

INTEGRAÇÃO DA ESPECULARIDADE AO MÉTODO DA RADIOSIDADE EM ILUMINAÇÃO

Anderson Claro¹, Fernando O. R. PEREIRA¹

¹LABCON – Laboratório de Conforto Ambiental

Departamento de Arquitetura e Urbanismo / UFSC

Universidade Federal de Santa Catarina

Caixa Postal 476, Florianópolis – SC

88040-900 Brazil

Tel.: +55 48 331 9393, FAX: +55 48 331 9550

Email: ander@arq.ufsc.br / feco@arq.ufsc.br

RESUMO

A integração operativa entre dois modelos conceituais distintos como a radiosidade e o ray-tracing dificulta a obtenção de algoritmos computacionais que tratem o fenômeno da propagação da luz de forma plena. Mesmo um programa moderno como o LightScape 3.2 computa apenas as trocas luminosas entre superfícies transmissoras difusas (Lambertianas), utilizando o ray-tracing apenas para geração de imagens fotorealistas, e não para o cálculo de níveis de iluminação. O Modelo Vetorial Esférico, que vem sendo desenvolvido pelos autores através da aplicação do método da radiosidade no protótipo LuzSolar, para o cálculo de níveis de iluminação natural e na geração de imagens, também permite, conceitualmente, uma abordagem das conduções especulares durante o processo de cálculo. Neste trabalho demonstra-se a viabilidade de aplicação do Modelo Vetorial Esférico também na consideração da especularidade (transmissão e reflexão) através da utilização de um globo de parcelas de forma aproximada à aplicada no cálculo de fatores de forma para a solução de radiosidade. Demonstra-se que o método permite, através da aplicação do conceito de hierarquia, aproximar as abordagens radiosidade / ray-tracing bem como estabelecer um campo intermediário para o tratamento de materiais de diferentes comportamentos intermediários entre os extremos especular e difusor. Demonstra-se também as limitações conceituais e práticas que devem ser levadas em consideração na integração entre os dois métodos pela abordagem proposta.

Palavras-chave: Iluminação Natural; Radiosidade; Reflexão Especular; Conforto Ambiental.

1. INTRODUÇÃO

Talvez a maior dificuldade para a aplicação do método da radiosidade nos estudos de iluminação refere-se aos aspectos da reflexão especular. Normalmente os modelos utilizam a radiosidade para a obtenção de uma solução global, considerando os materiais como superfícies difusoras, complementando-se um passo posterior utilizando o método *Ray Tracing* para um dado ponto de vista. O modelo mais difundido e conhecido atualmente é o utilizado pelo programa LightScape 3.2, que considera, na solução da radiosidade todas as superfícies como refletores difusas ou transmissoras especulares, acrescentando os aspectos visuais especulares para um dado ponto de vista, contribuição que é apenas visual, não sendo computada no cálculo. As dificuldades são ainda maiores quando consideramos que grande parte das superfícies apresenta comportamento diversificado, podendo-se, grosso modo, situá-las em situações intermediárias entre os materiais de características totalmente difusas ou totalmente especulares, sejam refletores ou transmissores.

Neste trabalho apresenta-se um modelo teórico derivado do Modelo Vetorial Esférico para Radiosidade, desenvolvido em tese de doutorado do primeiro autor (CLARO, 1998), orientada pelo segundo, que permite a consideração da reflexão de superfícies especulares no computo dos níveis de iluminação, independente do observador.

Esta abordagem limita-se aos materiais perfeitamente difusores ou especulares, embora pretenda-se, no futuro, demonstrar sua viabilidade de aplicação com materiais de comportamento intermediário.

Referências importantes para a compreensão dos modelos de Radiosidade e *Ray Tracing* podem ser obtidas nos trabalhos de CHOEN (1985, 1988), Wallace (1989), Ward (1994), bem como referências teóricas da aplicação destes modelos no estudo da iluminação natural dos ambientes (Muller, 1995).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Parâmetros

O Modelo Vetorial Esférico apóia-se em um globo de referência geográfica, orientado matematicamente num sistema de coordenadas cartesianas (X, Y, Z), cujo eixo Y coincide com a orientação Norte, dando características geográficas ao globo. O globo é dividido, a partir do Zenit até o Nadir em faixas uniformes que por sua vez são divididas em segmentos uniformes. Estas parcelas do hemisfério são seqüencialmente numeradas e a cada uma associa-se um conjunto de cosenos diretores que apontam o centro da parcela (Fig. 1). O céu, por sua vez (a abóbada celeste), é caracterizado por um conjunto de luminâncias associadas a cada direção da parte superior do globo, inclusive uma posição especificada como a posição do Sol em dada circunstância. A abóbada é definida a partir de parâmetros geográficos (latitude, longitude, altitude), temporais (dia, mês, hora) e climáticas (condições atmosféricas) (Fig. 2).

