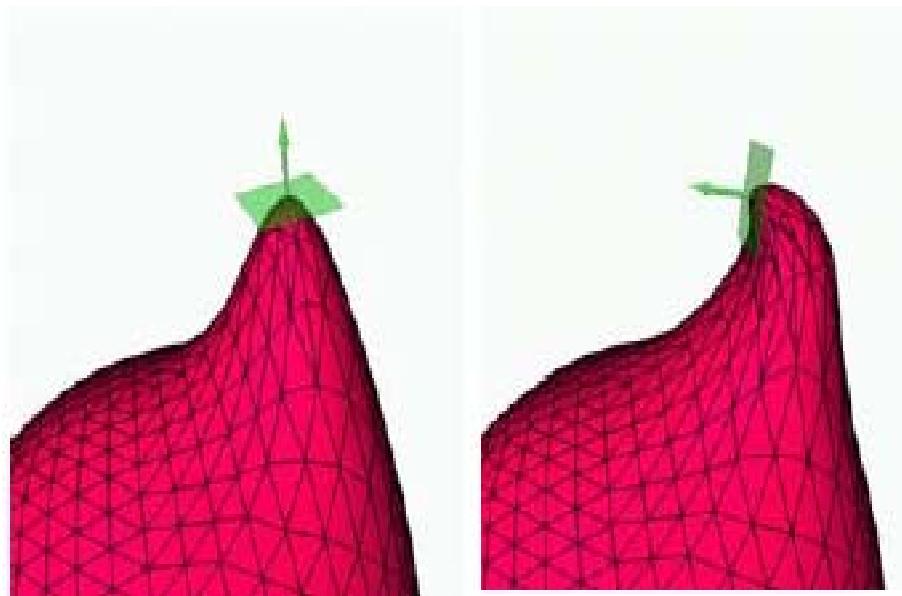
Iluminação em OpenGL

■ Passos básicos :

- 1. Preparar os objetos para “reagirem” a iluminação
 - Calcular os vetores normais em cada vértice de cada objeto
 - Definir as propriedades do material de cada objeto
- 2. Criar, selecionar e posicionar as fontes de luz
- 3. Criar e selecionar o modelo de iluminação a ser utilizado

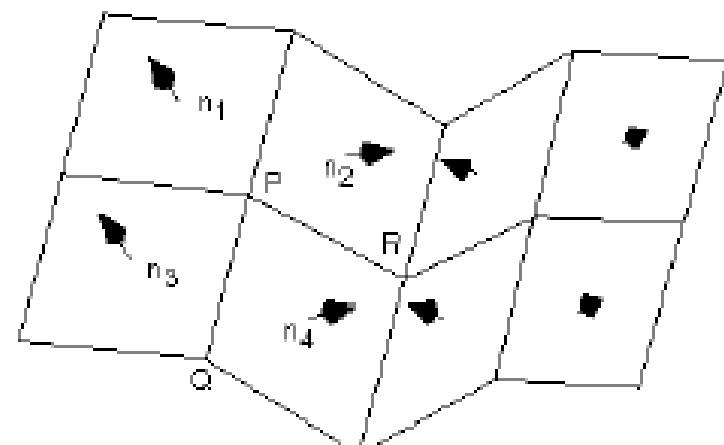
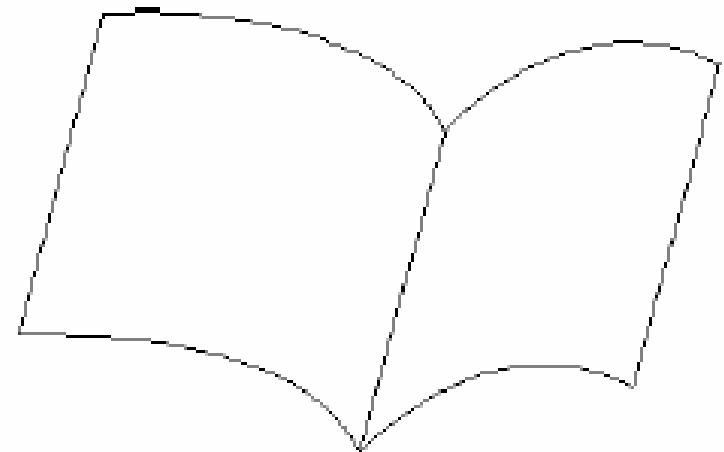
Iluminação em OpenGL

