

A GEOMETRIA URBANA COMO INSTRUMENTO PARA O ESTUDO DO CLIMA URBANO

Léa Cristina Lucas de Souza¹

SOUZA, L.C.L. A Geometria Urbana como Instrumento para o Estudo do Clima Urbano. Revista Educação Gráfica, Bauru, v2, n. 2, p21-31, 1998.

ABSTRACT

This paper shows one way of considering the spatial characteristics of the urban environment - urban geometry - in the study of urban climate. Based on the Ph.D. Thesis entitled "Influence of Urban Geometry on Air Temperature at Pedestrian Level", some units of urban geometry, usually studied by climatologists, are presented here. These units are able to help in architectural instrumentation for the climate study of urban areas.

Key Words: urban geometry, urban climate, urban form.

Palavras-Chave: geometria urbana, clima urbano, forma urbana.

INTRODUÇÃO

As superfícies que compõem o ambiente físico urbano assumem uma configuração espacial que representa um dos aspectos considerados causadores do

¹ Professora Doutora no Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação - FAAC - UNESP - Bauru - SP

aumento de temperatura urbana: a geometria urbana.

Ciente de que, conforme coloca TEIXEIRA COELHO NETTO (1979, p.17) ao citar Bruno Zevi, "aquilo que realmente importa e orienta uma configuração arquitetural ou urbana é exatamente algo que não vem expressamente indicado, o Espaço"; se esclarece que o termo **geometria urbana** não pretende estabelecer uma definição do espaço urbano, mas sim adotar uma denominação simplificadora para a sua complexidade morfológica.

Como explica LAMAS (1992, p.31)

"... um primeiro grau de leitura da cidade é eminentemente físico-espacial e morfológico, portanto específico da arquitetura e o único que permite evidenciar a diferença entre este e outro espaço, entre esta e aquela forma e explicar as características de cada parte da cidade. A este se juntam outros níveis de leitura, que revelam diferentes conteúdos (históricos, econômicos, sociais e outros). Mas esse conjunto de leituras só é possível porque a cidade existe como fato físico e material. Todos os instrumentos de leitura lêem o mesmo objeto - o espaço físico, a FORMA URBANA."

Não são aqui negadas as tendências políticas, sociais, técnicas ou materiais, refletidas pelo tecido urbano; pelo contrário, se reconhece a dificuldade, muitas vezes, em se estabelecer uma análise isolada do elemento climático, tendo em vista a inter-relação e importância desses aspectos. No entanto, apesar das dificuldades, para que o tecido urbano possa ser climaticamente planejado, é necessário, na prática, que sejam efetuadas pesquisas, que permitam gerar dados quantitativos em relação às características espaciais urbanas, para serem estabelecidas diretrizes de projeto.

Para isso, visa-se estudar a relação da forma urbana com o microclima, sem nenhuma intenção de ser feita uma abordagem estética e entendendo ser a

geometria um importante instrumento de ligação das diversas variáveis morfológicas, podendo causar: aumento da absorção à radiação solar, diminuição na transferência de calor por turbulência e redução na perda de calor por ondas longas.

O espaço é um elemento de difícil dimensionamento, pois não apresenta limites que identifiquem o seu início ou fim e como coloca, apropriadamente, GONÇALVES (1982, p.84): "A dificuldade de trabalhar um elemento sem dimensão levou os geômetras à caracterização de uma porção de reta, ou seja, uma definição do objeto de estudo destacada do elemento reta a que se denominou "segmento de reta"...". É exatamente sob este prisma que se pode propor o termo geometria urbana, na intenção de se identificar uma unidade geométrica adequada, que represente apenas uma porção ou segmento do espaço em determinado instante e que seja capaz de relacioná-lo à formação de pequenas ilhas de calor.

RELAÇÃO ENTRE ALTURA E LARGURA DA VIA (H/W)

No ambiente urbano não se encontra uma superfície única, que seja representativa de todo o tecido urbano, pois este é composto de diferentes unidades espaciais. Existem, porém,

"algumas unidades representativas da superfície urbana, cujas formas básicas são repetidas pela área urbana. Essas unidades são combinações mais ou menos geométricas de superfícies horizontais e verticais..." (NUNEZ & OKE, 1977, p.11).