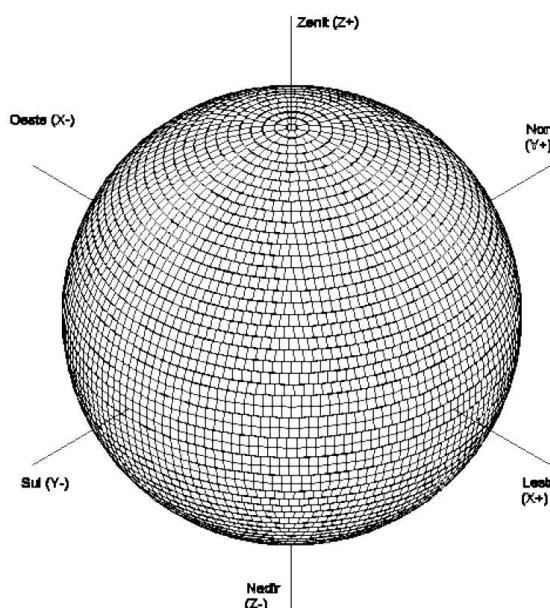


Fig. 1: Globo de parcelas dividido em 60 faixas horizontais, do Zenit ao Nadir, com 5.902 parcelas.

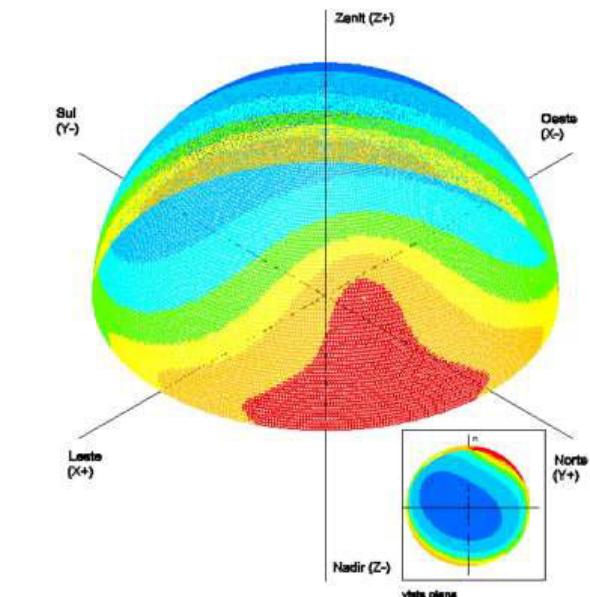


Fig. 2: Representação da distribuição de iluminâncias da abóbada, por faixas de valores, na metade superior do globo.

O projeto, por sua vez, é constituído de superfícies com características físicas (refletância, transmitância, opacidade, especularidade) e que são geometricamente fracionadas em triângulos diminutos, associando-se a cada plano uma normal caracterizada pelos cosenos diretores e pela distância perpendicular do plano à origem do sistema de referência, o centro do globo (Fig. 3.a e b).

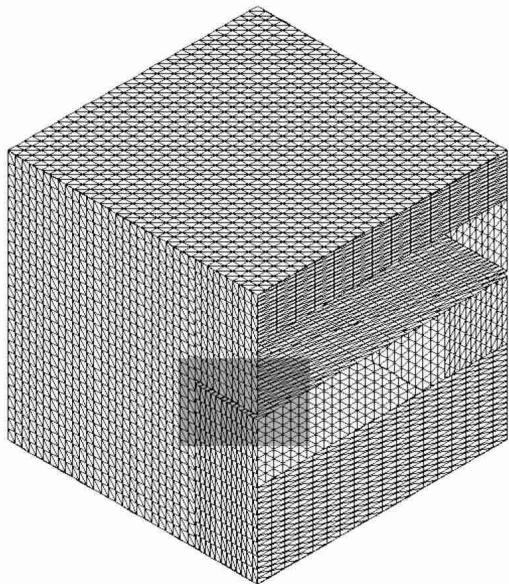


Fig. 3.a: Projeto processado neste estudo, dividido em 11.028 triângulos (detalhe na área escura).

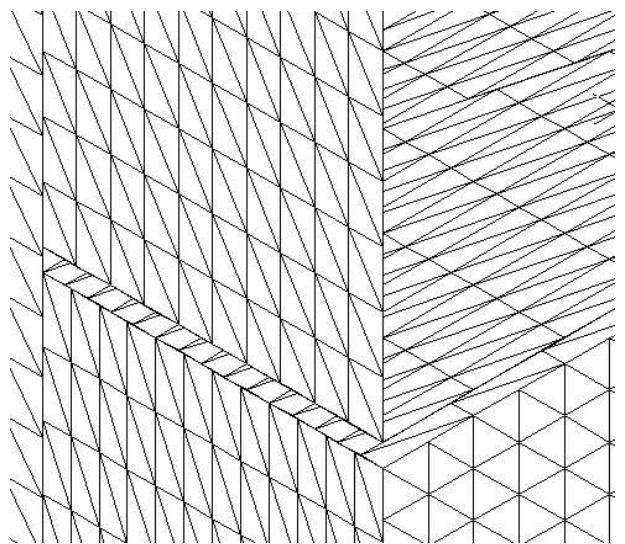


Fig. 3.b: Detalhe do projeto. Cada triângulo tem área de cerca de 0.05 m², equivalente a quadrados de 7 cm de lado.

2.2 Funcionamento Conceitual

No protótipo LuzSolar (CLARO, 2001), onde apresenta-se o tratamento de superfícies exclusivamente difusoras, o procedimento geral consiste em, tomando-se o ponto médio de cada triângulo de cada plano considerado como receptor, projetar-se todos os demais (verificadas as condições limitantes de cada um), como emissores, no hemisfério de referência. Um método vetorial permite identificar, em cada faixa do globo de parcelas, a parcela inicial e final do intervalo do hemisfério interceptado por um plano que passa pelo centro do sistema. Este método é aplicado a cada um dos planos formados pelo centro do triângulo receptor e cada aresta do plano emissor projetado. Através de uma comparação dos intervalos, obtém-se uma descrição da projeção do plano composta por parcelas iniciais e finais de diferentes intervalos das faixas que abrigam a projeção do plano.