- Calculo das normais :
 - Algébrico
 - Derivada da superfície em um ponto -> gradiente



Iluminação em OpenGL

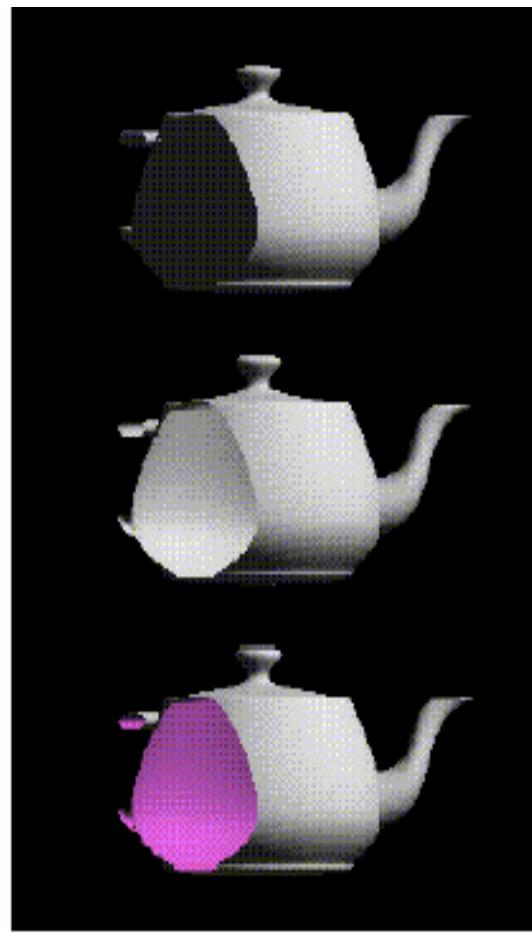
- Calculo das normais :
 - Aproximado
 - Média das normais em cada face (planos)
- `glNormal3f(Nx, Ny, Nz);`



Iluminação em OpenGL

- Definição do material
 - `void glMaterial{if}(GLenum face, GLenum pname, TYPE param);`
 - `void glMaterial{if}v(GLenum face, GLenum pname, TYPE *param);`
 - Face
 - `GL_FRONT_AND_BACK`
 - `GL_FRONT`
 - `GL_BACK`
 - Pname
 - `GL_AMBIENT`
 - `GL_DIFFUSE`
 - `GL_AMBIENT_AND_DIFFUSE`
 - `GL_SPECULAR`
 - `GL_SHININESS`
 - `GL_EMISSION`
 - `GL_COLOR_INDEXES`

glMaterial



Iluminação em OpenGL

- Criação da fonte de luz
 - Pode tratar no mínimo 8 fontes
 - GL_LIGHT0, ..., GL_LIGHT8, ...
 - glEnable(GL_LIGHTING)
 - Habilita o uso de iluminação
 - glEnable(GL_LIGHT0)
 - “Acende” a fonte de luz 0

Iluminação em OpenGL

- Criação da fonte de luz
 - Pode tratar no mínimo 8 fontes
 - GL_LIGHT0, ..., GL_LIGHT8, ...
- glEnable(GL_LIGHTING)
 - Habilita o uso de iluminação
- glEnable(GL_LIGHT0)
 - “Acende” a fonte de luz 0

