

CONFORTO TÉRMICO URBANO - ESTUDO DE CASO DO BAIRRO FLORESTA - BELO HORIZONTE

Roxane Sidney Resende de Mendonça (1); Eleonora Sad de Assis (1)

(1) Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Rua Paraíba 697 -
CEP: 30130-140 - Funcionários, Belo Horizonte - MG. Tel.: (31) 3269-1823 Fax : (31) 3269-1818
e-mail: rocxa@bol.com.br

RESUMO

O estudo sobre o conforto térmico urbano é um importante indicador do impacto da ocupação humana na alteração do clima local. A forma do meio urbano pode obstruir os canais de ventilação, ocasionando um aumento de temperatura e gerando fenômenos como ilha de calor e inversão térmica. Estas adversidades, por sua vez, causam problemas referentes à saúde, aumento nos gastos de energia, bem como danos sociais e materiais devido à mudança dos parâmetros climáticos locais.

Neste estudo, procurou-se contribuir para a preservação das condições de conforto térmico do bairro Floresta em Belo Horizonte, MG, resguardando seus principais canais de vento. Características locais foram identificadas e espacializadas em mapas, definindo áreas homogêneas que serviram de base para uma hipótese de ventilação. Os dados de temperatura, umidade e ventos coletados em campo foram também espacializados, após a aplicação de um índice de conforto térmico.

Como resultado, gerou-se um mapa síntese definindo áreas que merecem recomendações, amenizando o impacto da ocupação sobre o clima local. Este tipo de resultado contribui e avança em direção a uma metodologia de planejamento urbano comprometida com o meio ambiente e o bem-estar humano.

ABSTRACT

Urban thermal comfort study is important as an indicator of human occupation effects on local climate. Urban form could obstruct wind paths, increasing temperature and occasioning phenomena like thermal island and thermal inversion. This adversities, for once, could lead to health problems, energy waste as well as social and material damages resulted by change in local climate parameters.

This paper intends to the preservation of thermal comfort conditions, protecting the main air fluxes paths, based on a study case of the Floresta district in Belo Horizonte, MG. Local characteristics were identified and linked to maps, defining homogenous areas that configured a hypothesis of local ventilation. The data of temperature, humidity and winds collected through area surveys were also linked to maps after the application of a thermal comfort index.

As a result, syntheses map was created with areas that needed recommendations in order to soften the occupation impact on local climate. In this way, this study represented an improvement on urban planning methodology, committed to the environment and human comfort.

1. INTRODUÇÃO

Uma das preocupações referentes ao conforto ambiental das cidades relaciona-se com as transformações no clima local, gerando problemas de saúde na população, um consumo excessivo de energia, enchentes urbanas e fenômenos como inversão térmica e a formação de ilhas de calor, além de prejudicar a renovação das massas de ar, aumentando os índices de poluição (ASSIS, 1995).

Segundo OLIVEIRA (1993), o clima urbano é definido pelas características do clima regional, pela forma urbana e pelas atividades humanas desenvolvidas na cidade. Assim, este autor, partindo da hipótese de tendência de estabilidade da escala regional do clima, aponta o homem, através de suas ações e de seu papel no processo de ocupação, capaz de alterar a forma urbana (conformação das características do sítio *versus* massa edificada); possibilitando alterações do clima urbano.

Este trabalho analisa a influência da estrutura urbana sobre a condição do clima local, a partir de um estudo de caso do Bairro Floresta, em Belo Horizonte, objetivando contribuir para uma visão de planejamento urbano ambientalmente comprometido, neste caso, com ênfase no substrato natural atmosfera. Desta 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 as áreas do bairro que devem ser protegidas da verticalização excessiva ou melhoradas, do ponto de vista de sua qualidade ambiental.

