

# Radiosidade

1

Marcelo Walter

# Radiosidade

- Parcela de Iluminação Indireta é grande em cenas reais (indoor)



Observe as sombras suaves, variação progressiva das cores

2

Marcelo Walter

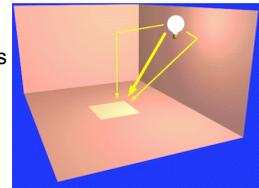


3

Marcelo Walter

# Iluminação Direta e Indireta

- Luz recebida diretamente e indiretamente através de inter-reflexões no ambiente

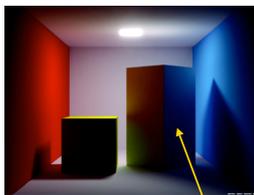


4

Marcelo Walter

# Color Bleeding

a cor do objeto é transmitida



Duas reflexões difusas consecutivas

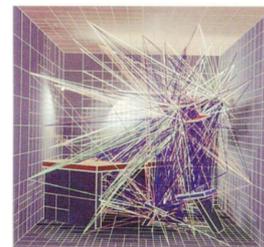
5

Marcelo Walter

# Parcela Difusa em RT

Como RT pode tentar aproximar as interreflexões difusas?

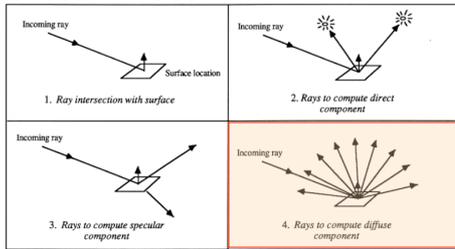
Para cada raio, disparar um número N de raios difusos no ambiente em direções aleatórias ao redor da normal



6

Marcelo Walter

## Parcela Difusa em RT

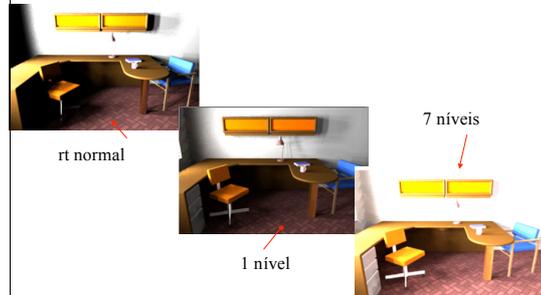


A Ray Tracing Solution to Diffuse Interreflection  
by Greg Ward, Francis Rubinstein and Robert Clear  
SIGGRAPH 1988

7

Marcelo Walter

## Parcela Difusa em RT



8

Marcelo Walter

## Parcela Difusa em RT

- Vantagem: aumento do realismo
- Desvantagens
  - Alto Custo Computacional
  - Explosão de Raios

9

Marcelo Walter

## Porque Radiosidade?

- Abordagem inspirada na **troca de energia termal** entre superfícies
- Resolve a iluminação difusa ausente do TR
- Analogia entre energia termal e luminosa
- Iniciou em 1984 (Goral, Torrance, Greenberg & Battaile - Cornell University)



Como a energia se espalha no espaço?

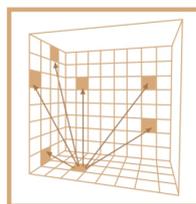


10

Marcelo Walter

## Visão Geral de Radiosidade

- Cena dividida em *patches* (pedaços)
- Superfícies são refletores difusos perfeitos
- Radiosidade é a taxa que a energia luminosa deixa a superfície
- Dois termos
  - Taxa de emissão de energia gerada pela própria superfície
  - Taxa de energia recebida indiretamente e refletida