Partindo-se desta maneira simplificada de tratar a forma urbana e com objetivos relacionados à modelação climática, são comumente encontrados os termos "urban

canyon" ou "street canyon". Esses se referem a uma unidade geométrica, de natureza tridimensional, correspondendo a um perfil de via urbana de forma retangular, orientado sob um ângulo φ em relação ao eixo norte-sul. É composto por 2 superfícies verticais de altura H e por uma superfície horizontal W , geralmente representativas das fachadas das edificações e da via de circulação urbana, respectivamente. Como suas dimensões absolutas não são, normalmente, relevantes, é comum considerar esta unidade como sendo adimensional e caracterizá-la pela razão entre a altura média e a largura do perfil, chamada de relação H/W (Figura 1). Sua profundidade L também por simplificação, pode ser considerada infinita.

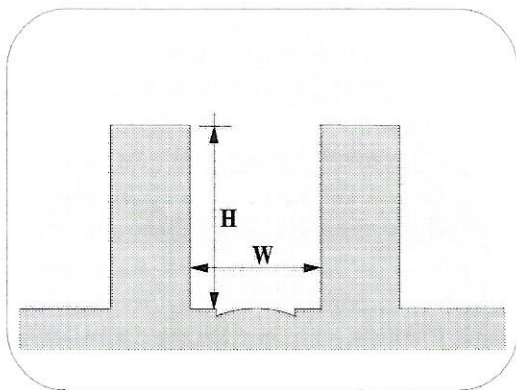


Figura 1 - Perfil de via e relação H/W .

Na prática, para a estimativa de H/W , pode ser considerado, que a altura média da via é a média das alturas das edificações estudadas, sendo cada pavimento correspondente a uma média de 3 m de altura, devendo ser levado em conta, ainda, a altura da cobertura da edificação (ou seja, aproximadamente, 2 m a mais que o pé-

direito). A largura da via pode ser facilmente medida ou extraída de plantas, devendo, ser incluída nela, a largura dos passeios.

No estudo de OKE (1988), por exemplo, é demonstrada, através desta unidade morfológica, a interferência das edificações no fluxo de ar, diminuindo a transferência de calor sensível por turbulência. Seus resultados indicam os limites para os quais ocorre mudança do tipo de fluxo de ar, podendo ser extraídas as seguintes informações:

a) as edificações interferem no fluxo de ar, criando um campo de turbulência ao seu redor. Quanto mais afastadas umas das outras, portanto menores H/W , mais isolado se torna o campo de turbulência, não chegando a causar o impacto de uma edificação no fluxo de ar que atinge a outra;

b) no caso de edificações mais próximas entre si, os campos de turbulência se interagem;

c) a medida que o espaçamento entre edificações diminui, o fluxo de ar tende a não penetrar entre elas, formando um campo isolado, que sofre pequeno movimento, provocado pelo atrito com as camadas superiores, causando assim uma diminuição na perda de calor por turbulência.

Da mesma forma, considerando-se a relação H/W , pode ser verificado o acesso solar de vias e a capacidade de absorção solar devido à geometria urbana. AIDA² apud OKE (1988) mostra que cerca de 13 a 27% de aumento de absorção ocorre para H/W entre 0,5 e 2,0, comparados a um al-

² AIDA, M. Urban albedo as a function of the urban structure - a model experiment. *Boundary - Layer Meteorology*, v.23, p.415-423, 1982.

bedo de 0,40 para uma superfície plana. O albedo diminui com a latitude e é mais pronunciado em épocas de sol mais baixo (inverno), aumentando com o H/W, sendo maior para orientações este-oeste do que para norte-sul. Por outro lado, ARNFIELD (1990) destaca que o albedo é apenas fracamente dependente da latitude. O aumento de H/W provoca o surgimento de superfícies refletoras no entorno, causando um aumento de absorção.

Aliados a gráficos solares, estes perfis urbanos servem ainda como instrumento para análise do desenho urbano em relação à largura de ruas e à altura de edificações, em função do acesso solar ou da promoção de sombreamento. ARNFIELD (1990) destaca que para cidades tropicais é desejável a minimização da radiação solar no ambiente urbano e o acesso solar pode ser diminuído pelo aumento da relação H/W.

Como pode ser percebido, é possível estabelecer com essa unidade algumas relações geométricas, que permitem qualificar climaticamente o ambiente físico-espacial urbano. Trata-se, portanto, de considerar os elementos climáticos como um dos componentes das relações espaciais

O FATOR DE VISÃO DO CÉU

Outra unidade, sob o ponto de vista climatológico, que pode ser considerada no estudo da forma urbana, tem como um dos elementos que a compõem, a abóbada celeste.