Segundo KATZSCHNER (1997), o estudo do clima urbano é um instrumento para o planejamento das cidades, pois considera a circulação do ar e as condições térmicas como aspectos relevantes para a preservação e/ou o projeto do chamado “clima urbano ideal” durante o processo de crescimento das cidades. Isto evita que as intervenções sobre o meio natural prejudiquem os recursos que o sítio oferece, assegurando a circulação e renovação das massas de ar. Este autor desenvolveu uma metodologia para a representação das características ambientais locais em mapas de planejamento, integrando quali-quantitativamente as informações sobre topografia, uso e ocupação do solo, rugosidade, vegetação, bem como temperatura do ar e ventos.

O método alemão mencionado foi uma referência para o estudo do bairro Floresta, sendo necessárias adaptações para sua aplicação, principalmente devido à topografia local acidentada, constituída por duas colinas, cercadas por avenidas sanitárias de fundo de vale. O bairro, um dos primeiros formados na cidade, localiza-se próximo ao hipercentro de Belo Horizonte, onde a vegetação é escassa. Apesar de ainda manter em sua extensão construções antigas e horizontais, a atual Lei de Uso e Ocupação do Solo (BELO HORIZONTE, 1996) classifica a área como Zona de Adensamento Preferencial (ZAP), com um dos maiores coeficientes de aproveitamento da cidade (1,7), oferecendo uma clara possibilidade de verticalização. Desta forma considerou-se de grande importância os fatores topografia, morfologia e densidade de ocupação para o estudo do conforto térmico urbano, enquanto o fator vegetação apresenta-se de certa forma homogêneo em toda área.

Neste 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 a grande parte das cidades brasileiras, sendo uma tentativa de compreender melhor a influência das estruturas urbanas nas alterações do clima local.

2. METODOLOGIA

O estudo consistiu de uma avaliação teórica sobre o conforto térmico urbano e de uma parte prática, relativa à coleta de dados climáticos em campo (temperatura do ar seco, umidade relativa, direção e velocidade de vento), sendo que os dados coletados foram usados para dar validade à hipótese teórica.

A abordagem teórica a respeito da dinâmica local de ventos, desenvolvida a partir de KATZSCHNER (1997), consistiu na identificação das características que irão definir uma hipótese de ventilação. Isto foi feito através do mapa de topografia e dos mapas de uso e ocupação do solo e de verticalização. Analisando o conjunto do bairro, massa edificada e sítio, observou-se que:

- **TOPOGRAFIA** – O bairro está localizado entre duas colinas cercadas por duas avenidas sanitárias de fundo de vale: a dos Andradas e a Silvano Brandão. Esta variação de altura é um fator que não deve ser menosprezado como barreira e redirecionamento ao fluxo de vento.
- **ADENSAMENTO** – A heterogeneidade de ocupação do bairro dificulta uma análise do comportamento de cada tipo de edificação presente. Achou-se melhor correlacionar massa edificada à densidade de construção.
- **MORFOLOGIA DO TERRENO** – A forma do relevo atua sobre os ventos, de acordo com a posição das curvas de nível topográfico (plano, paralelo, inclinado ou perpendicular a direção predominante do vento), como desenvolvido por CARLO (1999).

A espacialização de cada característica foi feita separadamente sobre a base cartográfica, subdividindo a região em áreas homogêneas às quais foram associados valores numéricos, usando um sistema de informações geográficas (SIG), o MapInfo, de acordo com o seu grau de influência na dinâmica dos ventos. A superposição destas características ocorreu a partir de uma matriz de ventilação (CARLO, 1999). Na matriz são cruzadas as características de topografia, adensamento e morfologia do terreno, em função de um valor numérico que irá representar o grau de influência de cada uma delas na dinâmica dos ventos. A espacialização destas características seguiu os critérios abaixo:

- **TOPOGRAFIA** – As altitudes mais frequentes no bairro variam entre 820 m à 905 m. A divisão desta faixa de altitude foi feita a partir do grau de ocorrência das curvas de nível, ficando a determinado as categorias: de 820 m a 850 m, de 855 m a 870 m e de 875 m a 905 m, e duas categoria intermediárias: 830 m a 860 m e 860 m a 880 m. Os valores numéricos associados à estes intervalos seguem o critério de que a velocidade do vento aumenta à medida que se atinge altitudes mais elevadas (MASCARÓ, 1985). Consequentemente, as altitudes mais elevadas são um barreira menor ao vento do que as baixas altitudes (vide Tabela 1, Figura 1).
- **ADENSAMENTO** – Primeiramente calculou-se a área de cada quadra e de cada edificação. Para o cálculo da densidade das edificações, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\frac{(\text{área edificação} \times \text{n}^\circ \text{ de pavimentos} \times 100)}{\text{área da quadra}} = \text{percentual de área edificada por quadra.} \quad [\text{Eq.01}]$$