11

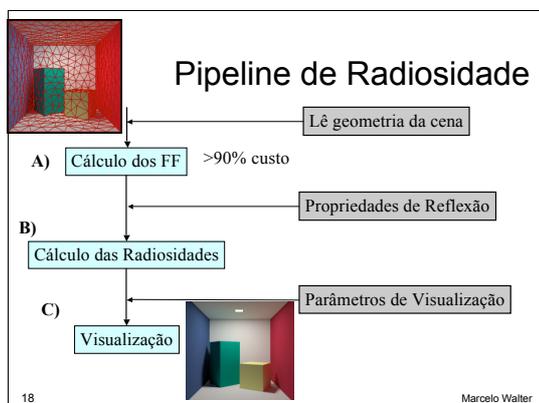
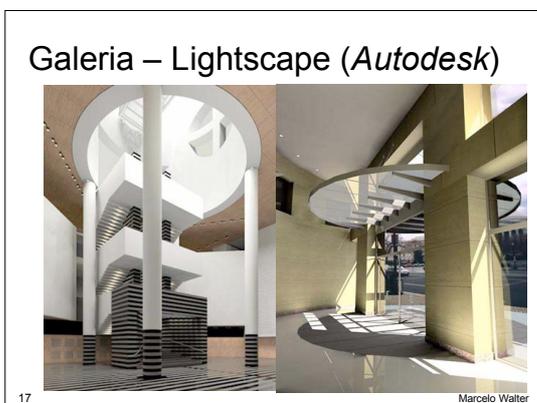
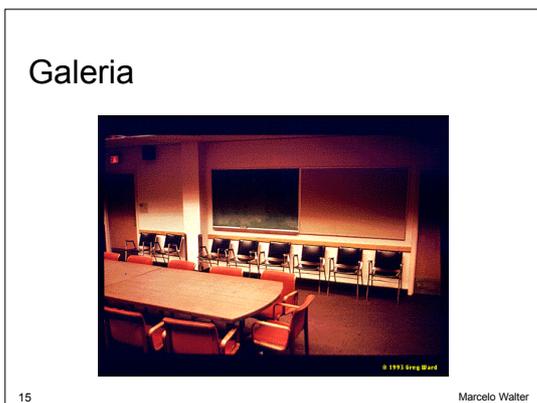
Marcelo Walter

## Radiosidade x Traçado de Raios

- TR é uma abordagem *image-space*
  - Moveu a câmera precisamos recalcular
- Radiosidade é uma abordagem *object-space*
  - Valores podem ser pré-calculados e movimento de câmera não implica recálculo (a não ser que...)

12

Marcelo Walter



## A) Cálculo dos Fatores de Forma

- Dividir o ambiente num número finito  $n$  de pedaços (*patches*)



19

Marcelo Walter

## A) Cálculo dos Fatores de Forma

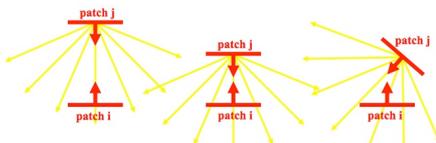
- O FF representa geometricamente como um patch "vê" o outro
- Fração de energia que deixa um patch e chega no outro
- Cálculo independente do observador ☺
- $N$  patches para  $N$  patches ☹

20

Marcelo Walter

## A) Cálculo dos Fatores de Forma

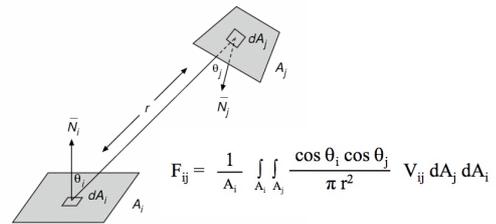
- Leva em consideração forma, orientação e visibilidade entre os *patches*



21

Marcelo Walter

## Geometria dos Fatores de Forma

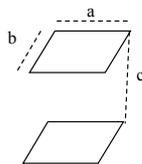


22

Marcelo Walter

## Cálculo Analítico FF

- Para geometrias muito simples



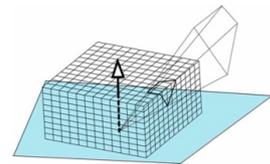
Retângulos idênticos, paralelos

23

Marcelo Walter

## Cálculo Aproximado Hemicubo

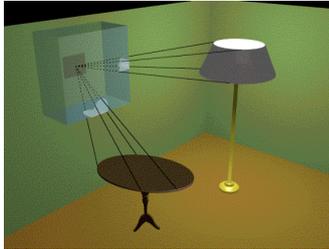
- Ao redor de cada patch definimos um hemicubo
- O FF de um patch em relação ao outro é aproximado pela área projetada nas células do hemicubo



