



PROJEÇÃO HEMISFÉRICA: UM MÉTODO GRÁFICO NO ENSINO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Aloísio Leoni Schmid

Universidade Federal do Paraná - Departamento de Arquitetura

81531-990 Curitiba PR

Fax: +55 (41) 361 3084

E-mail: alschmid@uol.com.br

Apresenta-se um método gráfico para a estimativa de níveis de iluminação para uso nas primeiras etapas de elaboração de um projeto arquitetônico. Trata-se em princípio de uma ferramenta de análise alternativa aos transferidores BRS. Propõe-se ainda a avivar no estudante a consciência da iluminação natural, permitindo-lhe sempre avaliar, através de alguns traços adicionais em suas plantas, o desempenho lumínico das formas.

A graphical approach for estimating illumination levels in architectural design is presented. The method, proposed for the first planning steps, is an alternative to the BRS protractors. Further, its application should keep the student aware of daylighting facts resulting from his design choices. An easy graphic construction on the plan drawings allows basic information on the daylighting performance to be compiled.

1 Introdução

Na Arquitetura, o papel transparente ainda é um meio muito popular de produção de idéias. Superposto a um desenho que represente condições rígidas (divisas do terreno, gabaritos legais e edificações vizinhas), tem sido onde normalmente se visualizam as primeiras formas de um projeto. Contudo, diante da popularização do desenho por computador, vislumbra-se já há algum tempo a extinção definitiva da prancheta. Da discussão passional entre educadores e práticos, uma conclusão é possível: tanto usando o lápis como o mouse, a linguagem gráfica não deverá ser substituída por números.

Não é de hoje a busca da representação sintética do espaço. Seja ele real (edificações existentes) ou virtual (projetos), é tradicionalmente reduzido a projeções. Plantas, cortes, perspectivas e fotografias sintetizam o espaço a aspectos de interesse, deformando-o, porém. A redução mais extrema se dá ao escalar, meramente quantitativo, como ao computar área construída, toneladas de concreto e custo do empreendimento. Números disponíveis a toque de tecla, não dispensam o projetista de saber de onde surgiram.

O nível de iluminação é uma destas grandezas. Caracterizando de modo objetivo a adequação lumínica de um ambiente. Facilmente mensurado, sua simulação também é hoje rápida e precisa. Contudo, a aparente facilidade pode restringir a atuação do projetista, que:

- perdendo o vínculo entre o número e o espaço, perde seu poder de aprimorá-lo;
- reduzindo a iluminação a funcionalidade, tende a descuidar da estética e do conforto.

O presente trabalho propõe um método gráfico que, mais do que um caminho ao cálculo do nível de iluminação, permita uma avaliação qualitativa do desempenho lumínico do entorno.

2 Revisão

O Modernismo na Arquitetura libertou as fachadas das imposições formais excessivas do Classicismo e do Barroco. Cânones que encaminhavam ritmo, simetria e ornamentação, fazendo os projetos evoluírem de fora para dentro são abandonados em favor de uma democratização da luz, amparada na técnica estrutural e de materiais. Todavia, tal atitude rapidamente se descaracterizou, passando-se a tolerar a capitulação à iluminação elétrica.

Os transferidores de luz natural da Building Research Station na Inglaterra apareceram nos anos 50 como ferramentas práticas no dimensionamento de aberturas para a iluminação natural e são reportados na eminente *Iluminação Natural* de Hopkinson et al (Hopkinson 1975). Todavia, após quatro décadas, não se tornaram, ao menos no Brasil, uma ferramenta usual.

A simulação da luz natural desenvolveu-se nos anos 80 e 90 em duas linhas: programas baseados na técnica do *raytracing* (rastreamento dos raios de luz) e no algoritmo da radiosidade. No último caso, é de relevância o programa Radiance, do Lawrence Berkeley Laboratory. Mais recentemente, os algoritmos de renderização tratam de maneira mais ou menos precisa da iluminação nos sistemas de desenho arquitetônico, produzindo maquetes eletrônicas. Todavia, seu uso voltado à solução de problemas de iluminação ainda parece restrito.

O mesmo não se pode afirmar, porém do preceito de *aberturas de iluminação e ventilação com área de pelo menos um sexto da área dos recintos de permanência*, que integra o texto de diversos códigos de obras (PROCEL/IBAM). Todavia, além de limitar decisões arquitetônicas, tal exigência prejudica o desempenho energético das aberturas, que deixam de ser otimizadas mediante o emprego de soluções eficientes.