Iluminação em OpenGL

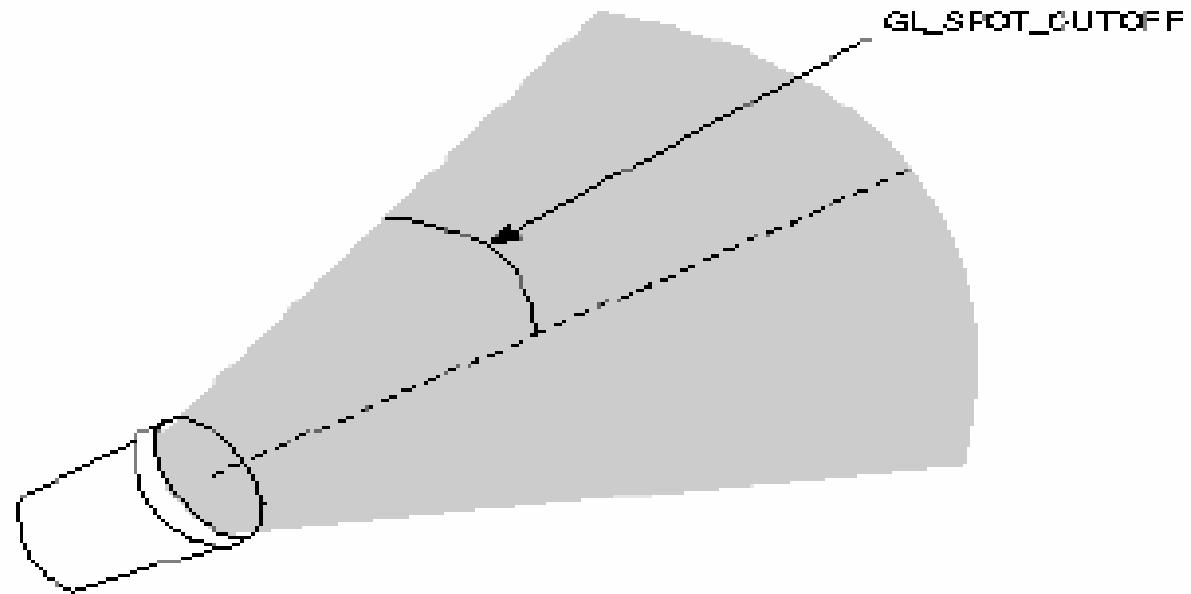
- Definição da fonte de luz
 - `void glLight{if}(GLenum face, GLenum pname, TYPE param);`
 - `void glLight{if}v(GLenum face, GLenum pname, TYPE *param);`
 - Face
 - `GL_FRONT_AND_BACK`
 - `GL_FRONT`
 - `GL_BACK`
 - Pname
 - `GL_AMBIENT`
 - `GL_DIFFUSE`
 - `GL_SPECULAR`
 - `GL_POSITION`
 - `GL_CONSTANT_ATTENUATION`
 - `GL_LINEAR_ATTENUATION`
 - `GL_QUADRATIC_ATTENUATION`
 - `GL_SPOT_DIRECTION`
 - `GL_SPOT_EXPONENT`
 - `GL_SPOT_CUTOFF`

Poição da Fonte de Luz

- Definida por um vetor em coordenadas homogeneas (4D)
 - 4a coordenada w define o tipo de fonte
 - Posicional ($w \neq 0$)
 - Direcional ($w=0$)

Fonte Spot

- Ângulo de “corte”
 - $0..90 \Rightarrow$ spot
 - $180 \Rightarrow$ não é spot (default)



Exemplo 1

```
■ #include <GL/gl.h>
■ #include <GL/glu.h>
■ #include <GL/glut.h>
■ void init(void)
■ {
    GLfloat mat_specular[] = { 1.0, 1.0, 1.0, 1.0 };
    ■ GLfloat mat_shininess[] = { 50.0 };
    ■ GLfloat light_position[] = { 1.0, 1.0, 1.0, 0.0 };
    ■ glClearColor (0.0, 0.0, 0.0, 0.0);
    ■ glShadeModel (GL_SMOOTH);
    ■ glMaterialfv(GL_FRONT, GL_SPECULAR, mat_specular);
    ■ glMaterialfv(GL_FRONT, GL_SHININESS, mat_shininess);
    ■ glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION, light_position);
    ■ glEnable(GL_LIGHTING);
    ■ glEnable(GL_LIGHT0);
    ■ glEnable(GL_DEPTH_TEST);
■ }
```