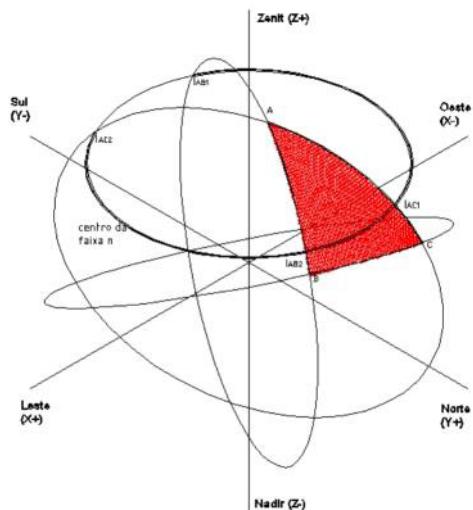


Fig. 4

Na **Figura 4** está representada a projeção de um plano triangular no globo. Observe-se que este método não projeta as parcelas interiores dos planos projetados, mas apenas aquelas que constituem os limites das arestas e descrevem seu interior. Como o método não considera a dualidade interior x exterior, e como considera o globo um sistema de projeção de ângulos esféricos, independente da grandeza das superfícies, o que se obtém, para cada triângulo receptor, é um hemisfério de direções do globo, aos quais estão associados os planos projetados, restando ainda direções não obstruídas. Na construção deste hemisfério, cada direção de um plano projetado é comparada com uma eventual.

projeção anterior, através da distância de interseção naquela direção, de forma que o plano mais próximo prevalece anotado. Na abordagem do protótipo Luz Solar, este hemisfério de cada triângulo é então reprojeto de forma que se identifica, para cada direção, qual o triângulo interceptado nos planos projetados. Este procedimento é conveniente porque, como o sistema fraciona os planos em

inúmeros triângulos, a projeção de um plano é menos onerosa do que projetar todos os triângulos. Um método simples permite identificar, objetivamente, qual o triângulo interceptado, segundo o ponto de interseção da direção com o plano. Como o hemisfério de visibilidade de um plano, no globo, é o mesmo para todos os seus triângulos, ele é definido apenas uma vez e utilizado na reprojeção de todos os seus triângulos. Pela mesma lógica, deduz-se que o fator de forma de cada direção do globo segundo o plano emissor, é o mesmo para cada um dos triângulos componentes, variando-se “**o quê se vê**” em cada direção, mas não “**como se vê**”.

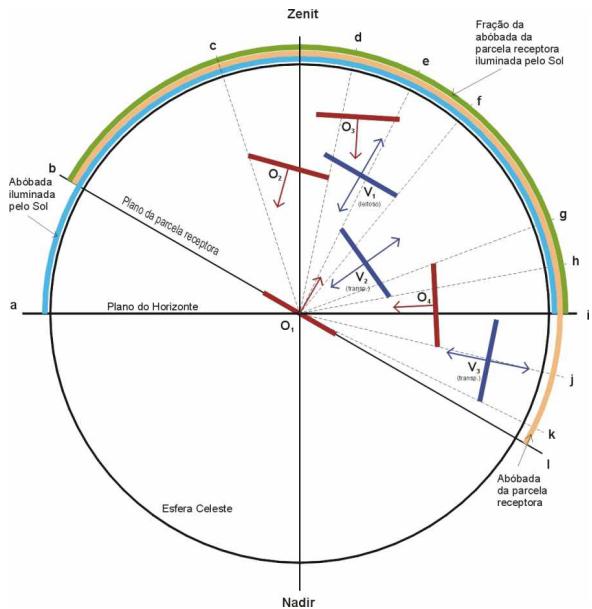


Fig. 5: Esquema bidimensional de um hemisfério de visibilidade para um triângulo

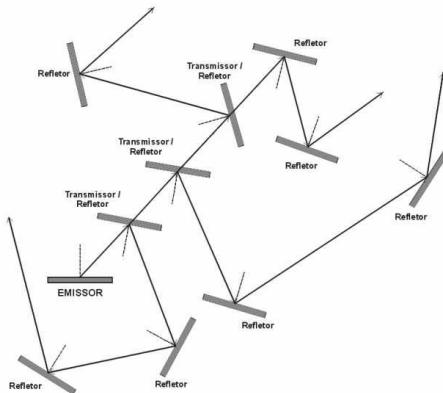


Fig. 6: Esquema geral bidimensional de multi-reflexão espelhada.

Até aqui temos, para cada plano, um hemisfério de visibilidade associado a fatores de forma, e para cada um de seus triângulos, um hemisfério de visibilidade de planos projetados ou direções não obstruídas. O procedimento segue, então, da seguinte forma:

a) para cada direção de visibilidade de cada plano tomado como receptor, em cada um de seus triângulos, verifica-se o quê é visto; b) se é visualizado algum triângulo, o fator de forma do plano receptor para aquela direção é incrementado no triângulo visualizado considerado como emissor em relação ao triângulo receptor; c) se a direção não é obstruída por nenhum plano e se pertence à porção superior do hemisfério, a direção é anotada numa lista que descreve as direções do céu vistas pelo triângulo receptor; o algoritmo considera as direções inferiores não obstruídas como não pertencentes ao modelo e as ignora no computo geral, dado que “**não vêm nada**”.

