

SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL: UMA ANÁLISE DO DESEMPENHO FRENTE A DIFERENTES CARACTERÍSTICAS DE CÉU E ESPECULARIDADE DE SUPERFÍCIES.

Roberta Vieira Gonçalves de Souza, Doutoranda (1, 2); Adriano Kremer, Mestrando (1); Catharina C. de Macêdo, Mestranda (1); Anderson Claro, Dr. (1)

(1) LABCON - Laboratório de Conforto Ambiental

Departamento de Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal de Santa Catarina

Caixa Postal 476, Florianópolis - Brasil; Cep: 88040-900;

(48) 3319393 Ramal 26; Fax (48) 3319550

(2) Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo

Escola de Arquitetura da UFMG – Belo Horizonte / MG

roberta@arq.ufmg.br; adkremer@arq.ufsc.br; cacamcz@bol.com.br; ander@arq.ufsc.br

RESUMO

Este artigo descreve uma série de estudos realizados através do uso do programa Lightscape, versão 3.2, uma ferramenta computacional utilizada para a realização de simulações de iluminação em ambientes construídos. Este programa utiliza o método da radiosidade progressiva para as trocas de luz difusa, complementado por uma aplicação *ray tracing* utilizado para a visualização final dos efeitos de reflexão de luz para um dado ponto de vista.

Foi realizada uma série de simulações com o objetivo de verificar o potencial do Lightscape como uma ferramenta auxiliar no desenvolvimento do projeto arquitetônico. Para este artigo, foram testados dois itens relevantes no processo de simulação: o comportamento frente a diferentes tipos de céu e a presença ou não de sol, e o comportamento frente a materiais que apresentem especularidade.

Os resultados indicam que o programa apresenta boa sensibilidade frente a diferentes condições de céu e ao uso de iluminação direta e difusa. No entanto, o uso de superfícies especulares pode apresentar significativas distorções, uma vez que o programa não possui algoritmos específicos para tratamento de tais superfícies.

Palavras-chave: iluminação natural; simulação computacional; simulação de iluminação natural.

1. INTRODUÇÃO

A recente crise de energia elétrica pela qual passa o país, renovou a atenção de projetistas, construtores e usuários para as formas passivas de aproveitamento de recursos naturais como meio de substituição ou diminuição do impacto do uso de energia elétrica em edificações. A iluminação natural é uma das formas mais diretas de aproveitamento dos recursos naturais, uma vez que sua integração à edificação é feita diretamente e não exige qualquer tipo de conversão como no caso dos sistemas fotovoltaicos, solares ou eólicos.

No entanto, no Brasil, quantificação e qualificação da iluminação natural em ambientes internos é um assunto ainda pouco explorado pelos projetistas de edificações, em geral. Por sua complexidade e variabilidade, a iluminação natural é de difícil avaliação em termos de seu desempenho a longo prazo. A simulação em iluminação natural parece ser até então, o meio mais flexível para viabilizar tais análises.

A simulação de iluminação natural propicia a visualização dos efeitos da entrada de luz difusa e direta ao longo do ano em um processo relativamente rápido, que permite a verificação da adequação do dimensionamento e localização de aberturas, os efeitos de materiais, texturas e cores nos níveis de intensidade, e na distribuição de luz nos ambientes.

2. O PROGRAMA E AS ETAPAS DE SIMULAÇÃO

O Lightscape 3.2 desenvolvido pela Lightscape Technologies, Inc. é um programa que oferece como resultado final, modelos renderizados com excelente qualidade visual, além de modelos com escala de cores ou valores numéricos, que fornecem dados sobre a distribuição qualitativa e quantitativa dos níveis de iluminância no ambiente.

O programa trabalha com algoritmos para cálculo da radiosidade, que calcula precisamente a luz difusa do modelo, através da discretização das superfícies em polígonos, dos quais são calculados os fatores de forma utilizados nas trocas de radiação luminosa, assumindo todas as superfícies como perfeitamente difusoras (superfícies *lambertianas*). Se a superfície for transparente, a luz que passa através desta será atenuada pela cor da mesma, o que resultará em sombras coloridas (CLARO, 1998; LIGHTSCAPE TECHNOLOGIES, INC., 1996).

Não há, no entanto, um modelo matemático para cálculo de trocas de iluminação especular no programa, o que dificulta a simulação de sistemas especiais de redirecionamento da luz como prateleiras de luz, dutos de iluminação e outros. Fizemos uma verificação dos resultados obtidos pelo programa quando do uso de tais superfícies e comparamos a visualização da renderização com um modelo em escala, com o intuito de verificar quais as distorções devem ser esperadas quando do uso de superfícies refletoras no modelo a ser analisado.

