



**ENTAC2006**

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO | XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

## **LUMINA: APLICATIVO PARA CÁLCULO DO DESEMPENHO LUMINOSO DE DISPOSITIVOS DE CONTROLE DA LUZ NATURAL POR OBSTRUÇÃO E REFLEXÃO**

**Norberto Corrêa da Silva Moura**

Departamento de Tecnologia da Arquitetura Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética LABAUT - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: norbertomoura@terra.com.br

### **RESUMO**

**Proposta:** Em iluminação natural, a luz solar direta é normalmente descartada devido ao seu elevado potencial energético. Para isto, recomendam-se dispositivos de obstrução que permitam apenas a passagem da luz difusa pelas aberturas. Ao impedirem a penetração solar, existe um potencial intrínseco à sua função, que pode ser aproveitado por reflexão da luz obstruída. Por outro lado, o cálculo desta contribuição é complexo, dificultando uma avaliação precisa para dimensionamento e posicionamento adequados. O aplicativo LUMINA, objeto deste artigo, foi desenvolvido para avaliar a influência desses dispositivos na iluminação do plano de trabalho. Elaborado em AutoLISP®, opera na plataforma AutoCAD® com elementos geométricos simples. Adota os tipos de céu CIE, incluindo também a iluminação difusa proveniente das aberturas e a penetração solar. **Método de pesquisa/Abordagens:** Transferência de fluxo; conceito de esfera de raio unitário; fator de configuração e fator de forma; equações dos tipos de céu CIE. **Resultados:** Facilidade de utilização nas etapas iniciais do projeto. Possibilita a análise detalhada de cada sistema considerado nas simulações, identificando a melhor estratégia a ser adotada. Rapidez de processamento computacional. **Contribuições/Originalidade:** Pelo enfoque nos dispositivos de controle da luz natural difusa e direta, o LUMINA é uma ferramenta auxiliar precisa e versátil para concepção e dimensionamento de brises e prateleiras de luz em função de seu desempenho luminoso. A interface amigável facilita tanto a modelagem como a operação do aplicativo.

Palavras-chave: luz natural, prateleira de luz, reflexão da luz

### **ABSTRACT**

**Proposal:** Sunlight is rarely included in daylighting on account of its high energy power. Devices of sunlight control are recommended in order to provide only diffuse light through the aperture. Blocking solar penetration brings about potential energy intrinsic to this function, which could be useful by light reflection. On the other hand, it could lead to complex calculations that become difficult to measure and to place the devices adequately. The LUMINA software, this paper object, was developed to evaluate how these devices affect the workplane. Written in AutoLISP®, LUMINA operates on AutoCAD® platform with simple geometric elements. It adopts the CIE sky models and also includes the diffuse light from the aperture and the solar penetration. **Methods:** Flux transfer, unit-sphere concept, configuration factor and form factor, CIE sky models equations. **Findings:** Easy to use in the initial design phases. It provides detailed analysis of each system admitted in the simulations, identifying the best strategy to be adopted. Fast computational process. **Originality/value:** Through the focus on direct and diffuse daylight control devices, LUMINA is a precise and versatile auxiliary tool for conception and measurement of overhangs and light shelves, considering its lighting performance. The user-friendly interface facilitates both modeling and operating the software.

Keywords: daylighting; light shelves, light reflection

## 1 INTRODUÇÃO

O LUMINA é um aplicativo direcionado para o cálculo de iluminação natural com enfoque no aproveitamento da luz por reflexão. São adotados dois emissores para prover a luz no ambiente: Emissor Direto - normalmente representado pelas aberturas laterais e zenitais; Emissor Indireto - elemento refletor significativo, ou seja, um elemento projetado para tal função como prateleiras-de-luz. Considera-se como principal diferencial do LUMINA o enfoque no elemento refletor, buscando avaliar com liberdade e versatilidade dispositivos que apresentem importante contribuição luminosa no plano de trabalho. Além de possibilitar qualquer forma plana e qualquer inclinação para o elemento refletor, permite a análise separada dos emissores, facilitando a avaliação de desempenho dos componentes envolvidos.

Como fundamentação teórica do algoritmo do aplicativo cabe destacar:

- Ângulo sólido projetado;
- Método de projeção do hemisfério de raio unitário;
- Fator de configuração;
- Propriedades do difusor perfeito;
- Método da transferência de fluxo (Radiosidade).

Adotando conceitos e métodos tradicionalmente empregados manualmente em iluminação natural, foram desenvolvidas rotinas que aproveitam os recursos geométricos da plataforma utilizada (AutoCAD®). A substituição de equações complexas por operações gráficas simplifica o cálculo sem comprometer a precisão dos resultados.