Ao final do processo temos para cada triângulo, agora considerados como emissores, uma lista dos triângulos pelos quais é visto, com seus respectivos fatores de forma, bem como uma lista das posições do céu que contribuirão para o cálculo da iluminância inicial de cada triângulo. Observe-se que esta lista é constituída por exclusão, não havendo no método uma função específica para projetar ou determinar o céu, sendo ele decorrente da inexistência de obstruções das superfícies materiais em uma dada direção do espaço. Como as projeções são feitas em modo absoluto, e não utilizando sistemas referenciais locais, as direções descritas pelos índices são as mesmas para todas as superfícies projetadas.

A solução da radiosidade é então implementada:

- calculando-se a luminância de cada parcela da abóbada de uma dada circunstância.
- calculando-se, segundo a lista de céu de cada triângulo, a iluminância inicial de cada um.
- realizando ciclos completos de distribuição da luminosidade de cada triângulo emissor para todos os que o enxergam.

Neste protótipo não foi utilizado nenhum método de refinamento progressivo, hierarquia ou heurística para obter respostas rápidas. O método contempla a determinação dos fatores de forma completos a priori e a aplicação completa da solução da radiosidade. O objetivo atual é refinar teoricamente o modelo pleno para tentar viabilizar sua aplicação, sem excluir a possibilidade de utilizar os artifícios citados.

Os resultados obtidos pelo protótipo LuzSolar foram apresentados na 18th PLEA Conference (CLARO, 2001), comparativamente a resultados obtidos com o LightScape 3.2.

3. AS CONTRIBUIÇÕES ESPECULARES

Para a proposição do novo modelo, com a contribuição especular, partimos, em princípio, dos materiais opacos, perfeitamente difusos ou especulares, dado que os materiais transmissores teriam abordagem similar. O algoritmo, no entanto, considera um nicho para estes materiais, que serão incorporados assim que forem verificadas as condições teóricas do novo modelo para os opacos.

Consideremos a etapa do modelo anterior onde, para cada triângulo de um plano receptor, temos um hemisfério de direções que descrevem a visibilidade deste triângulo. Consideremos válidas as direções não obstruídas (enxergam o céu) e as obstruídas, desta vez por um triângulo que pode ser difuso ou especular.

Nesta nova abordagem, os materiais especulares são processados como receptores até que se obtenha o hemisfério de sua visibilidade. No caso das superfícies difusas, este hemisfério é utilizado para cálculo dos fatores de forma e definição do céu e depois é descartado. Neste caso, o hemisfério de cada triângulo especular é preservado.

Em seguida, são processados os planos difusos como receptores e determinados os hemisférios de visibilidade de cada um de seus triângulos. O procedimento aqui é então modificado:

- a) Se, para cada triângulo, uma dada direção não está obstruída e está na parte superior do globo, é anotado o que chamamos de **céu direto**: direção em que o triângulo difuso enxerga diretamente a abóbada;
- b) Se a direção enxerga um triângulo difuso, é computado, como no método anterior, o fator de forma do triângulo visualizado como emissor em relação ao receptor, no que chamou-se de fator de forma direto;
- c) Se a direção aponta um triângulo especular, o algoritmo utiliza um procedimento recursivo que verifica no hemisfério de visibilidade do triângulo apontado o que é visto na direção refletida: se for visto o céu através do emissor, é anotada a direção e a variação quantitativa e qualitativa do fluxo refletido, no que chamamos de **céu indireto**; se a direção refletida aponta um triângulo difuso, é feito o cálculo de um fator de forma indireto deste triângulo como emissor, anotado numa lista o receptor como indireto, com a correção do fluxo provocada pelo tipo de superfície; se, finalmente, ao apontar um nova superfície especular, o algoritmo implementa a recursividade com as propriedades do plano refletor corrente e realiza nova investigação da direção refletida, considerada agora a direção refletida anterior como a nova incidente.

Ao final deste novo algoritmo, os hemisférios de visibilidade dos triângulos especulares podem ser descartados. Teremos então uma matriz, para cada triângulo considerado como emissor, dos fatores de forma relativos àqueles triângulos que o enxergam diretamente, e uma segunda lista daqueles que o enxergam indiretamente, com as devidas correções de fluxos obtidas. Neste primeiro momento, desconsiderou-se as variações de cores, e considerou-se o fluxo de forma integral, corrigindo-o apenas pela refletância das superfícies incidentes. Tem-se também, para cada emissor, uma lista de céu direto, e outra de céu indireto, corrigido-se o fluxo deste último como citado acima.

Para a solução da radiosidade, o procedimento inicial consiste em calcular a luminância das parcelas da abóbada celeste como no método anterior e determinar, para cada **triângulo difuso**, apenas, a iluminância inicial primeiro pelo céu direto e em seguida pelo céu indireto, com o fluxo corrigido neste último.

Em seguida, em ciclos sucessivos e completos, cada **triângulo difuso** é tomado como emissor e distribui a luz para todos aqueles outros **difusos** pelos quais é visto por fatores de forma direto, e em seguida para todos aqueles **difusos** pelos quais é visto pelos fatores de forma indiretos, corrigindo-se os fluxos de luz. Os materiais especulares não são considerados neste processo e não é calculada a quantidade de luz incidente neste tipo de triângulo. Apenas o efeito de condução por reflexão é computado nos triângulos difusos, nas interações com as fontes primárias (céu e Sol) e com outros triângulos difusos.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Para a verificação do procedimento conceitual, o protótipo LuzSolar foi implementado com rotinas que realizam os procedimentos complementares necessários ao tratamento das superfícies especulares, que será denominado Protótipo LuzEspecular, para referenciar neste trabalho, e cujos resultados serão mostrados a seguir através de um modelo processado.