Outras limitações do programa são: não há refração ou difração na luz transmitida e não há transmissão difusa.

2.1. Criação do ambiente a ser simulado

Criar uma simulação no Lightscape requer duas etapas: a etapa de preparação e a etapa de solução e o Lightscape usa uma estrutura modelo específica para cada uma destas etapas. Na etapa de preparação (extensão .lp), quando se define a geometria e os atributos do modelo (ou ambiente de estudo), a estrutura é similar à de um sistema CAD e o arquivo pode ser importado de um programa deste tipo, usando as extensões .DWG, .DXF. Caso, se queira adicionar uma estrutura ao modelo, pode-se criá-la no arquivo base, importando-o para o .lp existente, através do comando *merge*.

Na etapa de solução, o Lightscape altera a estrutura modelo para iniciar o processo da radiosidade (extensão .ls), na qual a luz incidente no modelo será distribuída através das superfícies. A geometria do arquivo de preparação não pode ser manipulada quando entra-se no módulo de solução.

Algumas recomendações devem ser seguidas para otimizar o processo de simulação: cada “*layer*” do desenho feito em CAD deverá ser corresponde a um material no Lightscape; a normal das superfícies internas deve sempre estar voltada para dentro do ambiente interno (seguir a regra da mão direita), uma vez que apenas esta face da superfície fará trocas com o ambiente; o Norte do modelo corresponde à direção do eixo Y.

Cada material define a aparência da superfície onde ele é aplicado, assim como a quantidade de luz e cor refletida pela superfície, durante o processo da radiosidade. O programa possui uma lista de materiais e um mapa de texturas, com parâmetros pré-definidos, mas que podem ser alterados pelo usuário. Devem ser definidas ainda a cor, saturação, e refletância da superfície.

2.2. A Luz Natural que incide no ambiente simulado

A luz natural no programa é fornecida por 2 fontes: sol e céu. O sol é modelado como uma fonte de luz paralela fazendo com que a direção de incidência solar seja constante em todo o modelo. O céu é modelado como uma esfera de raio infinito colocado ao redor da cena. A contribuição da luz do céu para a iluminação de um ponto é computada, considerando-se todas as direções ao redor do ponto de onde o céu é visto. A luminância (brilho) do céu não é constante ao longo da hemisfera celeste, mas muda de acordo com a direção considerada.

O céu pode ser modelado como encoberto, claro ou parcialmente encoberto, o que irá alterar não só os níveis de iluminação externos, mas também a forma de distribuição da luz na hemisfera celeste, que varia ainda de acordo com a altitude solar, em função da localidade adotada para a simulação. As

variações nos níveis de iluminação internos devido ao uso de cada um destes tipos de céu será analisado mais à frente.

2.3. O processo do *Ray Tracing*

O processo de *ray tracing* traça raios para a visualização da iluminação direta e das reflexões especulares no modelo, através do traçado de raios que saem do olho do observador até o ambiente. Além da cor e da transparência do material, ele inclui outros parâmetros como: o índice de refração, que indica o quanto o material é brilhante; o quanto o material é metálico; e a *smoothness*, que muda a aparência das reflexões e a imagem que é vista através do material.

O processo de *ray tracing* é feito quando da renderização, na qual a solução tridimensional da radiosidade é convertida em uma imagem bidimensional e produz imagens de alta qualidade e com boa precisão de sombras.

O modelo dos algoritmos da radiosidade e do *ray tracing* são complementares. O algoritmo da radiosidade proporciona precisão computacional das inter-reflexões difusas, enquanto o do *ray tracing* trabalha com os efeitos de transparência e especularidade.

3. ESTUDO DE CASO

O modelo para o presente estudo é uma sala de aula, localizada na cidade de Florianópolis (latitude 28° Sul), cujas aberturas para iluminação natural possuem orientação norte e sul de forma a otimizar a captação de luz natural, e diminuir o impacto negativo da carga térmica devido à radiação solar. A sala, de 6 x 8 m e capacidade para 40 alunos, possui como sistema de controle da entrada de luz natural, uma prateleira de luz na fachada norte que possui a função de fazer a proteção solar nos horários de maior carga térmica e refletir a luz incidente para o teto de superfície difusora. As janelas voltadas para sul são iluminadas através do corredor, que por sua vez é iluminado por uma fenda no telhado de cobertura da circulação, como mostra a figura 01. Com estes dispositivos relativamente simples, a iluminação da sala apresentou-se bastante uniforme, evitando o excesso de brilho na proximidade das aberturas laterais e garantindo níveis adequados de iluminação natural ao longo de todo o ambiente, com a minimização do uso do sistema de iluminação artificial.