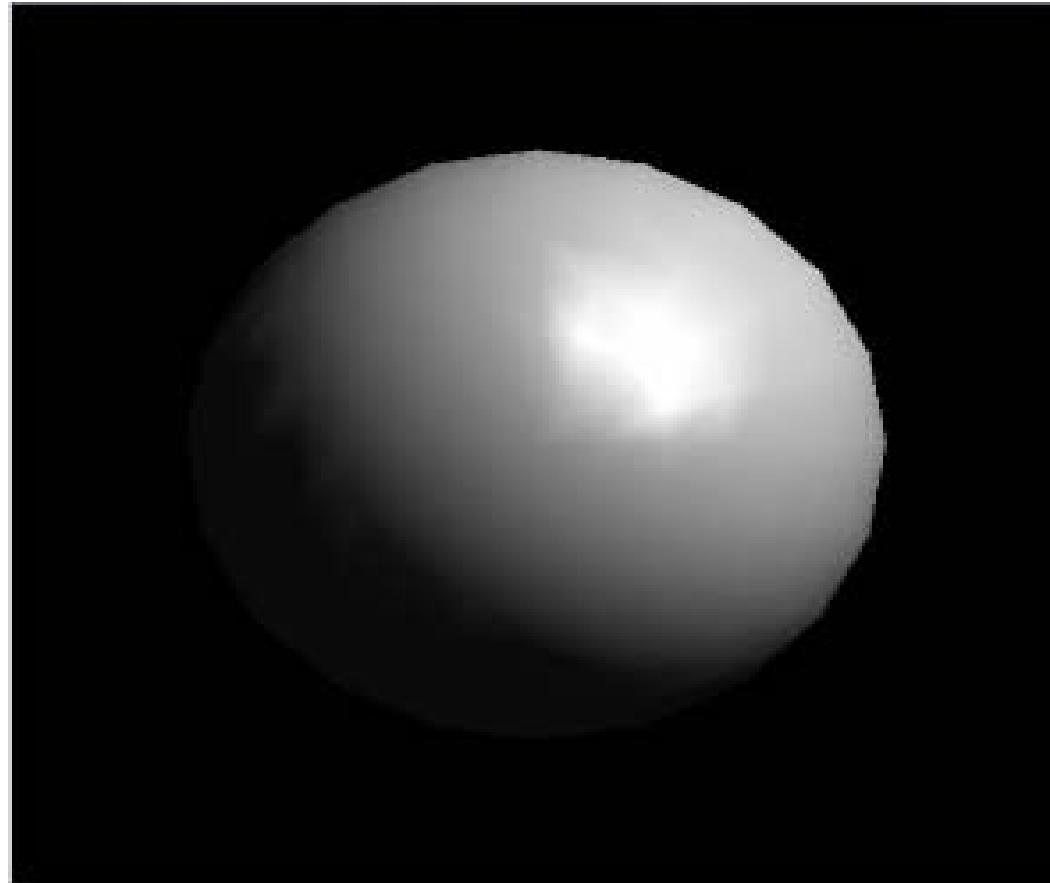
Exemplo 1

```
■ void display(void)
■ {
■     glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
■     glutSolidSphere (1.0, 20, 16);
■     glFlush ();
■ }
■ void reshape (int w, int h)
■ {
■     glViewport (0, 0, (GLsizei) w, (GLsizei) h);
■     glMatrixMode (GL_PROJECTION);
■     glLoadIdentity();
■     if (w <= h)
■         glOrtho (-1.5, 1.5, -1.5*(GLfloat)h/(GLfloat)w,
■                 1.5*(GLfloat)h/(GLfloat)w, -10.0, 10.0);
■     else
■         glOrtho (-1.5*(GLfloat)w/(GLfloat)h,
■                 1.5*(GLfloat)w/(GLfloat)h, -1.5, 1.5, -10.0, 10.0);
■     glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
■     glLoadIdentity();
■ }
```

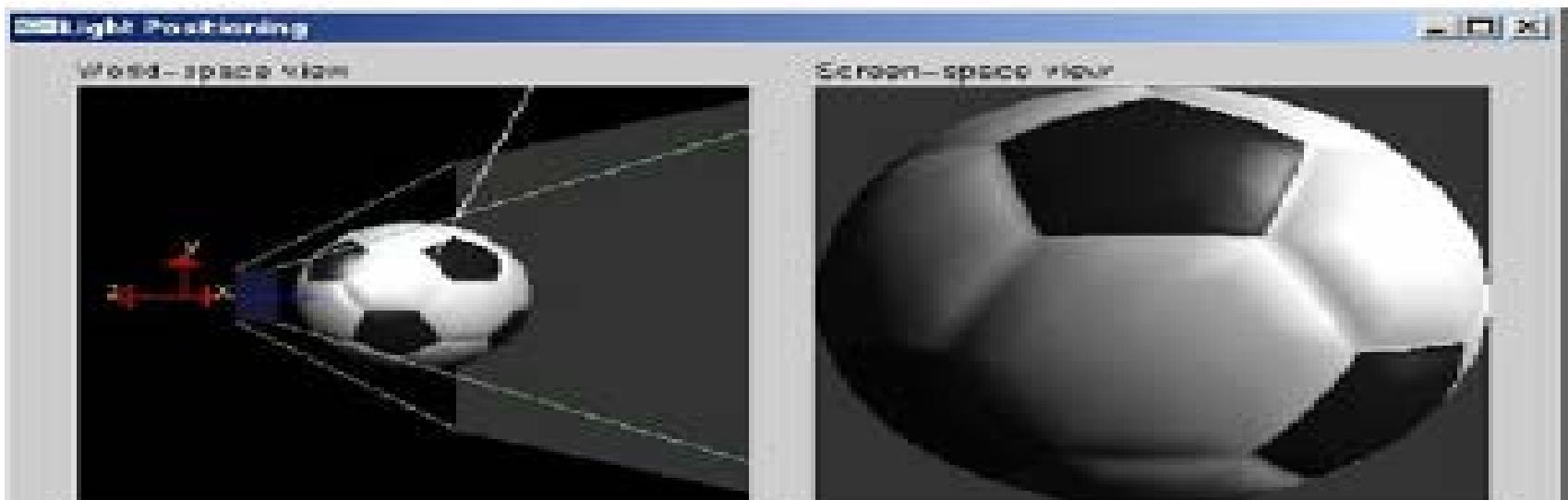
Exemplo 1

```
■ int main(int argc, char** argv)
■ {
■     glutInit(&argc, argv);
■     glutInitDisplayMode (GLUT_DOUBLE | GLUT_RGB | GLUT_DEPTH);
■     glutInitWindowSize (500, 500);
■     glutInitWindowPosition (100, 100);
■     glutCreateWindow (argv[0]);
■     init ();
■     glutDisplayFunc(display);
■     glutReshapeFunc(reshape);
■     glutMainLoop();
■     return 0;
■ }
```

Exemplo 1



Exemplo 2



The screenshot shows a 3D rendering application window titled "Light Positioning". It contains two views: "World-space view" on the left and "Camera-space view" on the right. The "World-space view" shows a soccer ball on a dark surface with a small coordinate system (x, y, z) and a camera icon. The "Camera-space view" is a close-up perspective of the soccer ball. Below the windows is a "Command manipulation window" containing C++ code for setting up a light position.

```
GLfloat pos[4] = { 1.50 , 1.00 , 1.00 , 0.00 };
gluLookAt( 0.00 , 0.00 , 2.00 ,      <- eye
           0.00 , 0.00 , 0.00 ,      <- center
           0.00 , 1.00 , 0.00 );    <- up
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION, pos);
```

Click on the arguments and move the mouse to modify values.

Exemplo 3

Screenshots:

- Screen-space view: A donut-shaped torus rendered with a blue-to-purple color gradient.
- World-space view: A 3D perspective view showing the torus on a reflective surface with a light source and camera indicated by coordinate axes.

Command manipulation window:

```
GLfloat light_pos[] = { -2.00, 2.00, 2.00, 1.00 };
GLfloat light_Ka[] = { 0.00, 0.00, 0.00, 1.00 };
GLfloat light_Kd[] = { 1.00, 1.00, 1.00, 1.00 };
GLfloat light_Ks[] = { 1.00, 1.00, 1.00, 1.00 };

glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION, light_pos);
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_AMBIENT, light_Ka);
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_DIFFUSE, light_Kd);
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_SPECULAR, light_Ks);

GLfloat material_Ka[] = { 0.11, 0.06, 0.11, 1.00 };
GLfloat material_Kd[] = { 0.43, 0.47, 0.54, 1.00 };
GLfloat material_Ks[] = { 0.33, 0.33, 0.52, 1.00 };
GLfloat material_Ke[] = { 0.00, 0.00, 0.00, 0.00 };
GLfloat material_Sc = 10;

glMaterialfv(GL_FRONT, GL_AMBIENT, material_Ka);
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_DIFFUSE, material_Kd);
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_SPECULAR, material_Ks);
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_EMISSION, material_Ke);
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_SHININESS, material_Sc)
```

Click on the arguments and move the mouse to modify values.