## 2 DEFINIÇÕES E DESCRIÇÃO OPERACIONAL

Foram adotadas quatro categorias de elementos (Figura 1):

- **Plano de Trabalho (PLT):** Plano de interesse da atividade. Deve ser necessariamente horizontal.
- **Emissor Direto (PDR):** Superfície luminosa cujo fluxo atinge diretamente o Plano de Trabalho, normalmente representada pelas aberturas laterais e zenitais.
- **Emissor Indireto ou Placa Emissora (PLE):** Superfície luminosa de exitância uniforme, normalmente representada por um plano difusor perfeito que recebe radiação solar direta e difusa.
- **Placa Receptora (PLR):** Superfície que conduz o fluxo luminoso da Placa Emissora para o Plano de Trabalho, normalmente representado pelo forro e paredes internas do ambiente.

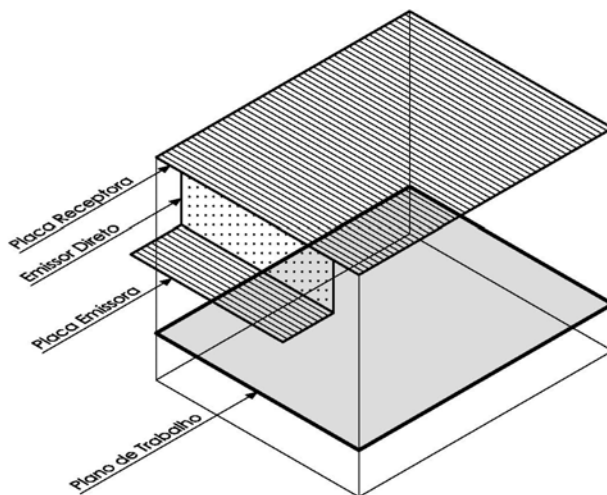


Figura 1 - Definições

As exitâncias dos dois emissores - **Mdr** para o Emissor Direto e **Mpe** para a Placa Emissora (Emissor Indireto)<sup>1</sup> - podem ser fornecidas pelo usuário ou calculadas automaticamente em função da localização geográfica, data e hora.

Os emissores são independentes. O Emissor Direto pode ter qualquer forma, inclusive não-plana. Caso isto ocorra, o usuário é alertado, pois pode haver regiões de sombra e obstrução causadas pela forma do próprio emissor. Recomenda-se, nestes casos, definir uma superfície plana equivalente. Entretanto, este recurso pode ser útil para emissores não convencionais como as tensoestruturas com membranas translúcidas.

Todos os elementos devem ser definidos previamente por seu perímetro como “2Dpolylines” planas. Apenas o Emissor Direto aceita “3Dpolylines”, mas com as precauções já comentadas. Recomenda-se, para trabalhar com as Placas Emissora e Receptora em planos não horizontais, ajustar o sistema de coordenadas do AutoCAD (*UCS: User Coordinate System*) ao plano desejado antes de desenhar as placas, ou desenhar as placas em plano horizontal e depois posicioná-las no espaço.

Desenhados todos os elementos, pode-se iniciar o aplicativo.

## 2.1 Quadro de Diálogo

O aplicativo LUMINA foi elaborado em DCL e AutoLISP®. A primeira é uma linguagem de controle para quadros de diálogo (*Dialogue Control Language*) e a segunda está baseada na linguagem de programação LISP. O quadro de diálogo é a forma de interação do aplicativo com o usuário, como: entrada de dados, verificação dos elementos selecionados ou digitados e avisos de alerta (Figura 2).

Figura 2 – Quadro de Diálogo

<sup>1</sup> A nomenclatura Placa Emissora foi adotada para o Emissor Indireto no intuito de compor o binômio:

Placa Emissora → Placa Receptora. Para a exitância indireta adotou-se a nomenclatura exitância emissora.

A região superior do quadro é de preenchimento opcional, referente à posição geográfica, data e horário. Se os dados forem fornecidos, as exitâncias serão calculadas em função da luz solar direta e difusa. Outra opção é fornecer diretamente as exitâncias nos campos apropriados. Embora, até o momento, o único tipo de céu disponível seja o Céu Claro CIE, poderão ser introduzidos outros tipos de Céu futuramente, bastando acrescentar as respectivas equações. Os resultados no cálculo da Posição Solar, além do azimute, altura e hora solar, passam a exibir as iluminâncias no plano horizontal desobstruído provenientes do céu e do Sol.