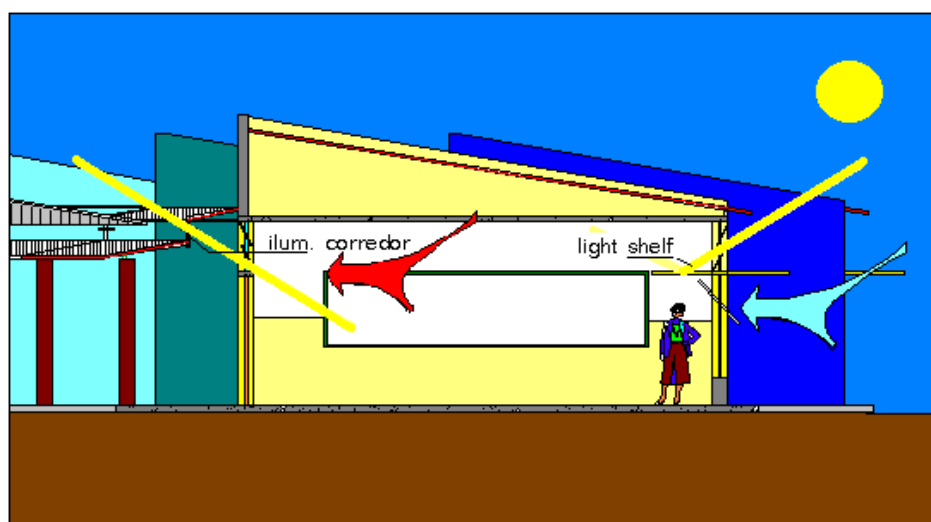


Figura 01 – Corte sala norte, com iluminação bilateral e prateleira de luz situada na fachada norte para melhorar a distribuição da luz natural no ambiente e evitar a entrada de sol nos planos das carteiras.

4. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO PROGRAMA FRENTE A VARIAÇÕES NO TIPO DE CÉU

Com o intuito de verificar o comportamento do programa frente a variações no tipo de céu, foram feitas simulações para o solstício de verão, solstício de inverno e equinócio de outono, às 9:00, 12:00 e 15:00 para os três tipos de céu encontrados no programa: céu claro, encoberto e intermediário.

Como não há como verificar-se os níveis de iluminância em plano horizontal desobstruído diretamente no programa, foi feita a simulação de uma caixa preta com índice de reflexão nulo, para os horários e dias considerados e tomaram-se os valores obtidos na parte superior da caixa.

Seria de se esperar que os valores obtidos para as 9:00 e 15:00 fossem idênticos, uma vez que a altitude solar seria a mesma, o que não ocorreu. Encontraram diferenças de aproximadamente 10% entre estes valores, como pode-se constatar nas simulações apresentadas abaixo. As pequenas variações nos níveis obtidos podem dever-se a diferenças no tempo de processamento.