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-o em 5 categorias: 0% a 60%, 69% a 124%, 125% a 139% , 140% a 172%, 173% a 426%. Os valores numéricos à estes intervalos associados consideram o aumento da barreira ao vento à medida que o ambiente se torna mais denso (vide Tabela 1, Figura 2).

- **MORFOLOGIA DO TERRENO** – A espacialização desta característica foi definida através da disposição das curvas de nível em relação à direção predominante do vento em cada quadra, dividida em quatro categorias (terreno plano, curvas paralelas, inclinadas e perpendiculares à direção de vento). Os planos não influenciam a direção dos ventos; as curvas paralelas tendem a canalizar a ventilação; as perpendiculares tendem oferecer maior resistência ao vento e as inclinadas apresentam um fator intermediário às paralelas e perpendiculares. Devido a algumas quadras apresentarem mais de uma das categorias, foi preciso criar categorias intermediárias às descritas: plano/paralela, paralela/inclinada, inclinada/perpendicular. Os valores numéricos associados à forma do terreno aumentam à medida em que a disposição das curvas de nível barra mais a passagem dos ventos (vide Tabela 1, Figura 3).

Após a identificação de um valor numérico para todas as categorias destas características, associado a cada quadra, pode-se somar os valores obtidos por cada quadra e chegar a um valor total. Esta variação numérica final representa o grau de dificuldade que o vento tem ao percorrer o ambiente construído, denominado nos mapas de peso (quanto maior o valor do peso, maior a barreira ao vento).