Tomamos como termo comparativo um modelo constituído de um ambiente quadrangular com uma abertura na face norte e duas superfícies que chamaremos de prateleira, colocadas no meio da altura da abertura, horizontalmente, uma voltada para cima e outra para baixo a uma distância de 5 cm uma da outra. As prateleiras foram alinhadas da face Norte para o interior, com largura de 75 cm. A abertura ocupa os três metros da face Norte, com peitoril de 1 m e altura de 1.5 m como visto na Fig. 3. As dimensões do ambiente são de 3m x 3m x 3m. Para monitoramento do modelo processado, foi criado um paralelo onde acresceu-se o “plano de abertura”, coincidente com a abertura no modelo, exigido pelo programa LightScape para propiciar resultados adequados e rápidos, pois o algoritmo deste programa utiliza o plano de abertura para calcular a iluminância inicial direta no seu método de cálculo mais aprimorado. O LuzEspecular não recorre a este artifício (pelo menos atualmente).

Através de uma rotina auxiliar, o modelo (constituído de 13 planos iniciais) foi fracionado em cerca de 10.028 triângulos, cada um com área não superior a 0,05 m². Um fracionamento aproximado foi fixado para o LightScape.

Como o LuzEspecular é um protótipo cuja interface com o usuário ainda não está devidamente desenvolvida, utilizamos formatos pré-definidos de arquivos de entrada e saída, de forma a poder-se utilizar outros programas na elaboração de entradas e verificação de resultados. Desta forma, utilizou-se para a entrada de dados o formato DXF, em texto, que é depois convertido para a estrutura de dados do protótipo quando da definição do fracionamento. Para arquivos de saída, criamos um formato DXF que nos permite verificar quantitativa e qualitativamente os resultados, bem como um formato WRL (Virtual Reality Modeling Language), que permite visualizar nossos resultados de forma similar aos arquivos WRL gerados pelo LightScape, para o que foi utilizado o programa CosmoPlayer. Há uma diferença no método de geração deste arquivo entre o LightScape 3.2 (LVS) e o LuzEspecular V0 (LE): o LVS calcula a iluminância nos vértices da malha de fracionamento e interpola os resultados para os pontos no interior da malha. O LE calcula a iluminância no ponto médio de cada triângulo, interpolando uma média para cada vértice segundo os triângulos que os compõem. Daí por diante segue a mesma estrutura do LVS, re-interpolando os valores dos vértices para o interior dos triângulos. Este método é provisório, enquanto é pesquisada uma melhor forma de interpolação.

Quanto aos materiais, foi especificada uma refletância de 40% para o piso, 50% para as paredes, 60% para o forro e 80% para a prateleira inferior, voltada para o piso, todos com características opacas e difusas ideais. Para a prateleira superior foi especificada uma refletância de 90% para um material de características opaco-especulares. A mesma atribuição de refletâncias foi feita no LVS, sendo que a superfície especular foi especificada como sendo metal polido com 90% de refletância, de características especulares.

O processamento destes modelos foi realizado, em ambos os programas, para as mesmas características de data e local, gerando-se arquivos WRL para visualização e, no caso do LuzEspecular, um arquivo DXF associando-se, a cada triângulo, um valor de iluminância e uma cor que caracteriza uma categoria de resultados na qual aquele valor se enquadra.

Este arquivo tanto pode ser lido num editor como o AutoCad, como também ser verificado no LVS no formato de arquivo de projeto, o que nos dá uma idéia aproximada da distribuição das iluminâncias obtidas pelo LE através das cores associadas. Não conhecemos a correlação iluminância x brilho adotada pelo LVS na geração do arquivo de VRML, que pode ser diferente da que se adotou. No entanto os resultados permitem uma boa avaliação qualitativa. Processamos o modelo em dois horários diferentes, pela manhã (9 ou 10 h) e às 12 h do dia 22 de junho, para a latitude de 27 graus Sul, com o modelo orientado com a face que contém a abertura e as prateleiras voltada para o Norte. As visualizações são da face Norte para o interior do ambiente. O modelo foi processado primeiro para todas as superfícies difusas, depois com a face superior da prateleira como especular, e em seguida, com o teto também especular.

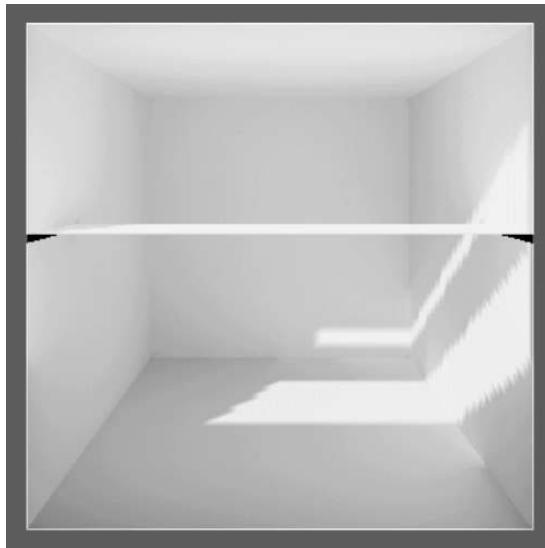


Fig. 7.a: LVS, superfícies difusas, 10 h.

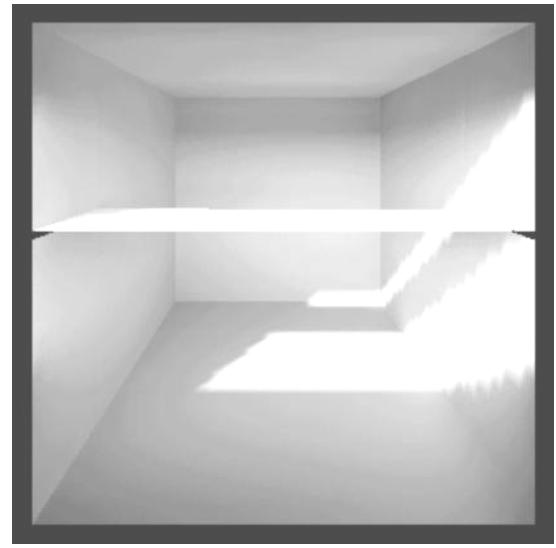


Fig. 7.b: LE, superfícies difusas, 10 h.

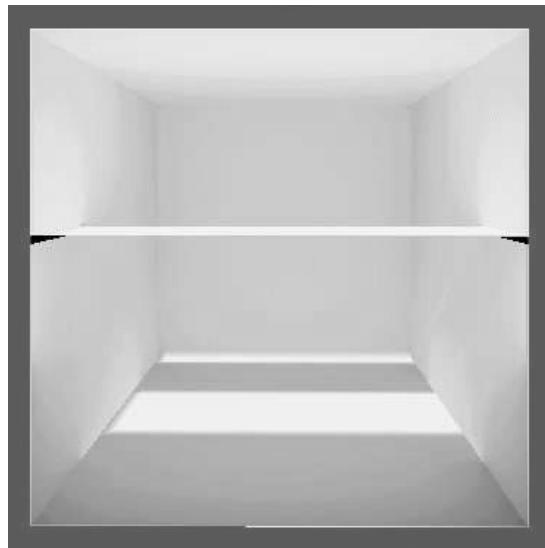


Fig. 8.a: LVS, superfícies difusas, 12 h.

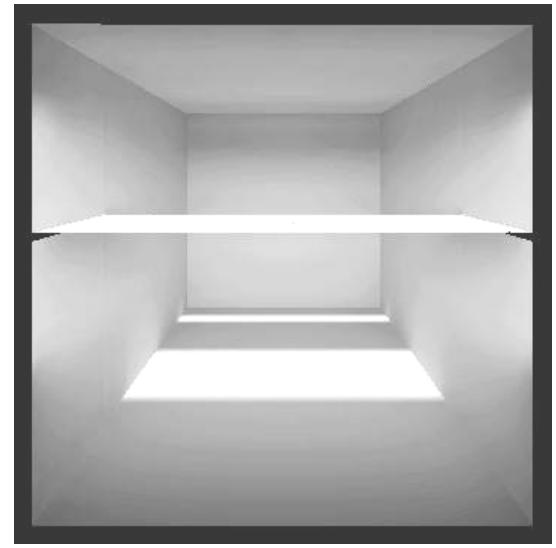
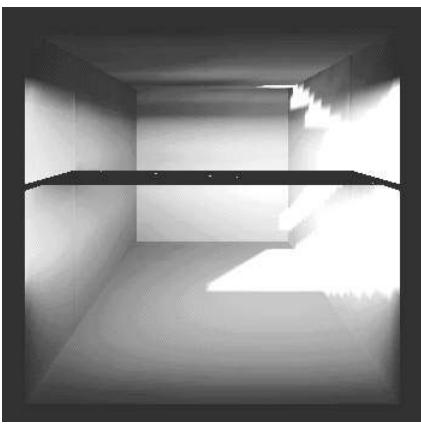
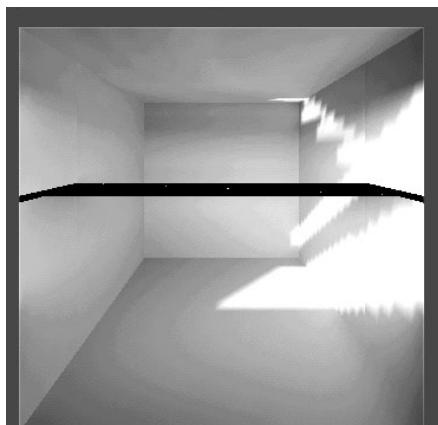


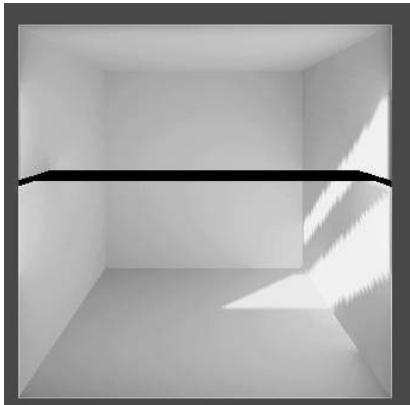
Fig. 8.b: LE, superfícies difusas, 12 h.



9.a

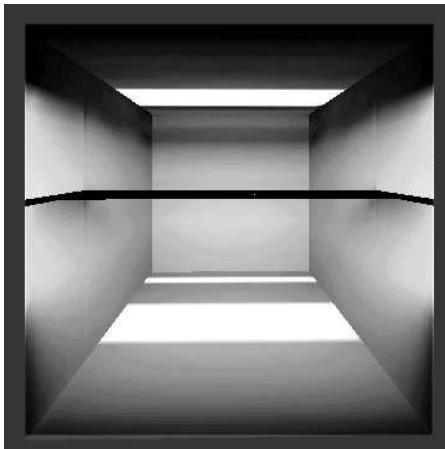


9.b

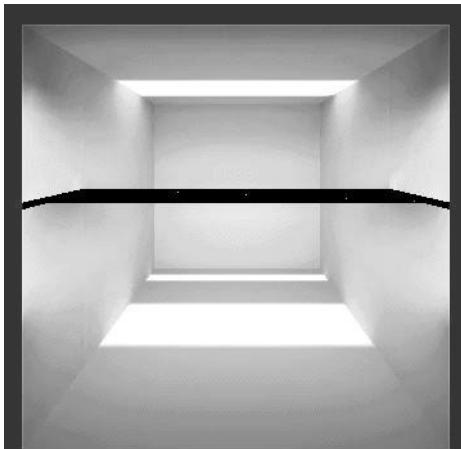


9.c

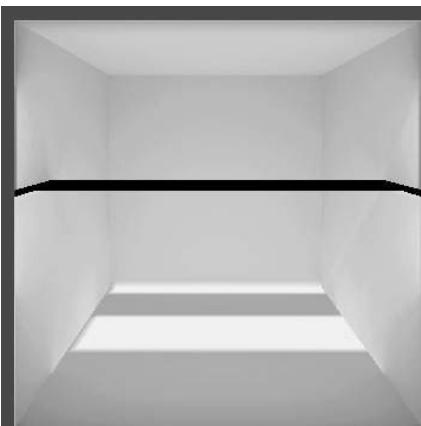
Figura 9: Processamento com a prateleira superior especular, às 9 h. No LE temos a situação inicial (9.a) e final (9.b) onde pode-se ver a luz refletida na parede à esquerda, provocada pela prateleira especular. Na figura 9.c temos o mesmo modelo processado no LVS, onde se atribuiu propriedades especulares à prateleira de luz. A imagem obtida não foi submetida ao Ray-tracing. Nos modelos processados nos dois programas, as superfícies especulares apresentam brilho zero (preto).



10.a

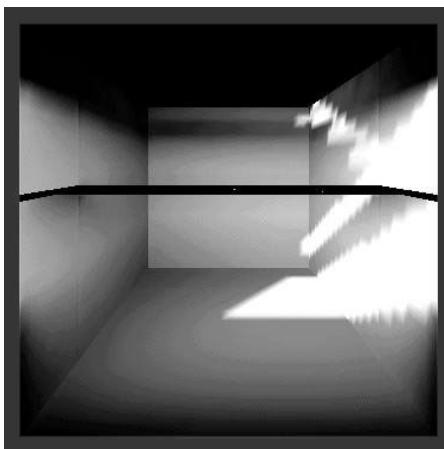


10.b

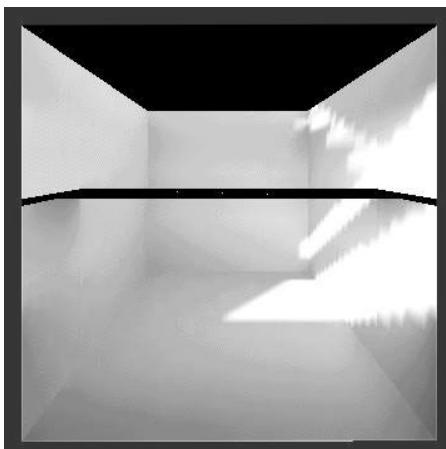


10.c

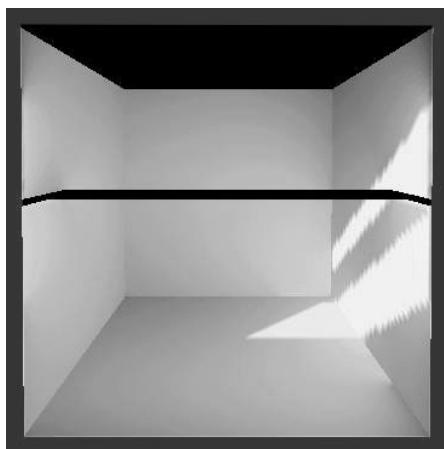
Figura 10: Processamento com a prateleira superior especular, às 12 h. No LE temos a situação inicial (10.a) e final (10.b) onde pode-se ver a luz refletida no teto, provocada pela prateleira especular. Na figura 10.c temos o mesmo modelo processado no LVS, onde se atribuiu propriedades especulares à prateleira de luz. A imagem obtida não foi submetida ao Ray-tracing.