CÉU ENCOBERTO

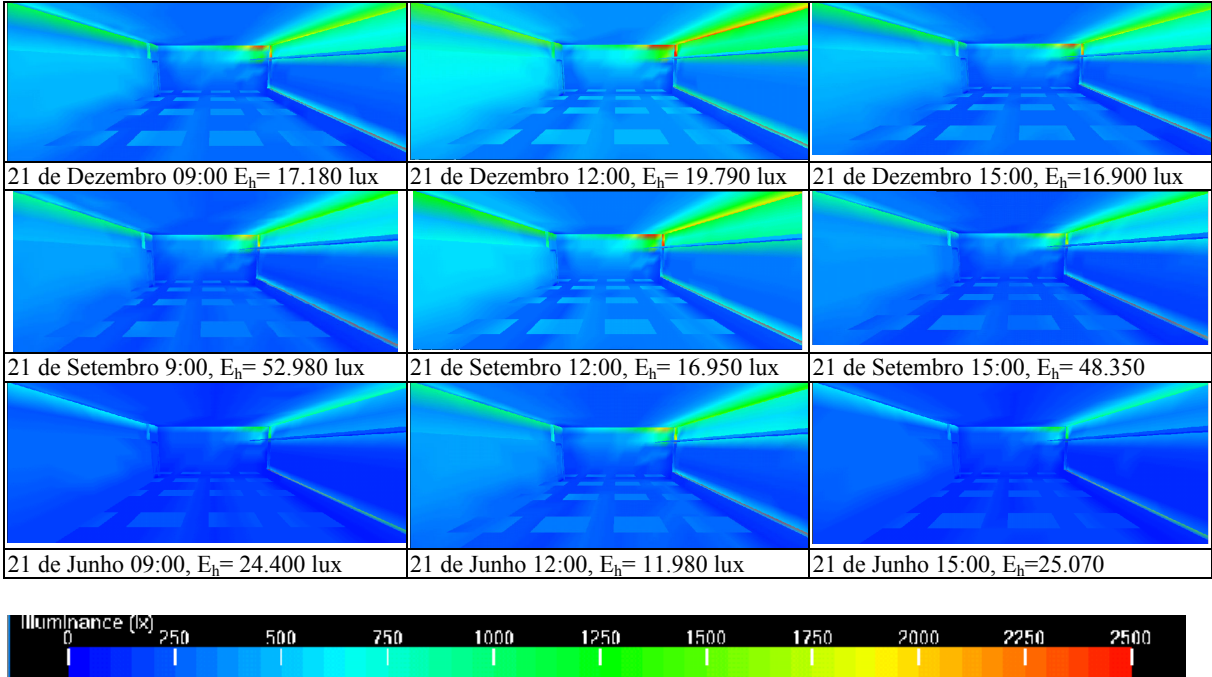


Figura 02 – Visualização dos níveis de iluminação obtidos para a simulação da sala de aula com céu encoberto às 9:00, 12:00 e 15:00 dos dias 21 de dezembro, 21 de setembro e 21 de julho.

CÉU CLARO

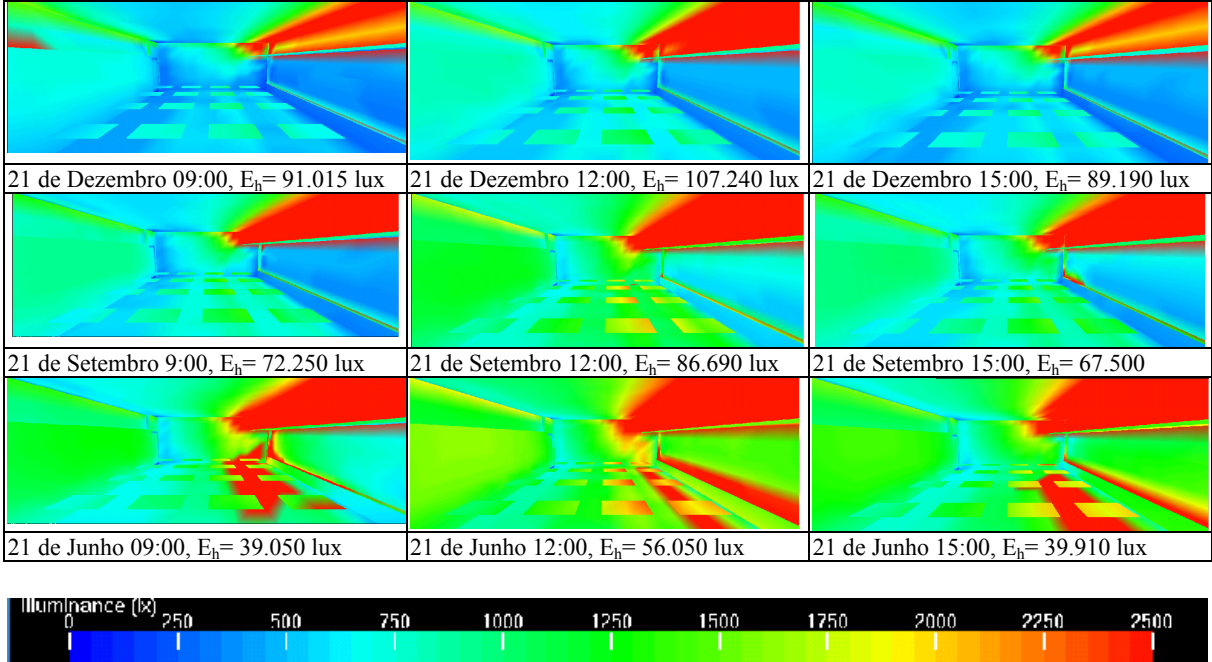


Figura 03 – Visualização dos níveis de iluminação obtidos para a simulação da sala de aula com céu claro às 9:00, 12:00 e 15:00 dos dias 21 de dezembro, 21 de setembro e 21 de julho.

CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO

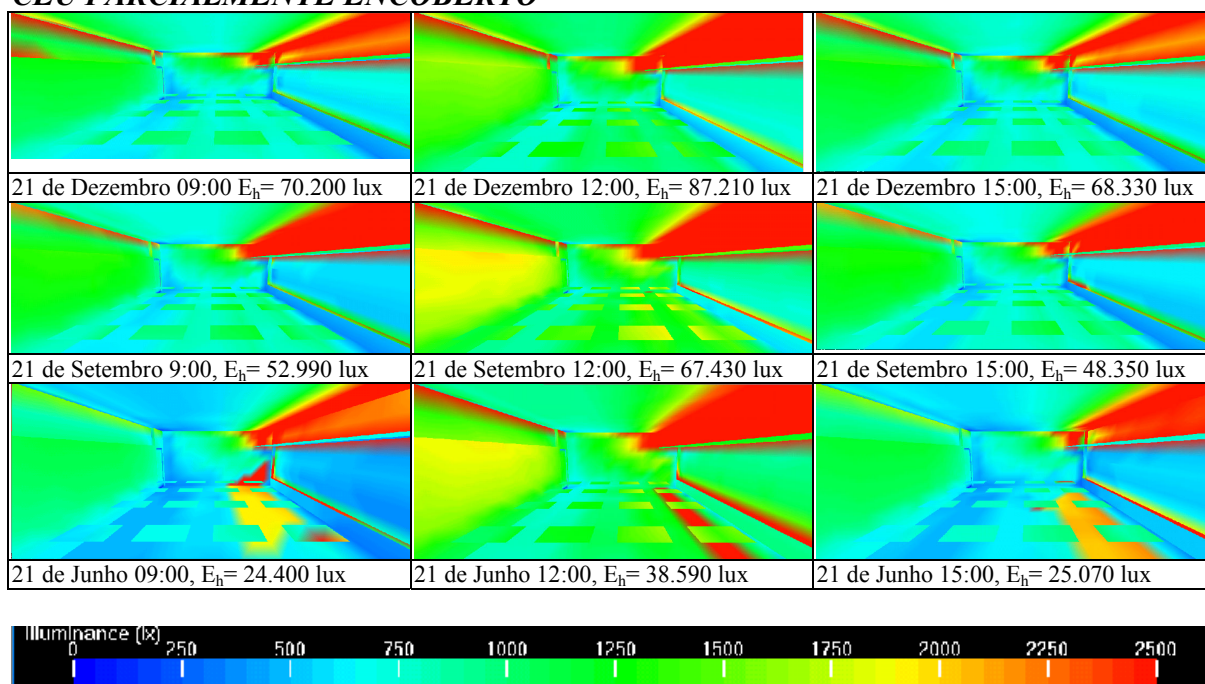


Figura 04 – Visualização dos níveis de iluminação obtidos para a simulação da sala de aula com céu intermediário às 9:00, 12:00 e 15:00 dos dias 21 de dezembro, 21 de setembro e 21 de julho.

No céu encoberto, não há presença de sol e os níveis de iluminação interna no ambiente são os menores encontrados. Os níveis de iluminação interna mais elevados são os obtidos pela simulação de céus claros e intermediários, onde há presença de sol. Os níveis de iluminância em plano horizontal desobstruído, E_h , obtidos para céus intermediários é menor que o nível obtido para céu claro. Assume-se que a presença de uma fina camada de nuvens em todo o céu irá atenuar a radiação solar direta, o que será o causador desta diminuição. No entanto, nem sempre os níveis de iluminação internos serão menores no céu intermediário do que no céu claro. Tal será dependente da posição do sol no céu. Nos casos em que não houver entrada de sol direto na edificação, o céu intermediário deverá apresentar níveis mais elevados de iluminação interna, uma vez que o céu intermediário é mais brilhante que o céu claro.

Verifica-se que o programa apresenta uma variação dos níveis de iluminação coerentes com os horários de simulação e frente à entrada ou não de luz solar direta no ambiente.

Infelizmente o programa não fornece uma visualização bidimensional do ambiente com o traçado de curvas isolux, o que facilitaria o processo de análise. Ele fornece apenas a iluminância de determinado ponto ao se clicar sobre este. Tomamos diversos pontos sobre os planos de trabalho e usamos então o programa Surfer 5.0 para criar as curvas isolux e verificar os efeitos do uso de diferentes tipos de céu na distribuição das iluminâncias o plano de trabalho (as carteiras da sala de aula, a 75 cm do chão), tomando como exemplo o dia 21 de setembro.

