



## LUZ SOLAR: Modelo Vetorial Esférico para Radiosidade/Ray-Tracing

**Anderson Claro**

Universidade Federal de Santa Catarina

Depto. De Arquitetura e Urbanismo

LabCon - Laboratório de Conforto Ambiental

Núcleo de Simulação computacional em Iluminação

88.040-900 - Florianópolis/SC - Brasil

fone / fax: +55(48)331-9550

e-mail: [ander@arg.ufsc.br](mailto:ander@arg.ufsc.br)

*RESUMO: O método permite um tratamento simultâneo e unificado das abordagens da radiosidade e do ray tracing, viabilizando a incorporação das reflexões especulares às trocas luminosas difusas entre os elementos discretizados das superfícies de um projeto, independente do ponto de vista, o que abre perspectivas de pesquisas para aprimoramento de uma nova abordagem teórica.*

*ABSTRACT: The method provides a unified and simultaneous treatment of radiosity and ray tracing approaches, turning possible to incorporate specular reflection into diffuse luminous exchanges between discretized surface elements, viewpoint independent, creating new perspectives of research to improve a new theoretical approach.*

### 1 Modelos Fisicamente Fundamentados de Iluminação Global

Os modelos computacionais fisicamente fundamentados atualmente utilizados para o estudo da iluminação natural em Arquitetura e Urbanismo - o método da Radiosidade e o método *Ray Tracing* - apresentam inconvenientes específicos a cada abordagem conceitual que criam várias dificuldades no tratamento unificado do comportamento da luz solar. Tratando aspectos diferentes do fenômeno lumínico, foram também desenvolvidos segundo concepções e finalidades diferentes. A Radiosidade trata o fenômeno da reflexão perfeitamente difusa (Lambertiana) através de um conceito de visibilidade aparente de uma superfície luminosa por outra; esta relação é aplicada a

todas as interações entre duas superfícies que se visualizam em um dado ambiente. Para resolver esta multi-interação foi desenvolvido o método do Hemi-Cubo (Cohen, 1985.), que consiste num sistema de referência cartesiano acoplado à metade de um cubo dividido em pequenas parcelas quadradas, colocado localmente sobre uma superfície, projetando-se todas as outras sobre este sistema de forma a associar-se a uma determinada superfície um conjunto de parcelas do hemi-cubo, onde a relação de visibilidade de cada uma com o centro do sistema de referência é conhecida. A esta relação é associado um valor numérico que representa a porcentagem do hemisfério determinado pelo plano da parcela ocupada pela superfície visualizada, valor denominado "fator de forma". Quando duas superfícies ocupam a mesma projeção, é feita uma análise de visibilidade para saber-se a mais próxima. O *Ray-Tracing* trata a componente especular, um fenômeno direcional no comportamento da luz incidindo em superfícies extremamente polidas e refletivas, ou transmissoras não difusas. Parte de um modelo conceitual que refaz recursivamente o percurso de uma amostragem estatística de "partículas de luz" que atingem o olho de um observador, identificando-se as superfícies interceptadas e sua interferência no padrão luminoso da partícula. Para isto utiliza uma amostragem de vetores geométricos lançados em diferentes direções de um espaço de referência.

## **2 Vantagens e Desvantagens da Radiosidade:**

A grande vantagem da radiosidade é que utiliza um método que trata o ambiente como um todo, em suas características geométricas, independente de um observador para a cena. Uma vez realizada a interação entre as diferentes superfícies luminosas, obtém-se com relativa facilidade diferentes pontos de vista. A grande desvantagem é a necessidade de estudar-se a relação de visibilidade entre todas as superfícies luminosas em estudo, demandando memória e tempo de processamento para o cálculo de todos os fatores de forma. Alguns aperfeiçoamentos do método do hemi-cubo, como: o refinamento progressivo (Cohen, 1988), que calcula os fatores de forma apenas da superfície que emite luz, a cada interação, para todas as outras, permitindo uma visualização que evolui passo a passo até um equilíbrio aceitável; a hierarquia (Drettakis, 1996), que agrupa parcelas em elementos maiores de troca luminosa; e a importância (Sillion, 1993), que despreza heurísticamente superfícies com reduzida probabilidade de influência no resultado final. Outra grande desvantagem do método de elementos finitos, utilizado no modelo do hemi-cubo, é que recorre a um sistema local de referência, o que impede relacionar as informações de uma superfície com a outra nos aspectos espaciais, por exemplo: a posição do Sol no hemi-cubo de uma parcela é completamente diferentes da posição do Sol em outro hemi-cubo, de outra parcela.

## **3 Vantagens e Desvantagens do Ray-Tracing:**

Embora seja um método que possui maior consistência espacial, pois lida com um modelo de referencial que poderia ser único, as aplicações mais recorrentes do Ray Tracing utilizam também sistemas locais de referência para tirar partido do pré-tabelamento de fatores de forma, quando este método é utilizado na determinação dos fatores de forma num modelo de radiosidade. Esta abordagem permite a emissão de um feixe de raios para cada parcela que determinam, através da interceptação das diferentes superfícies um valor pré-tabelado de fator de forma associado ao raio de

amostra. No estudo da iluminação global, o Ray Tracing tem a grande desvantagem de depender de um ponto de observação, fazendo com que cada nova visualização exija nova determinação dos percursos dos raios luminosos. O método também subestima e mesmo desconsidera superfícies que, mesmo não estando no percursos dos raios de visualização, tenham influência significativa no resultado final das trocas luminosas.

#### **4 Estado da Arte dos Modelos de Iluminação Natural**

A concepção mais atual dos modelos de iluminação global consiste na abordagem inicial da radiosidade, complementada por um passo posterior Ray-Tracing para definir as contribuições especulares. No entanto, o tratamento da iluminação natural tem sido problemático, dado que estes modelos foram inicialmente desenvolvidos para tratamento de fontes fixas e pouco numerosas. Desta forma, a emissão inicial de uma lâmpada, no método da radiosidade, pode, com apenas uma interação, apresentar um resultado significativamente aceitável. O Sol, no entanto, é uma fonte de posição bastante variável, de altíssima intensidade, criando também no céu uma abóbada de contribuição significativa e também de características variáveis (em função da posição do Sol). Por outro lado, uma fonte pontual, ou mesmo uma luminária de superfície, em um ambiente, pode ser representada por pequena quantidade de superfícies, o que já não acontece com a luz natural: a energia luminosa inicial que incide do Sol / céu, pensando-se na hipótese de favorecer a utilização da luz natural em um ambiente, atinge numerosas parcelas intensamente (Sol direto) e muitas outras com menos intensidade, mas também significativas pela quantidade). Desta forma o refinamento progressivo perde muito em eficiência. Outro aspecto relevante é que, em intervalo de poucas horas, todas as condições de iluminação das diferentes parcelas é modificada, exigindo nova análise. Modelos teóricos foram apresentados, particularmente por Ward (1994), Tregenza (1993), Müller (1995) e Sillion (1997), dos quais tiramos subsídios fundamentais.

#### **5 O Modelo Vetorial Esférico.**

O Modelo Vetorial Esférico proposto (Claro, 1998), tem como fundamento a unificação no tratamento dos diferentes aspectos que envolvem o estudo do comportamento da luz natural, particularmente em ambientes arquitetônicos e urbanos. Para tanto utilizamos um referencial único, unindo os pontos cardeais associados a um sistema de representação cartesiana do projeto em análise, a um globo dividido em faixas divididas em parcelas aproximadamente homogêneas, sobre o qual são representados tanto as características do céu quanto as relações de visibilidade entre cada parcela e todas as outras, bem como dela com o céu. Desta forma, todas as representações simbólicas, do modelo estão contidas em um único sistema de referência, de características espaciais bastante consistentes. Este globo, na verdade, é um conjunto de raios representados por cossenos diretores, aos quais é associado um sistema de construção e ordenamento de suas definições (as faixas de parcelas), que permitem acesso ao conteúdo de informação de cada direção através de um único índice, representado por um número inteiro, contornando as restrições feitas por Cohen (1985) à adoção de um modelo de elementos finitos associados a uma esfera, levando-o a propor o hemi-cubo.

A grande vantagem deste sistema de referência é que ele permite, tomando-se uma parcela do projeto para analisar sua visualização de todo o restante do espaço, assinalar todas as projeções no globo a partir apenas da definição das parcelas do contorno, em cada faixa, que são identificados por métodos precisos e simples de cálculo, tais como intersecção entre duas circunferências e obtenção de um intervalo comum entre dois intervalos de números inteiros. Os métodos tradicionais utilizam testes de intersecção entre todos os planos para verificação dos visíveis; aqui, as direções das parcelas contidas em cada projeção, conhecidas por sua continência nos intervalos de faixas, estão, a priori, interceptando o segmento de plano delimitado pelas superfícies, bastando-se apenas comparar as diferentes distâncias dos planos que se apresentam superpostos. No modelo Vetorial Esférico os fatores de forma obtidos representam não apenas a quantidade de luz recebida de (ou emitida para) uma determinada superfície, como também as direções de onde a recebe. Desta forma é possível tratar adequadamente superfícies que não são totalmente especulares ou difusoras, que apresentam intensidades luminosas variadas de acordo com as direções de reflexão ou transmissão. É possível tratar também a reflexão especular simultaneamente à resolução da radiosidade, dado que o referencial é absoluto e, conhecida a direção que um raio atinge uma superfície, com um simples algoritmo de reflexão obtém-se a direção refletida e, conseqüentemente, qual a parcela atingida pelo raio refletido.

## 6 Resultados Atuais

Os fundamentos teóricos e desdobramentos analíticos do Modelo Vetorial Esférico encontram-se extensamente descritos em tese de doutorado apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina (Claro, 1998). Da perspectiva de aplicação prática, o protótipo utilizado para a formulação da tese foi desdobrado em dois trabalhos que estão caminhando paralelamente.

Uma primeira vertente está voltada para a definição da visibilidade em ambientes de geometria complexa e para a verificação da incidência inicial de luz solar nesses ambientes em horas específicas. Esta linha de pesquisa testa, por um lado, as relações de iluminação em ambientes interiores localizados em conjuntos edificados urbanos, conforme exemplo da Figura 1.

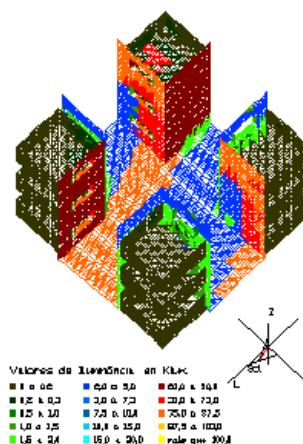
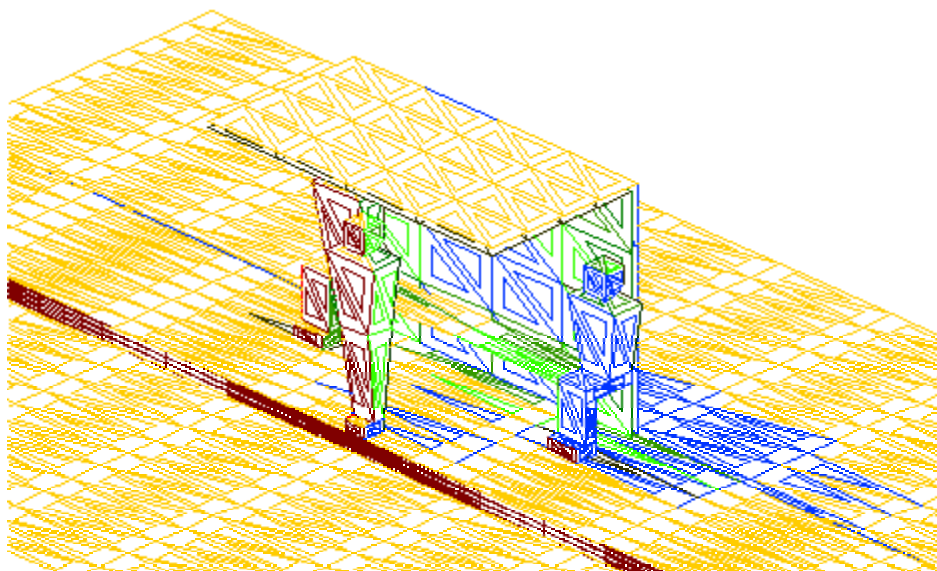


Figura 1: Estudo de insolação em conjunto urbano, compreendendo interior e exterior (foram retiradas as superfícies sem insolação inicial)

Em outro trabalho desta linha, desenvolvido pelas alunas bolsistas de pesquisa do PET, Bárbara Szücs e Gisela B. de Souza, "*Cobertura em Abrigos de Ônibus - estudo da projeção da sombra para tomada de decisão em projetos*", orientado pela Prof. Vera H. M B. Ely, está sendo estudada a incidência de luz / sombra em abrigos de ônibus de diferentes características e em diferentes condições de implantação, com exemplificado na Figura 2.

Uma segunda vertente de pesquisa, em colaboração com o Prof. Dr. Fernando O R. Pereira, da UFSC, está centrada no estudo de interiores em ambientes convexos providos de janelas, onde está sendo cumprido um ciclo completo de análise implicando cálculo da iluminância inicial em pequenas parcelas das superfícies interiores, da iluminância inicial em pequenas parcelas de um plano de análise horizontal situado a 75 cm do piso, do resultado da radiosidade trocada entre as diferentes parcelas das superfícies do ambiente e da contribuição de iluminação de cada uma das parcelas das superfícies do ambiente às parcelas do plano de análise. Esta análise é realizada automaticamente para seis datas representativas dos doze meses do ano, para cada uma das horas inteiras de exposição da abóbada ao Sol, consideradas as situações de céu limpo e de seu nublado. O programa permite variar a transmitância e leitosidade das janelas, as refletâncias de piso, parede e forro; a latitude, longitude e altitude do sítio de localização, o tipo de ar (urbano, montanha, litoral, industrial) do local; a orientação da fachada principal do ambiente em relação ao Norte geográfico. Para cada uma das situações horárias o programa categoriza as parcelas do plano de análise em zonas cuja variação da menor para a maior iluminância não ultrapassem 1/3. O objetivo do programa é fornecer um instrumento de projeto que permita o zoneamento do ambiente na definição de níveis necessários de iluminação artificial complementar e de sistemas de controle, estudados ao longo de um ciclo anual completo.



**Figura 2 - Estudo de insolação / sombra feito em abrigo de ônibus, com representação esquemática dos usuários no estudo.**

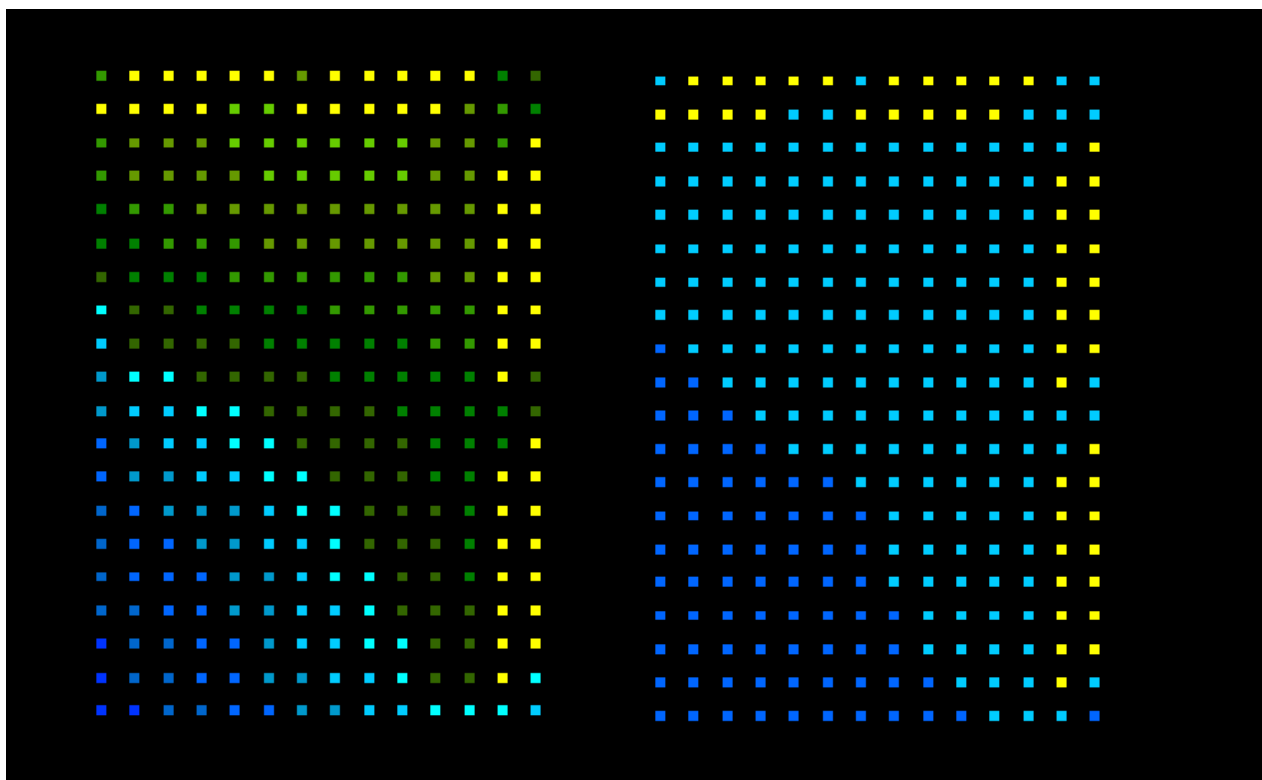


Figura 3: Exemplo de zoneamento obtido em ambiente com duas janelas à frente e duas à direita, obtidos para janelas leitosas (esquerda) e transparentes (direita).

## 7 Conclusões

O modelo tem-se mostrado, mesmo neste estágio inicial de desenvolvimento do potencial de sua aplicabilidade, eficiente na solução das proposições teóricas colocadas nas duas vertentes de aplicação. Não foram ainda testadas todas as suas potencialidades teóricas, dado que as aplicações até agora desenvolvidas praticamente estão no nível de testar a correção de resultados e o seu comportamento frente aos modelos conhecidos. Os aspectos relativos à possibilidade de tratamento unificado do fenômeno lumínico não foram ainda testados em aplicações práticas, dado que só poderemos avançar nestes aspectos com a obtenção de resultados bastante consistentes nas etapas em desenvolvimento atualmente. No entanto, a grande vantagem do modelo é que é para nós uma ferramenta conceitual aberta e acessível, capaz de ser ajustada à conveniência da verificação de aspectos teóricos específicos, como o demonstram as duas vertentes de trabalho até aqui realizadas

## 8 Bibliografia de Referência

**CLARO, A.** - *"Modelo Vetorial Esférico para Radiosidade aplicado à Iluminação Natural"*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis / SC, 1998.

**COHEN, M.F.; GREENBERG, D.P. - "The Hemi - Cube: A Radiosity Solution for Complex Environments".** ACM - Computer Graphics, v.19, n.3, 1985, pp 31 - 40.

**COHEN, M.F.; CHEN, S.E.; WALLACE, J.R.; GREENBERG, D.P. - "A Progressive Refinement Approach to Fast Radiosity Image Generation".** ACM - Computer Graphics, v.22, n.4, August 1988, pp 75 - 84.

**DRETTAKIS, G.; SILLION, F. X. - "Acurate Visibility and Meshing Calculations for Hierarquical Radiosity".** Proceedings of 7<sup>th</sup> EUROGRAPHICS WORKSHOP ON RENDERING, Portugal, 1996.

**HANRAHAN, P.; TELLER, S. - "Global Visibility Algorithms for Illumination Computations".** Computer Graphics, Proceedings of SIGGRAPH' 94, pp 443-450, June 1994.

**MOORE, Fuller - "Concepts and Practice of Architectural Daylighting".** 1a. ed 1985. Van Nostrand Reinhold, N. Y., 1991.

**MÜLLER, S.; KRESSE, W.; GATEMBY, N.; SCHÖEFFEL, F. - "A Radiosity Approach for the Simulation of Daylight".** Eurographics Rendering Workshop 1995. Eurographics, June 1995.

**NISHITA, T.; NAKAMAE, E. - "A New Radiosity Approach Using Area Sampling for Parametric Patches".** Computer Graphics Forum EUROGRAPHICS'93, v. 12, n.3 (1993), pg 385-393.

**PEREIRA, F.O.R; TURKIENICZ, B; CLARO, A. - "A Methodology for Sunlight Urban Planning: Computer-based Solar and Sky Vault Obstruction Analysis".** 4th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, em Melbourne, Australia, julho de 1995.

**SILLION, F. X. ; DAUBERT, K.; DRETTAKIS, G.; SCHIRMACHER, H. - "Hierarquical Lighting Simulation for Outdoor Scenes".** In Rendering Techniques' 97, proc. Of 8th EUROGRAPHICS WORKSHOP ON RENDERING, 1997, França.

**TADAMURA, K.; NAKAMAE, E.; KANEDA, K.; BABA, M.; YAMASHITA, H.; NISHITA, T. - "Modeling of Skylight and Rendering of Outdoor Scenes".** Computer Graphics Forum (EUROGRAPHICS' 93), v. 20, n. 4 (1986), p.125-132;

**TREGENZA, P. R. - "Daylighting Algorithms".** School of Architecture Studies, Univ. of Sheffield, UK. 1993.

**WALLACE, J. R.; ELMQUIT, K. A. ; HAINES, E. A. - "A Ray Tracing Algorithm for Progressive Radiosity".** Computer Graphics, v.23, n.3 (1989), p.315-324.

**WARD, G. J. - "The RADIANCE Lighting Simulation and Rendering System".** Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH' 94 Conference), July 1994, pp 459-72.