Como o céu apresenta, normalmente, temperaturas mais baixas do que a superfície terrestre, funciona como um elemento primordial no balanço de energia, pois recebe as radiações de ondas longas emitidas pelo solo terrestre, que conseqüentemente perde

calor, diminuindo a sua temperatura. Por isso a capacidade de resfriamento das superfícies urbanas está relacionada à obstrução do seu horizonte, evidenciando, mais uma vez, a importância da forma geométrica de uma superfície e de um conjunto de superfícies.

No ambiente urbano ocorre uma relação geométrica entre as superfícies, o qual influi na troca de calor por radiação entre elas e na troca de calor dessas com o céu. Essa relação é um parâmetro adimensional chamado de "fator de visão, fator de configuração ou ainda fator angular".

Quando as condições morfológicas observadas, a partir de um determinado ponto da superfície, causam obstrução do céu, a troca de calor ocorre entre as superfícies, acarretando um acúmulo de calor no entorno urbano. Por outro lado, quanto maior a capacidade de visão de uma superfície para o céu, maior a sua capacidade de resfriamento.

Assim sendo, a área de céu visível a partir de um ponto na superfície terrestre deve ser considerada nas análises climáticas da forma urbana. Alguns estudiosos (BÄRRING, MATTSSON & LINDQVIST, 1985; JOHNSON & WATSON, 1984/1987; OKE, 1981; STEYN, 1980) expressam essa unidade pelo "fator de visão do céu". Trata-se de um fator que indica uma relação geométrica entre a Terra e o céu e que representa uma estimativa da área visível de céu. Algumas vezes, em função do interesse da pesquisa, esta unidade é relacionada com o fluxo de radiação, através de expressões trigonométricas, sendo definida como a razão entre a radiação do céu recebida por uma superfície plana e aquela recebida de todo o ambiente radiante.

Assim a área de céu toma uma configuração resultante de limites impostos pelas edificações, associada a sua própria

forma, aparentemente, arredondada para os olhos do observador na Terra. Na inclusão desta forma arredondada aparente do céu

como elemento da unidade geométrica, sua representação é tida como uma superfície hemisférica imaginária (Figura 2a).

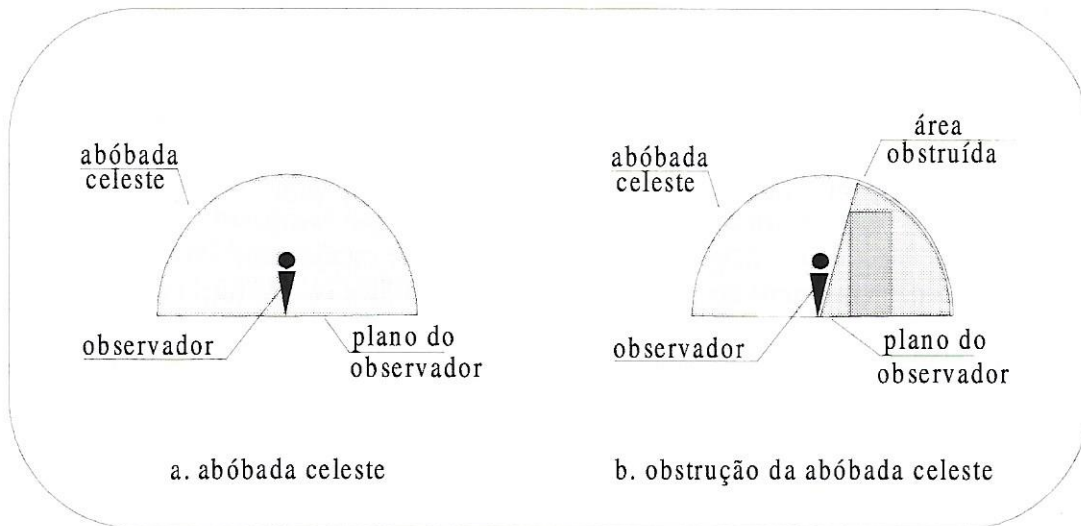


Figura 2- Representação, em corte, da abóbada celeste.

