

CRITÉRIOS DE ACESSIBILIDADE AO SOL E À LUZ NATURAL PARA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA EM ESCALA DE PLANEJAMENTO URBANO

Eleonora Sad de Assis

Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais

Rua Paraíba, 697 30130-140 Belo Horizonte MG

Tel.: (31)3269-1851 Fax: (31)3269-1818 E-mail: elsad@dedalus.lcc.ufmg.br

RESUMO

A tendência ao adensamento e verticalização dos grandes centros urbanos acaba por comprometer o acesso das edificações ao sol e à luz, muitas vezes com sérias conseqüências quanto à aspectos sanitários e de habitabilidade dos ambientes interiores. Entretanto, um outro aspecto importante também deve ser considerado, que é o relativo aumento do consumo energético das edificações para condicionamento artificial (tanto térmico, quanto luminoso), devido à progressiva piora das condições ambientais externas da cidade. Este trabalho analisa alguns critérios de acessibilidade ao sol e à luz natural integrados nos chamados “envelope solar” e/ou “envelope de iluminação”, para verificar sua viabilidade de aplicação à legislação urbana, oferecendo alternativas para a demanda de consumo energético do setor residencial (que corresponde a mais de 70% da ocupação urbana). Toma-se o caso de Belo Horizonte, MG, onde há um grande potencial para o uso de energia solar. A partir da análise da viabilidade de uso de sistemas de conversão solar e da eficiência dos equipamentos disponíveis no mercado atualmente, propõe-se um modelo de “envelope” cuja aplicação local preserve um percentual não-obstruído da abóbada celeste local, para viabilizar o acesso requerido de cada edifício à insolação e iluminação natural.

Palavras-chave: conforto ambiental; insolação; iluminação natural; energia solar; planejamento urbano

1. INTRODUÇÃO

A qualidade físico-ambiental da cidade está intrinsecamente ligada à acessibilidade dos recintos urbanos aos recursos ambientais, dentre os quais a insolação, iluminação e ventilação naturais têm grande importância no balanço energético urbano, bem como na oferta de condições adequadas de habitabilidade, tanto para os cidadãos, quanto para a fauna e flora urbanas. Entretanto, os processos de urbanização dos últimos dois séculos têm provocado, no Brasil como em outras partes do mundo, a degradação acelerada do ambiente urbano, o que se constitui num grande desafio para o aperfeiçoamento dos instrumentos legais e de gestão urbana de que se dispõe atualmente.

Os impactos adversos da urbanização sem responsabilidade ambiental sobre o clima local trazem repercussões sobre o desempenho termo-energético e as condições de conforto ambiental dos edifícios, o que, por sua vez, resulta invariavelmente no aumento do consumo de energia para condicionamento artificial dos ambientes interiores. Segundo AKBARI & ROSENFELD (1997), a demanda de energia elétrica cresceu, nas cidades da Califórnia, cerca de 2 a 4% por grau de aumento na temperatura, enquanto SANTAMOURIS (1997) mostrou que o consumo de energia para refrigeração de um mesmo edifício chega a dobrar da periferia para o centro urbano de Atenas, durante o verão, devido à formação de ilhas de calor na região central, mais densa e verticalizada. ASSIS (1998) também desenvolveu uma estimativa preliminar para a cidade de Belo Horizonte, chegando a resultados de magnitude semelhante aos encontrados por aquele autor. Embora ainda em número reduzido, este tipo

de estudo coloca em perspectiva a necessidade de enfatizar a qualidade do ambiente construído em escala urbana para que se possa garantir, efetivamente, as condições requeridas de desempenho na escala do edifício. Como bem apontou PEREIRA (1994, p. 2), é necessário desenvolver uma abordagem que integre as duas escalas, “buscando reduzir o distanciamento, usualmente encontrado, entre os aspectos enfocados quando do projeto de edificações isoladas e da produção de regulamentações urbanísticas”.

Uma forma de preservar condições mínimas de insolação e iluminação natural nos edifícios é introduzir, na legislação urbana, dispositivos que garantam acesso ao sol e à luz, de acordo com determinados critérios e, por outro lado, limitem o consumo de energia operante, estimulando o uso de recursos naturais. Os critérios de acessibilidade ao sol visam, em geral, cumprir com objetivos de conforto térmico nos interiores e aproveitar a energia solar como fonte alternativa, enquanto que, com relação à iluminação natural, pretende-se assegurar um nível mínimo nos interiores compatível com a função destes ambientes. A aplicação destes critérios, através dos chamados “envelope solar” ou “envelope de iluminação”, em diversos países, tem demonstrado seu potencial de criar soluções urbanas ambientalmente mais adequadas aos sítios locais. Este trabalho pretende discutir alguns destes critérios, verificando a viabilidade de sua aplicação para um sítio urbano específico – a cidade de Belo Horizonte, MG.

2. BASES CONCEITUAIS E METODOLÓGICAS PARA A ACESSIBILIDADE AO SOL E À LUZ NATURAL

Países da Europa e América do Norte têm aplicado, há mais de três décadas, medidas disciplinares para conter o consumo energético das áreas urbanas, verificando-se uma clara tendência à sua lenta e gradual diminuição. A experiência francesa, particularmente, demonstrou que os regulamentos climático-energéticos para edificações resultaram numa queda significativa de 50% no consumo de energia, entre 1974 e 1989, acarretando a dilatação do cronograma de aumento de sua oferta, com a conseqüente postergação de investimentos no setor (ROMÉRO, 1998). Além dos aspectos econômicos, deve-se salientar que a implantação destas regulamentações sempre foi acompanhada de uma melhoria significativa das condições de conforto no interior dos edifícios.

Em muitos casos, o dispositivo encontrado na legislação urbana para o controle da acessibilidade ao sol e/ou luz natural está baseado na idéia de “ângulo de obstrução”. Conforme observa FAWCETT (1983), o uso de ângulos de obstrução é antigo nas legislações de planejamento urbano, sendo também relevante na análise de desempenho do projeto de arquitetura quanto à acessibilidade ao sol e à luz natural. A conjugação de ângulos de obstrução obtidos para todos os limites da área a ser projetada resulta no que se convencionou chamar de “envelope solar” da área. O envelope solar, gerado segundo certos critérios, forma um volume sobre o terreno dentro do qual o edifício deve ficar inserido, para não projetar sombras indesejáveis sobre a vizinhança. Como não há, entretanto, acordo, na literatura corrente, sobre os critérios a utilizar para a geração dos ângulos de obstrução, havendo, além disso, uma série de métodos aparentemente diferentes para a formação do próprio envelope solar, passaremos a analisar critérios e métodos existentes, buscando uma perspectiva viável de integração.

2.1. Critérios para insolação, iluminação natural e conservação de energia na escala urbana

Os objetivos básicos no planejamento para insolação e iluminação natural são, segundo ROBBINS (1986), a garantia de boas condições de acessibilidade a estes recursos nas fachadas das edificações e em seu entorno, bem como a definição de sua desejabilidade (períodos do dia e do ano). PEREIRA (1994) ressalta, entretanto, que há diferenças no planejar para a insolação e para a iluminação natural: enquanto naquele considera-se a obstrução ou não de partes da abóbada celeste onde ocorre a trajetória aparente do sol, neste é necessário garantir a visão de uma parte do céu independente da orientação.

Os critérios de insolação usualmente referem-se aos mínimos recomendados para aproveitar efeitos biológicos (bactericida) do sol, para proporcionar condições de conforto térmico no interior das edificações (critérios de desejabilidade e indesejabilidade da radiação solar direta sobre os planos do edifício) e para o aproveitamento da energia solar como fonte alternativa à energia operante (uso das envoltórias do edifício para instalação de sistemas conversores de energia).

Na década de 50 foi proposto como critério a insolação de 1,5 a 2,5 horas para aproveitar *o efeito bactericida do sol*. OBOLENSKY & KORZIN (1982) mostraram, entretanto, que em 60% a 70% dos casos estudados, a ação bactericida não era garantida pela insolação, o que invalidava o critério como exigência normativa. PEREIRA (1994) também chama a atenção para o fato de que, dependendo da hora do dia, época do ano, condições atmosféricas, orientação solar das aberturas e obstruções do entorno, um mesmo valor de duração da insolação pode significar doses distintas de radiação incidente. Mesmo assim, reconhece-se que este período de insolação pode cumprir com necessidades psicológicas humanas quanto à insolação.

Os critérios de desejabilidade e indesejabilidade da radiação solar direta sobre as envoltórias da edificação estão diretamente ligados às *condições de conforto térmico no interior dos ambientes* e vinculam-se, via de regra, a um índice de conforto térmico. Estes critérios definem os períodos de obstrução e não-obstrução da trajetória local aparente do sol a partir da identificação dos períodos de desconforto térmico durante o ano. Duas experiências foram encontradas na literatura sobre este tipo de critérios: a de SALEH (1988) e a de PEREIRA (1994).

SALEH (1988) propôs, para a construção de seu modelo de envelope solar, a adoção de um “perfil de insolação” baseado na obstrução da radiação solar no período de desconforto térmico indicado pelo Diagrama Bioclimático de Olgyay (OLGYAY & OLGAY: 1963). PEREIRA (1994), por sua vez, utilizou uma metodologia proposta por AROZTEGUI (1981) para a integração das condições climáticas e das exigências psico-fisiológicas, de modo a gerar os níveis horários de “radiação ponderada”¹ durante os solstícios e equinócios. Os ângulos de obstrução foram determinados a partir do balanço das radiações ponderadas para cada orientação de fachada. O autor observou que os balanços de verão, de inverno e anual para todas as orientações tendiam para zero com o aumento do ângulo vertical de obstrução. Assim, para a definição destes ângulos, Pereira considerou que pelo menos 2 dos seguintes critérios deveriam ser satisfeitos simultaneamente: balanço anual das radiações ponderadas positivo; balanço das radiações ponderadas positivo para os equinócios e mínimo de 1,5 a 2 horas de insolação no período de inverno.

Nos dois casos, não há consideração específica de critérios de iluminação natural, bem como diferenciação das exigências de insolação em função do programa arquitetônico, embora se admita que estas exigências sejam diferentes para edificações residenciais e comerciais, pelo menos. Para fazer face a esta deficiência, ASSIS & VALADARES (1994) desenvolveram um procedimento simples para a consideração simultânea da insolação e iluminação natural. Adotaram como critérios para a garantia das condições mínimas de insolação e iluminação natural dos edifícios na área urbana de Belo Horizonte as recomendações de ALUCCI & alii (1986): insolação de no mínimo 1 hora no solstício de inverno para o quadrante norte (orientações de leste a oeste, sentido anti-horário) e iluminação natural mínima de 150 lux sobre o plano horizontal de 8:00 às 16:00 horas, em 80% do ano.

Neste caso, dois conjuntos de ângulos de altura solar (ou de obstrução) foram gerados, correspondentes a cada critério (ASSIS & alii: 1995). Os ângulos finais de altura solar foram obtidos pelo conjunto interseção dos dois conjuntos anteriores, garantindo, assim, a satisfação simultânea dos dois critérios. Embora interessante, do ponto de vista metodológico, como procedimento de integração de critérios de insolação e iluminação natural, além da facilidade de inserção na legislação urbana, o trabalho de ASSIS & VALADARES (1994) só pode ser considerado como um passo inicial em direção à uma proposta para o planejamento urbano comprometido com os aspectos de insolação e iluminação natural, uma vez que os dados ambientais disponíveis na época eram muito limitados e os critérios adotados, muito simplificados.

O último critério de insolação identificado é o que trata do *aproveitamento da energia solar* como fonte alternativa. Os sistemas de conversão de energia solar necessitam que suas superfícies coletoras, estejam elas instaladas em qualquer das envoltórias da edificação, fiquem livres da projeção de sombra de outros elementos da paisagem urbana durante o ano. Por isso, a aplicação deste tipo de critério leva em conta apenas os extremos da trajetória local aparente do sol (os solstícios) e define um período diário de insolação cuja energia solar acumulada garanta a conversão para uma certa quantidade que viabilize economicamente o uso do sistema. KNOWLES & BERRY (1980) aplicaram este conceito

¹ O nível de radiação é “ponderado” em função de ser classificado como “desejável” (positivo) ou “indesejável” (negativo), a partir da aplicação do método de Aroztegui.

para a geração de sua proposta de envelope solar, mas também consideraram o uso da edificação como um todo como sistema passivo de conversão de energia, ponderando que esta seria a perspectiva mais aplicável em áreas de densidade moderada de ocupação.

Estes autores vincularam os critérios ao zoneamento urbano, definindo perfis diferentes de insolação para áreas residenciais e comerciais. O período de insolação desejável para as áreas comerciais foi definido como o que promova o máximo ganho potencial de calor no solstício de inverno, enquanto diminua o ganho no verão (no caso analisado, a cidade de Los Angeles, isto correspondeu a 77% do valor agregado diário de energia teoricamente disponível num dia de inverno e cerca de 45% no solstício de verão). Através da simulação de projetos de edificações em áreas selecionadas da cidade a partir destes critérios, KNOWLES & BERRY (1980) desenvolveram regras específicas para a geração do envelope solar, como se verá adiante. Entretanto, estes autores não esclarecem como chegaram aos percentuais citados do valor agregado diário de energia solar disponível, que resultaram na definição do período de insolação.

SALEH (1988) também considerou a questão da conversão de energia solar, tentando integrá-la ao critério de conforto térmico. Assim, para este autor, o período de insolação deve ser compatível com o aproveitamento da energia solar para conversão, enquanto que o período de sombreamento deve coincidir com o de desconforto térmico indicado por um índice de conforto térmico. O problema observado para esta integração é que, em geral, o melhor período para aproveitamento da energia solar para conversão é o mesmo em que ocorre a sensação de desconforto térmico, onde seria recomendável o sombreamento.

2.2. Envelope solar e envelope de iluminação

Como se observa a partir da definição de KNOWLES & BERRY (1980), a latitude local e o contexto urbano influenciam o tamanho, a forma e a polaridade do envelope solar. Por exemplo, se os quarteirões têm orientação N-S e são divididos em pequenos lotes, os envelopes mudam de polaridade, passando seus eixos a apresentar direção L-O. Se os lotes forem maiores, a polaridade dos eixos permanece N-S. Este fato é significativo para as questões de conversão de energia solar por meios passivos e ativos, pois implica na mudança de orientação das maiores superfícies de fachada e da cobertura da edificação, ressaltando a grande importância do parcelamento do solo e do desenho urbano para a eficiência do dispositivo.

Além disso, a determinação do envelope solar também é limitada pela relação de tempo e espaço que, sob esse conceito, torna-se inversamente proporcional: quanto maior o intervalo de tempo diário de acesso ao sol, tanto menor o espaço sob o envelope. Do mesmo modo, quanto maior o número de meses do ano nos quais se provê acesso ao sol, tanto menor é o volume sob o envelope. A aplicação do conceito de envelope solar traz algumas vantagens e alguns novos problemas para o planejamento urbano e projeto do edifício. KNOWLES & BERRY (1980) enumeram como principais vantagens:

- a redução dos gastos de energia nos edifícios e nos transportes. A economia de energia nos transportes parece resultar do aumento relativo das densidades de ocupação. Menores custos para aquecimento e/ou refrigeração dos edifícios, em função das densidades moderadas de assentamento, que expõem menos superfícies para as trocas térmicas do que no caso de edificações muito isoladas; das baixas alturas resultantes para os edifícios comerciais, que necessitarão menos instalações verticais e, o mais importante para a redução de demanda de energia operante nos edifícios, que é a possibilidade efetiva de usar a energia solar, tanto por meios passivos quanto ativos, em densidades moderadas;
- é uma forma de controle necessariamente sensível às condições específicas de cada lugar, sendo mais eficiente em sua perspectiva de conjunto que outras alternativas legais. Além disso, representa uma mudança relativamente simples nas formas precedentes que definem gabaritos de altura e distância entre os edifícios, em geral sem nenhum comprometimento com as condições ambientais;
- tem como característica não impor nenhuma restrição ao projeto do edifício em termos da forma de ocupação do solo, o que valoriza a tomada de decisão profissional. Além disso, estimula o uso de elementos arquiteturais, tais como pátios de iluminação, terraços, zenitais e novas concepções de janelas para o controle da insolação e iluminação, que podem produzir espaços de extraordinária qualidade e, ao mesmo tempo, mais eficientes do ponto de vista do consumo de

energia.