A seguir apresentamos os resultados obtidos para o Equinócio, 21 de setembro, às 9:00, 12:00 e 15:00 para os três tipos de céu.

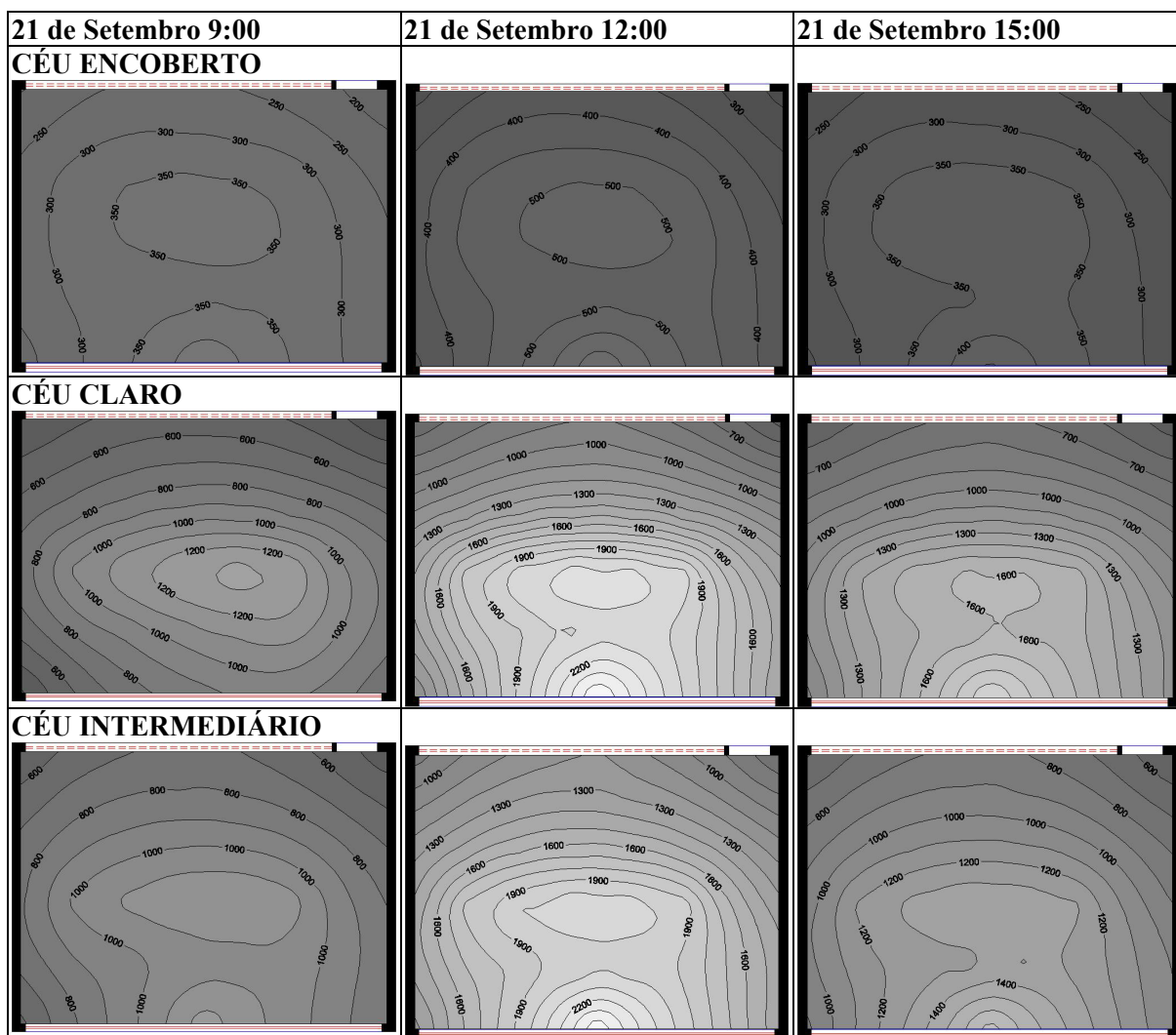


Figura 05 – Visualização dos níveis de iluminação obtidos para a simulação da sala de aula com céu intermediário às 9:00, 12:00 e 15:00 no dias 21 de dezembro, 21 de setembro e 21 de julho.