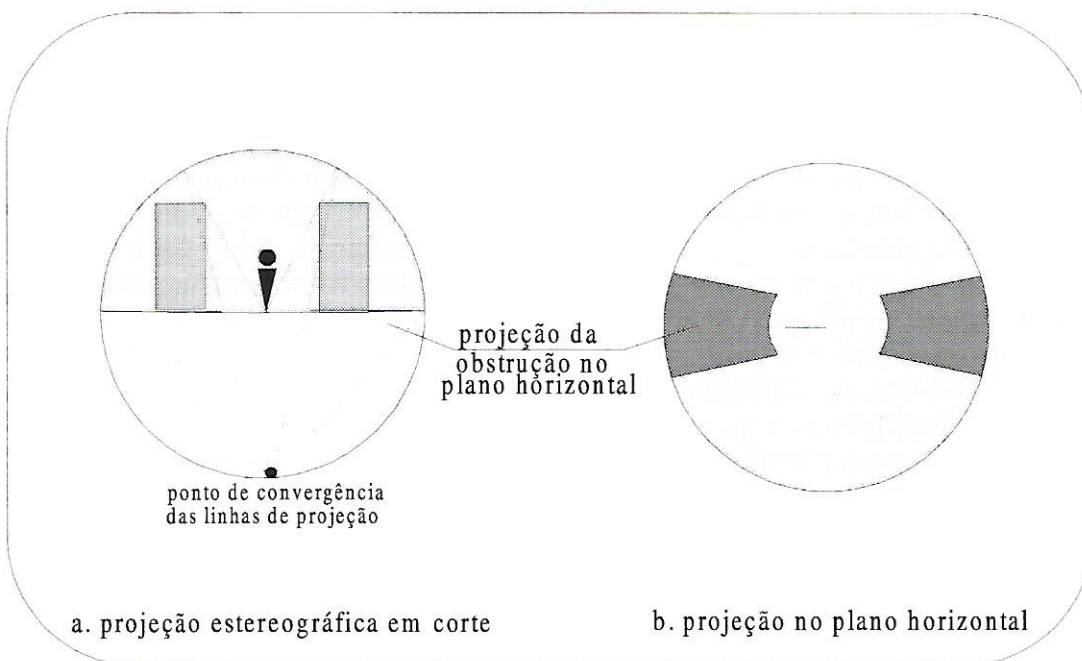


Figura 3 - Projeção estereográfica da área de céu obstruída.

Em termos geométricos, qualquer edificação, elemento ou equipamento urbano pertencente ao plano do observador representa uma obstrução à abóbada celeste (Figura 2b). A sombra (projeção) dessa edificação na abóbada celeste é a fração do céu por ela obstruída para o observador (ou ainda, representa a parte obstruída do fluxo de radiação, que deixa o observador, em direção ao céu). Seu valor numérico é sempre menor que a unidade, pois dificilmente se encontram regiões urbanas, que não apresentem nenhuma obstrução do horizonte (situação para a qual seu valor seria a unidade).

Utilizando-se o método da projeção estereográfica³, os pontos, que correspondem à obstrução na abóbada celeste, podem ser projetados em um plano horizontal e assim representada, a área de céu visível para o ponto de observação em questão (Figura 3).

O fator de visão do céu é um recurso, que permite estabelecer uma série de relações, que podem servir de instrumento para o planejamento urbano. NUNEZ⁴ apud OKE (1981) medindo o fluxo de radiação de vários pontos de uma única via em relação a diversos fatores de visão do céu, em Vancouver, observou que a relação entre eles é aproximadamente linear.

A medida que a área de visão do céu diminui, o fluxo de radiação perdido pelo entorno decresce. OKE (1981) confirma esta tendência através da utilização de um modelo de simulação para a camada de cobertura urbana, que considera condições noturnas e calmas, sem interferências do calor antropogênico ou sazonal da cidade

no balanço de energia.

ELIASSON (1990/91) relacionando o fator de visão do céu com a temperatura de superfícies através da análise de imagem infravermelha e medições simultâneas de temperatura, correlaciona seu resultado para 58 ruas na cidade de Göteborg (Suécia), evidenciando também a relação linear encontrada. No entanto, o autor destaca que as variações de temperatura do ar foram menores do que as esperadas.

Em seu estudo sobre *ilha de calor* em Malmö, na Suécia, BÄRRING et al. (1985) mostram que, enquanto a temperatura noturna das superfícies é fortemente influenciada pela obstrução do horizonte, a temperatura do ar é regida tanto pela temperatura das superfícies quanto pelas condições térmicas específicas do local.

Todos estes resultados referem-se a cidades com climas, configurações urbanas e hábitos culturais diferentes de cidades tropicais, podendo com isso não representar a mesma situação brasileira.

No caso brasileiro cabe destacar MASCARÓ (1994, p.45), que estudando a morfologia urbana e a ambiência dos edifícios diz que "a obstrução do horizonte parece explicar, não só as diferenças de temperatura entre os locais, como também o retardamento das temperaturas mínimas e o adiantamento das temperaturas máximas, assim como os momentos de maior resfriamento".

Muitas considerações em relação ao fator de visão do céu devem ainda ser tecidas, para que se possam obter dados quantitativos apropriados à situação

3 Segundo BITTENCOURT (1988, p.28) "é aquela onde todos os pontos são projetados num plano, com as linhas de projeção convergindo para um ponto".

4 NUNEZ, M. *The energy balance of an urban canyon*. Vancouver, 1974. Ph.D. Thesis - University of British Columbia.

brasileira. Alguns aspectos, no entanto, de ordem prática, devem ser observados, uma vez que existem dificuldades em se estimar a área de céu visível diante da realidade científica existente no país.

A estimativa do fator de visão do céu pode ser feita por processos analíticos (matemáticos), por fotografia, por processamento de imagens, por diagramas ou por gráficos. Tanto pelo processo analítico como pelo uso de diagramas e gráficos, é necessária uma base de dados angulares relativos às edificações existentes no entorno urbano, sendo esta, uma das problemáticas mais constantes neste tipo de pesquisa. No caso de fotografias e processamento de imagens, são necessários, equipamentos sofisticados, devendo-se contar com uma câmara, com possibilidade de nela ser acoplada uma lente tipo "olho de peixe"⁵, além de, no caso do processamento de imagem, serem necessários, recursos computacionais apropriados.

Para o desenvolvimento deste artigo são abordados o método gráfico e o método de diagramas, dada a acessibilidade dos mesmos e recursos necessários a sua aplicação, sendo expostos com maior detalhe nos tópicos subseqüentes.

Método Gráfico

Desenvolvido por WATSON & JOHNSON (1987), o método gráfico é aquele para o qual o fator de visão do céu é dado pela soma dos fatores de visão da parede (WVF - wall view-factors, ψ_w) de cada

edificação, individualmente.

São necessários 3 dados básicos para esta estimativa: a diferença do ângulo azimutal (Δ) e os 2 ângulos de elevação β_1 e β_2 dos limites do edifício, sendo β_1 o maior ângulo (Figura 4).

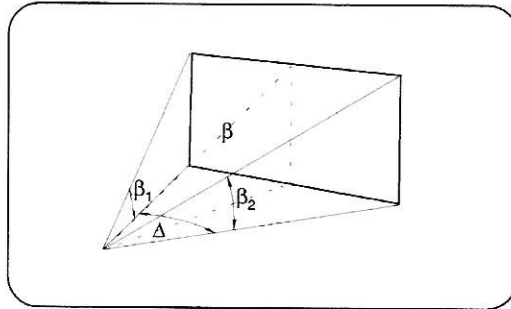


Figura 4 - Ângulos azimutais e de elevação (FONTE: WATSON & JOHNSON, 1987, p.194).

Se os ângulos de elevação são iguais, o fator de visão da parede é:

$$\psi_w = \psi_0$$

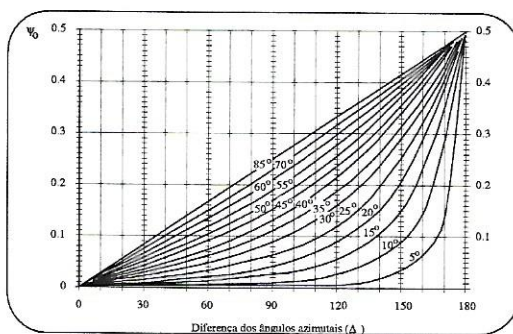


Figura 5 - Diagrama para determinação do fator de visão da parede, quando os ângulos de elevação são iguais.

(Fonte: WATSON & JOHNSON, 1987, p.195)

O valor de ψ_0 pode ser extraído da Figura 6, sendo Δ a diferença entre os ângulos azimutais com valores

⁵ Metodologia desenvolvida por STEYN (1980) e que requer cálculo para eliminar distorção, não sendo, portanto, possível uma leitura direta da foto ou imagem.

representados no eixo das abscissas e os valores β_1 (no caso igual a β_2) correspondentes a cada uma das curvas contidas no gráfico. De posse desses valores ψ_0 é lido no eixo das ordenadas.

Se β_1 e β_2 são diferentes:

$$\psi_w = \psi_0 - \alpha \cdot \delta\beta \cdot \beta_1 \cdot \Delta,$$

onde:

ψ_0 é extraído da Figura 5, conforme já descrito, sendo β_1 o maior ângulo de elevação;

α é extraído da Figura 6, no eixo das ordenadas, com o mesmo procedimento efetuado para ψ_0 na Figura 5, considerando as curvas do gráfico, representativas do valor do maior ângulo de elevação;

$\delta\beta$ é a diferença entre β_1 e β_2 ;

Δ é a diferença dos ângulos azimutais.

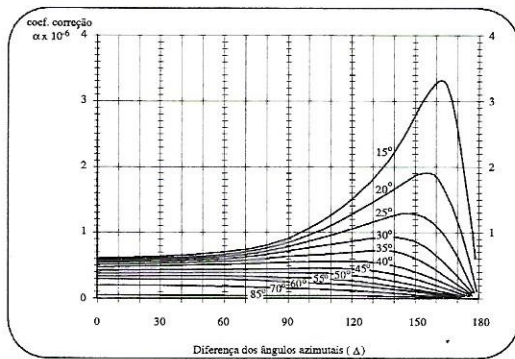


Figura 6 - Diagrama para determinação do fator de visão da parede, quando os ângulos de elevação são diferentes.

(Fonte: WATSON & JOHNSON, 1987, p.196)

O fator de visão do céu é dado por:

$$\psi_s = 1 - \psi_w$$

Método de Diagramas

PLEIJEL⁶ (apud SILVA, 1992 e HOPKINSON, 1975) desenvolveu diagramas para cálculos da iluminação natural, através da projeção estereográfica da abóbada celeste, que permitem, não só calcular a área de céu visível, como a penetração da luz solar e da radiação solar quando conjugada a gráficos.

No processo de projeção estereográfica da abóbada celeste são gerados dois instrumentos gráficos importantes, que podem ser destacados: o medidor de ângulos verticais frontais e laterais e o medidor de ângulos horizontais (conjugados na Figura 7).

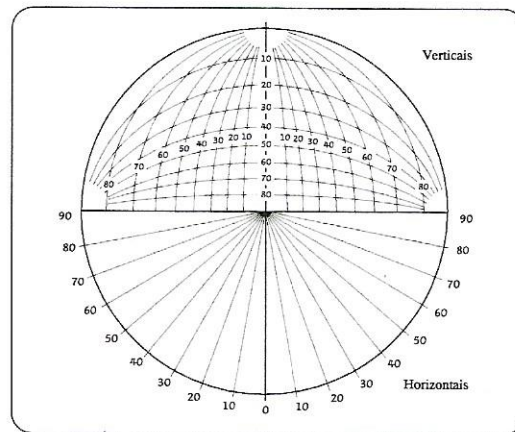


Figura 7 - Medidor de ângulos auxiliares.

Esses medidores permitem que qualquer edificação seja representada no plano horizontal, através da sua medida angular tomada a partir do observador e transferida para o plano (Figura 8).

⁶PLEIJEL, G. The Computation of Natural Radiation in Architecture and Town Planning. *Meddelande (bulletin)*. No 25 (Estocolmo): Statens Nämnd för Byggnadsforskning, 1945.

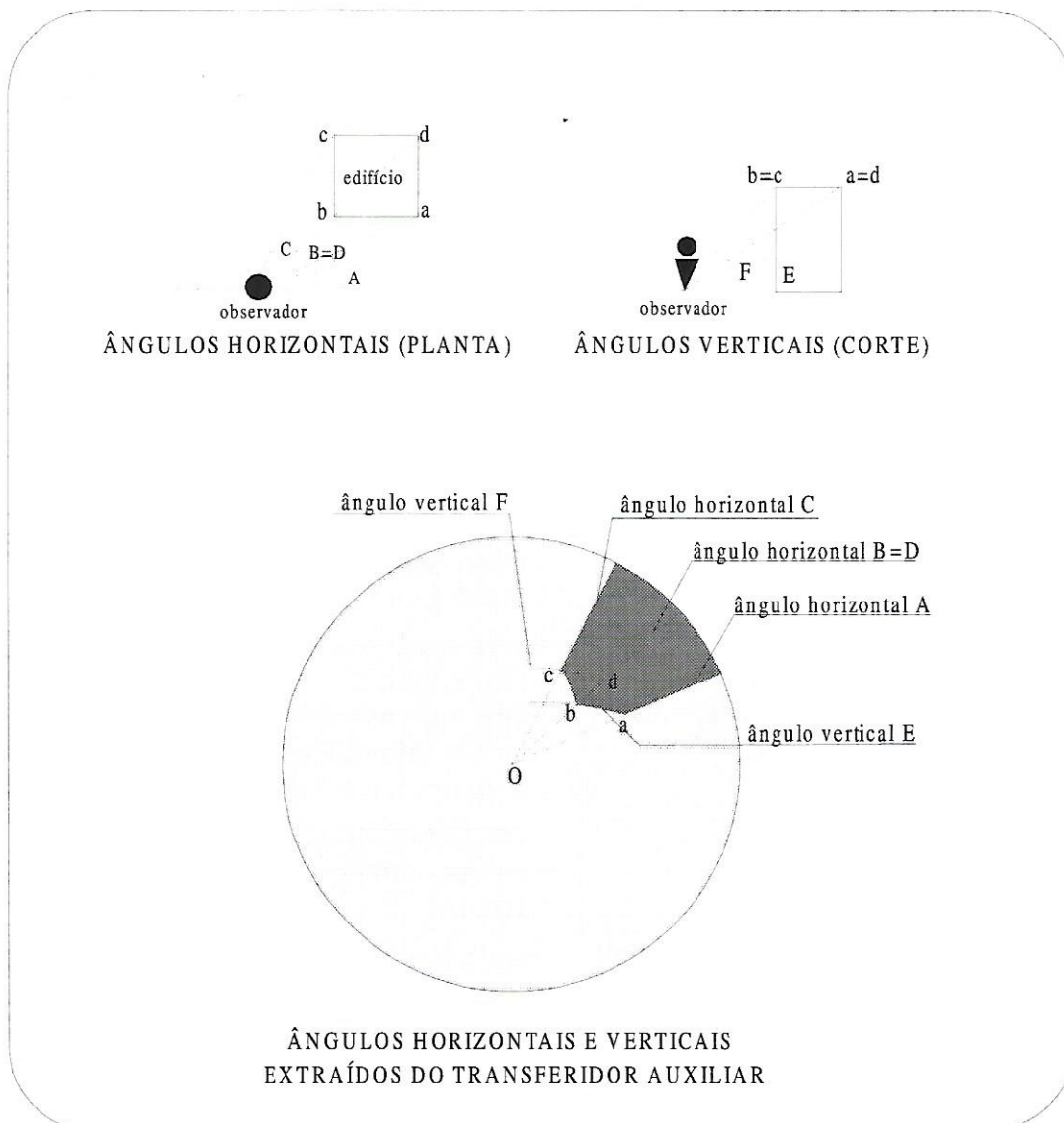


Figura 8 - Projeção estereográfica de uma obstrução.

A esses medidores, Pleijel associa à projeção estereográfica da distribuição de luz natural do céu num plano horizontal (Figura 9). Nele a superfície do céu é dividida em 1004 partes, representadas por pontos.

A superposição destes gráficos, para

cálculo da área de céu visível, permite a contagem do número de pontos contidos na região referente à área de céu visível, encontrada entre as sombras das edificações. O número resultante é relacionado ao total de 1004 e, assim, estimada a porcentagem

de céu visível (Figura 10).

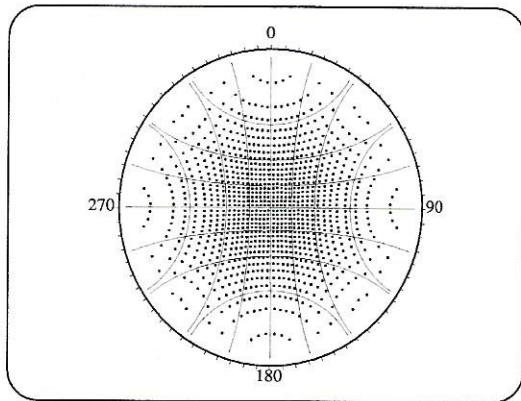


Figura 9 - Diagrama de Pleijel para iluminação natural
(FONTE: HOPKINSON, 1975, p.226).

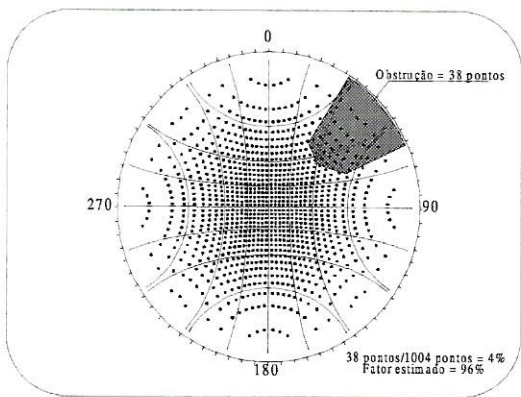


Figura 10 - Estimativa para área de céu visível.

CONCLUSÃO

No geral, são métodos simples, que permitem uma estimativa da área de céu visível, facilitando a sua consideração nas relações espaciais conseqüentes da morfologia urbana. No entanto, para os dois métodos expostos, há necessidade de serem conhecidos os ângulos determinados pelas superfícies da edificação (ângulos azimutais e de elevação), para que os cálculos sejam efetuados.

Na prática, esse é o elemento complicador de sua utilização como instrumento auxiliar do projeto de arquitetura, pois, conforme já mencionado, esses dados não estão facilmente disponíveis. Assim, a aplicação desses métodos, com o objetivo de gerar dados quantitativos expressivos para a questão projetual, requer, em uma primeira etapa, a elaboração de uma base de dados angulares da região de estudo.

BIBLIOGRAFIA

- ARNFIELD, A.J. (1990). Street design and urban canyon solar access. *Energy and Buildings*, v.14, n.2, p.117-131.
- BÄRRING, L.; MATTSSON, J.O.; LINDQVIST, S. (1985). Canyon geometry, street temperatures and urban heat island in Malmö, Sweden. *Journal of Climatology*, v.5, p.433-444.
- BITTENCOURT, L. (1990). *Uso das cartas solares - diretrizes para arquitetos*. Maceió, EDUFAL.
- ELIASSON, I. (1990/91) Urban geometry, surface temperature and air temperature. *Energy and Buildings*, v.15, n.1-2, p.133-137.
- GONÇALVES, W. (1982). Paisagem: objeto de trabalho do arquiteto paisagista. *Paisagem e Ambiente*, p.79-88. Ensaio IV.
- HOPKINSON, R.G. (1975). *Iluminação natural*. Lisboa, Calouste Gulbenkian.
- JOHNSON, G.T; WATSON, I.D. (1984). The determination of view-factors in urban canyons. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, v.23, p.329-335.
- LAMAS, J.M.R.G. (1992). *Morfologia urbana e desenho da cidade*. Lisboa,

Calouste Gulbenkian.

MASCARÓ, L.R. (1994). Morfologia urbana e ambiência dos edifícios. In: ENCONTRO DE PROFESSORES DE CONFORTO AMBIENTAL - NE, 2, João Pessoa, 1994. *Anais*. João Pessoa, UFPB. P.45-49.

NUNEZ, M.; OKE, T.R. (1977). The energy balance of an urban canyon. *Journal of Applied Meteorology*, v.16, p.11-19.

OKE, T.R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, v.7, p.769-779.

_____. (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, v.1, n.1-4, p.237-254.

_____. (1988). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, v.11, n.1-3, p.103-113.

OKE, T.R.; TAESLER, R.; OLSSON, L.E. (1990)/(TRUCE). *Energy and Buildings*, v.15, n.1-2, p.67-73.

OKE, T.R.; HANNELL, F.G. (1974). The form of urban heat island in Hamilton, Canada. In: SYMPOSIUM ON URBAN CLIMATES AND BUILDING CLIMATOLOGY. Brussels, 1968. *Proceedings*. Geneva, WMO, p.113-126. (WMO nº 254 - TP.141).

SILVA, F.A.G. (1992). *Conforto ambiental; iluminação de interiores*. João Pessoa, A União.

SOUZA, L.C.L. *Influência da geometria urbana na temperatura do ar ao nível do pedestre*. São Paulo, 125p. Tese (Doutorado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

STEYN, D.G. (1980). The calculation of

view factors from fisheye-lens photographs. *Atmosphere-Ocean*, v.18, n.3, p.254-258.

TEIXEIRA COELHO NETO, J. (1979). *A construção do sentido na Arquitetura*. São Paulo, Perspectiva.

WATSON, I.D.; JOHNSON, G.T. (1987). Graphical estimation of sky view-factors in urban environments. *Journal of Climatology*, v.7, p.193-197. (Short Communication)

YOSHINO, Masatoshi. (1990/91). Development of urban climatology and problems today. *Energy and Buildings*, v.15, n.1-2, p.1-10.