Um dos principais problemas apontados é o grande impacto sobre o uso do solo, a densidade de construção e a valorização do solo urbano (KNOWLES & BERRY: 1980; ROBBINS: 1986). Embora os estudos existentes indiquem claramente que a acessibilidade ao sol pode ser alcançada sob uma grande variedade de condições urbanas, ainda ocorrem algumas limitações potencialmente sérias sobre a densidade de ocupação, de modo que o conceito deve ser tratado para chegar a um certo equilíbrio com as necessidades de desenvolvimento urbano. KNOWLES & BERRY (1980) desenvolveram uma aplicação deste conceito para densidades consideradas médias nos Estados Unidos (cerca de 120 habitações/ha ou 350 habitantes/ha, valor considerado alto no Brasil), demonstrando sua viabilidade. PEREIRA (1994) também levou em consideração a questão das densidades no desenvolvimento de sua proposta para a cidade de Porto Alegre, RS.

Do ponto de vista metodológico, existem 2 formas principais de gerar um envelope solar. Numa delas, os ângulos de obstrução determinados são aplicados aos limites laterais, frontal e de fundos do lote ou área, formando planos imaginários cuja interseção determina o volume do envelope solar (figura 1.a). Este é o processo usado por PEREIRA (1994) e ASSIS & VALADARES (1994). O outro método, utilizado por KNOWLES & BERRY (1980), aplica os ângulos de altura solar nos cantos das divisas do lote ou área, determinando o volume do envelope pelo cruzamento diagonal dos ângulos sobre o terreno (figura 1.b). Este último método parece mais difícil de ser tratado através de desenho geométrico, pois as representações são feitas em perspectiva isométrica, enquanto o primeiro processo pode ser tratado facilmente nas projeções em épura sobre os planos horizontal e vertical do desenho arquitetônico.

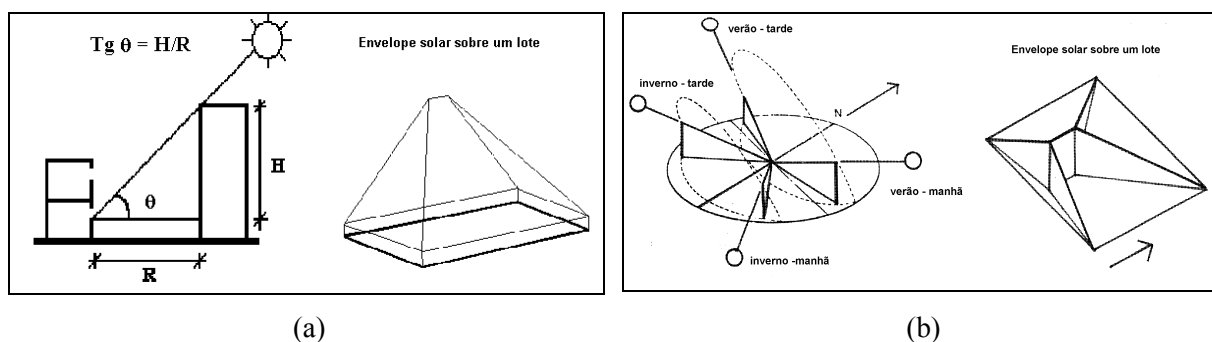


Figura 1 - Métodos de geração do envelope solar. Em (a) o usado por PEREIRA (1994) e por ASSIS & VALADARES (1994); em (b) o usado por KNOWLES & BERRY (1980). Notar que a trajetória solar em (b) está representada para o hemisfério norte. Extraído de: ASSIS (2000).

O “envelope de iluminação”, por sua vez, é uma proposta que apareceu na Europa do pós-guerra, para atender às necessidades de reconstrução das cidades destruídas, segundo novos padrões que assegurassem a preservação de condições adequadas de iluminação natural, uma vez que se constatou que a aplicação dos limites dimensionais convencionais às alturas e recuos dos edifícios não atendiam, na maior parte dos casos, a nenhum propósito prático. Já nos anos 60 a Inglaterra havia consolidado a sua normalização para iluminação natural (MINISTRY of Housing and Local Government: 1964).

GROPIUS (1977) descobriu que, para uma dada área total de piso, era melhor construir edifícios mais altos e mais espaçados entre si e em paralelo, pois o ângulo compreendido entre o topo de um edifício e a base do próximo era reduzido, possibilitando a visão de uma parcela maior do céu em ambientes localizados no térreo. Entretanto, o autor observou que havia um limite para a melhoria deste modo obtida. ALLEN (1943) estudou disposições não-paralelas dos edifícios, bem como partidos arquitetônicos do tipo cruciforme, em “Y” e em “L”, tendo obtido um aumento de até 70% na penetração em profundidade da luz nos ambientes interiores, para uma mesma densidade de ocupação. Deste modo, demonstrou que o assentamento em “planta aberta”, típico da concepção modernista, era muito mais eficiente para a iluminação, embora tenha também observado que a melhoria obtida tinha limite. Este autor concluiu seu estudo identificando uma grande inter-relação entre as escalas do urbano e do edifício para a preservação de condições de acesso à luz natural, bem como a necessidade de associação do critério de acesso à luz natural a uma política de densidade para a área urbana. Em trabalhos posteriores (ALLEN & CROMPTON: 1947; CROMPTON: 1955) os requisitos de

planejamento urbano foram formulados de maneira tal que a cada lote seria garantida uma determinada condição de acessibilidade à luz natural (escala urbana), cabendo ao arquiteto fazer o uso adequado deste recurso quando do projeto do edifício.

Para o estabelecimento de um critério de acessibilidade à luz natural, estes estudos somente consideraram a contribuição da componente celeste (CC) do Fator de Luz Diurna (FLD), negligenciando as componentes refletidas, provavelmente devido ao tipo de céu europeu, particularmente o das ilhas britânicas, um céu de luminância uniforme e encoberto, o que simplificava bastante o problema, tornando desnecessário considerar a orientação solar das fachadas. Assim, a quantidade de luz incidente num ponto qualquer de um ambiente passava a depender inteiramente do tamanho da área de céu visível a partir do ponto, que era, por sua vez, definido pelas bordas da(s) janela(s) do ambiente e pela linha de obstrução do horizonte dos edifícios do entorno. Esta hipótese definiu as duas variáveis principais envolvidas no estabelecimento do critério: a forma e tamanho das aberturas de iluminação, e a forma e o tamanho das obstruções.

Para tratar apenas da última variável, forma e tamanho das aberturas foram fixadas como uma janela-padrão, média de uma ampla amostragem feita em edifícios comerciais daquela época (ALLEN & CROMPTON: 1947), cuja área envidraçada correspondia a cerca de 50% da área da parede externa do ambiente típico de escritório extraído da amostra. A janela-padrão tinha peitoril de 0,85 m de altura, considerada como altura do plano horizontal de referência (plano de trabalho). Também foi fixado um padrão mínimo de iluminação natural para os ambientes, que correspondia a um $FLD = 1\%^2$ à distância de 3,60 m da parede externa, medida a partir de sua face exterior, para edifícios não-residenciais. Foi estabelecido, ainda, que a luz incidente num ângulo maior que 45° de cada lado da abertura de iluminação seria desconsiderada, pois não penetraria em profundidade no ambiente.

A aplicação e controle deste regulamento podia ser feito usando o Diagrama de Waldram e, por tentativa-e-erro, chegava-se à solução de projeto. Sendo este, porém, um método fastidioso, foram desenvolvidos, para poupar tempo e trabalho, dispositivos mais simples que permitiam determinar os limites angulares de largura e altura dos edifícios, denominados “indicadores de altura admissível” (HOPKINSON & alii: 1980). Estes indicadores eram aplicados nos limites do terreno e nas fachadas dos edifícios vizinhos, de modo que, ao final, obtinha-se um “envelope de iluminação” para o terreno em questão. Este critério resultou numa grande diversidade de formas edificadas, mas, principalmente, no aparecimento de amplos espaços com torres centrais de grande altura, estimulando o remembramento de lotes pequenos, onde a aplicação do critério era praticamente inviável. Em função das diferentes necessidades de iluminação em edifícios residenciais e não-residenciais, a aplicação do critério pressupunha o princípio do *zoneamento urbano*.

Do mesmo modo que no caso do envelope solar, o envelope de iluminação traz grandes repercussões sobre a densidade de ocupação. Um dos problemas principais para a geração do “envelope de iluminação” é a fixação *a priori* de uma determinada geometria para o ambiente e sua(s) abertura(s) de iluminação³, o que limita seriamente sua aplicação, podendo deixar sem nenhuma proteção legal ambientes que não se encaixam à hipótese de ambiente típico adotada (WALDRAM: 1948). Este autor sugeriu que regulamentos dimensionais convencionais poderiam existir ao lado das regulamentações baseadas no conceito de “envelope de iluminação” para tratar destes casos, mas um cuidado deveria ser tomado para que ambas as regulamentações tivessem efeitos semelhantes.

2.3. Integração a partir do aproveitamento da energia solar como fonte alternativa de energia

A idéia de que a acessibilidade ao sol pode ser definida em função da insolação necessária para propósitos de conversão de energia surgiu mais claramente nos anos 80, a partir da ótica da cidade do

² A rigor, como o critério desconsiderava a contribuição das componentes refletidas, este FLD é somente um FC (Fator de Céu).

³ De fato, este problema persiste, mesmo nas proposições mais recentes, como no caso do gráfico desenvolvido por ALUCCI & alii (1986: p. 19). Apesar de não estar claro neste texto, obtivemos, junto à autora, a informação de que este gráfico foi gerado a partir de uma determinada geometria fixa das dimensões médias dos ambientes e janelas dos conjuntos habitacionais comumente construídos em São Paulo.

futuro (por exemplo em BITAN: 1992), onde a qualidade climático-ambiental estaria relacionada ao uso intensivo de fontes alternativas de energia, principalmente a solar.

A proteção da acessibilidade ao sol para esta finalidade pode ser definida em função do modo ou modos de conversão de energia que se quer privilegiar em um determinado ambiente urbano, o que também é função de decisão da comunidade, ou seja, decisão política. Do ponto de vista técnico, segundo KNOWLES & BERRY (1980), existem três modos de conversão de energia que descrevem as relações entre o potencial de desenvolvimento urbano e uso do solo local, o acesso solar e a conversão de energia propriamente dita.

O *primeiro modo* protege a acessibilidade ao sol apenas nos telhados das edificações (é o modo mais comum). Isto permite o máximo de desenvolvimento urbano, em termos de verticalização e diminuição dos afastamentos entre os edifícios, mas o mínimo de conversão potencial de energia por unidade de volume de construção. Neste modo, o sombreamento total das superfícies verticais das edificações é permitido, mas, naturalmente, isto tem conseqüências sobre as condições de iluminação e ventilação dos ambientes interiores. Sua maior aplicação está em zonas comerciais de alta densidade. O *segundo modo* envolve todo o edifício, considerando o aproveitamento passivo da energia solar para condicionamento natural, através da implantação no terreno, do desempenho térmico das envoltórias e das aberturas convenientemente dimensionadas para prover iluminação e ventilação naturais. Neste caso, admite-se uma variabilidade de implantação das edificações em função de sua altura, devendo as edificações mais altas ficar mais afastadas dos limites do terreno para preservar as mesmas condições de acesso aos recursos ambientais para todos os vizinhos. Evidentemente, incrementa-se o potencial de uso da energia, mas isto, por outro lado, limita as condições de desenvolvimento urbano, sendo um conceito mais aplicável às ocupações de densidade moderada, tanto em zonas comerciais quanto residenciais. O *terceiro modo*, provavelmente o mais restritivo em termos de desenvolvimento urbano, envolve todo o lote ou parcela de terreno considerada, requerendo a garantia de acessibilidade solar ao nível do solo. Parte da premissa da necessidade de insolação para a flora e fauna urbanas, e pedestres, além dos edifícios, sendo mais aplicável aos espaços públicos e áreas residenciais de baixa densidade.

Todos estes modos podem estar co-existindo numa cidade, dependendo das características de cada área ou zona urbana. O problema é definir os limites de volumetria em cada caso, o que não é apenas função do modo (ou modos) de conversão de energia admitido(s) localmente, mas também da tecnologia dos dispositivos de conversão, que os torna mais ou menos eficientes. Evidentemente, quanto menos eficiente o sistema térmico de conversão, tanto mais longo o período requerido de insolação para que o sistema cumpra com seus objetivos. KNOWLES & BERRY (1980) salientam que esta perspectiva deve evoluir com o próprio desenvolvimento tecnológico dos sistemas de conversão.

3. APLICAÇÃO E RESULTADOS PARA O CASO DE BELO HORIZONTE

Observando o caso brasileiro, e particularmente o da cidade de Belo Horizonte, verifica-se que os sistemas de conversão de energia solar baseados em coletores solares planos, principalmente utilizados para aquecimento de água, atingiram na última década, viabilidade econômica até para assentamentos urbanos destinados à população de baixa renda. Apesar do grande desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos, cuja eficiência os habilita à conversão de energia para gerar eletricidade mesmo em ambiente urbano (pequenas áreas), e da ênfase européia mais recente nestes sistemas, é preciso levar em conta que, no caso brasileiro, o alto custo econômico destes sistemas face ao custo e disponibilidade atual de energia elétrica os torna ainda inviáveis para aplicação intensiva no parque edificado nacional.

O uso de energia solar para aquecimento de água, por outro lado, impacta diretamente os horários de ponta de consumo elétrico no setor residencial que, como já se demonstrou (MINAS GERAIS: 1991), ocorrem com o uso do chuveiro elétrico entre as 18:00 e 19:00 horas. Além de seu alto grau de difusão nas residências do país (cerca de 68% delas têm chuveiro elétrico), o chuveiro é, em geral, o equipamento instalado de maior potência. Sua influência no período assinalado de maior congestionamento do sistema elétrico corresponde a 8,5% da demanda total, cerca de 3550 MW (MINAS GERAIS: 1991). Ora, com o uso do sistema de conversão solar, o consumo de energia elétrica passa a ser para o aquecimento auxiliar e, em alguns casos, para as bombas de circulação forçada de água, trazendo como vantagens o consumo fora do horário de ponta, mesmo sem alteração

dos hábitos de banho, menor investimento na infra-estrutura de geração, transmissão e uso da energia elétrica e maior nível de conforto e segurança para o usuário.

Isto é particularmente importante quando se observa que o consumo energético do setor residencial brasileiro representa 15% do consumo global do país, ficando atrás apenas dos setores industrial (37%) e de transportes (21%), segundo dados do Balanço Energético Nacional. Porém, ao considerar apenas o consumo de energia elétrica, o setor residencial é o segundo em importância, participando com cerca de 25% do total nacional.

Deste modo, parece razoável considerar, para a preservação da acessibilidade ao sol para fins de conversão de energia solar, critérios que digam respeito à melhor eficiência dos sistemas que estão operando no mercado. No caso de Belo Horizonte, o estudo e monitoramento de vários sistemas instalados em edificações residenciais uni- e multifamiliares, feito pela Companhia Energética de Minas Gerais (MINAS GERAIS: 1991) mostrou que, ao longo do ano, existe uma tendência do sistema elétrico auxiliar operar mais concentradamente no período das 9:00 às 15:00 horas (figura 2), o que nos forneceria um primeiro critério: este horário deveria ser particularmente protegido do sombreamento das edificações vizinhas ao nível das coberturas, para justamente não sobrecarregar o sistema elétrico, aumentando o consumo.

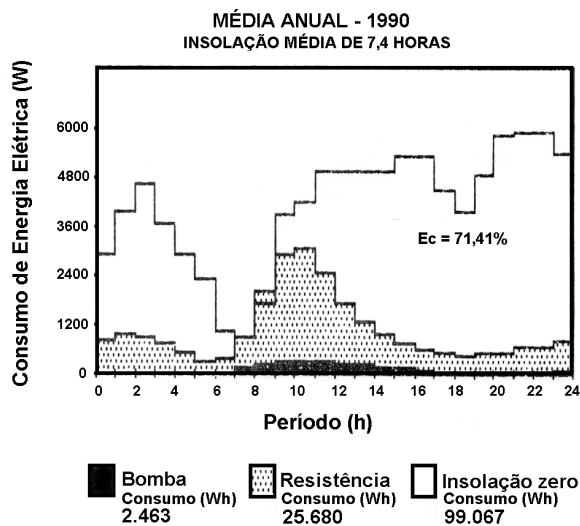


Figura 2 – Curva média anual de consumo de energia elétrica em sistemas de aquecimento solar de água monitorados em Belo Horizonte. A economia média obtida no ano foi de 71,41%. Fonte: MINAS GERAIS (1991).

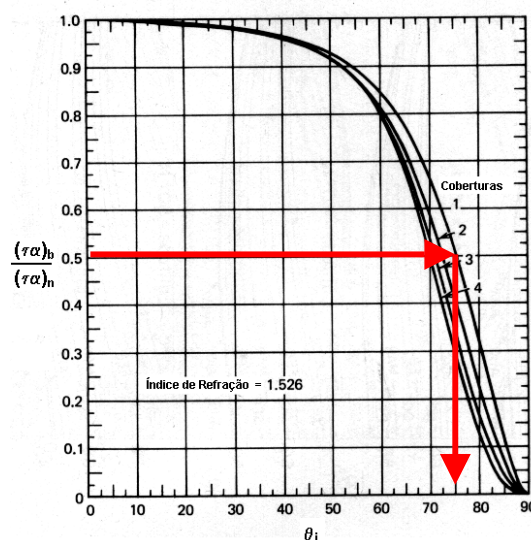


Figura 3 – Curvas típicas da relação $(\tau\alpha)_b/(\tau\alpha)_n$ para coletores planos com cobertura de 1 a 4 vidros. $(\tau\alpha)_b$ é o produto para a parcela direta da radiação solar e $(\tau\alpha)_n$, para radiação normal ao plano do coletor. Fonte: DUFFIE & BECKMAN (1980).

Um segundo critério poderia ser extraído da própria característica de aproveitamento da energia solar incidente nos coletores planos, representada pelo produto $(\tau\alpha)$ do dispositivo, ou seja, das características de transmitância do vidro (τ) e de absortância (α) da superfície absorvedora do coletor. DUFFIE & BECKMAN (1980) mostraram que este produto é muito dependente do ângulo de incidência da radiação solar sobre o coletor (figura 3), sendo nulo quando o ângulo formado entre o raio solar direto e a normal à placa (θ_i) é 90° e máximo quando este ângulo é nulo, ou seja, a incidência da radiação solar direta é normal à placa. Supondo uma condição de aproveitamento da energia solar incidente de 50% ao longo do ano ($\tau\alpha \cong 0,50$), o ângulo (θ_i) seria de 75° para coletores simples com um vidro de cobertura, que são os mais comumente instalados (figura 3, setas vermelhas). Considerando que os coletores em Belo Horizonte são instalados com inclinação de 30° (latitude + 10°), teríamos um ângulo de altura solar correspondente de 45° para o (θ_i) encontrado, o que, em termos de insolação, corresponderia aproximadamente (em tempo solar verdadeiro – TSV), ao período de 9:00 h às 15:00 h no solstício de verão e 11:30 h às 12:30 h no solstício de inverno, usando a carta solar para 20° Sul. Considerando a radiação solar média horária incidente ao longo do ano, tendo em

vista a nebulosidade média mensal em Belo Horizonte, este período corresponde a 87,5% do valor agregado diário de energia teoricamente disponível num dia de inverno e cerca de 78,3% num dia de verão.

Observa-se, portanto, que, de fato, a eficiência de aproveitamento da energia solar dos sistemas encontrados no mercado belorizontino é da ordem de 50% e os critérios discutidos convergem para a necessidade de proteção das coberturas (primeiro modo de conversão de energia) contra o sombreamento no período de 9:00 às 15:00 horas, sendo esta a condição genérica máxima admissível para o controle das alturas das edificações, quando se objetiva o aproveitamento da energia solar como fonte alternativa, no estágio tecnológico economicamente viável em que nos encontramos.

É interessante ressaltar que ASSIS & VALADARES (1994) chegaram a resultados similares quanto aos limites para o ângulo de altura solar, usando os critérios de insolação e iluminação natural já mencionados⁴. Aplicando-se genericamente o ângulo de altura solar de 45° às caixas de rua mais usuais na cidade, obtém-se uma altura de até 4 pavimentos com ruas de 15 a 20 m de largura; 8 a 9 pavimentos quando a distância frontal entre os edifícios é da ordem de 30 m.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

ASSIS (2000) demonstrou a viabilidade de integração entre a abordagem de desempenho térmico do ambiente urbano, resultante da análise do balanço energético do sítio (ou, pelo menos, de seu(s) termo(s) mais significativo(s) localmente) e a abordagem que envolve os chamados envelopes solares.

Em ambas as abordagens, a convergência de resultados na determinação do ângulo de altura solar, no caso de áreas urbanas em Belo Horizonte, significa que há possibilidade técnica para, utilizando estes métodos preditivos de simulação de desempenho em escala urbana, desenvolver instrumentos legais para a preservação de condições ambientais urbanas adequadas para as trocas térmicas por radiação, mitigando-se o efeito de sobre-aquecimento urbano, enquanto, por outro lado, garante-se, também, as condições de acesso ao sol, à luz natural e à energia necessária para a operação eficiente dos sistemas de conversão solar existentes.

Tendo em vista as crescentes restrições ao uso de energia gerada por fontes convencionais, dada a limitação e/ou esgotamento destes recursos, é necessário preparar nossas cidades, a exemplo do que já vem sendo feito em muitos países, para um uso mais intensivo e eficiente da energia passiva e de fontes alternativas, além dos esforços para conter o desperdício e racionalizar o uso de recursos no parque edificado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKBARI, H. & ROSENFELD, A. H. Cool buildings and cool communities. In: II INTERNATIONAL CONFERENCE ON BUILDINGS AND THE ENVIRONMENT, 1997, Paris. Proceedings..., Paris: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), 1997, v. 2, p. 301-308.

ALLEN, W., Daylighting of buildings in urban districts. **Journal of the Royal Institute of British Architects** (RIBA), p 85-87, february 1943.

ALLEN, W. & CROMPTON, D. H. "A form of control of building development in terms of daylighting. **Journal of the Royal Institute of British Architects** (RIBA), p. 491-499, August 1947.

ALUCCI, M. P.; CARNEIRO, C. M. & BARING, J. G. A. **Implantação de Conjuntos Habitacionais: recomendações para adequação climática e acústica**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1986.

ASSIS, E. S. **Impactos da forma urbana na mudança climática: método para a previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano**. São Paulo, 2000. 273p. Tese de Doutorado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.

ASSIS, E. S. Impactos do clima urbano no conforto térmico e no consumo energético do edifício de

⁴ Note-se, inclusive, que o critério adotado de acesso solar no inverno acabou abrangendo o período aqui identificado, o que significa que sua adoção cobre também as necessidades de verão.

escritórios típico de Belo Horizonte, MG. In: NUTAU'98: ARQUITETURA E URBANISMO - TECNOLOGIAS PARA O SÉCULO XXI. 1998, São Paulo. Anais Eletrônicos..., São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 1998. Trabalho no. 142.

ASSIS, E. S.; PEREIRA, E. M. D.; SOUZA, R. V. G. et alii. Modelo para determinação da volumetria dos edifícios a partir de critérios de insolação e iluminação natural: integração ao sistema de informações geográficas da Prefeitura de Belo Horizonte, MG. In: ENCONTRO NACIONAL DE MODELOS DE SIMULAÇÃO DE AMBIENTES, 1995, São Paulo. Anais..., São Paulo: NUTAU-FAU/USP, 1995, p.19-29.

ASSIS, E. S. & VALADARES, V. M. Modelo matemático para a determinação dos recuos e volumetria dos edifícios, segundo critérios de insolação e iluminação natural. Belo Horizonte, 1994. Relatório Técnico – Secretaria Municipal de Atividades Urbanas, Prefeitura de Belo Horizonte.

BITAN, A. The high climatic quality city of the future. **Atmospheric Environment**, v. 26B, p. 313-329, 1992.

CROMPTON, D. H., The daylight code: some notes on the form of control of space about buidings. **Town Planning Review**, v. 26, p. 155-164, 1955.

FAWCETT, W. A note on the obstruction angle model for block spacing. **Building and Environment**, n. 18, p. 125-128, 1983.

GROPIUS, W. **Bauhaus Novarquitectura**. São Paulo: Perspectiva, 1977.

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P. & LONGMORE, J., Planeamento urbano e iluminação natural. In: HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P. & LONGMORE, J. **Iluminação Natural**, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2a edição, p. 503-525, 1980.

KNOWLES, R. L. & BERRY, R. D. **Solar envelope concepts: moderate density building applications**. Golden, Colorado, 1980. Solar Energy Research Institute, SERI/SP-98155-1.

MINAS GERAIS, Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). **Energia Solar para Aquecimento de Água: medições de consumo de energia elétrica complementar**. Belo Horizonte: CEMIG/PROCEL, 1991.

MINISTRY of Housing and Local Government Planning. **Planning for daylight and sunlight**. Bulletin n. 5, London: HMSO, 1964.

OBOLENSKY, N. V. & KORZIN, O. A. Insolation and sun control in the field of construction: the progressive ways of their normalization and regulation. In: CIB SYMPOSIUM IN BUILDING CLIMATOLOGY, 1982, Moscou. Proceedings ..., Moscou: CIB, p. 498-520.

PEREIRA, F. O. R. **Uma metodologia para indicações de ocupação do ambiente urbano: controle de obstrução do sol e da abóbada celeste**. Florianópolis, 1994. 66p. Monografia para Concurso de Professor Titular – Dep. Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina.

ROBBINS, C. L., Planning for daylight. In: ROBBINS, C. L. **Daylighting: design & analysis**, New York: Van Nostrand Reinhold, 1986, p. 129-153.

ROMÉRO, M. A., A legislação energética em edifícios: análise do caso de Portugal - algumas diretrizes para a implantação de um regulamento do comportamento térmico e climatização em edifícios para o Brasil. **Cadernos Técnicos do AUT** [FAU/USP], no. 5 , p. 27-58, 1998.

SALEH, A. M., The insolation template: a new method for the construction of solar envelopes. In: HEALTHY BUILDINGS, 1988, Stockholm. Proceedings..., 1988, v. 2, p. 69-78.

SANTAMOURIS, M., Energy and indoor climate in urban enviroments: recent trends. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1997, Salvador. Anais..., Salvador: FAU-UFBA/ANTAC, 1997, p. 15-24.

WALDRAM, P. J. Control of urban redevelopment: an examination of current proposals. **Journal of the RIBA**, p. 462-463, August 1948.