24

Marcelo Walter

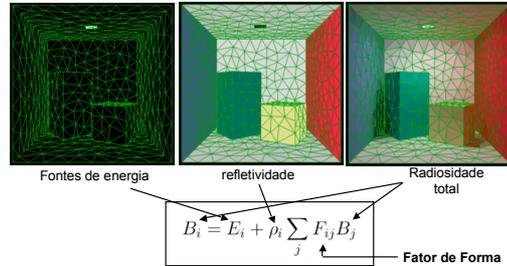
## Hemicubo



25

Marcelo Walter

## B) Cálculo das Radiosidades



26

Marcelo Walter

$$B_i = E_i + \rho_i \sum_{j=1}^n B_j F_{ij} \quad B_i - \rho_i \sum_{j=1}^n B_j F_{ij} = E_i$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 - \rho_1 F_{11} & -\rho_1 F_{12} & \cdots & -\rho_1 F_{1n} \\ -\rho_2 F_{21} & 1 - \rho_2 F_{22} & \cdots & -\rho_2 F_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\rho_n F_{n1} & -\rho_n F_{n2} & \cdots & 1 - \rho_n F_{nn} \end{bmatrix}}_{\mathbf{M}} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix}}_{\mathbf{B}} = \underbrace{\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{bmatrix}}_{\mathbf{E}}$$

$\mathbf{M} \cdot \mathbf{B} = \mathbf{E}$

27

Marcelo Walter

## Simplificações na matriz

- Se objetos convexos  $F_{nn} = 0$  (objeto não interage consigo mesmo), logo diagonal principal igual a 1
- Maioria dos  $E_{is} = 0$  (poucos *patches* emitem energia)

28

Marcelo Walter

## Solução do Sistema de Equações

- $\mathbf{MB} = \mathbf{E}$
- $\mathbf{M}^{-1}\mathbf{MB} = \mathbf{M}^{-1}\mathbf{E}$
- $\mathbf{B} = \mathbf{M}^{-1}\mathbf{E}$
- Problemas:  $\mathbf{M}$  é enorme (número de *patches*) e acarreta problemas de armazenamento
- Solução: Utilizar métodos numéricos

29

Marcelo Walter

## Métodos Iterativos

- Eliminação Gaussiana muito cara computacionalmente ( $O(n^3)$ )
- Melhor métodos iterativos
  - "Chute inicial" para a solução
  - Calcula uma melhor aproximação a cada iteração
  - Iteração de Gauss-Seidel, Jacobi ou Southwell

30

Marcelo Walter

## Medida de Convergência

- $MB = E$  (B desconhecido, radiosidades)
- $e^0 = B - B^0$ 
  - Como B é desconhecido, erro e não pode ser medido diretamente
- Idéia de resíduo (diferença entre estimado e correto)
  - $r^0 = MB^0 - E$  (pode ser medido)
  - Se resíduo é zero (ou muito pequeno), então o erro também é zero (ou muito pequeno)

31

Marcelo Walter

## Refinamento Progressivo

- Um patch por vez emite energia na cena e os demais são atualizados
- FF calculados "on the fly"
- Imagem exibida a cada iteração

32

Marcelo Walter

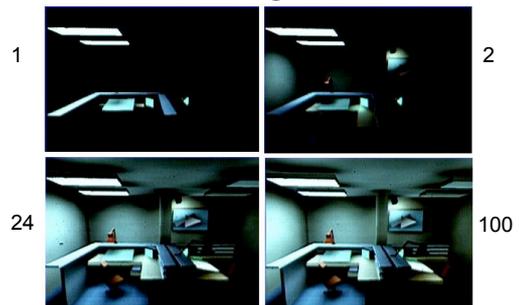
## Algoritmo

- Um patch é escolhido por vez para disparar luz e calcula-se como esta luz se espalha na cena
- Disparam primeiro os patches que influenciam mais a cena (emissores de luz, energia\*área do patch)
- Inicialmente  $B_i = E_i$ , para todo patch

33

Marcelo Walter

## Radiosidade Progressiva

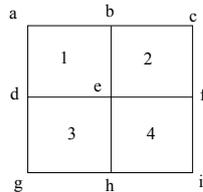


34

Marcelo Walter

## C) Visualização

- Calculando radiosidades nos vértices
  - Vértices interiores
    - $B_e = (B_1 + B_2 + B_3 + B_4) / 4$
  - Vértices da borda  $v_b$ 
    - Encontra o vértice interno mais próximo  $v_i$
    - Encontra k faces adjacentes a  $v_b$
    - $(B_b + B_i) / 2 = \sum B_i / k$

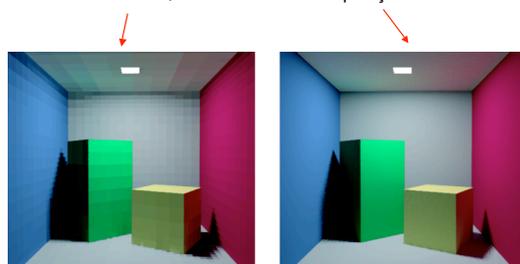


35

Marcelo Walter

Radiosidade nos patches

Interpolação nos vértices



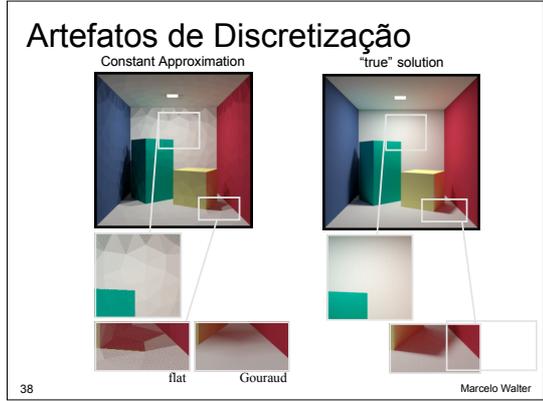
36

Marcelo Walter



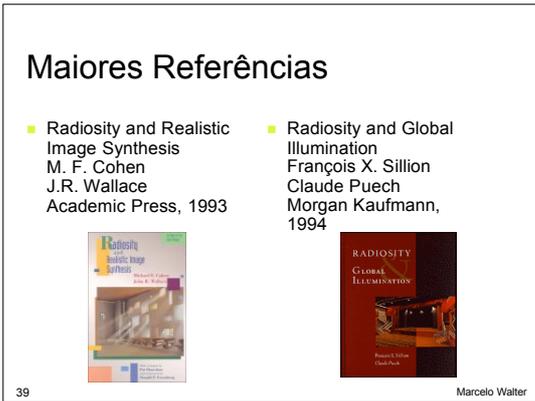
37

Marcelo Walter



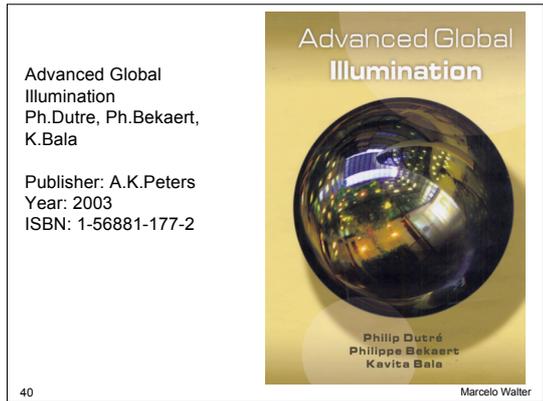
38

Marcelo Walter



39

Marcelo Walter



40

Marcelo Walter