Através da análise das curvas isolux para o Equinócio, verifica-se novamente que o programa apresenta uma variação coerente dos níveis de iluminação em função dos tipos de céu e dos horários do dia, o céu encoberto apresentando os menores níveis de iluminação no plano de trabalho e o céu intermediário apresentando níveis de iluminação ligeiramente mais elevados que os apresentados para céu claro.

5. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO PROGRAMA FRENTE A MATERIAIS QUE APRESENTAM ESPECULARIDADE.

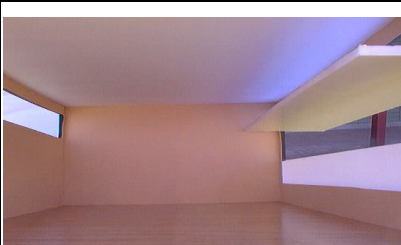

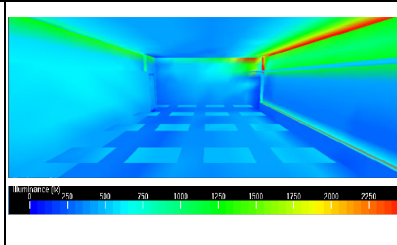
Ultimamente tem sido proposto grande número de soluções para o aproveitamento da luz natural através de elementos espelhados, sistemas de refração da luz, sistemas de lentes, elementos holográficos, etc. Estes sistemas redirecionam uma pequena parcela da luz do sol para alguma superfície, teto ou parede, a qual se tornará uma fonte de luz secundária voltada para a horizontal, ou seja, para as superfícies de trabalho (LAM, 1986). Estes sistemas que utilizam a luz direta do sol constituem uma boa alternativa para:

- melhorar a distribuição da luz no espaço interno;
- reduzir o aquecimento excessivo do ambiente interno;
- introduzir luz natural em espaços internos profundos;
- contribuir para o melhoramento do balanço do brilho do espaço, relativo à vista da janela.


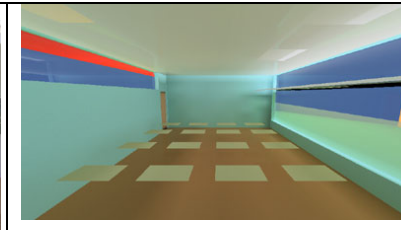
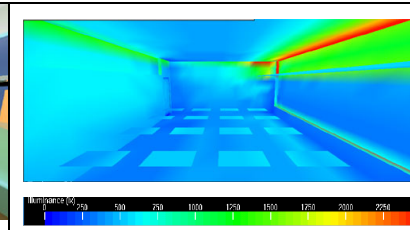
No entanto apesar de muitos pesquisadores (ROSENFELD & SELKOWITZ, 1977; LITTLEFAIR, 1990; BELTRÁN, 1994; BAKER 1993) divulgarem e incentivarem a implantação de sistemas de iluminação natural que utilizam a luz direta do sol, como uma técnica em potencial para a conservação de energia, existe uma carência de programas computacionais que sejam adequados para a correta consideração de tais sistemas.

Com já havia sido citado no item 2, o Lightscape não possui um modelo matemático para cálculo de trocas de iluminação especular, impossibilitando a execução de simulações precisas de sistemas especiais de redirecionamento da luz como prateleiras de luz, dutos de iluminação e outros.

Com o intuito de verificar que tipo de distorções pode-se esperar quando da simulação de superfícies especulares pelo programa, foi construído um modelo em escala, cuja iluminação foi comparada com modelo simulado da sala de aula descrita no item 3, para o solstício de inverno, às 9:00 horas, sob condições de céu claro. Foram analisadas duas situações distintas: a primeira onde a prateleira de luz foi revestida com uma superfície pintada de branco (e portanto, não especular) e outra em que a prateleira de luz foi revestida com uma superfície de metal polido, que deveria apresentar uma reflexão do tipo especular.

		
Figura 6 - Foto da maquete da sala de aula com prateleira de luz branca simulando o dia 21 de junho 09:00	Figura 7 - Renderização da sala de aula com prateleira de luz branca simulando o dia 21 de junho 09:00	Figura 8 - Distribuição de iluminâncias da sala de aula com prateleira de luz branca 21 de junho 09:00

Nas figuras 6 e 7 pode ser percebido o bom desempenho do programa diante da simulação de sistemas de iluminação natural que refletem luz de forma difusa, visto que o modelo em escala e o modelo renderizado apresentaram resultados visualmente semelhantes.

		
Figura 9 - Foto da maquete da sala de aula com prateleira de luz espelhada simulando o dia 21 de junho 09:00.	Figura 10 - Renderização da sala de aula com prateleira de luz espelhada simulando o dia 21 de junho 09:00.	Figura 11 - Distribuição de iluminâncias da sala de aula com prateleira de luz espelhada simulando o dia 21 de junho 09:00

Já a comparação entre as imagens das figuras 9 e 10 permite uma clara visualização da imprecisão do programa diante da simulação de sistemas de iluminação natural que refletem a luz de forma especular, visto que o modelo em escala e o modelo renderizado apresentam uma significativa diferença na quantidade de luz refletida para o teto a partir da prateleira de luz. Além disso, as figuras 8 e 11 apresentam distribuição de iluminâncias praticamente idênticas, fato que não deveria ter ocorrido, uma vez que os modelos possuem materiais bastante diferentes em termos de reflexão na parte superior da prateleira de luz (o modelo da figura 8 possui a superfície pintada de branco e o da figura 8 superfície de metal polido).

6 - ANÁLISE DE RESULTADOS

Considerou-se que as mudanças observadas nos valores de iluminâncias internas, mostra que o programa possui algoritmos específicos e precisos para o cálculo da iluminação natural, o que é bastante satisfatório para um programa que foi desenvolvido inicialmente para cálculos de iluminação artificial.

Em relação à análise do comportamento do programa frente a variações nos tipos de céu, verificou-se que o Lightscape possui uma correta consideração destes e utiliza um modelo matemático adequado à sua interpretação. As diferenças entre os níveis de iluminação externos obtidos entre as 9:00 e 15:00 podem ser explicados por pequenas diferenças no tempo de processamento, o que indica que as simulações para comparações paramétricas devem ser feitas até que o programa encerre completamente as interações entre as superfícies. O programa continua simulando mesmo quando a sua legenda indica 100% das interações realizadas.

Embora o programa não considere reflexões especulares durante o processo de radiosidade, e que a visualização das reflexões especulares e mudanças nos níveis de iluminação devidos a estas reflexões não sejam corretamente vistos ou calculados na solução final, considera-se que quando da simulação de superfícies não reflexivas, os valores obtidos a partir das simulações sejam bastante precisos e podem ser utilizados em pesquisas sobre iluminação natural de ambientes.

7 - CONCLUSÃO

O Lightscape, embora não tendo sido desenvolvido inicialmente como uma ferramenta de análise de iluminação natural, apresentou um desempenho satisfatório quando testado como uma ferramenta de pesquisa em iluminação natural, apresentando respostas de boa sensibilidade para a maioria dos testes realizadas, com a ressalva da simulação de superfícies reflexivas.

Apesar de o próprio programa indicar esta deficiência em seu sistema de processamento, a não consideração de superfícies reflexivas, limita o uso do programa, justamente numa das áreas de maior interesse atual: a da consideração de sistemas especiais de redirecionamento da luz solar direta, que vem sendo utilizados com o intuito de aumentar o aporte de luz e controlar o aporte de calor para o interior das edificações.

BIBLIOGRAFIA

BAKER N.; FANCHIOTTI A.; STREEMERS K. **Daylighting in Architecture**. James & James: London, 1993

BELTRÁN, L. O., PAPAMICHAEL, K. M., SELKOWITZ, S. E. **The Design Evolution of Three Advanced Daylighting Systems: Light Shelves, Light Pipes and Skylights** In: Lawrence Berkeley Laboratory – University of California, 1994.

CLARO, Anderson . **Modelo vetorial esférico para radiosidade aplicado à iluminação natural**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina – Pós graduação em Engenharia de produção e Sistemas, Florianópolis 1998.

LAM, William M. C. **Sunlighting as formgiver for architecture**. Van nostrand Reinold company: Nova York, 1986.

LIGHTSCAPE TECHNOLOGIES, INC., **Lightscape visualization system Version 3 for windows NT and windows 95, User's guide**, Lightscape Technologies, Inc., San Jose, USA, 1996.

LITTLEFAIR, Paul J. **Innovative Daylighting: Review of Systems and Evaluating Methods**. In: International journal of lighting Research and Technology. Vol.22 N°1, pp 1-17. The Ghartered Institution of Building Services Engineers: Great Britain, 1990.

ROSENFELD, A. H. & SELKOWITZ, S. E. **Beam Daylighting: an alternative illumination technique**. In: IES Lighting Review. Vol. 43 (1), pp. 24-26, 1977.

AGRADECIMENTOS

Este projeto foi desenvolvido utilizando a infra-estrutura do Laboratório de Conforto Ambiental do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina.