

## Conforto térmico urbano: estudo de caso do bairro Floresta de Belo Horizonte, MG

*Urban thermal comfort: study case of the Floresta district of city of Belo Horizonte, MG*

Roxane Sidney Resende de Mendonça  
Eleonora Sad de Assis

### Resumo

O estudo sobre o conforto térmico urbano permite avaliar o impacto da ocupação humana na alteração do clima local. A forma do meio urbano pode obstruir os canais de ventilação, ocasionando mudanças de temperatura e gerando fenômenos como ilha de calor e inversão térmica. Estas mudanças, por sua vez, causam problemas à saúde e aumento nos gastos de energia, bem como danos sociais e materiais devidos à mudança dos parâmetros climáticos locais. Neste estudo, procurou-se avançar em direção a uma metodologia de planejamento urbano comprometida com o meio ambiente e o bem-estar humano, contribuindo para a preservação das condições de conforto térmico do bairro Floresta de Belo Horizonte, MG. Características locais foram identificadas e registradas em sua distribuição espacial em mapas, definindo áreas homogêneas que serviram de base para formular uma hipótese de ventilação urbana local. Os dados de temperatura, umidade e ventos coletados em campo foram também registrados graficamente, após a aplicação de um índice de conforto térmico. Como resultado, gerou-se um mapa-síntese que define áreas que necessitam mudanças no seu desenvolvimento de forma a amenizar o impacto da ocupação sobre o clima local.

**Palavras-chave:** conforto térmico, ventilação urbana, planejamento urbano, clima local

### Abstract

*The study of urban thermal comfort enables the effects of human occupation on local climate to be evaluated. The urban environment may obstruct wind paths, causing changes in the temperature and phenomena such as heat island and thermal inversion. Such changes may lead to health problems, increase in energy consumption as well as social and material damages that result from changes in local climate. This paper aims to contribute to the development of an urban planning methodology concerned with both the environment and the human comfort, and also contribute to the preservation of thermal comfort conditions of the Floresta district in the city of Belo Horizonte, MG. Local characteristics were identified and documented in maps, defining homogenous areas that were used as a basis for formulating a hypothesis of local urban ventilation. Data concerning temperature, humidity and winds, collected in the field, were also plotted in maps, after the application of a thermal comfort index. As a result, a synthesis map was produced, pointing to areas that need changes in their development in order to soften the occupation impact on local climate.*

**Keywords:** thermal comfort, urban ventilation, urban planning, local climate

**Roxane Sidney Resende de Mendonça**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Rua Níquel, 158  
CEP: 30220-280, Belo Horizonte, MG - Brasil  
Tel.: (31) 3227-3252  
E-mail: roxanesrm@hotmail.com

**Eleonora Sad de Assis**

Escola de Arquitetura  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Rua Paraíba 697  
CEP: 30130-140, Belo Horizonte, MG - Brasil  
Tel.: (31) 3269-1823  
Fax: (31) 3269-1822  
E-mail: elsad@dedalus.lcc.ufmg.br

Recebido em 26/05/03

Aceito em 02/02/04

## Introdução

Neste trabalho, analisa-se a influência da estrutura urbana sobre a condição do clima local, a partir do estudo de caso do bairro Floresta, em Belo Horizonte, objetivando contribuir para uma visão de planejamento urbano ambientalmente comprometido, neste caso, com ênfase no nível da atmosfera do substrato natural\*. Dessa forma, procura-se resguardar as condições de conforto térmico e qualidade do ar, por meio da preservação dos caminhos locais de ventilação, evitando zonas de estagnação do ar e indicando áreas do bairro que devem ser protegidas da verticalização excessiva ou que devem ser melhoradas do ponto de vista de sua qualidade ambiental.

Percebe-se, entretanto, que uma das deficiências das legislações urbanas, pelo menos no caso brasileiro, está em não identificar as áreas que devem ser preservadas ou que devem ser ocupadas com restrições, para a manutenção de condições físico-ambientais urbanas adequadas. A maior contribuição deste estudo está em voltar-se para uma metodologia de análise que avance em direção a um aprimoramento da legislação urbanística, mais especificamente da Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (LUOS), e que forneça ao planejador meios para propor, de forma consciente e científica, alterações nessa legislação, caso seja constatada tal necessidade. Este estudo pode, ainda, direcionar outros subseqüentes, a fim de solucionar as dificuldades aqui encontradas e propor um ambiente construído urbano cada vez mais adequado às condições de conforto ambiental.

Um método proposto por Katschner (1997) foi referência para o estudo de caso do bairro Floresta, desenvolvido por Mendonça (2000), sendo, entretanto, necessárias adaptações para sua aplicação, principalmente devido à topografia acidentada e à diversidade do ambiente construído local. Dessa forma, a metodologia apresentada ajustou-se melhor à realidade das cidades brasileiras, que têm uma configuração mais heterogênea que as alemãs, e representou também um avanço com relação a um estudo anterior para o Campus da Universidade Federal de Minas

Gerais (CARLO, 1999), pelo fato de se tratar de um estudo de uma área da cidade mais densa e urbanizada.

O método adotado possibilitou estudar uma área de morfologia complexa, devido, principalmente, à agilidade das técnicas de mapeamento por meio de um sistema de informações geográficas (SIG), no caso, o *software* MapInfo®, que gera matrizes de peso, sobreposição de mapas de inter-relações entre variáveis e intercâmbio de dados entre os elementos estudados (quarteirões, lotes e edificações), e oferece, ainda, a possibilidade de rápidas mudanças de escala e associação de informações. Outro avanço foi em relação à condução do trabalho de campo, que foi planejado a partir da experiência tanto com o método de geração da hipótese de ventilação quanto com o método computacional de processamento dos dados, poupando tempo e trabalho da equipe, sem, contudo, prejudicar a confiabilidade dos dados para a pesquisa.

Como resultado do estudo das condições térmicas e da dinâmica dos ventos do bairro Floresta, obteve-se um mapa-síntese que aponta as áreas que necessitam de recomendações específicas do ponto de vista do conforto térmico, o que contribui para amenizar a relação entre ocupação e sítio do bairro, e para ações de planejamento urbano mais objetivas. Cabe ressaltar, também, que, apesar de ser um estudo de caso, a metodologia deste trabalho foi sistematizada de forma a possibilitar adaptações para outras regiões, com uma realidade distinta da estudada.

## Revisão bibliográfica

Os espaços urbanos são a representação máxima da interação humana com o meio ambiente e, também, onde ocorre a maior deterioração deste último devido à alta concentração de atividades e densidade demográfica (ASSIS, 1990). Segundo Oliveira (1993), o clima urbano é definido pelas características do clima regional, pela forma urbana e pelas atividades humanas desenvolvidas na cidade. Assim, partindo da hipótese de tendência de estabilidade da escala regional do clima, o ser humano, por meio de suas ações e de seu papel no processo de ocupação, é capaz de alterar a forma urbana (conformação das características do sítio *versus* massa edificada) e ocasionar alterações do clima urbano.

---

\* Conforme a proposição original da Prof.<sup>a</sup> Magda Adelaide Lombardo, em notas de aula da disciplina Análise Ambiental Urbana e Sensoriamento Remoto, a análise físico-ambiental do espaço urbano deve se dar também no nível da *atmosfera*, além dos níveis do *solo* e do *subsolo* comumente observados, pois esses três níveis compõem, de modo integrado, o *substrato natural* que dá base ao desenvolvimento do ambiente urbanizado.

Dessa forma, a variabilidade do clima nas cidades está muito relacionada com o modo pelo qual o ser humano modifica o meio ambiente, acarretando quase sempre uma maior geração de calor e alterações na ventilação, umidade e precipitações locais. Isso gera modificações na composição da própria atmosfera e no balanço de energia, o que propicia, em alguns casos, áreas com temperatura mais elevada que as circunvizinhas. Esse fenômeno tem sido chamado de "ilha de calor urbana" e pode ser tipicamente observado em condições noturnas e de calmaria. Por esse motivo, percebe-se que o vento tem um papel importante na dispersão de poluentes na atmosfera e, quando há uma deficiência de ventilação, outros elementos do clima, tais como temperatura do ar e precipitação, também são alterados (ASSIS, 1990).

Uma das preocupações referentes ao conforto ambiental das cidades relaciona-se com tais transformações crescentes no clima local, já que estas podem ocasionar problemas de saúde na população, consumo excessivo de energia e enchentes urbanas, e intensificar fenômenos como inversão térmica e formação de ilhas de calor, que, além de prejudicar a renovação das massas de ar, aumentam os índices de poluição (ASSIS, 1995).

Assim, Katzschner (1997) aponta o estudo do clima urbano como um instrumento para o planejamento das cidades, pois considera a circulação do ar e as condições térmicas aspectos relevantes para a preservação e/ou o projeto do chamado "clima urbano ideal" durante o processo de crescimento das cidades. Isso evita que as intervenções sobre o meio natural prejudiquem os recursos que o sítio oferece e assegura a circulação e a renovação das massas de ar. Para isso, este autor desenvolveu uma metodologia de representação das características ambientais locais em mapas de planejamento, integrando qualitativa e quantitativamente as informações sobre topografia, uso e ocupação do solo, rugosidade, vegetação, bem como temperatura do ar e ventos. O resultado final é um mapa de classificação de toda a área de planejamento que identifica partes homogêneas a serem protegidas e/ou melhoradas do ponto de vista climático.

Ainda segundo Katzschner (1997), o mais importante passo para a identificação dessas áreas é saber definir quais as variáveis (que podem ser topografia, ocupação do solo, altura das edificações, vegetação, estrutura da cidade, etc.) que irão pesar em sua classificação, de acordo com o grau de influência na alteração climática. Outra característica desse modelo é a preocupação com

uma representação cartográfica das informações obtidas, útil para o planejador, e com as conclusões do estudo, como forma de melhorar a comunicação entre o processo de pesquisa referente ao conforto climático e a dinâmica do planejamento urbano (Figura 1).

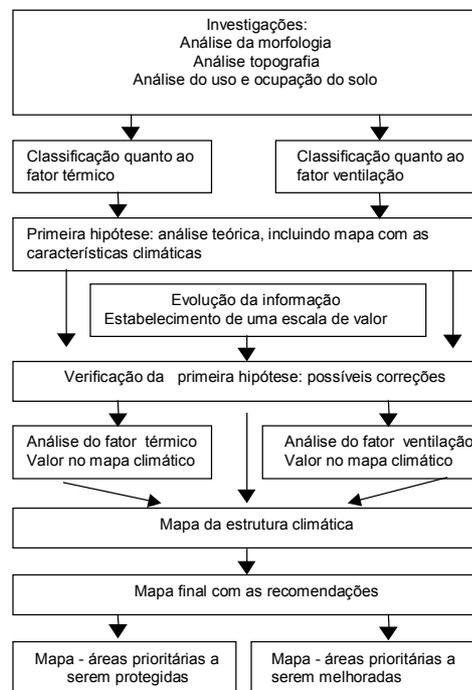


Figura 1 - Esquema metodológico proposto por Katzschner (1997)

Carlo (1999), utilizando a metodologia proposta por Katzschner (1997), associou recomendações para o planejamento urbano ao estudo do conforto térmico urbano, pela representação gráfica. O uso do MapInfo® auxiliou no tratamento dos dados para a hipótese de ventilação que foi definida depois de analisadas as características locais. A ventilação é vista por Carlo (1999) como um instrumento de controle do clima local, considerando a dinâmica dos ventos a partir da relação entre o sentido dominante dos ventos e a estrutura do recinto urbano. As variáveis trabalhadas foram rugosidade, altura dos edifícios, topografia e morfologia do terreno, esta última acrescentada por Carlo (1999) à metodologia de Katzschner (1997), devido à percepção de que a forma do terreno introduz mudanças significativas na direção dos ventos.

A vantagem do uso do software MapInfo® para a geração da matriz de ventilação é sua capacidade de associar cada elemento do mapa a uma célula de uma planilha que contém os dados das variáveis

estudadas. Esse processo possibilita um ajuste do método a qualquer tempo com maior facilidade, pois permite que diversas variáveis sejam analisadas com um controle mais ágil de suas informações, que podem rapidamente ser alteradas com resultados imediatos nos mapas.

Os dados coletados por Carlo (1999) em campo (temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido, direção e velocidade do vento) foram sobrepostos ao mapa do Campus da Pampulha, e os dados de temperatura foram inseridos e calculados nesse mapa usando-se o método manual de triangulação, confirmado depois na geração automática das isotermas com o software Surfer 5.0®, e o método *Kriging* de interpolação. Os dados de ventilação foram simplesmente inseridos, delineando-se as principais correntes de vento no local. Os resultados obtidos pelos mapas puderam, então, ser comparados aos dados coletados em campo, o que possibilitou avaliar a metodologia proposta no final do estudo.

Nesse sentido, o estudo do caso do bairro Floresta representa uma extensão e adaptação dos estudos já realizados sobre o conforto térmico urbano para uma realidade heterogênea comum à grande maioria das cidades brasileiras, sendo também uma tentativa de compreender melhor a influência das estruturas urbanas nas alterações do clima local e de contribuir para estudos posteriores.

## Apresentação da área de estudo

O bairro Floresta, formado com o desenvolvimento inicial da cidade, localiza-se próximo ao hipercentro de Belo Horizonte e é caracterizado por uma topografia constituída por duas colinas, cercadas por duas avenidas sanitárias de fundo de vale: a dos Andradas e a Silviano Brandão (Figura 2). Dessa forma, a existência de acidentes geográficos e de elementos como o Ribeirão Arrudas e uma linha férrea dificultaram uma aproximação efetiva do bairro com o centro da cidade, propiciando o desenvolvimento comercial da área voltado ao atendimento das necessidades da população local e adjacências. Depois da construção dos viadutos de Santa Tereza e da Floresta, esse isolamento foi amenizado, e o bairro pôde se desenvolver mais rapidamente, absorvendo melhores equipamentos urbanos e infra-estrutura, sem, contudo, perder sua

significativa importância para as atividades das regiões leste e nordeste de Belo Horizonte (TEIXEIRA, 1996).

Altos coeficientes de aproveitamento e taxas de ocupação, estipulados a partir da Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS), de 1976, acarretaram diversas transformações que hoje podem ser claramente notadas, principalmente ao longo dos corredores de tráfego, o que propiciou mudança do uso residencial para o comercial na área. Apesar de a Floresta ter sentido o reflexo dessa legislação, o número de edifícios altos ainda é pequeno (Figura 3), devido à dificuldade de negociações simultâneas com vizinhos para agrupar lotes para construções maiores, sobressaindo-se, ainda as residências unifamiliares, principalmente em locais que se apresentam mais seguros, calmos, com menos ruído e, conseqüentemente, com melhor qualidade de vida (TEIXEIRA, 1996).

Apesar da atual configuração horizontal do bairro, há uma constante ameaça de adensamento e verticalização, o que pode piorar as condições de conforto térmico local, dificultando a passagem dos ventos pela região. Ainda que o bairro mantenha em toda a sua extensão construções antigas com menos de cinco pavimentos, a atual LUOS classifica a área como Zona de Adensamento Preferencial (ZAP), com um dos maiores coeficientes de aproveitamento da cidade (1,7), o que oferece uma clara possibilidade de verticalização de todo o bairro (BELO HORIZONTE, 1996). Quanto à vegetação, apenas algumas avenidas mais largas são arborizadas, especialmente aquelas localizadas na área interna à avenida do Contorno, enquanto nas áreas intersticiais existem poucos jardins, árvores e praças. Percebe-se, portanto, a importância dos fatores topografia, morfologia e densidade de ocupação para o estudo do conforto térmico urbano, enquanto o fator vegetação apresenta-se, de certa forma, pouco expressivo em toda a área.

Dentro do contexto climático brasileiro, vale ressaltar que Belo Horizonte, situada na porção sudeste do estado de Minas Gerais, está em uma região de clima tipicamente misto, com parte do ano úmido (verões chuvosos) e parte, seco (inverno), o que dificulta gerar recomendações que atendam às condições de conforto durante o ano todo.

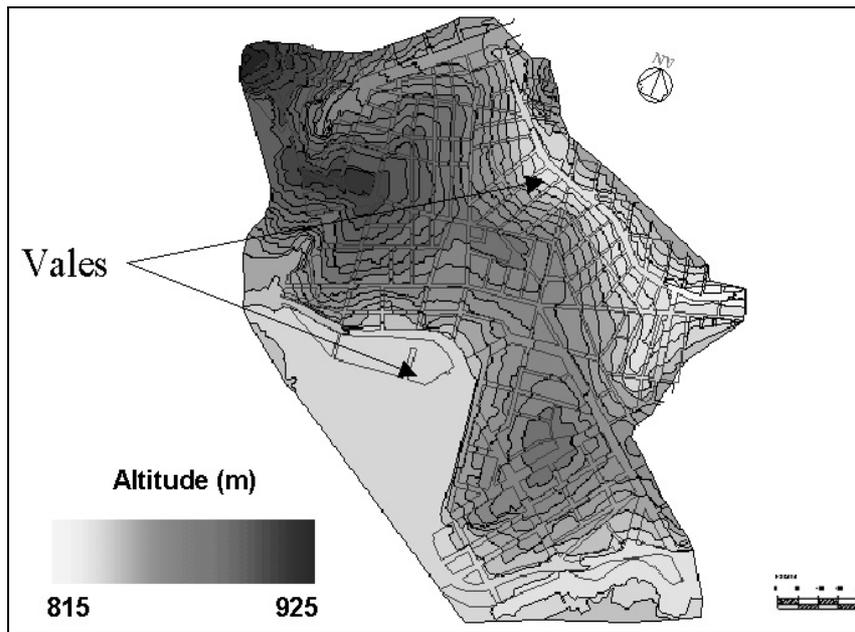


Figura 2 - Mapa hipsométrico do local (MENDONÇA, 2000)

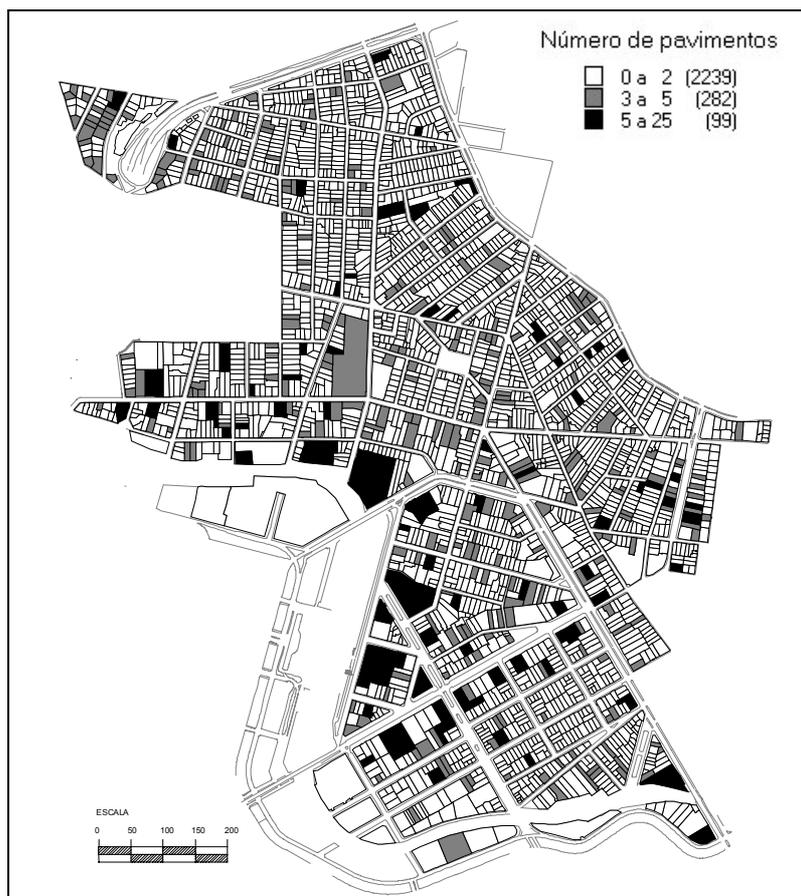


Figura 3 - Verticalização do bairro (MENDONÇA, 2000)

A mudança climática é, por outro lado, percebida pelos próprios moradores mais antigos, que observam que a cidade parece hoje mais árida e quente, e deixa de ser conhecida por seu clima agradável e saudável, apesar da sua proximidade com a Serra do Curral. Dessa forma, considera-se a necessidade de estudos mais aprofundados sobre as condições de um clima misto como esse, bem como sobre os efeitos do crescimento demográfico e da urbanização sobre o clima local, visando a gerar subsídios para a orientação do crescimento futuro da cidade.

## Metodologia

A abordagem das variáveis climáticas foi feita mediante processos hipotéticos e experimentais. Para o estudo da ventilação urbana, adotou-se um processo de formulação de uma hipótese da distribuição dos ventos na área (CARLO, 1999), contando com a simulação qualitativa dos padrões gerais da circulação do ar em modelo físico reduzido do terreno da área (COSTA, 1999). Nesse processo, variáveis do ambiente construído são integradas qualitativamente em uma matriz de pesos, de acordo com o seu maior ou menor impacto na ventilação local. A partir da hipótese preliminar, alguns pontos na área de estudo são selecionados para as medições, de modo a verificar a hipótese inicial, ajustando-a, se necessário, até a elaboração de um mapa-síntese das condições de ventilação, para subsidiar a tomada de decisão em planejamento e projeto urbanos (KATZSCHNER, 1997). Isso evita o levantamento exaustivo em campo. Porém, observou-se que, para o tratamento computacional dos dados coletados, principalmente no que se refere à utilização de interpolação de dados na distribuição espacial dessas variáveis, os pontos de medição devem ter uma distribuição regular nos limites da área de estudo, bem como no seu interior. Esses aspectos orientaram o planejamento do trabalho de campo e a seleção dos pontos de medição, facilitando o processamento posterior dos dados.

Para o estudo da variação da temperatura e umidade relativa, foi adotada a metodologia típica da pesquisa da ilha de calor urbana (TAESLER, 1986), verificando-se os resultados sobre um índice de conforto térmico. São realizadas medições na área de estudo em três horários distintos durante 24 horas, pelo menos, em condições de tempo estável, com céu claro e baixas velocidades de vento. Tais horários

correspondem aos períodos de antes do nascer do sol, mais quente do dia e após o pôr do sol, para observar como a área urbana absorve e irradia o calor armazenado, alterando localmente as condições de variáveis do clima, tais como a temperatura, a umidade e os ventos. No caso deste estudo, o interesse está em verificar se essas alterações podem ocasionar situações de desconforto térmico, por isso os dados coletados foram aplicados a um índice de conforto térmico (GIVONI, 1976) apropriado às condições de aclimação da população de Belo Horizonte.

## Ventilação urbana

Uma vez que o estudo foi feito numa área urbana de Belo Horizonte mais adensada e verticalizada do que os casos abordados por Katzschner (1997) e mesmo por Carlo (1999), acrescentou-se à metodologia, além da variável *morfologia* já utilizada no caso do Campus da UFMG, a que se chamou *densidade de ocupação*, para lidar com ambientes densamente construídos e eventualmente mais verticalizados.

A fase inicial do estudo consistiu num levantamento e integração da base cartográfica disponível: mapa topográfico digital fornecido pela PRODABEL (órgão responsável pelo processamento de dados de Belo Horizonte) e mapas de uso e ocupação do solo e de verticalização, obtidos com as informações coletadas em campo e digitalizadas pelo Grupo Programa de Aprimoramento Discente (PAD) do Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo da Escola de Arquitetura da UFMG. Analisando o conjunto do bairro, massa edificada e sítio, selecionaram-se as variáveis que definiram a hipótese de ventilação:

- (a) Topografia: está relacionada com a variação das altitudes do terreno. A velocidade do vento aumenta à medida que se atingem altitudes mais elevadas (MASCARÓ, 1985), o que demonstra que a topografia é uma componente do sítio que pode atuar como barreira e redirecionamento dos ventos. Acrescenta-se, ainda, que o bairro está em um terreno de topografia acidentada, onde a variação de altitudes chega a 95 metros, um desnível elevado que gera comportamentos diferenciados na dinâmica dos ventos;
- (b) Morfologia do terreno: esta variável está relacionada com a forma do relevo. De acordo com a posição das curvas de nível no mapa topográfico, pode-se compreender a forma do

terreno em relação à direção predominante do vento (CARLO, 1999). As curvas de nível do terreno podem ser planas, inclinadas, paralelas ou perpendiculares em relação à direção predominante do vento, influenciando no seu redirecionamento e modificando a sua dinâmica local. Os terrenos planos ou descendentes pouco influenciam a direção dos ventos; as curvas de nível paralelas à direção do vento tendem a canalizar a ventilação; as perpendiculares tendem a oferecer maior resistência ao vento; e as inclinadas apresentam um fator intermediário às paralelas e perpendiculares. O bairro Floresta é bem diversificado em sua forma, por apresentar todas as variações de curvas descritas, o que representa uma grande influência desta variável na dinâmica local dos ventos; e

(c) Densidade de ocupação: está relacionada à taxa de ocupação dos edifícios no terreno. Quanto maior é a ocupação do solo, maior é a resistência encontrada na passagem do vento, pelo aumento da rugosidade. Esta variável foi introduzida neste estudo devido à heterogeneidade da paisagem urbana do bairro Floresta, o que dificulta uma análise da influência de cada tipo de edificação na ventilação do local. Dessa forma, a massa edificada foi correlacionada à densidade de construção de cada quadra, representando em seu valor não somente a altura dos edifícios mas sua concentração na malha urbana.

O registro de cada variável é feito separadamente sobre a base cartográfica, subdividindo a região em áreas homogêneas, às quais foram associados valores numéricos, de acordo com o seu grau de influência na dinâmica dos ventos (CARLO, 1999). É importante frisar que o registro das informações foi feito para cada quadra, pois, se eles fossem gerados para cada lote, o mapa temático resultante ficaria muito fragmentado, o que dificultaria a geração de manchas representativas das classificações das variáveis. A superposição dessas variáveis, ou de seus mapas temáticos, é feita a partir da elaboração de uma matriz de ventilação, em que os valores preestabelecidos de todas essas características foram somados. Durante esta fase de processamento dos dados, teve-se como instrumentos de apoio os softwares MapInfo®, MS-Excel® e Surfer®.

Após a análise dos caminhos do vento sobre a paisagem existente, foram sugeridas recomendações para o aperfeiçoamento dos instrumentos legais de uso e ocupação previstos pela atual LUOS de Belo Horizonte (BELO

HORIZONTE, 1996) no bairro Floresta. Procurou-se, então, identificar as áreas a serem desobstruídas ou aquelas onde a altura das edificações deve ser restringida, de modo a preservar os principais canais de vento, mantendo as condições para o conforto térmico.

### **Formulação da matriz de ventilação e registro cartográfico das variáveis**

A formulação da matriz, de caráter qualitativo, foi baseada no estudo realizado para o Campus Universitário da UFMG (CARLO, 1999). As variáveis selecionadas no caso do bairro Floresta (topografia, morfologia e densidade de ocupação) foram cruzadas em função de um valor numérico (peso), que representou o grau de influência de cada uma delas na dinâmica dos ventos:

(a) Topografia: as altitudes no bairro variam de 815 m a 910 m. Entretanto, as curvas de 815 m a leste e de 910 m a oeste não foram consideradas, pelo fato de não ocuparem parte significativa da área de estudo, sendo o intervalo efetivo considerado de 820 m a 905 m. A divisão desta faixa de altitude foi feita a partir do grau de ocorrência das curvas de nível, ficando, a princípio, determinadas três categorias: de 820 m a 850 m, de 855 m a 870 m e de 875 m a 905 m. Entretanto, depois de associar esses intervalos a cada quadra, operação executada com o MapInfo®, surgiram aquelas que continham curvas nos dois intervalos, sendo necessário, então, fazer uma distribuição que fosse intermediária nos intervalos descritos anteriormente. Dessa forma, duas novas categorias foram acrescentadas: 830 m a 860 m e 860 m a 880 m. As altitudes mais elevadas receberam um peso maior, enquanto as menores, um valor menor (vide Tabela 1, Figura 4);

(b) Morfologia do terreno: a representação desta variável foi dividida em quatro categorias (terreno plano ou curva de nível perpendicular à direção do vento com terreno descendente, curvas paralelas, inclinadas e perpendiculares). Devido ao fato de algumas quadras apresentarem mais de uma das categorias, foi necessário criar categorias intermediárias às descritas: plana/paralela, paralela/inclinada, inclinada/perpendicular. Assim, os valores numéricos associados à forma do terreno aumentam à medida que a disposição das curvas de nível prejudica mais a passagem dos ventos (vide Tabela 1, Figura 5); e

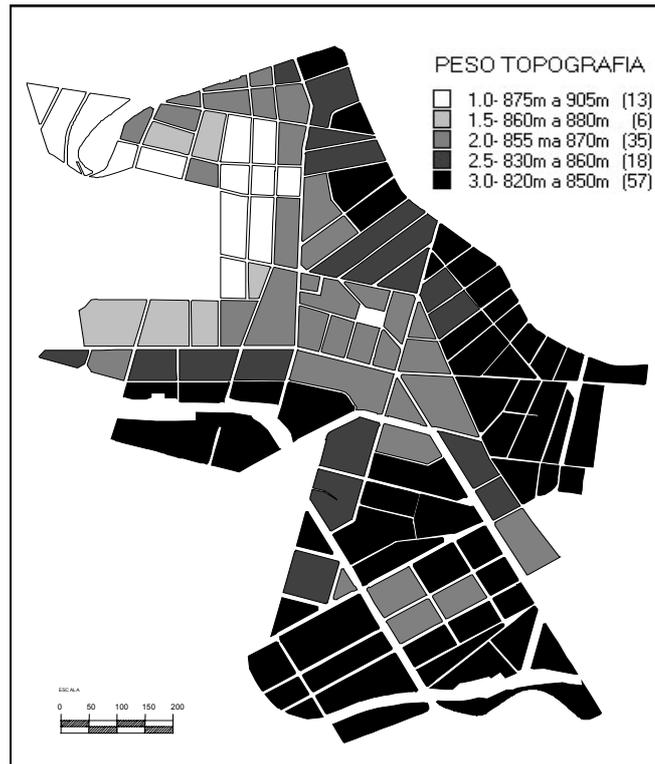


Figura 4 - Variável Topografia do bairro (MENDONÇA, 2000)

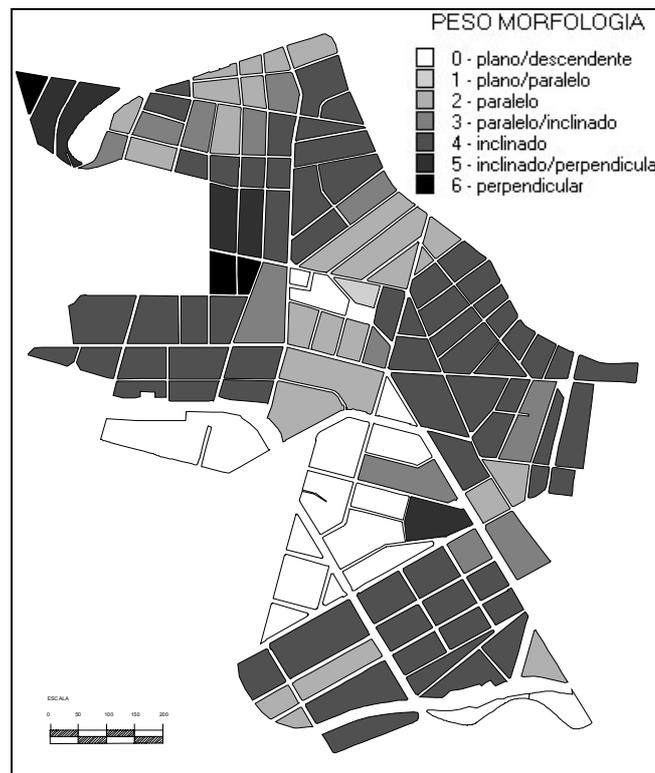


Figura 5 - Variável Morfologia do bairro (MENDONÇA, 2000)

(c) Densidade de ocupação: com o software MapInfo®, a partir da base cartográfica, primeiramente calculou-se a área de cada quadra e de cada edificação. Para o cálculo da densidade de ocupação das edificações, foi desenvolvido o seguinte critério:

$$A_p = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} A_i \times n_i}{A} \times 100 [\%] \quad (01)$$

Onde:

$A_p$  é o percentual de área edificada por quadra [%];

$A_i$  é a área de projeção horizontal de cada edificação na quadra [ $m^2$ ];

$n_i$  é o número de pavimentos de cada edificação; e  $A$  é a área total da quadra [ $m^2$ ].

A variação de densidade obtida foi de 0% a 426% de área edificada. A distribuição deste intervalo foi feita onde havia uma quebra da seqüência dos valores, dividindo-os em cinco categorias: 0% a 68%, 69% a 125%, 126% a 139% , 140% a 172%

e acima de 172%. De acordo com essa divisão, os recintos urbanos de maior densidade de ocupação receberam um maior peso que os menos densos (vide Tabela 1, Figura 6).

Após a identificação de um valor numérico para todas as categorias dessas variáveis, associado a cada quadra, os valores obtidos por quadra podem ser somados para se chegar a um valor total. Essa variação numérica final representa, então, o grau de dificuldade que o vento tem ao percorrer o ambiente construído (quanto maior o valor do peso, maior a dificuldade de o vento passar). O critério para a definição dos valores para cada variável em suas subdivisões é estritamente qualitativo e baseia-se em observações de campo do sítio estudado; sua validade está vinculada ao estudo prático que complementa o estudo teórico e, também, às análises comparativas com ensaios de ventilação em maquete. Isso mostra que esses valores podem sofrer alterações no decorrer do estudo, o que acarretaria revisões nos mapas e no resultado final.

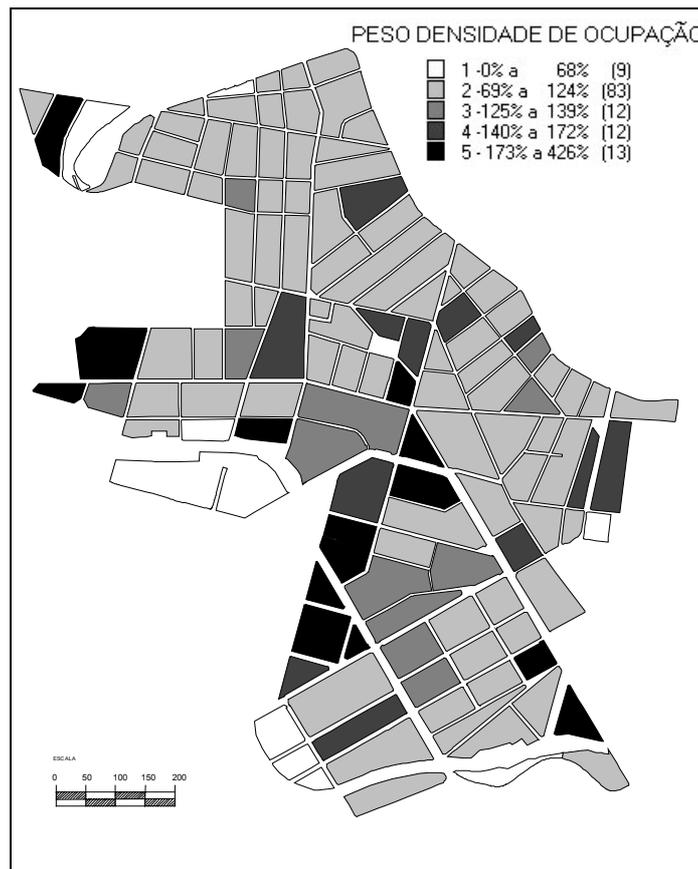


Figura 6 - Variável Densidade de Ocupação (MENDONÇA, 2000)

Topografia		Densidade de ocupação (%)		Morfologia do terreno	
-		-		Perpendicular	6
-		173% a 426%	5	Inclinada/Perpendicular	5
-		140% a 172%	4	Inclinada	4
820 m a 850 m	3	125% a 139%	3	Paralela/Inclinada	3
830 m a 860 m	2,5	-		-	
855 m a 870 m	2	69% a 124%	2	Paralela	2
860 m a 880 m	1,5	-		-	
875 m a 905 m	1	0% a 60%	1	Plana/Paralela	1
-		-		Plana	0

Tabela 1 - Valores numéricos associados às variáveis intervenientes na ventilação

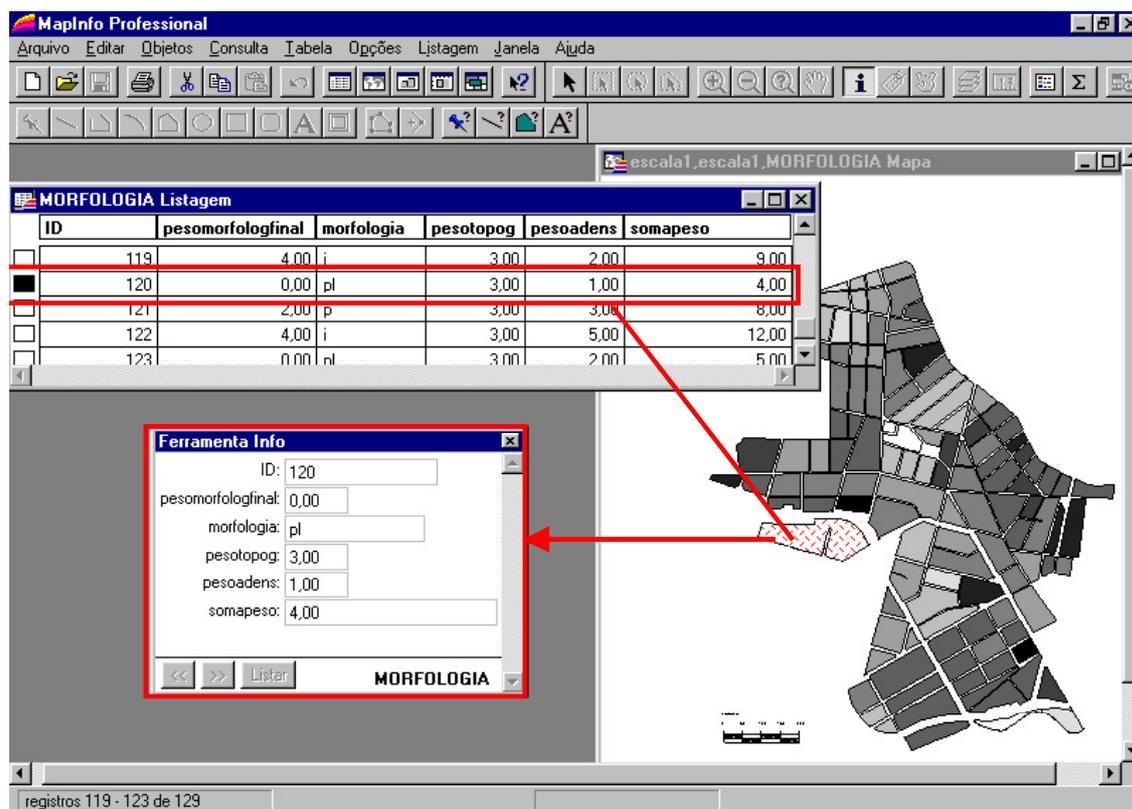


Figura 7 - Associação da base cartográfica à matriz de ventilação

O registro espacial dessas variáveis foi feito com operações realizadas no MapInfo®, mediante associação da base cartográfica à planilha, transmitindo informações a cada elemento do mapa por meio de uma célula da planilha que contém a matriz (Figura 7). Esse recurso facilita a geração de informações que são calculadas através de fórmulas pela planilha, podendo ser associado o resultado ao mapa (CARLO, 1999).

Por fim, é elaborado um mapa no qual são traçados os possíveis caminhos do vento ao

percorrer o bairro Floresta, definindo uma hipótese de ventilação, de acordo com a sobreposição da direção dos ventos dominantes com o mapa da soma do peso total, elaborado de modo a facilitar a visualização das subáreas homogêneas (Figura 8). Dessa forma, pode-se compará-lo com um outro mapa confeccionado após o ensaio em túnel de vento qualitativo de uma maquete do terreno do bairro (COSTA, 1999), onde se representaram somente as curvas de nível, sem as edificações (Figura 9).



Figura 8 - Hipótese de Ventilação (MENDONÇA, 2000)

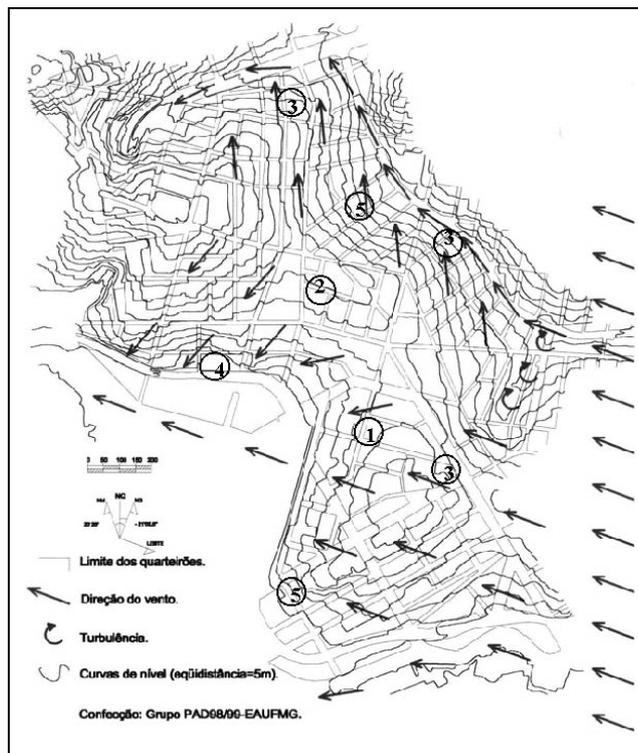


Figura 9 - Resultado de ensaio da maquete de terreno do local em túnel de vento qualitativo (COSTA, 1999)

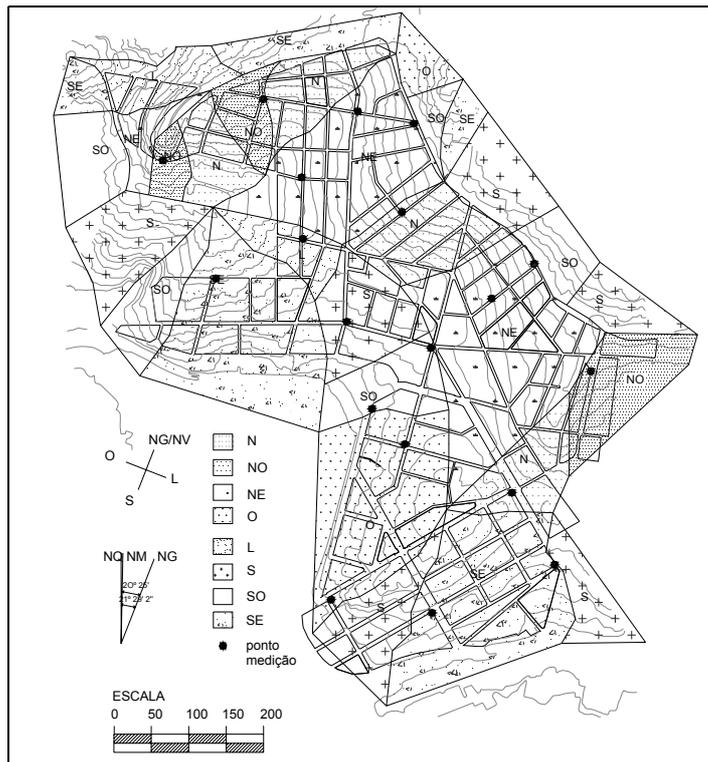


Figura 10 - Insolação das encostas (MENDONÇA, 2000)

Nota-se que os dois mapas possuem um resultado semelhante, o que mostra que a metodologia empregada obteve uma aproximação satisfatória da dinâmica dos ventos em relação à realidade existente. Algumas observações foram feitas, localizando-se pontos específicos no mapa da Figura 9:

- (a) este local, apesar de as curvas de nível serem perpendiculares à direção predominante dos ventos, não é uma barreira efetiva para a passagem dos ventos, pois o terreno está descendente. Nesse caso, a morfologia não tem um valor tão alto na soma final dos pesos;
- (b) trata-se de um local onde há um redirecionamento do caminho do vento, como observado nos dois mapas. Teoricamente, poderão ocorrer também turbulências na área, já que ela está entre duas porções de maior barreira aos ventos;
- (c) quando é caminho preferencial do vento, há pontos coincidentes nos dois mapas;
- (d) considera-se a possibilidade de o vento se desviar um pouco para esta área, pois, mesmo podendo seguir para outra direção, esta área oferece menor barreira ao vento.

### Varição local da temperatura e umidade

A metodologia para o estudo das características térmicas do bairro Floresta não se baseou no método de Katzschner (1997), pois este utiliza uma instrumentação que a Escola de Arquitetura da UFMG não dispunha (radiômetro) para medir variáveis do índice de conforto PMV (voto médio estimado). Uma solução seria estimar a temperatura radiante usando a medida do termômetro de globo em diversos pontos do bairro, juntamente com a medida da velocidade do ar, de modo a poder avaliar a sensação térmica do corpo humano (ARAÚJO, 1996). Entretanto, as condições requeridas nesse tipo de levantamento de campo (medição móvel em circuito fechado nos pontos selecionados da área de estudo) e equipamentos (o termômetro de globo demora para se estabilizar em área urbana) não seriam compatíveis com o tempo recomendado para a medição de todos os pontos de amostragem de dados (apenas uma hora).

Um outro índice de conforto, o Diagrama Bioclimático de Givoni (DBG), plotado sobre a carta psicrométrica para Belo Horizonte, foi escolhido para este estudo. Givoni (1976) definiu neste diagrama a zona de conforto para usuários

aclimatados a condições semi-úmidas (ou semi-áridas), em repouso ou em atividade sedentária, e as estratégias para o restabelecimento das condições de conforto, tais como massa térmica da edificação, ventilação, resfriamento evaporativo e aquecimento passivo.

Dessa forma, para uma análise mais precisa da realidade de conforto térmico do bairro, necessita-se, pelo menos, dos dados das variáveis de temperatura de bulbo seco e umidade relativa, evidenciando a importância da medição em campo. Um outro dado que pode ser agregado à análise térmica do bairro é a insolação das encostas (Figura 10), que, ao final do trabalho, poderá ser de grande utilidade na análise dos dados medidos em campo.

### Trabalho de campo

As medições foram feitas no período seco, em um dia de céu claro, antecedido por um período estável também de céu claro. Os dados de temperatura do ar, umidade relativa, direção e velocidade de vento foram medidos em três períodos ao longo de 24 horas (às 12h00 e 18h00 do dia 27/09/1999, e às 6h00 do 28/09/1999), utilizando-se como instrumentos um termo-

higrômetro digital, uma bússola e um anemômetro. Os pontos medidos foram escolhidos de forma a fornecer dados que abrangessem todo o bairro. A medição foi feita em dois circuitos, totalizando um período aproximado de uma hora. Escolheu-se um ponto central comum aos dois circuitos (os pontos 1, 10 e 21 correspondem ao mesmo lugar, marcando o início e o fim de cada circuito móvel de medição), como ponto de controle e distribuição do erro da medição. Dessa forma, pode-se fazer correções (neste caso, o erro foi distribuído linearmente), de modo a se obterem as mesmas medidas no início e no fim do circuito de medição.

Em seguida, os dados foram tratados pelo método de interpolação *Kriging* do programa Surfer 5.0®, gerando mapas de distribuição espacial da temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa (UR), direção e velocidade do vento, para os três horários de medição (12h00, 18h00 e 6h00). Como, por exemplo, mostra a Figura 11, em (a), as isotermas e, em (b), as isoigras relativas às 6h00 (ou seja, antes do nascer do sol) evidenciam o efeito das áreas urbanas mais densas, que permanecem mais aquecidas e com umidades mais baixas.

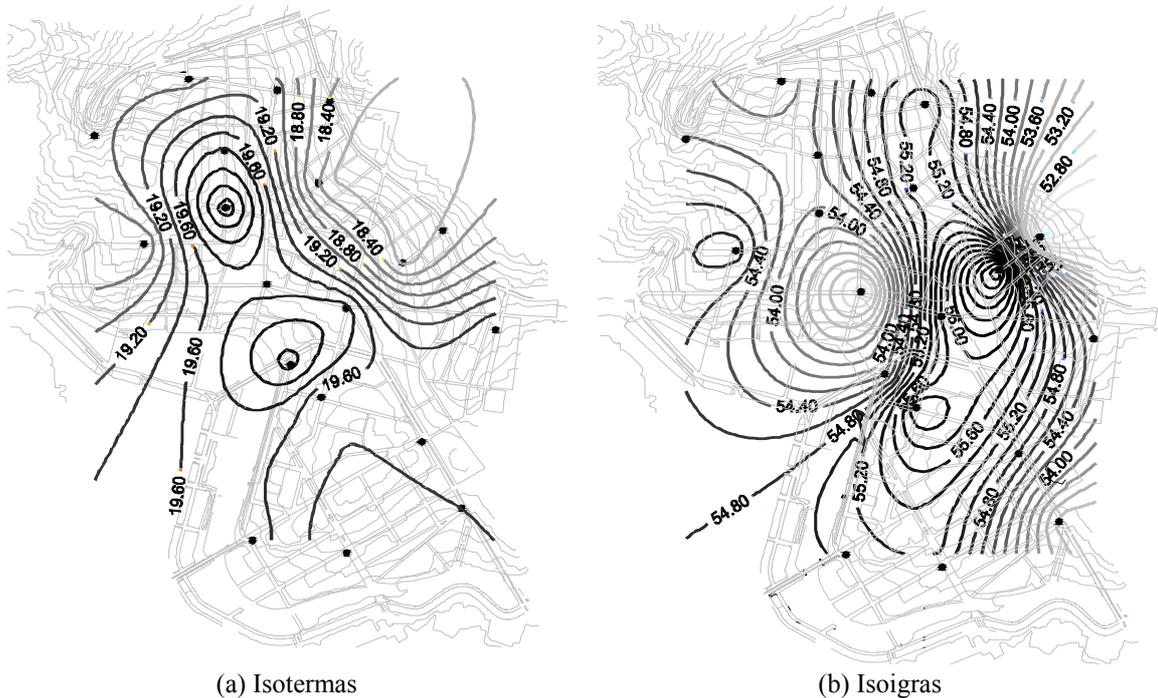
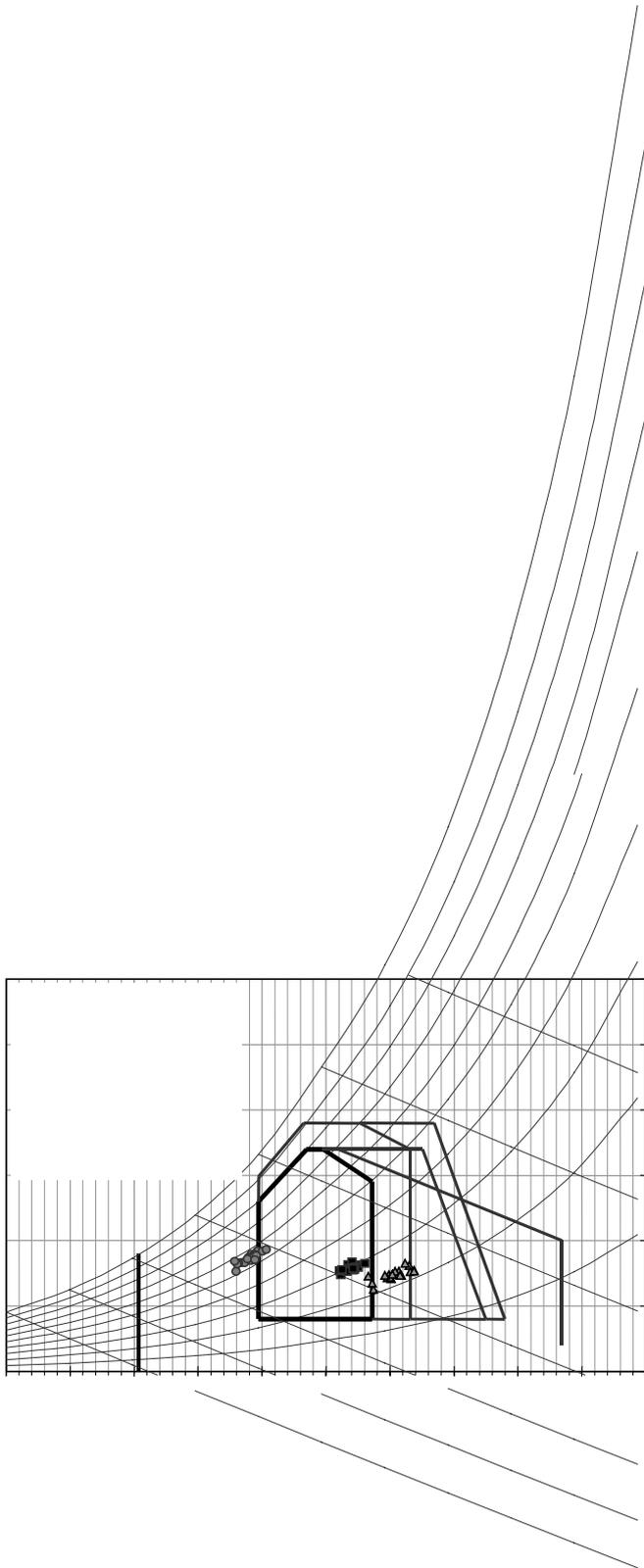


Figura 11 - Resultado de medição para as 6 horas (MENDONÇA, 2000)



Roxane Sidney Resende de Mendonça  
 Universidade Federal de Minas Gerais

Legenda: ● 6 horas; ▲ 12 horas; ■ 18 horas

Figura 12 - Diagrama Bioclimático de Givoni sobre carta psicrométrica para Belo Horizonte com os dados medidos nos vários horários (MENDONÇA, 2000)

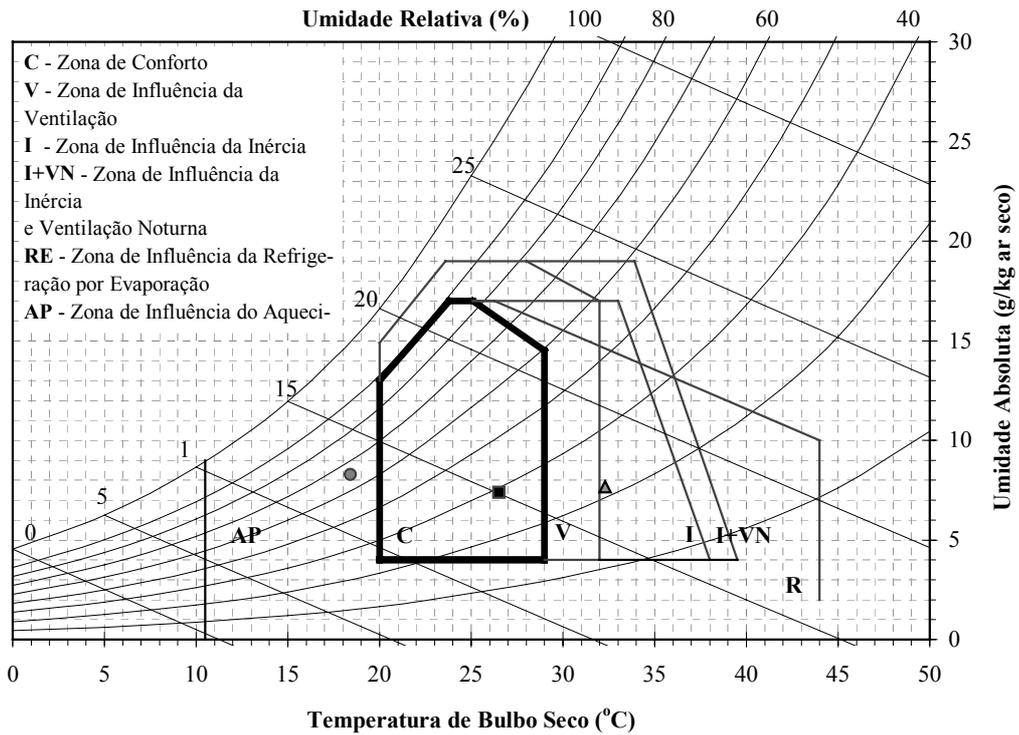


Figura 13 - Diagrama Bioclimático de Givoni para o ponto 17 (MENDONÇA, 2000)

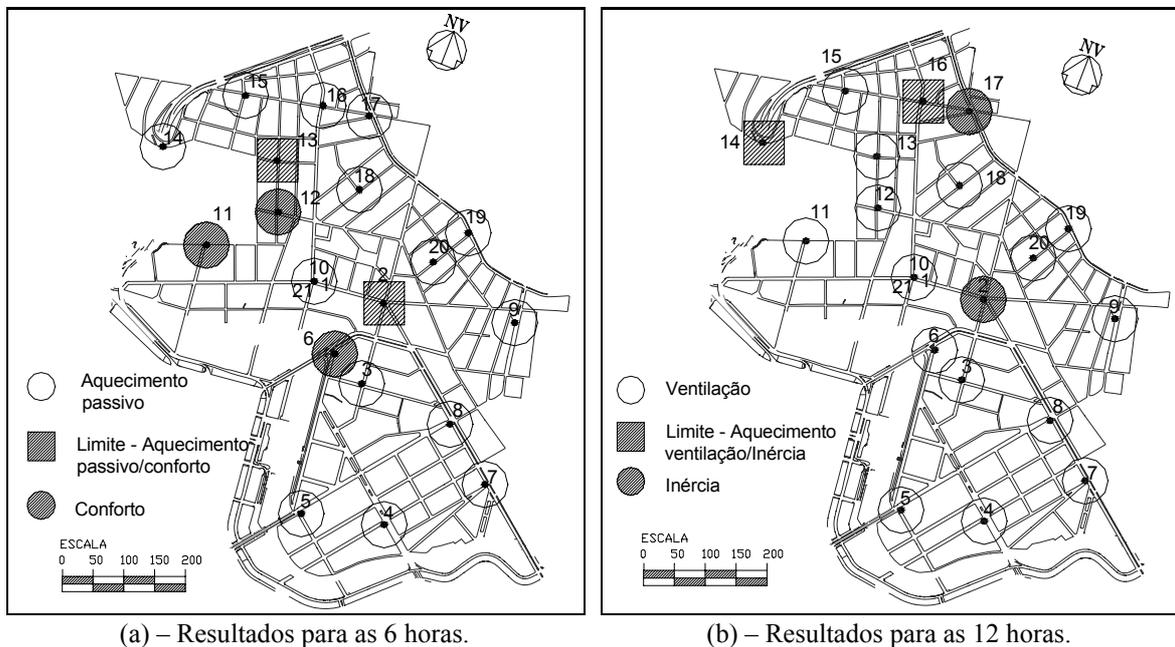


Figura 14 - Representação espacial dos resultados do DBG (MENDONÇA, 2000)

## **Análise do conforto térmico local**

O DBG foi utilizado com a finalidade de gerar recomendações para o bairro e, posteriormente, a partir do estudo apresentado em relação à ventilação da região, verificar se a situação atual está satisfatória, já que no Diagrama não há como entrar com os dados sobre a dinâmica dos ventos.

Primeiramente, os dados de todos os pontos medidos foram plotados no DBG, de acordo com o horário da medição (Figura 12). O Diagrama mostra que apenas no horário das 18 horas todos os pontos se encontraram na área de conforto térmico, sendo necessárias recomendações, portanto, nos demais horários. Para uma melhor visualização dos pontos críticos, de forma a poder gerar recomendações mais confiáveis, foi conveniente produzir também diagramas que mostrassem o comportamento de cada ponto nos três horários (12 horas, 18 horas e 6 horas). Apresenta-se o diagrama do ponto 17 como exemplo (Figura 13).

Assim, com as recomendações específicas, foram elaborados mapas que representam os resultados de cada ponto, para uma melhor compreensão do comportamento destes em cada medição. Como no resultado das 18 horas todos os pontos estavam na zona de conforto, apresentam-se somente os mapas das 12 horas e das 6 horas (Figura 14).

## **Resultados e perspectivas**

Após a representação espacial dos dados coletados em mapas e dos primeiros resultados da metodologia adotada, podem-se traçar algumas observações com o objetivo de integrar as informações adquiridas em um mapa-síntese de avaliação da área de estudo. Partiu-se, então, para a elaboração de uma planilha de referência (Tabela 2), na qual são conjugadas as recomendações obtidas pelo DBG com o mapa de ventilação, bem como a medição em campo e o mapa de insolação das encostas, para construir uma visão global da realidade climático-ambiental do bairro Floresta.

Dessa forma, o mapa-síntese (Figura 15) representa a conclusão da interseção dos dados acima descritos. Assim, por exemplo, numa área em que foi recomendada a ventilação pelo Diagrama de Givoni (portanto, fora da zona de conforto), mas constatado no mapa (Figura 8) que esta área tem uma boa condição de ventilação (está próxima dos possíveis caminhos do vento), considerou-se que as condições urbanas atendem aos requisitos de conforto térmico.

Para uma melhor compreensão do processo aplicado para gerar recomendações ao bairro Floresta, escolheu-se o ponto 17 como exemplo por ser um ponto que, como se pode observar no DBG da Figura 13, mostrou uma variação de comportamento muito alta nos três horários da medição. Esse ponto, localizado na encosta NE, obteve uma grande amplitude térmica: às 6 horas com baixas temperaturas, já às 12 horas com uma das mais altas temperaturas do bairro, voltando às 18 horas para a zona de conforto térmico.

No Diagrama, a variação de temperatura do ar e de umidade nesse ponto flutuou entre as zonas de inércia térmica, de conforto e de aquecimento passivo. Na planilha de interseção dos dados de cada horário medido, procurou-se agregar todas as informações sobre o ponto 17, de acordo com as variáveis climáticas. O ponto 17, às 12 horas, está em uma situação de um clima quente e seco, para o qual se recomenda amortecer e atrasar os ganhos de calor diurno, favorecendo que somente à noite este calor alcance o interior. Apesar de este ponto estar bem próximo à entrada dos ventos na área de estudo, deve-se tomar cuidado para que o vento não favoreça ganhos de calor por convecção; entretanto, é desejável a captação de ventos frios para o resfriamento no interior da edificação durante o dia.

Além da área 17, as demais indicadas como quentes e secas, às 12 horas, são aquelas que estão localizadas em encostas que recebem muita radiação solar, sem a proteção de elementos de sombreamento, como uma boa arborização nas ruas. São elas as encostas orientadas a NE (ponto 16) e a NO (ponto 14), bem como as partes planas nas áreas mais altas (ponto 2).

As áreas onde pode ocorrer estresse térmico de frio às 6 horas estão nos pontos 1 (10, 21), 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20. Isso quer dizer que em quase todo o bairro ocorrem baixas temperaturas para o conforto às 6 horas durante o inverno (período seco); entretanto, às 12 horas, estas mesmas áreas já se encontram com altas temperaturas, à exceção das áreas 1 (10, 21), 7, 8, 15 e 18, que são bem ventiladas, amenizando o estresse térmico de calor. Às 18 horas todas as áreas estão dentro dos limites de conforto térmico.

O bairro Floresta apresentou uma grande amplitude térmica, o que dificulta a geração de recomendações que atendam a todos os horários do dia. As informações analisadas neste trabalho não foram suficientes para fazer um mapa que abrangesse toda a área, devido, principalmente, ao

resultado pontual do estudo térmico. Entretanto, pode-se fazer uma classificação do bairro em áreas com características semelhantes e estabelecer aquelas que devem ser melhoradas e protegidas, diante da possibilidade de uma ocupação mais intensa.

As seguintes áreas devem ser melhoradas, por serem as mesmas consideradas críticas:

Área 1 (A1) – áreas com barreiras à ventilação: aquelas que, devido à conformação espacial do local (morfologia, topografia, edificações), oferecem significativa barreira aos ventos e

prejudicam a ventilação das áreas posteriores.

Área 2 (A2) – áreas com má ventilação: aquelas onde a ventilação é necessária devido, principalmente, às altas temperaturas.

Área 3 (A3) - áreas secas e quentes: aquelas áreas que, devido a um aumento ainda maior da temperatura, receberam pelo Diagrama de Givoni a recomendação de inércia térmica. Deve-se atrasar a entrada do calor no interior da edificação para o período da noite e evitar ganhos de calor pelos ventos quentes.

Área 4 (A4) – áreas com estresse térmico de frio às 6 horas: aquelas que, provavelmente, não devem receber insolação no período em que é desejável.

12 HORAS					
Ponto	Recomendações	Mapa Ventilação	Medição		Encosta
			Veloc. Vento (m/s)	TBS (°C)	
1/10/21	Ventilação	Boa ventilação	0	30	S
2	Inércia	Boa ventilação	0,1 a 1	31	NE
17	Inércia	BOA VENTILAÇÃO (*)	0,1 a 1	32,3	NE
18	Ventilação	Ventilação média	0,1 a 1	31,2	N
19	Ventilação	Boa ventilação (*)	0	31,6	NE
20	Ventilação	Ventilação ruim	0	30	NE

(\*) Canal de entrada de massas de ar na área.

Tabela 2 - Trecho da planilha de interseção dos dados obtidos para as 12 horas

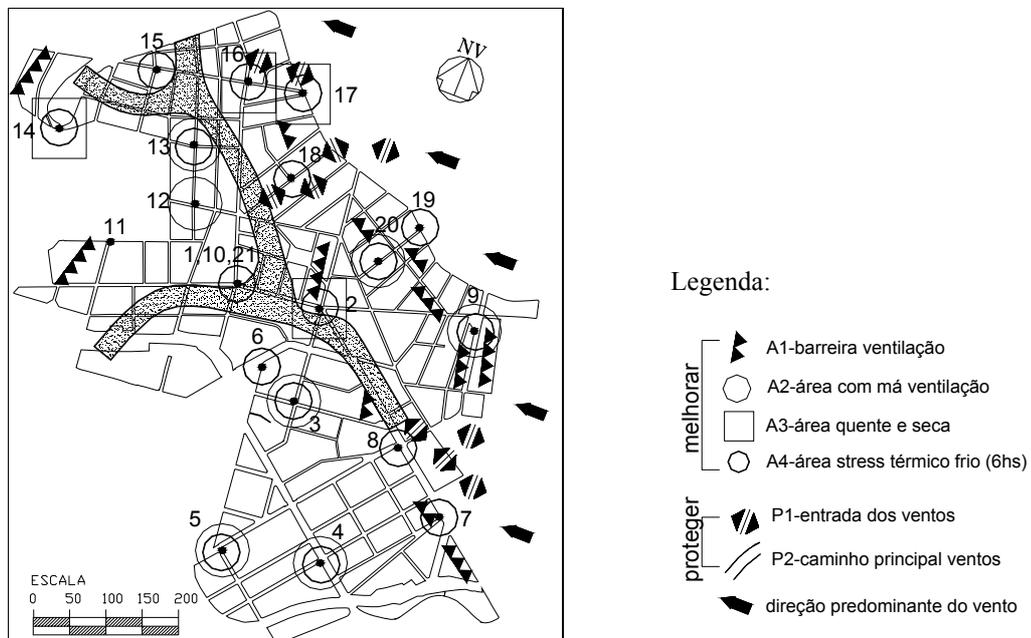


Figura 15 - Mapa-síntese de recomendações para o planejamento (MENDONÇA, 2000)

As seguintes áreas devem protegidas, por serem consideradas impróprias para o adensamento:

P1 – áreas de entrada dos ventos: locais importantes como renovador do ar do bairro, na direção dos ventos regionais.

P2 – caminhos preferenciais dos ventos: locais importantes para o sistema de ventilação, não sendo aconselhável a ocupação com edificações verticais.

Como esse período de levantamento de dados ocorreu em época ainda fria, observa-se, no índice de conforto, uma resposta de estresse de frio durante a noite em quase todos os pontos, o que provavelmente não deve ocorrer no verão. Assim, os resultados deste estudo configuram um comportamento do bairro em uma situação específica, destacando-se, então, que, para uma consideração mais abrangente sobre o conforto térmico do bairro, seria necessário estender este estudo também para outras épocas do ano.

Entretanto, para esta situação estudada, procurou-se avaliar as áreas apresentadas que, genericamente, se enquadram em uma das seguintes situações: áreas mal ventiladas ou áreas quentes e secas, ambas com estresse térmico de frio às 6 horas. Analisando-se essas duas situações, tentou-se gerar uma recomendação para todo o bairro: favorecer a incidência de radiação solar na encosta leste, de modo a receber maior carga térmica nas primeiras horas do dia e a favorecer o sombreamento nas horas em que as superfícies já estiverem aquecidas (principalmente à tarde), mantendo a entrada dos ventos na área. O aspecto mais difícil para aplicação dessa recomendação, como já foi relatado por Emmanuel (1993), é saber determinar o horário-limite em que se deseja receber radiação solar direta, para definir uma proposta de desenho urbano em que a forma das edificações e a vegetação urbana produzam o sombreamento nas horas desejadas. Outra dificuldade enfrentada foi a diversidade da forma urbana do bairro, tornando necessário fazer um estudo específico para cada quadra. Contudo, por ser um local totalmente urbanizado, com pouca vegetação e seco (dado constatado nas medições em campo), recomenda-se, ainda, o plantio de árvores, principalmente nas áreas a serem melhoradas (A2 e A3).

## Considerações Finais

O bairro Floresta em Belo Horizonte (MG), caracterizado por uma forma urbana complexa,

possui possibilidade legal de adensamento, conforme a LUOS, que pode causar alterações no microclima, devido ao alto coeficiente de aproveitamento previsto para a área. De acordo com as medições em campo, o bairro apresentou uma grande amplitude térmica, dificultando a geração de recomendações para uma situação de conforto durante todo o dia. Destaca-se, ainda, a necessidade de estudos sobre a configuração das variáveis climáticas do bairro também em outras épocas do ano, para que se possa chegar a recomendações mais precisas para a área. Mesmo assim, a observação integrada das variáveis climáticas analisadas pode resultar em um mapa-síntese que indica as áreas que devem ser protegidas ou melhoradas, de forma a contribuir para amenizar os impactos adversos causados pela ocupação do bairro. Demonstrou-se, portanto, neste trabalho que esse tipo de metodologia pode ser útil para a identificação de áreas com problemas e das soluções mais indicadas.

A utilização de um SIG e demais recursos de representação gráfica na confecção de mapas em cada etapa do estudo foi essencial para a agilidade do trabalho, ao cruzar variáveis em cada quadra do bairro, além de apresentar os resultados em uma linguagem mais clara e precisa, mais condizente com a dinâmica do planejamento urbano.

Este estudo fornece, ainda, dados para investigações futuras que possam avançar mais em direção a mecanismos de preservação do conforto térmico nas cidades, possibilitando ações de planejamento urbano mais adequadas e objetivas. Embora represente um caso específico, o do bairro Floresta, a metodologia empregada pode ser apropriada para estudos em outros cenários, inclusive mais complexos que o analisado.

## Referências

ARAÚJO, V.M.D. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro**. 1996. 179 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

ASSIS, E.S. **Mecanismos de desenho urbano apropriados à atenuação da ilha de calor urbana**: análise de desempenho de áreas verdes em clima tropical. 1990. 164 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.

- ASSIS, E.S. Uso e ocupação do solo e mudança climática em Belo Horizonte. In: SEMINÁRIO NACIONAL UNIVERSIDADE E MEIO AMBIENTE, 5., 1995, Brasília. **Anais...** Brasília: IBAMA, 1995. p. 72-73.
- BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. **Legislação urbanística de Belo Horizonte**: Plano Diretor, lei n.º 7.165, de 27 de agosto de 1996. Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo Urbano, lei n.º 7.166, de 27 de agosto de 1996. Belo Horizonte, 1996. 301 p.
- CARLO, J.C. **Métodos climatológicos aplicados ao planejamento urbano**: estudo de caso do Campus Pampulha da UFMG. 1999. 47 f. Monografia (Especialização em Planejamento Urbano) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.
- COSTA, D.L. **Conforto ambiental urbano**: análise do conforto térmico no bairro Floresta. 1999. 32 f. Monografia (Programa de Aprimoramento Discente “A Construção do Urbano através da Interação das Escalas”) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.
- EMMANUEL, R. A hypothetical 'Shadow Umbrella' for thermal comfort enhancement in the equatorial urban outdoors. **Architectural Science Review**, Sidney, v.36, p.173-184, 1993.
- GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. London: Elsevier, 1976. 483 p.
- KATZSCHNER, L. Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: FAU-UFBA/LACAM, ANTAC, 1997. p.49-58.
- MASCARÓ, LA.R. **Energia na edificação**: estratégia para minimizar seu consumo. São Paulo: Projeto, 1985. 136 p.
- MENDONÇA, Roxane S. R. de. **Conforto térmico urbano**. 2000. 50 f. Monografia (Programa de Aprimoramento Discente “A Construção do Urbano através da Interação das Escalas”) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.
- OLIVEIRA, P.M.P. **Metodologia do desenho urbano considerando os atributos bioclimatizantes da forma urbana e permitindo o controle do conforto ambiental, do consumo energético e dos impactos ambientais**. Brasília: Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, 1993. (mimeo).
- TAESLER, R. Urban climatological methods and data. In: TECHNICAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATOLOGY AND ITS APPLICATIONS WITH SPECIAL REGARD TO TROPICAL AREAS, 1984, Ciudad de Mexico. **Proceedings...** Geneva: World Meteorological Organization, WMO n.652, 1986. p.199-236.
- TEIXEIRA, M.C.V. **Evolução e percepção do ambiente em um bairro pericentral de Belo Horizonte**. 1996. 156 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1996.