11.a

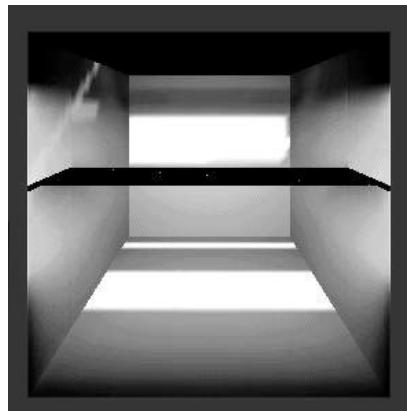


11.b

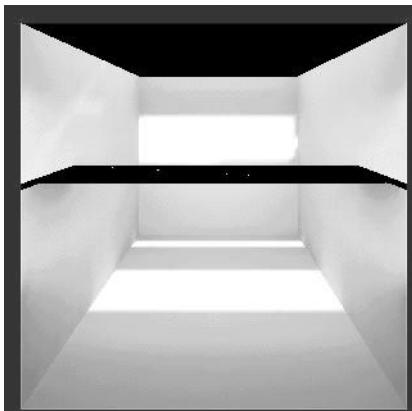


11.c

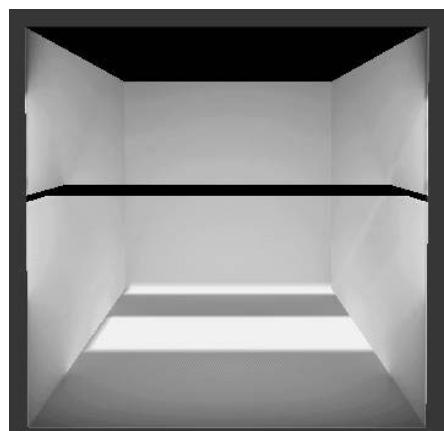
Figura 11: Processamento com a prateleira superior especular e o teto também especular, às 9 h. No LE temos a situação inicial (11.a) e final (11.b) onde pode-se ver nas paredes esquerda e do fundo a luz refletida duplamente na prateleira e no teto, ambos de propriedades especulares. Na figura 11.c temos o mesmo modelo processado no LVS, onde se atribuiu propriedades especulares à prateleira de luz e ao teto também. A imagem obtida não foi submetida ao Ray-tracing.



12.a



12.b



12.c

Figura 12: Processamento com a prateleira superior especular e o teto também especular, às 12 h. No LE temos a situação inicial (12.a) e final (12.b) onde pode-se ver na parede do fundo a luz refletida duplamente na prateleira e no teto, ambos de propriedades especulares. Na figura 12.c temos o mesmo modelo processado no LVS, onde se atribuiu propriedades especulares à prateleira de luz e ao teto também. A imagem obtida não foi submetida ao Ray-tracing.

5. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados demonstram como o modelo processado no LE considera a reflexão especular, o que aparece claramente na luminosidade refletida nos modelos processados. Em todas as situações comparativas, o LVS 3.2 apresentou resultados iguais considerando apenas as superfícies difusas. O protótipo LE permite uma visualização apenas da iluminância inicial de cada triângulo, bem como o resultado final dos ciclos processados (atualmente 5 ciclos). No LVS procuramos interromper o processo logo de início, mas não conseguimos reproduzir uma situação de calcular apenas a iluminância inicial. Ressalte-se que não conhecemos exatamente o funcionamento prático do LVS, utilizando como referência das tarefas que realiza os fundamentos teóricos da literatura que descreve os modelos conceituais de sua engenharia. Os modelos conceituais aplicados atualmente no LE consideram, como já dissemos, a radiosidade na forma plena com o cálculo dos fatores de forma a priori. Este procedimento parte do pressuposto que, diante da variabilidade temporal das condições naturais de iluminação, o estudo de soluções de projeto fatalmente implicarão em um número significativo de simulações para cada opção de projeto. Desta forma, o cálculo de fatores de forma, uma vez feito, é utilizado ao longo de todas as simulações posteriores que impliquem apenas no cálculo da radiosidade. No caso das superfícies especulares, caso seja mudada a característica de uma superfície de opaca para especular, ou vice-versa, o procedimento de cálculo dos fatores de forma deve ser refeito. Ressaltamos a intenção inicial desta pesquisa de verificar a validade teórica de aplicação do modelo e a qualidade inicial de seus resultados frente a uma ferramenta conhecida, em situações similares. Um refinamento será necessário, e é plenamente possível teoricamente, para implementação das otimizações de processamento visando a redução do tempo de realização das tarefas.

Como utilizamos uma recursividade considerando apenas a reflexão especular, a multi-reflexão é analisada apenas, raio a raio. No entanto, o modelo comporta atribuir a cada material uma propriedade de dispersão que permite, para um dado raio refletido, verificar a recursividade em um feixe de raios determinados a partir da capacidade de difusão de cada material onde estes incidem. Trata-se de um procedimento que, apesar de facilmente dedutível, implica em uma progressão em árvore, do cálculo, que atualmente o coloca apenas como uma suposição teórica realizável no futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLARO, A. – *Modelo Vetorial Esférico para Radiosidade Aplicado à Iluminação Natural*.** Tese de Doutorado Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. UFSC. Florianópolis, 1998.
- CLARO, A.; PEREIRA F. O. R. - *LuzSolar: Prototype for the Study of Daylight in Architecture and Urbanism*.** In: Anais do PLEA 2001 - 18th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Florianópolis – BRAZIL, 7-9 November 2001.
- 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.
- LIGHTSCAPE TECH. - “LIGHTSCAPE Technology Overview”.** 1998.
<http://www.lightscape.com/productinfo/techoverview/>
- MÜLLER, S.; KRESSE, W.; GATEMBY, N.; SCHÖEFFEL, F. - “A Radiosity Approach for the Simulation of Daylight”.** Eurographics Rendering Workshop 1995. Eurographics, June 1995.
- 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.