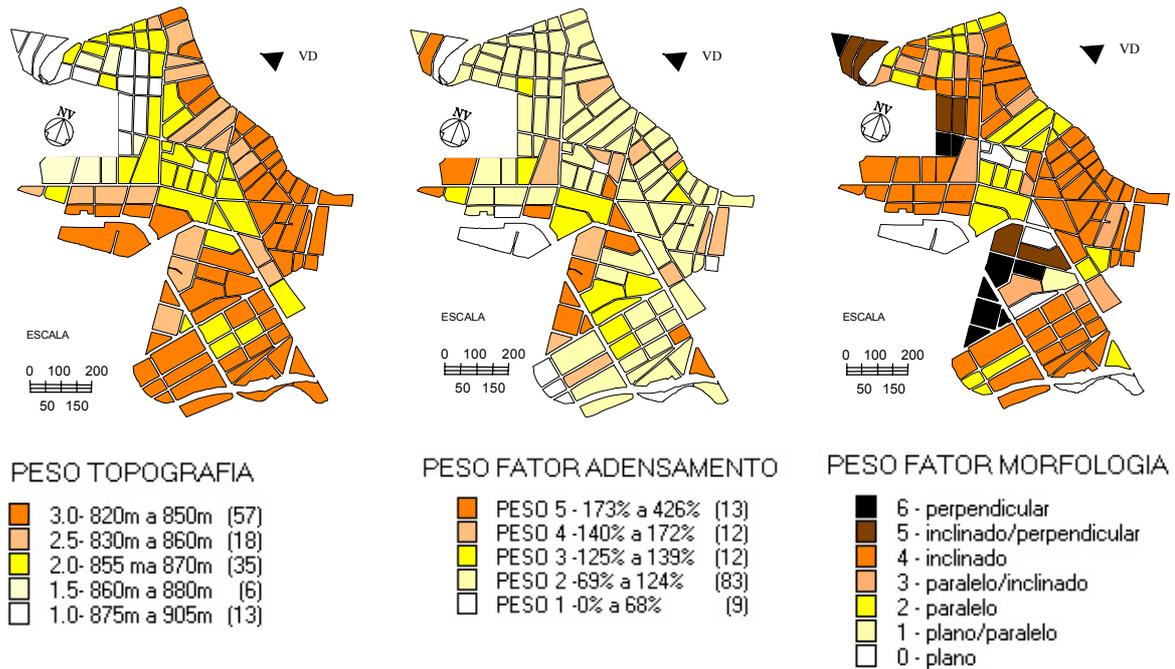


Figura 1 - Topografia

Figura 2 - Adensamento

Figura 3 - Morfologia

TABELA 1 - Valores numéricos associados às categorias intervenientes na ventilação

Topografia	Peso	Adensamento (%)	peso	Morfologia do terreno	peso
-	-	-	-	Perpendicular	6
-	-	173% a 426%	5	Inclinado/Perpendicular	5
-	-	140% a 172%	4	Inclinado	4
820m a 850m	3	125% a 139%	3	Paralelo/Inclinado	3
830m a 860m	2.5	-	-	-	-
855m a 870m	2	69% a 124%	2	Paralelo	2
860m a 880m	1.5	-	-	-	-
875m a 905m	1	0% a 60%	1	Plano/Paralelo	1
-	-	-	-	Plano	0

Por fim, foi elaborado um mapa no qual são traçados os possíveis caminhos do vento ao percorrer o bairro Floresta (hipótese teórica de ventilação), a partir da sobreposição da direção dos ventos dominantes a um mapa com o somatório total dos pesos (Figura 4). Desta forma, pode-se compará-lo com o mapa resultante do ensaio da maquete do bairro em túnel de vento qualitativo, realizado por COSTA (1999) (Figura 5).

Nota-se que os dois mapas possuem um resultado semelhante, mostrando que a metodologia empregada obteve uma aproximação satisfatória ao ensaio no modelo físico. Algumas observações foram feitas, localizando pontos específicos nos mapas (ver Figura 5):

- ① Este local, apesar das 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. Neste caso, a morfologia não tem um valor tão alto na soma final dos pesos.
- ② Local onde há um redirecionamento do caminho do vento, como observado nos dois mapas. Teoricamente, poderá ocorrer também turbulências na área, já que a área está entre duas porções de maior barreira aos ventos.
- ③ Caminho preferencial do vento, pontos coincidentes nos dois mapas.
- ④ Considera-se, a possibilidade do vento se desviar um pouco para esta área, pois, mesmo podendo seguir para outro sentido, esta área oferece menos barreira ao vento.

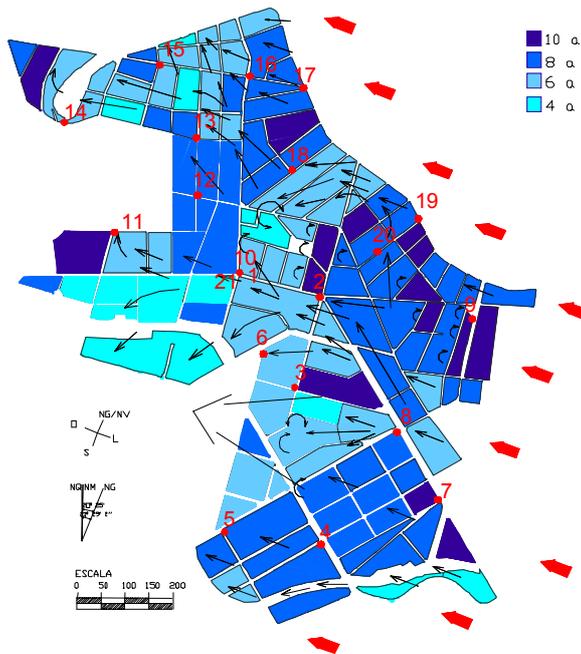


Figura 4 - Caminho hipotético do vento segundo MENDONÇA (2000)

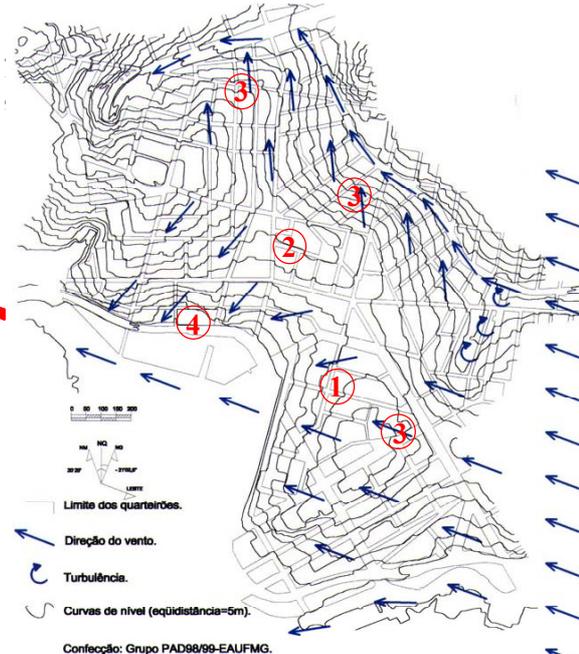


Figura 5 - Ensaio em maquete do bairro

Um índice de conforto térmico, o Diagrama Bioclimático de Givoni, plotado sobre a carta psicrométrica para Belo Horizonte foi escolhido para o estudo do comportamento térmico do bairro⁽¹⁾. Desta forma necessitou-se dos dados de características climáticas específicas (temperatura de bulbo seco, umidade relativa), evidenciando a importância da medição em campo. Outro dado agregado ao estudo térmico do bairro foi a insolação das encostas, considerado na análise dos dados medidos em campo.

Os dados de temperatura do ar seco, umidade relativa, direção e velocidade de vento foram medidos em três períodos ao longo de 24 horas (às 12:00 e 18:00 do dia 27/09/1999, e às 5:00 do 28/09/99, portanto na primavera), utilizando como instrumentos um termo-higrômetro digital, bússola e anemômetro, respectivamente, em período estável de céu claro. Os pontos medidos foram escolhidos de forma a fornecer dados que abrangessem todo o bairro, totalizando 21 pontos, indicados na Figura 4. A medição foi feita em dois circuitos, no período aproximado de uma hora, tendo um ponto central comum aos circuitos (1, 10, 21 - início e fim de cada circuito) para controle.

Em seguida, os dados foram espacializados, usando método "kriging" do programa Surfer 5.0, gerando mapas de temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa (UR) e direção e velocidade do vento, para as três medições: 12:00, 18:00 e 6:00 horas. Após a espacialização dos dados, notou-se que não foi configurado nenhum caminho preferencial de ventos, já que estes eram muito fracos, pois o dia escolhido prestava-se melhor à observação da formação da ilha de calor urbana. Desta forma, seria adequado escolher outro dia para medir direção de ventos.

O Diagrama Bioclimático de Givoni foi utilizado com a finalidade de gerar recomendações para o bairro, para posteriormente, através do estudo apresentado em relação a ventilação da área, verificar se a situação atual está satisfatória. Os dados medidos nos 21 pontos, em cada horário, foram plotados no Diagrama Bioclimático, como mostra a Figura 6, observando-se que apenas no horário das 18 horas todos os pontos medidos se encontram na área de conforto térmico, sendo necessário recomendações para os demais horários.

¹ O Diagrama Bioclimático de Givoni é um índice de conforto gerado para interiores. Deste modo, não considera o termo de radiação solar direta no balanço energético dos indivíduos. Para aplicá-los em ambiente exteriores sem cometer grandes distorções nos resultados, as medidas de temperatura e umidade do ar foram feitas à sombra.

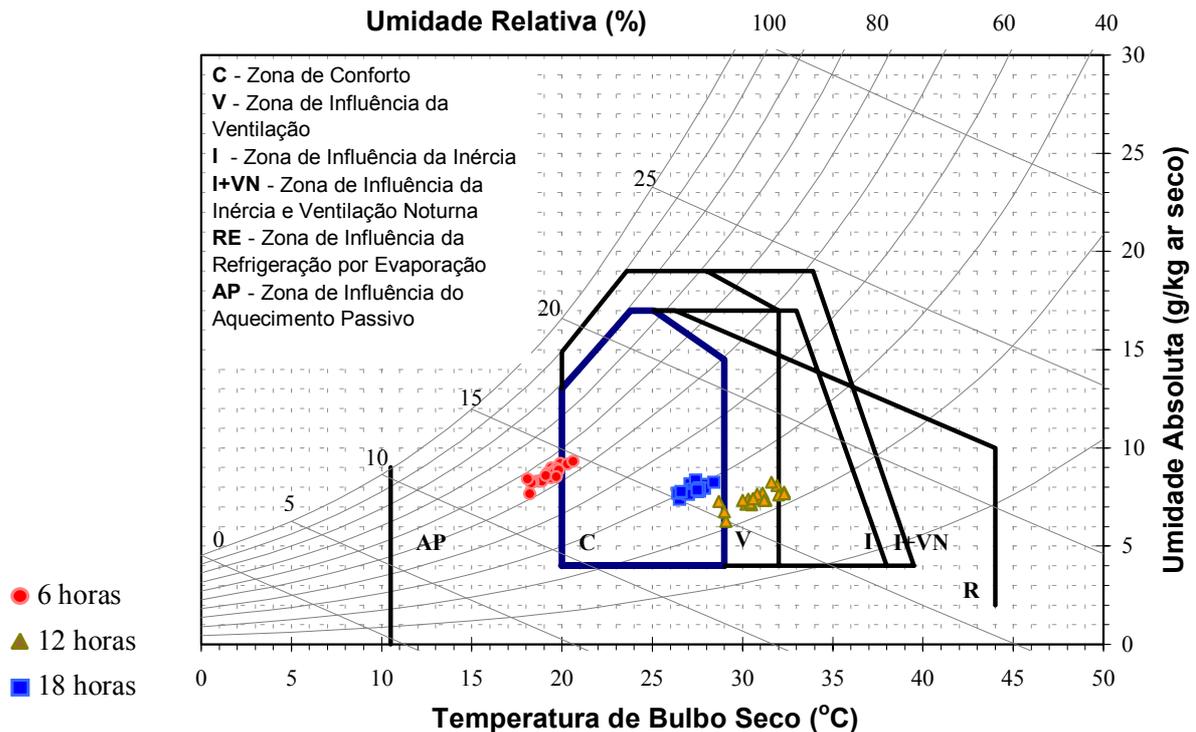


Figura 6 - Diagrama Bioclimático de Givoni sobre a carta psicrométrica para Belo Horizonte

3. RESULTADOS E PERSPECTIVAS

Após a espacialização dos primeiros resultados da metodologia adotada, pode-se traçar algumas observações com o objetivo de agregar 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) onde são conjugadas as recomendações obtidas pelo diagrama de Givoni com o mapa de ventilação, a medição em campo e o mapa de insolação das encostas, tentando, desta forma, construir uma visão global da realidade climático-ambiental do bairro Floresta.

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

12 HORAS					
Ponto	Recomendações	Mapa Ventilação	Medição		Encosta
			Veloc. Vento (m2)	TBS(°C)	
1/10/21	Ventilação	OK	0	30	S
2	Inércia	OK	0,1 a 1	31	NE
3	Ventilação	RUIM	0,1 a 1	29	O
4	Ventilação	RUIM	0,1 a 1	30	SE
5	Ventilação	RUIM	0,1 a 1	30	O
6	Ventilação	OK	3,5	30	SO
7	Ventilação	OK (entrada	2 a 2,8	30	S

O mapa síntese (Figura 7) representa a conclusão da interseção dos dados acima descritos, por exemplo: uma área em que foi recomendado ventilação pelo Diagrama de Givoni e constatado no 'mapa de caminho de vento' uma boa condição de ventilação, foi eliminada como área de desconforto térmico.

Quase todo o bairro está com baixas temperaturas às 6h; entretanto, ao meio dia, estas mesmas áreas já se encontram com altas temperaturas. Às 18 horas todas as áreas estão dentro dos limites de conforto térmico.

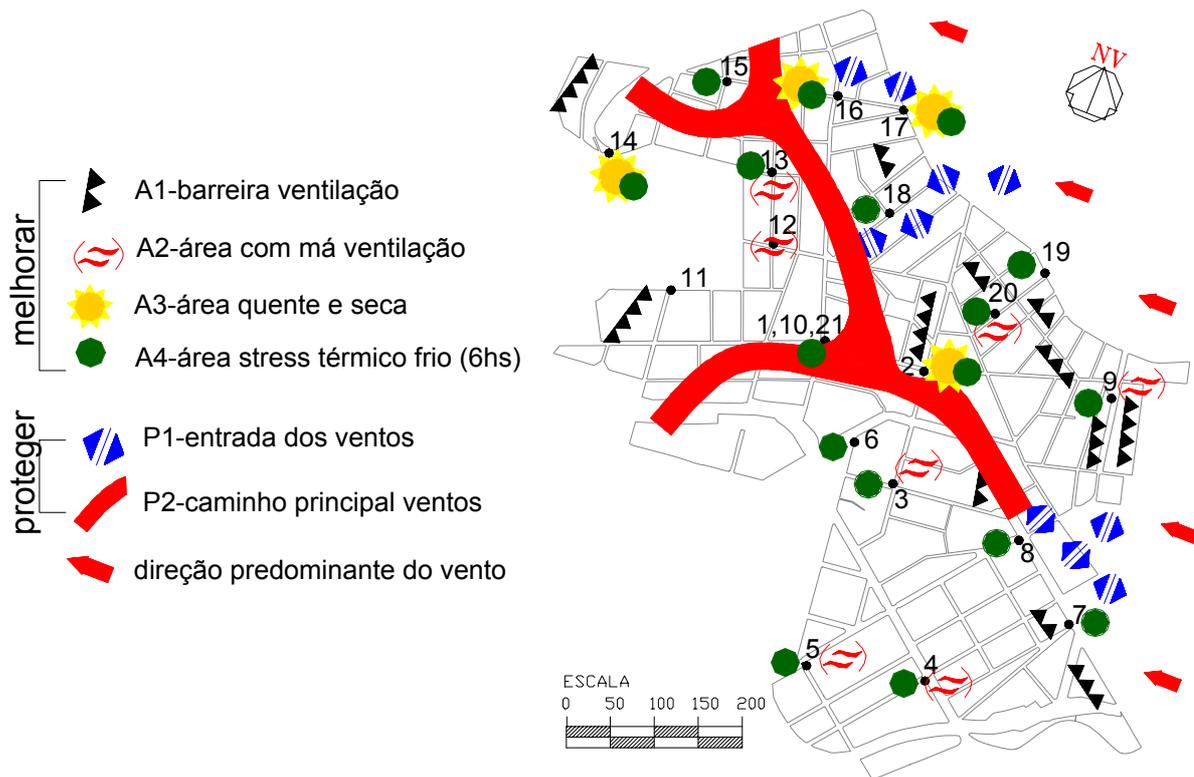


Figura 7 - Mapa Síntese

O bairro Floresta apresentou uma grande amplitude térmica, dificultando gerar recomendações que atenda à todos os horários do dia. As informações analisados 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 a possibilidade de uma ocupação mais intensa da área:

ÁREAS A SEREM MELHORADAS (críticas)

- **ÁREA 1** - Áreas barreira ventilação - devido a conformação espacial (morfologia, topografia, edificações) oferecem significativa barreira aos ventos, prejudicando a ventilação das áreas posteriores.
- **ÁREA 2** - Áreas mal ventiladas - a ventilação é necessária associada a altas temperaturas.
- **ÁREA 3** - Áreas secas e quentes - aquelas áreas que devido a uma aumento ainda maior da temperatura receberam pelo Diagrama de Givonni recomendação para inércia térmica.
- **ÁREA 4** - Áreas com stress térmico de frio às 6h - aquelas que provavelmente não devem estar recebendo insolação na hora desejada.

ÁREAS A SEREM PROTEGIDAS (impróprias para serem adensadas)

- **P 1** - Área de entrada dos ventos – local importante como renovador do ar do bairro. Entrada dos ventos regionais.
- **P 2**- Caminho preferencial dos ventos - importante para o sistema de ventilação, não aconselhável edificações verticais

As áreas apresentadas, genericamente, se enquadram em uma destas situações: áreas mal ventiladas e com *stress* térmico de frio às 6h ou áreas quentes e secas e com *stress* térmico de frio às 6h. Analisando estas 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 favorecer o sombreamento nas horas em que a superfície já estiver quente (principalmente à tarde), mantendo a entrada dos ventos na área. O aspecto mais difícil de aplicar esta recomendação, como já foi relatado por EMMANUEL (1993), é saber definir o horário limite em que

se deseja receber radiação solar direta e definir uma proposta de desenho urbano em que a forma das edificações e vegetação produzam o sombreamento nas horas desejadas. Outra dificuldade enfrentada foi a diversidade da forma urbana do bairro, sendo necessário fazer um estudo específico para cada quadra. Entretanto, 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 (A-2 e A-3).

CONCLUSÕES

O bairro Floresta em Belo Horizonte (MG), caracterizado por uma forma urbana complexa, possui possibilidade de adensamento que pode causar alterações no clima local, devido ao alto coeficiente de aproveitamento da área. De acordo com as medições em campo, o bairro apresentou uma grande amplitude térmica, dificultando gerar recomendações para uma situação de conforto durante todo o dia. Entretanto relevantes considerações puderam ser apresentadas em decorrência da metodologia empregada, resultando em uma mapa síntese que engloba as áreas que devem ser protegidas ou melhoradas, contribuindo para amenizar a relação ocupação *versus* sítio do bairro e possibilitando ações de planejamento urbano mais precisas, que contribuam para melhores condições de conforto térmico na cidade.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à PRODABEL, às orientadoras Eleonora S. Assis e Roberta V. G. Souza pela preciosa assistência na elaboração deste trabalho e ao grupo PAD pela colaboração na coleta de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, Eleonora S. de (1995) Uso e ocupação do solo e mudança climática em Belo Horizonte. In: Seminário Nacional Universidade e Meio Ambiente, Brasília. *Anais*. IBAMA. p.72-73.
- BELO HORIZONTE, Prefeitura Municipal (1996). Legislação urbanística de Belo Horizonte: Plano diretor, lei n.7165 de 27 de agosto de 1996, parcelamento, ocupação e uso do solo urbano, lei n.7166 de 27 de agosto de 1996. Belo Horizonte, 301 p.
- CARLO, Joyce (1999) Métodos climatológicos aplicados ao planejamento urbano: estudo de caso Campus Pampulha UFMG. Belo Horizonte, 47 p. Monografia (Especialização em Planejamento Urbano) - Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais.
- COSTA, Diana Livia (1999). Conforto Ambiental Urbano: análise do conforto térmico no bairro Floresta. Belo Horizonte, 32p. Monografia (Programa de Aprimoramento Discente) - Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais.
- EMMANUEL, Rohinton. (1993). A hypothetical 'Shadow Umbrella' for thermal comfort enhancement in the equatorial urban outdoors. *Architectural Science Review*, v.36, p 173-184,1993.
- KATZSCHNER, Lutz (1997). Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Salvador: *Anais*. FAUFBA/LACAM – ANTAC. p 49-58.
- MASCARÓ, Lúcia A. Raffo.(1985) Energia na edificação: Estratégia para minimizar seu consumo. São Paulo. 136p.
- OLIVEIRA , Paulo Marcos .P. (1993) *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*. IA-UnB, (mimeo)
- MENDONÇA, Roxane S. R. de (2000). Conforto Térmico Urbano. Belo Horizonte, 47 p. Monografia (Programa de Aprimoramento Discente) - Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais.