



Ciências  
ULisboa | Informática

# Computação Gráfica 2020/2021

Licenciatura em Engenharia Informática  
3ºano, 1º semestre

Guião das Aulas Teóricas  
CG2020-06

Ana Paula Cláudio

---

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

1

## *Shading* (sombreamento)

---

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

2

## Imagens realistas

- Imagens realistas (ou fotorealistas) são imagens idênticas às que se obteriam fotografando os objectos equivalentes do mundo físico.
- Ser realista neste contexto significa imitar a realidade, obter imagens geradas por computador virtualmente indistinguíveis das correspondentes imagens reais.
- A realidade física é muito complexa. Daí que o realismo em computação gráfica seja muito dispendioso em termos computacionais.

## Imagens realistas

Para a obtenção de imagens realistas há dois aspectos importantes a ter em conta

*Shading* + Eliminação de invisíveis

## Shading

Podemos definir **shading** como a determinação da cor aparente de cada ponto de uma superfície em função da sua

- posição
- orientação
- e **características ópticas** (opaco, transparente, baço, brilhante, rugoso etc.)

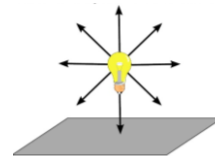
e tendo em atenção

- as fontes de luz presentes na cena.

## Tipos de Fontes de luz

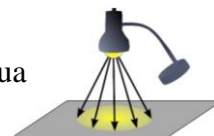
### Fonte de luz pontual

- Localiza-se num ponto P
- Emite luz em todas as direções com a mesma intensidade



### Foco (spotlight)

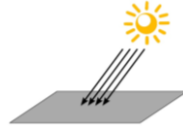
- Localiza-se num ponto P
- Restringe a emissão de luz a um cone com apex na sua posição P e com um determinado ângulo de abertura



Em ambos os tipos de fonte de luz a intensidade diminui com a distância.

# Fontes de luz

## Direccional



- Localizada no infinito
- Os raios de luz emitidos por esta fonte são paralelos entre si, ou seja, têm a mesma direcção (por isso os cálculos são semelhantes aos de uma projecção paralela em que as projectantes são paralelas entre si).

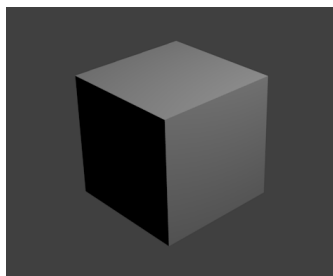
## Luz Ambiente

- ❖ Luz não direccional que corresponde à combinação da luz proveniente das várias superfícies que formam o ambiente
- ❖ assume-se que esta luz, vinda de todas as direcções, ilumina todas as faces e é constante em todos os pontos da cena.

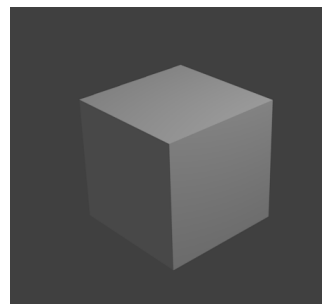
**A luz tem uma determinada COR**

Alguns exemplos :

Cubo cinzento  $\longrightarrow$  RGB = (0.8,0.8,0.8)



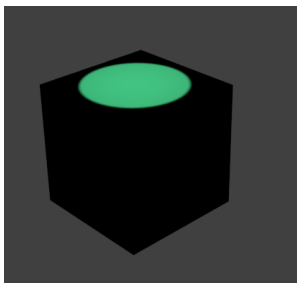
- 1 fonte de luz pontual branca;
- SEM luz ambiente



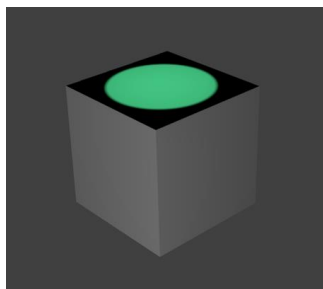
- 1 fonte de luz pontual branca;
- COM luz ambiente (energy = 0,1)

Alguns exemplos:

Cubo cinzento  $\longrightarrow$  RGB = (0.8,0.8,0.8)



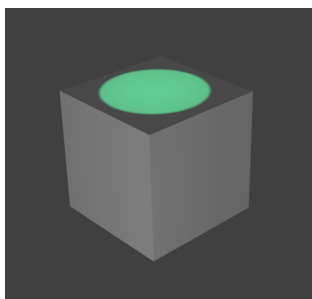
- 1 foco de luz (spotlight) de cor RGB = (0.1, 1, 0.4) ;
- SEM luz ambiente



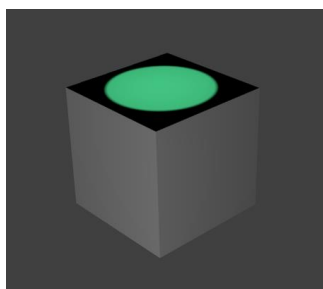
- 1 foco de luz (spotlight) de cor RGB = (0.1, 1, 0.4)
- 1 fonte de luz pontual branca;
- SEM luz ambiente

Alguns exemplos:

Cubo cinzento  $\longrightarrow$  RGB = (0.8,0.8,0.8)