3 Descrição do método

3.1 Obtenção da *componente refletida exterior*

O método de **projeção hemisférica** visa a traduzir graficamente a relação existente entre o nível de iluminação sobre um plano de trabalho e a luminância de todas as superfícies que lhe são visíveis. Do ponto de vista prático, consiste numa variação do diagrama de Waldram, de modo a parecer uma fotografia de 360° em *full field*. Fisicamente, é a representação gráfica da expressão

$$E = \int_S B_{\theta,\phi} \cos\theta dS \quad (1)$$

Onde

S = hemisfério de superfície unitária em cujo centro se mede o nível de iluminação

dS = infinitésimo de superfície esférica definido pelos ângulos dφ e dθ

θ = ângulo em relação à direção normal ao plano da base do hemisfério

φ = ângulo polar de orientação sobre o plano de base do hemisfério, relativo ao seu centro

E = nível de iluminação sobre o plano considerado em lux

B = luminância da superfície em blondel

A componente exterior ΔE_E da iluminação é obtida automaticamente de uma versão simplificada da fórmula acima:

$$\Delta E_E = \sum_{j=1}^N \frac{A_j}{100} \pi B_j \quad (2)$$

onde

ΔE_i = contribuição de uma abertura "i" para o nível de iluminação E

A_i = área abertura "i" na projeção hemisférica (como percentual da área do círculo)

B_i = luminância do céu ou da superfície vista através da abertura "i"

Ao fator $F_{LDE} = \sum A_i / 100$ se convencionou chamar *componente exterior do fator de luz do dia*. Obtido facilmente a partir de uma projeção hemisférica, é uma medida do nível de iluminação mínimo, expresso como percentual do nível de iluminação ao ar livre, que se obtém num determinado ambiente, de maneira independente do revestimento ou pintura que venha a se determinar no projeto de interiores.

A influência deste último requer, para o seu cálculo, o conhecimento da componente refletida interior. Se for *F* (lúmen) o balanço total, em fluxo luminoso, que penetra o ambiente, ele deve ser igual à energia absorvida por unidade de tempo pelas "N" superfícies presentes no interior.

$$F = S_1 \alpha_1 E_1 + S_2 \alpha_2 E_2 + \dots + S_N \alpha_N E_N \quad (3)$$

onde

S_i = área da superfície "i" em m²

α_i = absorptância da superfície "i"

E_i = nível de iluminação sobre a superfície "i"

A hipótese de um nível de iluminação constante sobre todas as superfícies, para efeito de cálculo da componente refletido interior, conduz a:

$$F = (S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots + S_N \alpha_N) E_m \quad (4)$$

$$E_m = F / (S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots + S_N \alpha_N) \quad (5)$$

O fluxo f pode ser decomposto nas contribuições das diferentes aberturas. Cada contribuição é igual ao produto do nível de iluminação sobre o plano de cada abertura e a sua área. Para uma edificação isolada de outras construções ou muros, o nível de iluminação E_{pv} sobre uma parede externa vertical vale aproximadamente.

$$E_{pv} = 0,5 p B_{c\acute{e}u} (1 + r_{solo}) \quad (6)$$

onde

r_{solo} = reflectância média (albedo) do solo

$B_{c\acute{e}u}$ = luminância média do céu em blondel

Já no caso de obstruções, é necessário um cálculo mais acurado, que pode ser baseado na projeção hemisférica construída com a base do hemisfério colocada externamente sobre o plano da abertura (porta ou janela).

Cada superfície representada na projeção hemisférica tem luminância dada pelo produto do nível de iluminação médio E_m e sua reflectância. A componente refletida interior ΔE_{RI} é obtida ao se considerar cada superfície como uma nova fonte de luz, tal como se considerou as aberturas em (1):

$$\Delta E_{RI} = \frac{A_1}{100} \pi B_1 + \frac{A_2}{100} \pi B_2 + \dots + \frac{A_N}{100} \pi B_N \quad (7)$$

Mediante a manipulação algébrica, é possível expressar-se o nível de iluminação obtido como um valor proporcional ao fator de luz do dia total:

$$E = F_{LD} B_{c\acute{e}u}$$

onde

$$F_{LDT} = \left[\sum_{j=1}^M A_j + 0,5 \pi (1 + p_{solo}) \frac{\sum_{j=1}^M S_j}{\sum_{i=1}^N S_i \alpha_i} \sum_{i=1}^N A_i \rho_i \right] B_{c\acute{e}u} \frac{\pi}{100}$$

Sendo $i = 1 \dots N$ relacionado às superfícies internas e $j = 1 \dots M$ relacionado às aberturas.

O *fator de luz do dia total* é assim obtido a partir da projeção hemisférica e de alguns cálculos auxiliares.

Exemplo

A Figura 1 demonstra, no exemplo de uma sala dotada de porta e janela (Figura 2), como a projeção é obtida. Admite-se o céu uniforme de luminância igual a 3000 blondel, correspondente a uma situação de tempo encoberto. O piso tem reflectância de 0,2. A área da porta é de 2m² e a área da janela é de 2,5 m². A mesa tem área superficial de 3 m² e reflectância de 0,2.