A região central refere-se aos planos envolvidos. Nota-se que as exitâncias direta e indireta (exitância emissora) podem ser habilitadas separadamente, o que possibilita a independência entre os emissores considerados. Quando é acionada a tecla [Calcular] em Posição Solar, os campos destinados à digitação das exitâncias (emissora e direta) são desabilitados e a anotação **Calc...** surge nesses campos, indicando que seus valores foram calculados em função da posição solar. Inversamente, quando as exitâncias são digitadas, toda a região superior é desabilitada, impedindo o cálculo da posição solar. Esta opção é útil quando é conhecida a exitância da fonte luminosa, podendo inclusive ser aplicada para fontes artificiais. A parte inferior desta região permite verificar os planos selecionados, e a parte direita indica quais planos foram selecionados. Na linha destinada à Placa Emissora está a tecla [Obstr. PLE] para seleção das obstruções da Placa Emissora. Esse recurso permite estimar tanto o fator de obstrução da iluminação difusa como as projeções de sombra da iluminação solar direta na Placa Emissora, e o cálculo da exitância emissora é determinado em função destas duas componentes distribuídas na superfície da placa. O campo Status nessa linha, além da seleção da Placa Emissora, acrescenta uma anotação referente às obstruções. Caso nenhuma obstrução seja selecionada, a anotação indicará provisoriamente **sem Ob.**, mas o cálculo considerará ao menos a Placa Receptora como obstrução, pois esta é uma condição necessária para a ocorrência do fenômeno em questão. A linha referente ao Emissor Direto apresenta uma tecla [Reset PDR], permitindo retomar o cálculo desta categoria. A linha de verificação dos elementos selecionados, além de destacá-los na área de trabalho do *AutoCAD*, mostra o coeficiente associado ao elemento da seleção, exceto para as obstruções e o Plano de Trabalho.

A região inferior define a malha de pontos e o prefixo das *layers* de trabalho que o aplicativo adotará. A malha de pontos servirá tanto para a grade que será gerada no Plano de Trabalho como para todos os elementos que serão “discretizados” no cálculo. Quanto maior o número de pontos da malha, maior a precisão dos resultados, mas também maior o tempo de processamento. No canto inferior direito, estão os campos PREC. E COEFICIENTES. O campo PREC. ajusta a precisão das fontes de luz, ou seja, a Placa Emissora e o Emissor Direto. Para o cálculo das exitâncias, são identificados pontos que partem do centróide para a borda das superfícies. As opções Al, Md e Bx, relacionadas aos graus de precisão alto, médio ou baixo, determinam o número de pontos a serem considerados nas simulações. Após ser digitado o valor no campo COEFICIENTES, é habilitada a tecla de seleção dos planos, para aplicar o coeficiente fornecido. Este é único para cada elemento, significando transmissão luminosa (superfícies transparentes) ou reflexão luminosa (superfícies opacas).

Existem alguns recursos de segurança no quadro de diálogo. Erros de digitação, como letras em campos que requerem números ou valores fora do espectro permitido, não são aceitos. Quanto à lógica dos procedimentos, o aplicativo também faz algumas verificações. O Plano de Trabalho deve ser sempre selecionado, pois é o objetivo final do cálculo. Se a exitância emissora for habilitada, devem ser selecionadas as placas Emissora e Receptora por serem interdependentes. O aplicativo faz estas verificações automaticamente e avisa o usuário antes de prosseguir.