- 1 foco de luz (spotlight) de cor RGB = (0.1, 1, 0.4)
- 1 fonte de luz pontual branca;
- COM luz ambiente (energy =0,1)



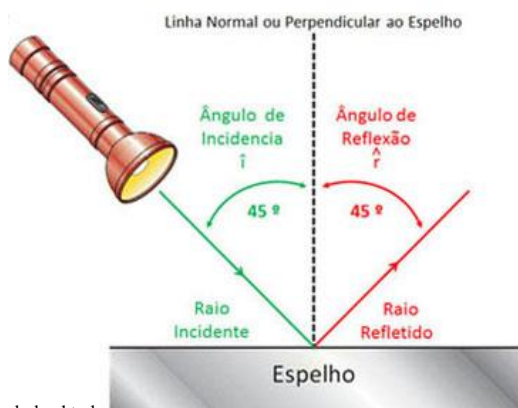
- 1 foco de luz (spotlight) de cor RGB = (0.1, 1, 0.4)
- 1 fonte de luz pontual branca;
- SEM luz ambiente

## Revisões...

### Leis da reflexão regular (ou reflexão especular)

- 1.<sup>a</sup> Lei - O raio incidente, o raio refletido e a normal à superfície no ponto de incidência estão no mesmo plano;
- 2.<sup>a</sup> Lei - O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

Este é o tipo de reflexão que observamos nos **espelhos** ou nos **objectos muito polidos** (ex: bola de bilhar)



<http://www.explicatorium.com/cfq-8/reflexao-da-luz.html>

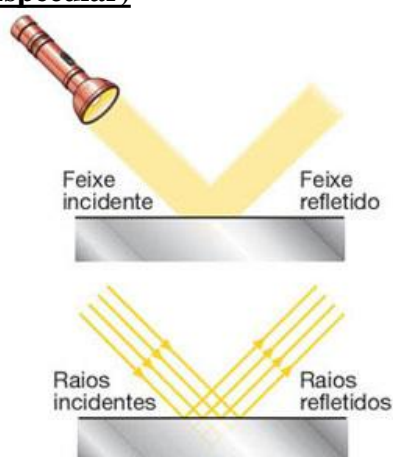
Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

11

## Revisões...

### Reflexão (ou Reflexão Especular)



### Reflexão difusa (ou Difusão)



Este é o tipo de reflexão que observamos em **objectos rugosos ou não polidos**

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

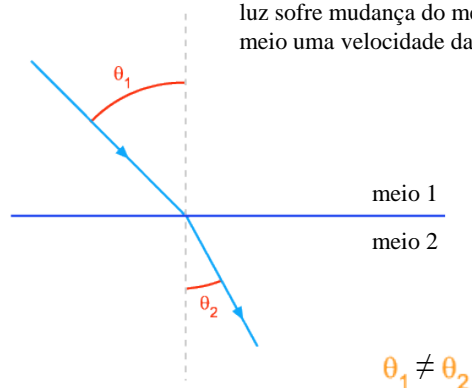
GU2020-06

12

## Revisões...

### Refração da luz

A refração da luz é um fenómeno óptico que ocorre quando a luz sofre mudança do meio de propagação, havendo em cada meio uma velocidade da propagação distinta.



O raio luminoso incide sobre uma superfície que separa os dois meios físicos (ex: ar e água, ar e vidro).

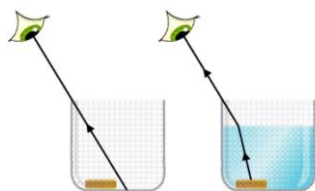
Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

13

## Revisões...

### Refração da luz



[http://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava\\_serie/optica8.php](http://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava_serie/optica8.php)



A imagem mostra um lápis parcialmente submerso. O raio de luz proveniente da ponta submersa do lápis sofre refração ao mudar de meio de propagação (da água para o ar). Isso muda a direção do raio luminoso que atinge o olho do observador. O cérebro do observador está adaptado para localizar objetos considerando que a luz que deles emerge propaga-se em linha reta.

<http://www.pontociencia.org.br/galeria/?content%2FFisica%2FOptica%2FImagem+formada+por+refracao.jpg>

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

14

## *Shading*

Como já vimos, podemos definir *shading* como a determinação da cor aparente de cada ponto de uma superfície em função da sua

- posição
- orientação
- e **características ópticas** (opaco, transparente, baço, brilhante, rugoso etc.)

e tendo em atenção

– as fontes de luz presentes na cena.

## Modelos de Iluminação **Local** VS Modelos de Iluminação **Global**

A definição anterior de *shading* só é válida para objectos isolados, uma vez que **não tem em conta a interacção luminosa entre os diferentes objectos**.

Esta é a aproximação seguida nos chamados **modelos de iluminação local**.



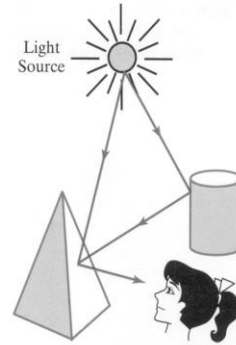
## Modelos de Iluminação Local

VS

## Modelos de Iluminação Global

Em contrapartida os **modelos de iluminação global** tratam de forma explícita essa interacção entre objectos.

permitindo obter resultados mais perfeitos (i.e., mais realistas) à custa, naturalmente, de um maior esforço computacional. (Ex: ray-tracing, um algoritmo que estudaremos neste capítulo)



## Modelos de Iluminação Local

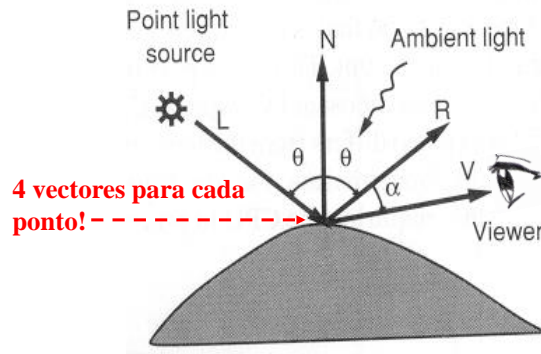
Os modelos de iluminação local consideram

- **fontes de luz pontuais** iluminando directamente a superfície dos objectos
- e uma **componente de luz ambiente** para **compensar a não consideração das interacções luminosas entre objectos**.

Um **modelo de iluminação**

é expresso por uma **equação** (*illumination equation*) com variáveis associadas ao ponto do objecto que se está a colorir

Num nível abstracto,  
**a equação do modelo de  
iluminação** pode ser vista  
como uma soma  
de três parcelas:



$$I = \underline{I_{\text{ambient}}} + f_{\text{att}} ( \underline{I_{\text{diffuse}}} + \underline{I_{\text{specular}}} )$$

Termo relativo à  
iluminação  
ambiente

Depende do ângulo  $\theta$   
(não depende da  
posição do  
observador)

Depende do ângulo  $\theta$  e do  
ângulo  $\alpha$  (isto é, depende  
da posição do observador)

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

19

## Modelos de Iluminação Local

### A luz ambiente

- ❖ é uma luz não direccional que corresponde à combinação da luz proveniente das várias superfícies que formam o ambiente
- ❖ assume-se que esta luz, vinda de todas as direcções, ilumina todas as faces

A equação do modelo de iluminação apenas com esta luz é

$$I = I_a k_a$$

Onde

$I_a$  é a **intensidade da luz ambiente**

$k_a$  é o **coeficiente de reflexão da luz ambiente** que varia entre 0 e 1

(este coeficiente traduz as propriedades do objecto, sendo contudo um valor empírico)

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

20

## Modelos de Iluminação Local

Quando a luz incide sobre um objecto **opaco** há reemissão de luz.

Há duas formas que interessa considerar:

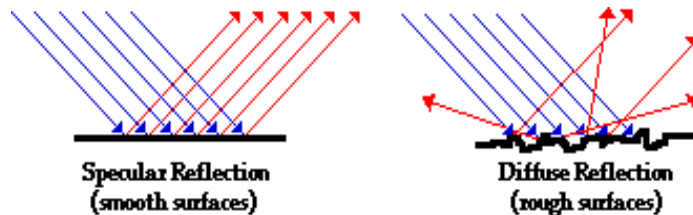
### **Difusão** (*diffuse reflexion*)

é essencialmente não direccionada e é o mecanismo dominante em **superfícies não polidas** (baças).

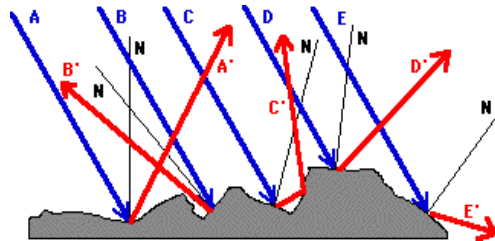
### **Reflexão** (*specular reflexion*)

é direccionada e torna-se importante em **superfícies polidas**.

## Reflexão vs Difusão



## Difusão



Há uma direcção de incidência e em cada ponto de incidência verifica-se a lei da reflexão, contudo, como a superfície é irregular a luz é reflectida em todas as direcções.

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

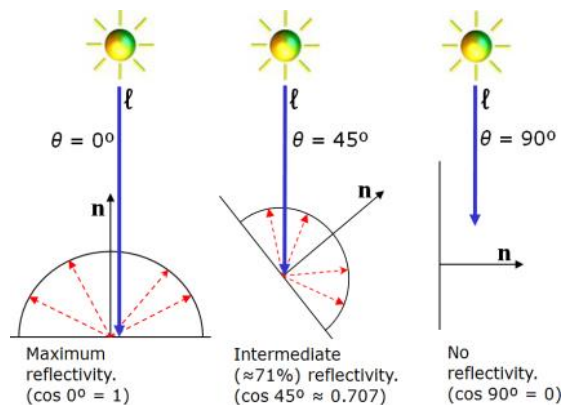
23

## Difusão

As superfícies pouco polidas reflectem luz com igual intensidade em todas as direcções - **difusão**

Esta reflexão é traduzida pela **lei de Lambert** segundo a qual

- a quantidade de luz vista pelo observador é independente da sua posição
- e é proporcional ao coseno do ângulo de incidência da luz.



<http://www.cs.brown.edu/courses/cs123/lectures.htm>

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

24

# Difusão

A componente relativa à difusão pode ser traduzida por

$$I_d = I_p k_d \cos(\theta)$$

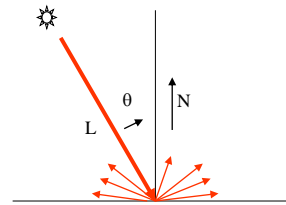
onde

$I_d$  é a **intensidade da luz difundida**

$I_p$  é a **intensidade da fonte de luz**

$k_d$  é **coeficiente de reflexão difusa** e é uma característica do material ( $0 \leq k_d \leq 1$ )

$\theta$  é o ângulo de incidência da luz



# Difusão

- A intensidade difundida **não depende** da posição do observador.
- O factor  $k_d$  permite modelar a maior ou menor preponderância do mecanismo de difusão, sendo 0 no caso de um espelho perfeito (superfície perfeitamente polida).
- Se  $L$  e  $N$  forem vectores unitários, podemos substituir  $\cos(\theta)$  por  $L \cdot N$

$$I_d = I_p k_d (L \cdot N)$$

- Juntando a componente de luz ambiente  $I_a k_a$  obtemos:

$$I = I_a k_a + I_p k_d (L \cdot N)$$

Produto  
interno

## Difusão

Para tratar a cor consideram-se separadamente as três componentes RGB (Red, Green, Blue).

$$I_R = I_{aR} k_{aR} + I_{pR} k_{dR} (L.N)$$

$$I_G = I_{aG} k_{aG} + I_{pG} k_{dG} (L.N)$$

$$I_B = I_{aB} k_{aB} + I_{pB} k_{dB} (L.N)$$

Podemos considerar uma formulação mais rigorosa, sem nos restringirmos a um determinado modelo de cor, e usar o índice  $\lambda$  para exprimir as componentes que dependem da cor

$$I_\lambda = I_{a\lambda} k_{a\lambda} + I_{p\lambda} k_{d\lambda} (L.N)$$

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

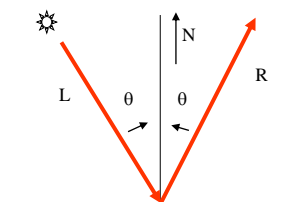
GU2020-06

27

## Reflexão

A reflexão (*specular reflection*) rege-se pela lei de reflexão:

ângulo de incidência = ângulo de reflexão.



R- direcção de  
reflexão perfeita  
(espelho perfeito)

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

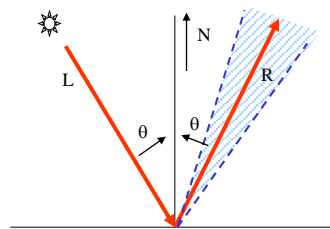
GU2020-06

28


# Reflexão

A lei da reflexão traduz o comportamento da luz que incide num **espelho perfeito**.

Em qualquer superfície polida real a luz é reflectida com alguma dispersão.



**Quanto mais polida é a superfície, menor é esta dispersão.**

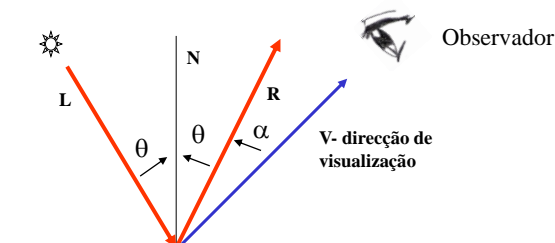
 Cone de dispersão da luz

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

29

# Reflexão



- O brilho que observamos num objecto depende da nossa posição em relação a este.
- Um observador vê um objecto com o **brilho máximo** quando  $\alpha = 0$  (a direcção de visualização é igual à direcção de reflexão)

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

30

# Reflexão

Phong propôs uma fórmula aproximada para calcular a **intensidade da luz reflectida**:

$$I_s = I_p k_s [\cos(\alpha)]^n$$

onde

$I_s$  é a intensidade da luz reflectida

$I_p$  é a intensidade da fonte de luz

$k_s$  é o **coeficiente de reflexão especular** (varia entre 0 e 1)

$\alpha$  é o ângulo entre a direcção de reflexão e a de visualização

$n$  é o **expoente de reflexão especular** (varia entre 1 e infinito)

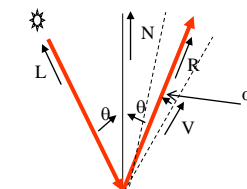
Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

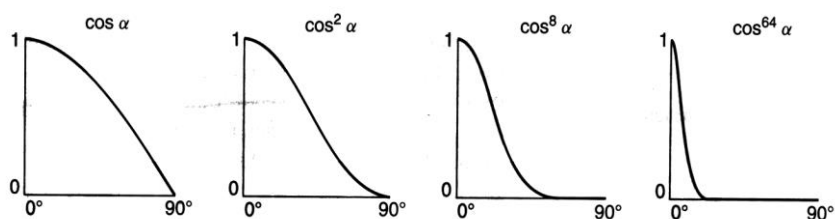
31

$$I_r = I_p k_s [\cos(\alpha)]^n$$

## Reflexão



- Quanto mais polida a superfície mais rapidamente a intensidade da luz reflectida diminui com  $\alpha$ .



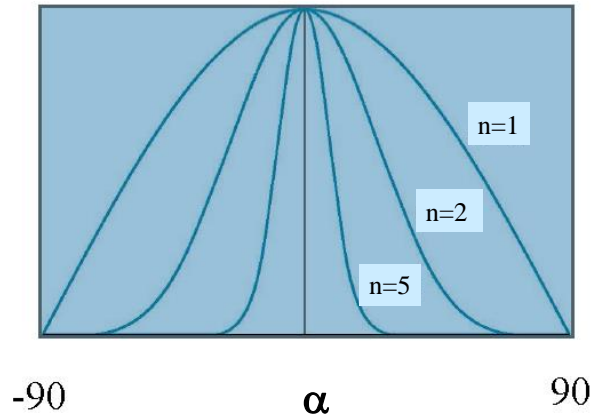
Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

32



$$[\cos(\alpha)]^n$$



Outubro 2020;  
apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

33

## Reflexão

$$I_r = I_p k_s [\cos(\alpha)]^n$$

- Este fenómeno é aproximado aumentando o valor do expoente **n** na fórmula quando queremos simular materiais mais polidos. Para um espelho perfeito o valor de **n** seria **infinito**.

Metais – **n** entre 100 e 200

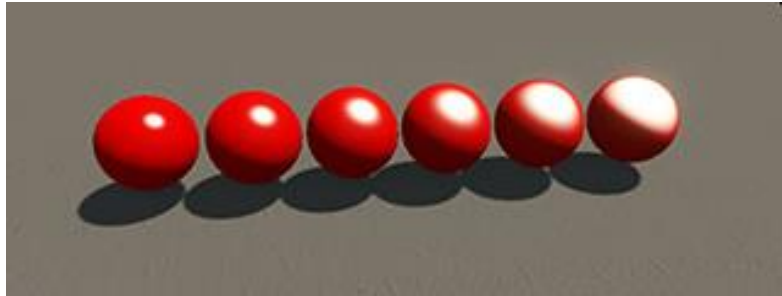
Plásticos – **n** entre 5 e 10

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

34

## Reflexão



Diminuindo o **expoente de reflexão especular**

<http://freesdk.crydev.net/display/SDKDOC4/Shading>

Outubro 2020;  
apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

35

## Atenuação da luz com a distância

- As fórmulas anteriores não têm em conta a **atenuação da luz com a distância** o que significa que duas superfícies paralelas com características idênticas mas a distâncias muito diferentes da fonte de luz são vistas exactamente da mesma maneira.
- A solução é introduzir um **factor de atenuação** que depende da distância da fonte de luz à superfície iluminada.

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

36

## Atenuação da luz com a distância

- Atendendo a que a energia decresce com o quadrado da distância, o **factor de atenuação** a considerar seria

$$f_{at} = 1/d_L^2$$

onde

$d_L$  é a distância da fonte à superfície iluminada.

## Atenuação da luz com a distância

- Na prática, verifica-se que em geral a inclusão deste factor não dá bons resultados do ponto de vista estético, preferindo-se usar

$$f_{at} = \min (1/(c_1 + c_2 d_L + c_3 d_L^2), 1)$$

onde

$c_i$  são constantes (empíricas) definidas pelo utilizador, associadas à fonte de luz. Valores diferentes produzem resultados diferentes na imagem.

- Esta fórmula garante que  $f_{at}$  nunca é superior a 1 nem demasiado pequeno.
- A componente de luz ambiente não sofre atenuação pois não tem posição nem direção

## Equação do modelo de iluminação local

Somando as três componentes (**luz difundida**, **luz reflectida** e **luz ambiente**), assumindo que  $R$  (direcção de reflexão) e  $V$  (direcção de visualização) são vectores unitários e incluindo o factor de atenuação, temos finalmente o valor da intensidade luminosa num ponto

$$I = I_a k_a + I_p f_{at} [ k_d (L \cdot N) + k_s (R \cdot V)^n ]$$

**Modelo de Iluminação de Phong**

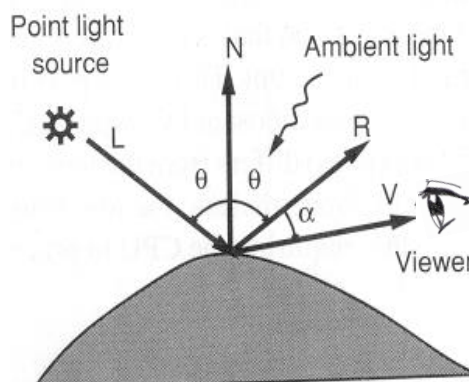
O tratamento da cor faz-se considerando expressões separadas para cada cor.

Outubro 2020;  
apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

39

Num nível mais abstracto,  
a equação do modelo pode ser vista como  
uma soma de três parcelas:



$$I = \underbrace{I_{\text{ambient}}}_{\text{Termo relativo à iluminação ambiente}} + f_{\text{att}} \left( \underbrace{I_{\text{diffuse}}}_{\text{Depende do ângulo } \theta \text{ (não depende da posição do observador)}} + \underbrace{I_{\text{specular}}}_{\text{Depende do ângulo } \theta \text{ e do ângulo } \alpha \text{ (isto é, depende da posição do observador)}} \right)$$

**Termo relativo à  
iluminação  
ambiente**

**Depende do ângulo  $\theta$   
(não depende da  
posição do  
observador)**

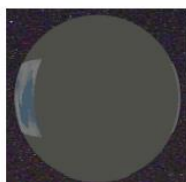
**Depende do ângulo  $\theta$  e do  
ângulo  $\alpha$  (isto é, depende  
da posição do observador)**

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

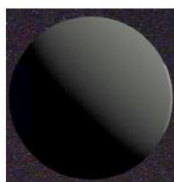
40

## Exemplo da combinação das várias componentes



### AMBIENT

Effect of light that is non-directional, affecting all surfaces equally.



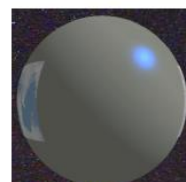
### DIFFUSE

Effect of directional light on a surface with a dull/rough finish.



### SPECULAR

Effect of directional light on a shiny surface when the eyepoint is sufficiently close to the light's reflected rays



### THE COMPOSITE

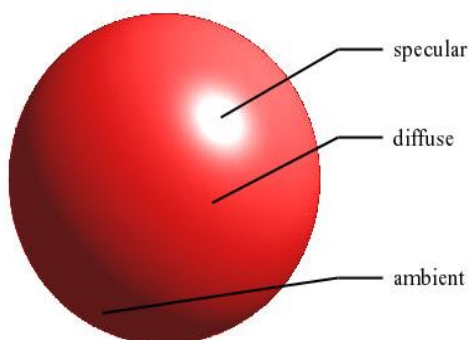
The three independent reflectivity types are accumulated to produce the result.

<http://www.cs.brown.edu/courses/cs123/lectures.htm>

Outubro 2020;  
apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

41



<http://www.cs.brown.edu/courses/cs123/lectures.htm>

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

42

## Múltiplas fontes de luz

Quando há múltiplas fontes de luz pontuais, sejam **m**, adicionam-se as contribuições de cada uma delas

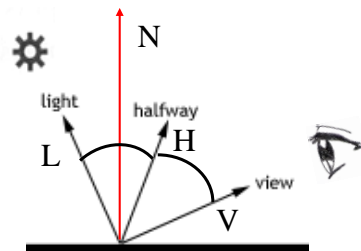
$$I = I_a k_a + \sum_{1 \leq i \leq m} ( I_{pi} f_{ati} [ k_d (L_i \cdot N) + k_s (R_i \cdot V)^n ] )$$

### Modelo Blinn-Phong (ou modelo de Iluminação de Phong modificado)

Este método é mais eficiente porque não se torna necessário calcular o vector R.

Calcula-se o vector médio normalizado H (**halfway vector**):

$$H = \frac{L + V}{\|L + V\|}, \text{ com } L \text{ e } V \text{ vectores normalizados}$$

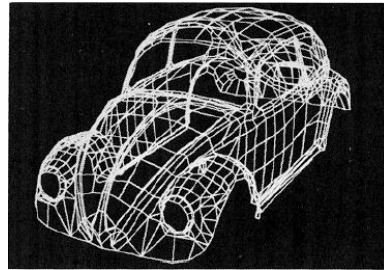


E na fórmula do Modelo de Iluminação de Phong substitui-se  $R \cdot V$  por  $N \cdot H$ .

Mas se usarmos o mesmo valor do expoente **n**, obteremos resultados diferentes.

## Shading de malhas poligonais

- As superfícies dos objectos, mesmo quando curvas, são quase sempre aproximadas por **malhas poligonais** (*polygon meshes*). Estas são compostas habitualmente por triângulos já que os algoritmos e as placas gráficas foram desenvolvidos ou estão optimizados para tratarem este tipo de polígonos.



## Shading de malhas poligonais

- O número de polígonos deve ser grande (polígonos de pequena dimensão) para que a aproximação seja boa, mas aumentar o número de polígonos significa aumentar o tempo de cálculo e a memória ocupada, com os inconvenientes daí resultantes.
- A luz reemitida por um elemento de superfície - e por conseguinte o seu aspecto - depende da orientação da superfície, ou seja, do ângulo entre a normal à superfície e a direcção da luz incidente (como vimos nos cálculos das fórmulas anteriores).
- A aproximação poligonal introduz descontinuidades na normal e, por conseguinte, no aspecto da superfície.

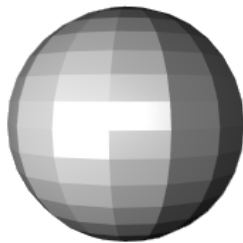
## Shading de malhas poligonais

- Vamos estudar três métodos para fazer o *shading* de superfícies aproximadas por malhas poligonais, que usam a fórmula do modelo de iluminação de Phong que vimos atrás:
  - *Shading* constante ou uniforme (*flat*)
  - *Shading* com interpolação de intensidades (Gouraud\*)
  - *Shading* com interpolação de normais (Phong)

\* pronuncia-se gu-rô

## Shading constante

No ***shading* constante**, como o nome indica, atribui-se a mesma cor a todos os *pixels* pertencentes à imagem de um dado polígono.



Na transição entre polígonos adjacentes ocorre uma descontinuidade correspondente à descontinuidade da normal.



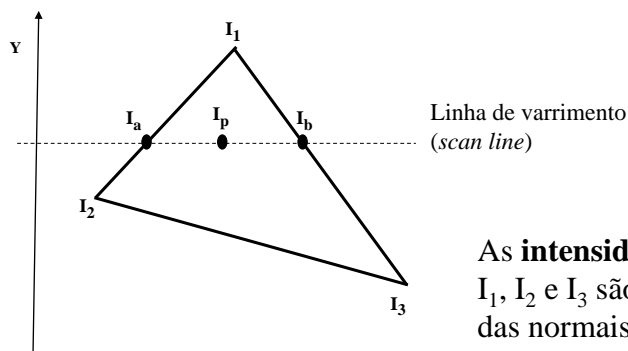
A descontinuidade entre polígonos adjacentes é facilmente detectável pelos nossos olhos, sendo até amplificada devido ao chamado efeito das **bandas de Mach** (Ernst Mach, 1865).

**Efeito bandas de Mach** – quando há diferença de coloração entre faces adjacentes os nossos olhos tendem a exagerar esta diferença. Na fronteira entre duas faces, a face escura parece mais escura e a face clara parece mais clara (i.e., vemos bandas que não existem na realidade).



## Shading de Gouraud

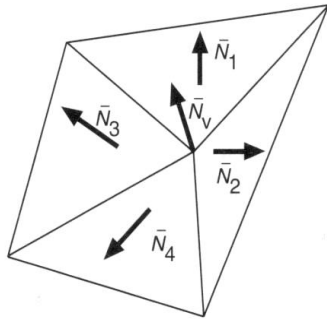
Método de interpolação de intensidades (*shading* de Gouraud)



As **intensidades nos vértices**  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  são calculadas a partir das normais nos vértices

## Shading de Gouraud

Método de interpolação de intensidades (*shading* de Gouraud)



Em cada vértice considera-se como normal à superfície a média das normais dos polígonos que partilham o vértice.

A **intensidade no vértice** é obtida a partir da normal assim calculada.

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

51

Um diagrama 2D que mostra um triângulo com vértices rotulados como  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ . Uma linha horizontal tracejada, rotulada como 'Linha de varrimento (scan line)', atravessa o triângulo. Os pontos de interseção da linha com os lados do triângulo são rotulados como  $I_a$  e  $I_b$ . Um ponto dentro do triângulo, na linha, é rotulado como  $I_p$ . Um eixo vertical rotulado 'Y' está à esquerda.

## Shading de Gouraud

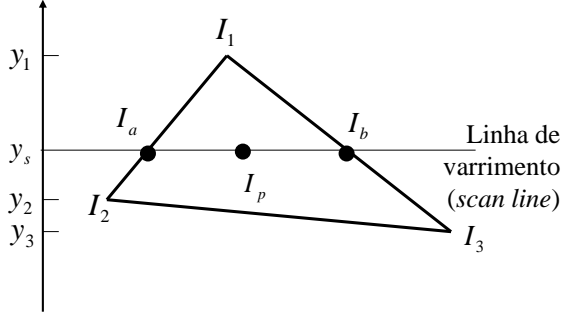
- A intensidades  $I_a$  é obtida por interpolação linear de  $I_1$  e  $I_2$ ; a intensidade  $I_b$  é obtida por interpolação linear de  $I_1$  e  $I_3$ .
- A intensidade no *pixel*  $I_p$  é obtida por interpolação linear de  $I_a$  e  $I_b$ .
- Neste método pressupõe-se que:
  - a normal à superfície nos vértices pode ser estimada pela média das normais aos polígonos que partilham o vértice
  - é legítimo interpolar linearmente intensidades luminosas

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

52

## Shading de Gouraud



Linha de varrimento (scan line)

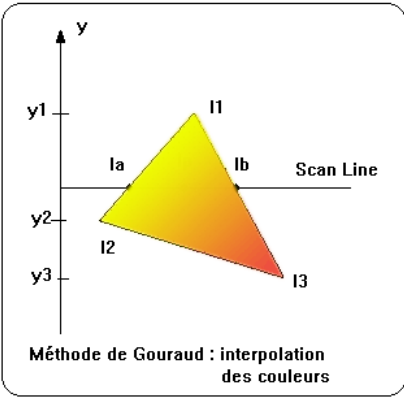
$$I_a = I_1 \frac{y_s - y_2}{y_1 - y_2} + I_2 \frac{y_1 - y_s}{y_1 - y_2} \quad I_b = I_1 \frac{y_s - y_3}{y_1 - y_3} + I_3 \frac{y_1 - y_s}{y_1 - y_3}$$

$$I_p = I_a \frac{x_b - x_p}{x_b - x_a} + I_b \frac{x_p - x_a}{x_b - x_a}$$


---

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt GU2020-06 53

## Shading de Gouraud



Scan Line

**Méthode de Gouraud : interpolation des couleurs**

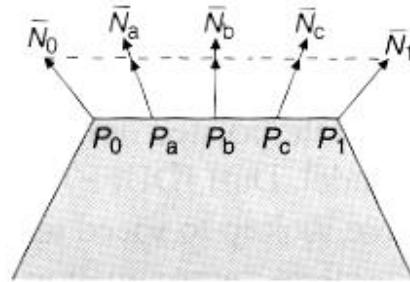
[http://home.versatel.be/vt6107833/infographie/info\\_ch8.htm](http://home.versatel.be/vt6107833/infographie/info_ch8.htm)

---

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt GU2020-06 54

## Shading de Phong

- No método de **Phong (interpolação de normais)** começa-se por calcular a normal nos vértices da mesma forma que no método de Gouraud.
- Seguidamente, **em vez de interpolar intensidades, interpolam-se as normais**, primeiro ao longo das arestas, depois ao longo das linhas de varrimento.



## Shading de Phong

Este método é mais rigoroso que o método de Gouraud

mas computacionalmente mais pesado porque:

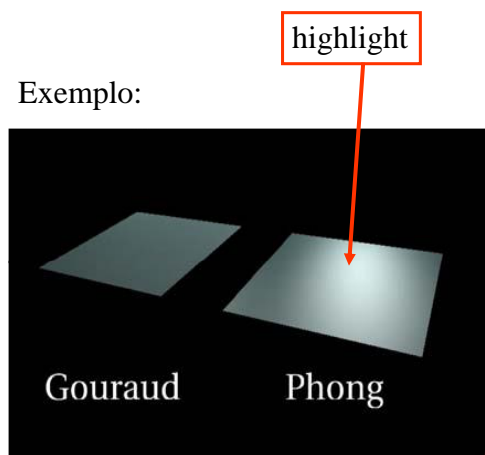
- interpolar vectores exige mais operações do que interpolar escalares
- o cálculo das intensidades tem de ser repetido para cada *pixel*.

## Shading Gouraud vs Shading de Phong

Quando se usa shading de Gouraud podem perder-se **highlights** que deveriam estar presentes na imagem porque este algoritmo apenas interpola cores a partir das cores dos vértices.

Estes **highlights** surgem quando se aplica o *shading* de Phong porque este algoritmo calcula explicitamente a cor em cada ponto da imagem.

Exemplo:



Outubro 2020;  
apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

57

## Shading Gouraud vs Shading de Phong

Mais dois exemplos:

Reflexão máxima no  
vértice esquerdo

Gouraud

Phong



Gouraud

Phong



Reflexão máxima no  
centro do polígono

Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

58

## Shading de malhas poligonais

### Phong shading- interpola normais

A fórmula do modelo de iluminação de Phong é aplicada para cada pixel do polígono.

### Gouraud shading- interpola cores

A fórmula do modelo de iluminação de Phong é aplicada para cada vértice do polígono.

### Flat shading- shading constante

A fórmula do modelo de iluminação de Phong é aplicada apenas uma vez para cada polígono.

Aumenta o  
tempo de  
cálculo

Aumenta a  
qualidade  
da imagem

## Shading de malhas poligonais

### Phong shading- interpola normais

*Pixel shading*

### Gouraud shading- interpola cores

*Vertex shading ou smooth shading*

### Flat shading- shading constante

*Polygon shading*

Aumenta o  
tempo de  
cálculo

Aumenta a  
qualidade  
da imagem



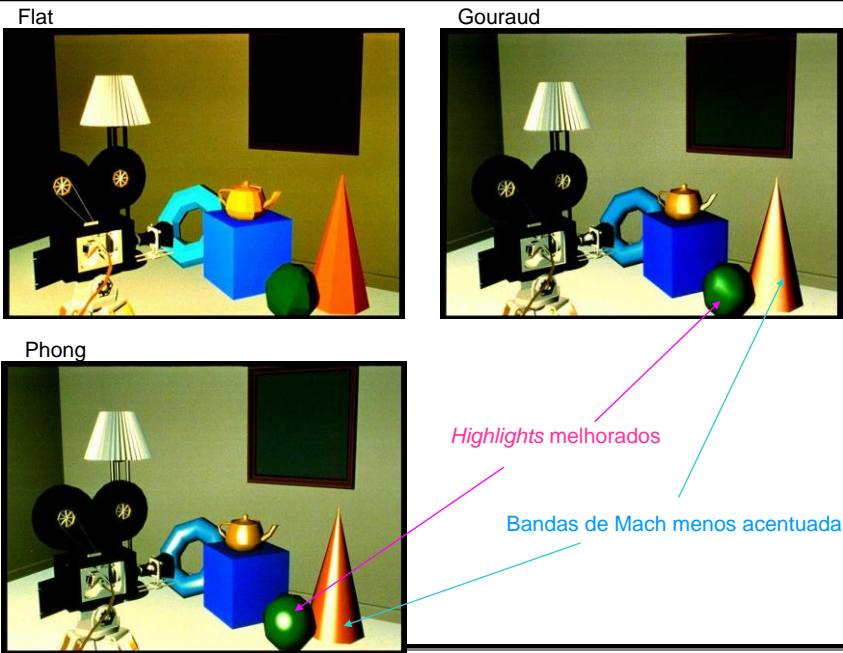
Flat                      Gouraud                      Phong

[http://www.cs.cmu.edu/~ph/nyit/facet\\_gouraud\\_phong.jpeg](http://www.cs.cmu.edu/~ph/nyit/facet_gouraud_phong.jpeg)

Outubro 2020;  
apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

61



Outubro 2020; apclaudio@fc.ul.pt

GU2020-06

62