Figura 1 - esquema explicativo da projeção hemisférica

Figura 2 - Dados do exemplo

A porta e a janela têm contribuições de, respectivamente,:

$$\Delta E_{\text{janela}} = 0,04 \pi 3000 = 375 \text{ lux}$$

$$\Delta E_{\text{porta}} = 0,06 \pi 3000 = 565 \text{ lux}$$

Ao se admitir a edificação isolada na paisagem e um pavimento de reflectância igual a 0,2, se obtém os seguintes valores:

$$E_{PV} = 0,5 \times p 3000 (1 + 0,2) = 5655 \text{ lux}$$

$$F = 5655 \times (2 + 2,5) = 25450 \text{ lúmen}$$

$$E_m = 25450 / 36,8 = 690 \text{ lux}$$

A contribuição de cada superfície é computada da Tabela 1 Como resultado, obtém-se o nível de iluminação de 1735 lux. Note-se que 32% se devem à componente exterior da iluminação.

Tabela 1 (exemplo) - cálculo de contribuições ao nível de iluminação

superfície	S (m ²)	r	a	S a (m ²)	A (%)	B=r E _m (blondel)	ΔE (lux)
forro	16	0,7	0,3	1,6	58	483	880
piso	16	0,2	0,8	12,8	0	138	0
parede lateral	10	0,4	0,6	6,0	13	276	113
parede lateral	10	0,4	0,6	6,0	6	276	52
parede da janela	7,5	0,6	0,4	3,0	7	414	91
parede da porta	8,0	0,6	0,4	3,2	10	138	43

mesa	3,0	0,2	0,8	2,4	0	138	0
janela					1,4	3000	132
porta					4,5	3000	424
TOTAL				36,8			1735

4 Considerações finais

Embora a projeção hemisférica pouco acrescenta ao que já se conhece para o cálculo do nível de iluminação, revelando-se um método relativamente trabalhoso para se obter uma estimativa do desempenho lumínico durante o projeto, ela pode ser explorada como maneira de visualização do processo físico de iluminação de um plano a partir de uma abóbada dotada de luminância variável.

Uma aplicação didática elucidativa consiste no dimensionamento de uma abertura zenital sobre o centro de uma comprida mesa numa sala de reuniões, de modo que seja gerado sobre o plano da mesa o mesmo nível de iluminação que uma janela panorâmica colocada numa parede lateral, ao fundo da sala. O exercício revela o quanto mais eficiente é a iluminação zenital, a luz chegando sobre a mesa de modo mais perpendicular e, portanto mais eficiente, além de enfrentar menos obstruções (tanto externas como internas) no seu trajeto, ofuscar menos as pessoas e, nos dias de tempo encoberto, originar-se da porção mais clara do céu sob tais condições. Tal exercício, tolerando um refinamento progressivo, presta-se à avaliação do desempenho relativo da iluminação zenital.

5 Anexo: etapas de construção da projeção hemisférica da janela

Para exemplificar a construção da projeção hemisférica, considere-se a janela do exemplo acima. A sua projeção é construída passo a passo. De posse deste processo, é fácil a construção da projeção da porta e das arestas das paredes internas. O mesmo processo se aplica a aberturas zenitais, etc.

1. traçar um círculo com centro no ponto onde se quer determinar o nível de iluminação
2. unir na planta o centro do círculo (centro de projeção) aos vértices da janela
3. sobre cada uma das linhas obtidas em 2., construir um corte, fazendo que cada uma delas seja no corte a horizontal pelo tampo da mesa
4. em cada corte, unir cada extremidade da janela ao centro de projeção e, no ponto onde estas linhas cruzarem o círculo, baixar uma perpendicular à linha obtida em 2.
5. o conjunto dos pontos obtidos em 4 permite o traçado da projeção hemisférica da janela.
6. para esta e para as demais construções vale o princípio:
7. linhas verticais se tornam linhas radiais;

8. linhas horizontais são curvas secantes perpendiculares ao raio que for perpendicular à linha na planta; um caso especial são horizontais à altura do plano de trabalho, que se tornam coincidentes com o círculo.

Figura 3 - Etapas de uma projeção hemisférica. Esquerda: construção para a janela. Direita, acima: projeção hemisférica pronta. Abaixo: gabarito para leitura de áreas (cada célula vale 0,1% da área)

6 Referências bibliográficas

Hopkinson, R.G., Peterbridge, P, Longmore, J. (1975): *Iluminação Natural*, 2^a. ed., trad., Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

PROCEL / IBAM (1997), *Modelo para a elaboração de códigos de obras e edificações*, Rio de Janeiro.