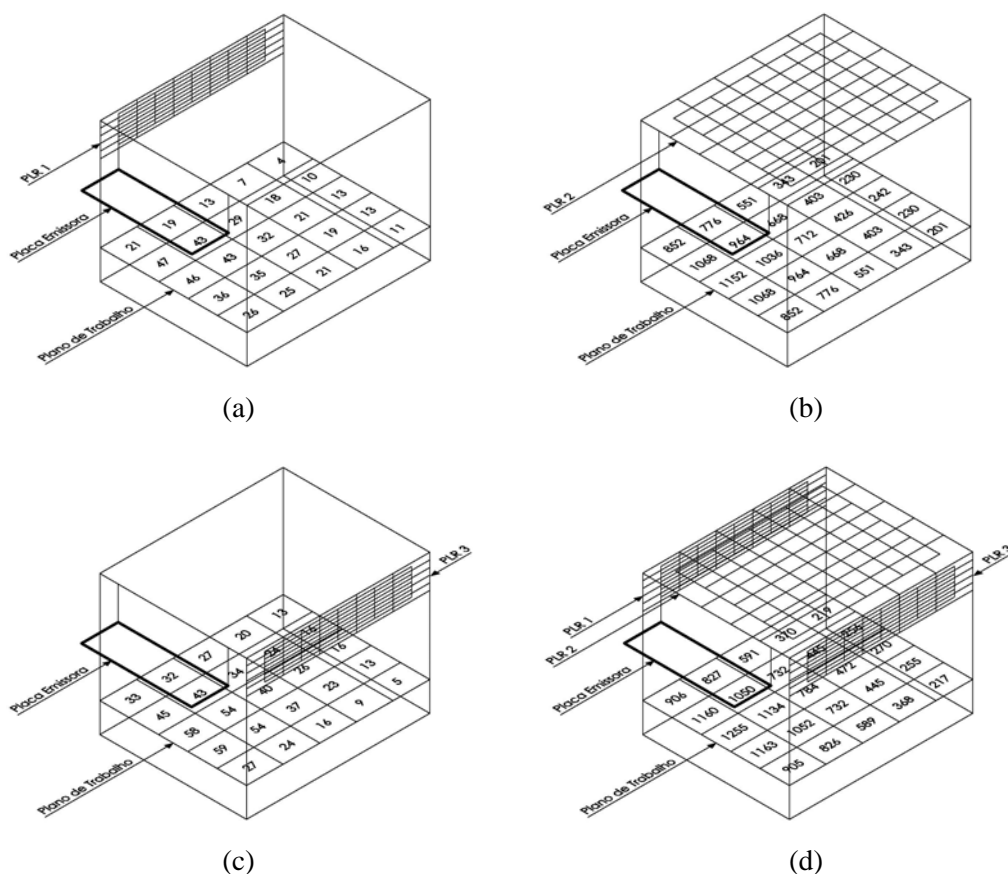
Normalmente, os planos não podem pertencer a mais de uma categoria. Se for selecionado o mesmo plano para duas categorias, o aplicativo pede confirmação para alterar ou aceitar a seleção. Apenas o Emissor Direto e a Placa Emissora podem ser atribuídos ao mesmo plano. As obstruções são uma categoria secundária, onde não se aplicam estas observações.

Quando a entrada de dados estiver completa, ao acionar o botão “OK” é iniciado o cálculo e o resultado final é indicado na grade de pontos do Plano de Trabalho.

### 3 CÁLCULO DA CONTRIBUIÇÃO DA PLACA EMISSORA

Tradicionalmente, a maior complexidade envolvida no cálculo de iluminação natural está na reflexão da luz interior. Este fato levou ao desenvolvimento de métodos analíticos com o emprego de nomogramas e tabelas para a obtenção da componente de reflexão interna, buscando uma maneira simplificada para ser utilizada pelos projetistas (HOPKINSON; PETHERBRIDGE; LONGMORE, 1975. p.277-9). As mesmas dificuldades foram observadas na elaboração do LUMINA, o que levou inicialmente à limitação de um elemento por categoria. Assim, o Plano de Trabalho, a Placa Emissora, a Placa Receptora e o Emissor Direto foram adotados preliminarmente como elementos únicos por simulação. Entretanto, essa condição é irreal, pois, exceto para o Plano de Trabalho, normalmente se observam múltiplos planos interagindo. A mesma Placa Emissora alimentando diversas Placas Receptoras, ou diversas Placas Emissoras conduzindo a luz para uma única Placa Receptora, são os fenômenos mais comuns, e o aplicativo necessitava atender tal requisito.

Para as Placas Emissora e Receptora, a solução encontrada foi uma operação cíclica mantendo o algoritmo original. Cada Placa Emissora continua admitindo apenas uma Placa Receptora por vez, mas pode-se repetir a operação indefinidamente. As operações são separadas por camadas (*layers* do *AutoCAD*) com código específico, o que possibilita a análise posterior do desempenho de cada conjunto. As contribuições vão sendo somadas à grade do Plano de Trabalho, e os valores totais registrados também são armazenados em *layer* com código específico (FIG.3a, 3b, 3c e 3d).



**Figura 3 – Cálculo do desempenho de uma Placa Emissora e três Placas Receptoras: PLR 1(a) PLR 2 (b) PLR 3 (c) e Somatória (d)**

## 4 CÁLCULO DA CONTRIBUIÇÃO DO EMISSOR DIRETO

O Emissor Direto também aceita múltiplos elementos, mas não por operação cíclica. A tecla de seleção pode ser acionada diversas vezes, sendo uma seleção cumulativa, e o campo *Status* no Quadro de Diálogo indica a quantidade de emissores selecionados. Considera-se que, uma vez determinados, os Emissores Diretos correspondentes às aberturas não devem mais sofrer alteração. O mesmo ocorre com o Plano de Trabalho. Portanto, após o primeiro cálculo acionado pela tecla [OK], tanto a região inferior do quadro, que define a grade de pontos, como as teclas de seleção do Emissor Direto e do Plano de Trabalho serão desabilitadas nas próximas exibições do Quadro de Diálogo.

Semelhante às Placas Receptoras, as contribuições dos Emissores Diretos também são anotadas em *layer* com código específico. A diferença é que os valores representam o total e não podem ser separados por emissor. A Figura 4 ilustra o resultado da simulação de dois Emissores Diretos às 11hs do solstício de inverno para latitude 23°Sul e longitude 43°Oeste.

O único elemento que não aceita múltiplas seleções é o Plano de Trabalho. Outra característica no tratamento desse elemento é que sua seleção torna-se irreversível após o primeiro cálculo. Já para o Emissor Direto, embora também tenha sua seleção desabilitada, é dada a opção de nova seleção pela tecla [Reset PDR]. Com o seu acionamento, os Emissores Diretos selecionados são excluídos do cálculo e a seleção anterior é anulada, habilitando a respectiva tecla para permitir nova seleção.

O LUMINA incorpora na simulação a análise da penetração solar no Plano de Trabalho. Os pontos da grade onde isso ocorrer são marcados com um círculo. No cálculo da iluminância, a influência da luz direta no ponto não é considerada, mas pode ser obtida pela soma do valor pontual referente à luz difusa (indicado na grade) com a iluminância direta no plano horizontal (indicada no Quadro de Diálogo). Pelos pontos marcados, pode-se ter uma aproximação da área atingida pela luz direta, cuja precisão depende no número de pontos definidos para a grade do Plano de Trabalho.

São anotadas, na Placa Emissora e no Plano de Trabalho, a posição solar no hemisfério unitário e também sua projeção ortogonal no plano considerado. Essas indicações são feitas em *layers* de trabalho, criadas para este fim (Figura 4b).

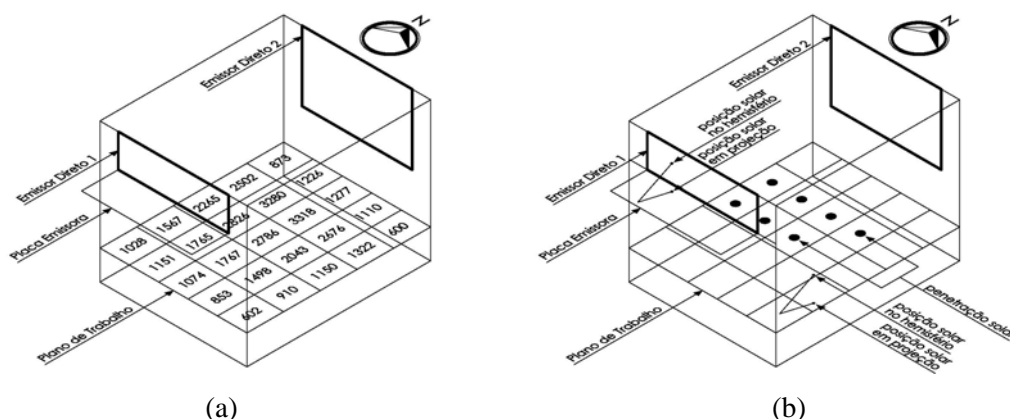


Figura 4 – Cálculo do desempenho do Emissor Direto. Iluminâncias (a) e penetração solar (b)

## 5 CÁLCULO DAS EXITÂNCIAS

Um aspecto fundamental, para estimar a exitância da Placa Emissora **Mpe**, está em avaliar a influência das obstruções na luz direta e difusa que atinge sua superfície. Para representar geometricamente a superfície refletora, adotou-se uma nuvem de pontos com distribuição linear, que parte do centróide para as bordas da placa. A quantidade de pontos é determinada pela precisão escolhida na entrada de dados do Quadro de Diálogo (Figura 2). Em cada ponto da nuvem é traçada a máscara das obstruções para posterior avaliação de sua interferência na luz direta e difusa que atinge o ponto.

A Figura 5 ilustra o traçado de máscara em dois pontos distintos para três obstruções. Pela maior proximidade das obstruções, a máscara no ponto 1 abrange maior área que no ponto 2. Observa-se ainda que, no ponto 1, a posição solar em projeção está dentro da máscara e, no ponto 2, está fora da área delimitada pela máscara. Portanto, para o horário e data considerados, no ponto 1 só há incidência da luz difusa, enquanto que, no ponto 2, há incidência da luz solar direta e difusa.

Por este procedimento, o aplicativo verifica toda a nuvem de pontos, registrando as iluminâncias de cada ponto para o cálculo da exitância emissora, que é obtida pela média dos valores pontuais multiplicada pelo coeficiente de reflexão da Placa Emissora.

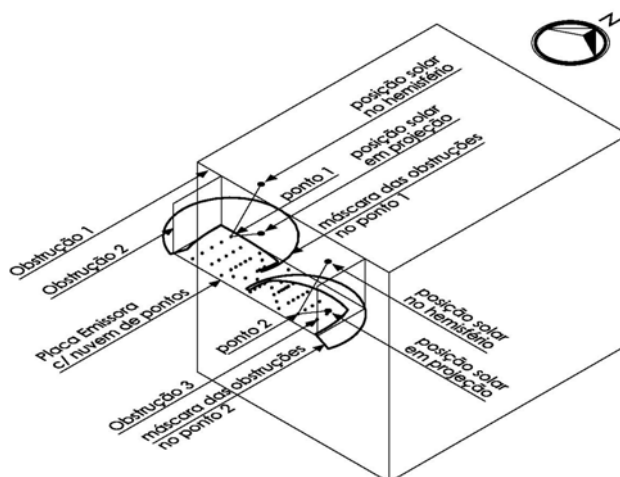
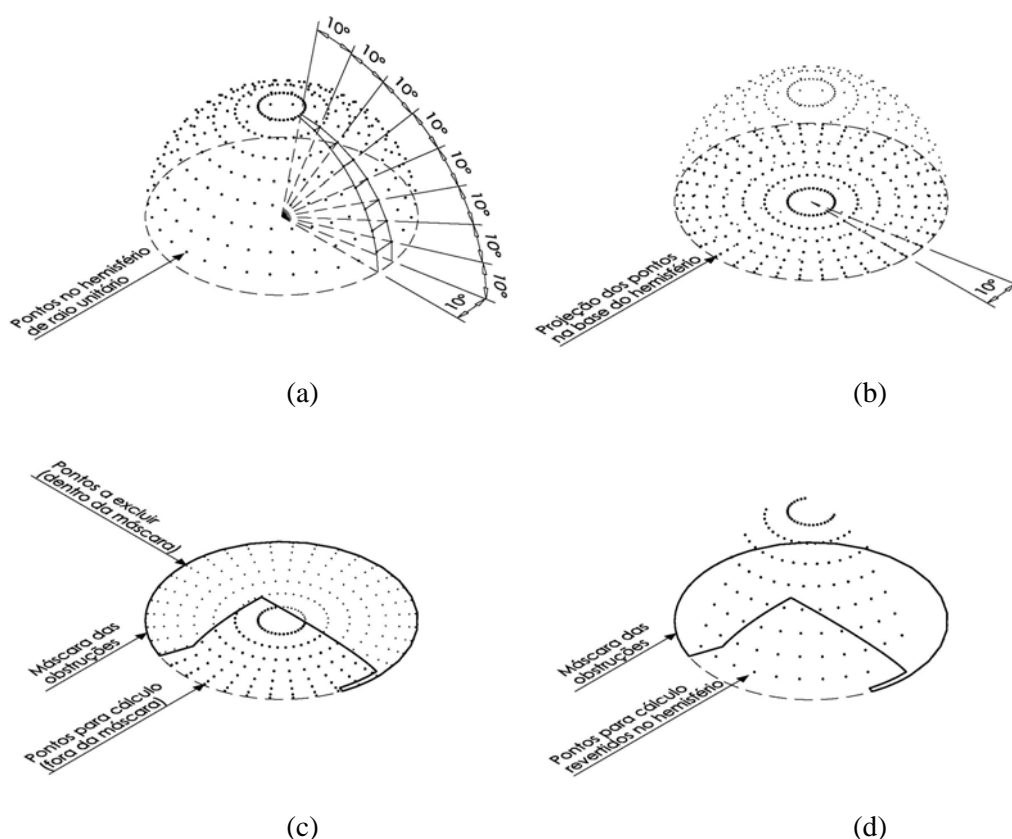


Figura 5 – Traçado de máscara das obstruções da Placa Emissora

Após o traçado das máscaras pontuais, calcula-se a iluminância em cada ponto em função das contribuições da luz direta e difusa que atinge o ponto. A primeira é mais simples de ser avaliada, estando numa relação binária sim ou não para ser processada. A segunda exige certa complexidade de cálculo, pois depende da área determinada pela máscara e sua correspondência com a abóbada celeste.

Aplicando as equações dos tipos de céu padronizados CIE, obtém-se a luminância em qualquer ponto localizado no céu. Torna-se necessário então, selecionar os pontos de interesse na esfera celeste, que são aqueles não obstruídos pela máscara das obstruções. Para isso, adotou-se uma malha de pontos no hemisfério unitário com módulo de 10 graus nos ângulos horizontais e verticais (Figura 6a). A projeção ortogonal dos pontos no plano da base do hemisfério constitui o Diagrama de Pontos (Figura 6b) a serem selecionados pela máscara das obstruções (Figura 6c). Os pontos selecionados são excluídos do diagrama e reverte-se a posição dos pontos remanescentes para o hemisfério, os quais serão utilizados no cálculo (Figura 6d).



**Figura 6 – Cálculo da exitância Mpe. Malha de pontos no hemisfério (a). Diagrama de pontos no plano da Placa Emissora(b). Máscara sobre o diagrama de pontos (c). Pontos para cálculo no hemisfério (d).**

Procedimento semelhante foi utilizado para determinar a contribuição do Emissor Direto no Plano de Trabalho. A grandeza exitância direta, adotada originalmente como um valor conhecido a ser digitado pelo usuário, pode parecer inadequada quando o valor é calculado pelo aplicativo, pois se refere à luminância, e não à exitância, da parcela de céu visível dentro do ângulo sólido determinado por um ponto, no Plano de Trabalho, e o perímetro do Emissor Direto. Entretanto, a grandeza exitância direta permaneceu na versão atual, pois o aplicativo permite sua digitação como alternativa ao cálculo, e quando o valor não é digitado, o campo é preenchido com a anotação “**Calc...**” para evitar qualquer confusão com as grandezas envolvidas.

Diversamente da exitância emissora Mpe, que passa a exibir o valor calculado no respectivo campo pela média da nuvem de pontos da Placa Emissora, a exitância direta mantém a anotação “**Calc...**”, dado que o valor é variável para cada ponto considerado no Plano de Trabalho.

O Diagrama de Pontos (Figura 6b) é aplicado a cada ponto da grade do Plano de Trabalho e a máscara do Emissor Direto é projetada no mesmo plano. Aqui, os pontos de interesse estão dentro da máscara, e têm sua posição restaurada no hemisfério de raio unitário, cujas luminâncias serão calculadas para determinar sua contribuição no Plano de Trabalho.

Por este procedimento, a penetração solar também é identificada e anotada nos pontos de ocorrência, mas, conforme já observado, a contribuição da luz solar direta não é considerada no cálculo do nível de iluminação.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Dentre as ferramentas disponíveis para predição da luz natural no ambiente construído, podem-se identificar dois extremos. O primeiro, representado por métodos manuais gráficos e analíticos, considera tradicionalmente apenas a luz difusa proveniente da abóbada celeste (Céu Encoberto) e descarta a luz solar direta no cálculo. No outro extremo encontram-se aplicativos com algoritmos complexos, merecendo destaque o RADIANCE pela disponibilidade e confiabilidade, devido à sua freqüente submissão a testes de validação por diversos pesquisadores em todo mundo, e por considerar, no cálculo, a luz solar direta e difusa.

No Brasil, alguns pesquisadores também têm contribuído nesses dois extremos. A Parte 3 do Projeto de Norma para Iluminação Natural ABNT 02:135.02-003 (2003), referenciado na dissertação de mestrado de Souza (1997), ilustra importantes avanços no primeiro extremo, incluindo o tipo de Céu Claro CIE nos diagramas de cálculo e propondo uma metodologia para cálculo da luz proveniente de superfícies expostas à radiação solar direta. No segundo extremo, os aplicativos APOLUX (CLARO; PEREIRA; AGUIAR, 2003) e TROPLUX (CABÚS, 2005) mostram iniciativas na elaboração de ferramentas complexas comparáveis ao RADIANCE.

Entretanto, observa-se uma extensa lacuna entre os dois extremos. Os métodos gráficos e analíticos são relativamente trabalhosos, exigindo disponibilidade de tempo e certa habilidade com a manipulação dos diagramas e tratamento dos dados. Já os programas computacionais, embora ofereçam uma diversidade de recursos para análise qualitativa e quantitativa, requerem precisão na entrada de dados, modelagem, além de exigirem familiaridade com alguns conceitos envolvidos no cálculo, o que pode dificultar sua utilização pelos arquitetos. Em recente estudo sobre a consideração da luz natural nas etapas de projeto (PEREIRA et al. 2005) observa-se a pouca valorização destas ferramentas por profissionais, professores e estudantes, e os consultores são envolvidos apenas na fase de detalhamento, quando importantes decisões que afetam a iluminação natural já foram tomadas.

Considera-se que o LUMINA preencha um pequeno espaço dentro da lacuna identificada entre os dois extremos pelos seguintes aspectos:

- Comparado aos métodos gráficos e analíticos de cálculo, o LUMINA apresenta vantagens pela rapidez de processamento, precisão e versatilidade, fornecendo uma avaliação de desempenho de relativa complexidade, o que seria inviável por procedimentos manuais;
- Por outro lado, não há termo de comparação com os recursos disponíveis em outros aplicativos. Entretanto, a maior facilidade operacional do LUMINA, tanto quanto à entrada de dados como na modelagem e análise dos resultados, pode revelar uma alternativa aos extremos citados;
- Em relação ao desempenho dos conjuntos compostos de Placa Emissora e Placa Receptora, possibilita visualizar separadamente a contribuição de cada um, auxiliando a identificação do melhor posicionamento e geometria dos elementos envolvidos no cálculo.

Cabe considerar alguns limites do LUMINA: a) não é auto-suficiente, pois depende do aplicativo AutoCAD® ; b) o Plano de Trabalho e a Placa Receptora devem ser necessariamente planos, com quatro lados; c) todas as superfícies são admitidas como difusores perfeitos; c) não considera o Coeficiente de Reflexão Interna (CRI), pois esta componente só é estimada em função de sua condução através da Placa Receptora; d) ainda em fase preliminar, estão em andamento testes para validação do LUMINA, que vêm apresentando bons resultados comparado a ensaios em modelos físicos e simulações computacionais.

O LUMINA pode ser uma ferramenta auxiliar eficaz para uma avaliação preliminar, principalmente nas fases iniciais do projeto, momento das decisões substanciais devido à interdependência, no resultado arquitetônico, entre a concepção do espaço e a iluminação natural.

## 7 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto 02:135.02-003 Iluminação Natural – Parte 3: Procedimento de Cálculo para a Determinação da Iluminação Natural em Ambientes Internos**. Rio de Janeiro, 2003. 33 p.
- AUTODESK, **AutoCAD 2000**. Autodesk, Inc. 1999.
- BERKELEY LAB. **Desktop Radiance 2.0 Beta**. Marinsoft & Lawrence Berkeley National Laboratory, 2001
- CABÚS, C. **Troplux: Um Sotaque Tropical na Simulação da Luz Natural em Edificações**. In: ENCAC, Maceió, 2005. p.240-9.
- CLARO, A.; PEREIRA, F. O. R.; AGUIAR, G. P. (2003) **Desenvolvimento do Protótipo do Programa Luz Solar para Análise de Iluminação Natural em Arquitetura**. In: 2º Forum de Pesquisa e desenvolvimento - CELESC, Florianópolis.
- COMMISSION INTERNATIONALE DE ÉCLAIRAGE. CIE 110-1994: **Spatial Distribution of Daylight – Luminance Distributions of Various Reference Skies**. Vienna, rev.1 1995. p. 2-6
- COMMISSION INTERNATIONALE DE ÉCLAIRAGE. CIE S 003.3/E-1996: **Spatial Distribution of Daylight – CIE Standard Overcast Sky and Clear Sky**. 1996. 5p.
- HOPKINSON, R.G.; PETHERBRIDGE,P.; LONGMORE,J. **Iluminação Natural**. 2.ed. Lisboa: C. Gulbenkian, 1975. p.277-9
- ILUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **Lighting Handbook Reference & Application**. 8.ed. New York: IESNA, 1994. p. 359-79
- ILUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. RP-5: **Recommended Practice of Daylighting**. New York: IESNA, 1979. 48 p.
- MOON, P. **The Scientific Basis of Illuminating Engineering**. New York: McGraw-Hill, 1936. p.255-9.
- MURDOCH, J. B. **Illumination Engineering**. New York: Macmillan Publishing, 1985. p. 367-90.
- PEREIRA, F. O. R. et al. **Uma Investigação Sobre a Consideração da Iluminação Natural nas Diferentes Etapas de Projeto** In: ENCAC, Maceió, 2005. p.1471-9
- SOUZA, R. V. G. **Iluminação Natural em Edificações: cálculo de iluminâncias internas - desenvolvimento de ferramenta simplificada**. Dissertação. ( Mestrado em Engenharia Civil) - Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997. 153 p.
- SZOKOLAY, S.V. **Solar Geometry**. In: PLEA NOTES Note 1. Brisbane: Dept. Architecture University of Queensland, 1996. 56 p.

## 8 AGRADECIMENTOS

O autor agradece à CAPES pelo apoio à pesquisa, à prof. Marcia Peinado Alucci pelos comentários e sugestões e aos colegas do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética LABAUT da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.