



## MÉTODOS CLIMATOLÓGICOS APLICADOS AO PLANEJAMENTO URBANO - ESTUDO DE CASO: CAMPUS PAMPULHA UFMG

J C Carlo & E S Assis

Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo

Escola de Arquitetura - UFMG

Rua Paraíba, 697 – Funcionários – CEP 30130-140 – Belo Horizonte/MG – Brasil

e-mail: [correna@arquitetura.ufmg.br](mailto:correna@arquitetura.ufmg.br), [elsad@dedalus.ufmg.br](mailto:elsad@dedalus.ufmg.br)

*Climatologia urbana é parte necessária aos estudos de planejamento urbano e pode ser desenvolvida através da representação gráfica. Dados de temperatura e vento são coletados e plotados num mapa, sendo, aos primeiros, aplicado o método da triangulação em dados de TBS e TBU. A distribuição da temperatura é confirmada por um método computacional – kriging, do Surfer – enquanto a ventilação é analisada através de uma matriz que cruza dados de altura de edifícios, rugosidade, topografia e morfologia do terreno. A sobreposição de dados climáticos na estrutura urbana permite uma leitura capaz de gerar recomendações ao planejamento e projeto urbanos, bem como às edificações.*

*Urban climate is a part of urban planning studies and can be obtained by graphical representation. Thermal and wind data can be gathered and plotted in a map, the first one using a triangulation method from DBT and WBT data. Temperature distribution is confirmed by a computer calculation method – Surfer's kriging – while wind data is analysed using a mathematical matrix that crosses building high, roughness, topography and relief morphology grades. Synthesizing climate data over an urban structure enables planners to interpret its consequences on urban thermal and wind comfort helping on recommendations for aedificandi areas, landscape design and buildings high.*

### 1 Introdução

Um dos temas a ser considerados pelo urbanismo para o planejamento das cidades é o conforto humano. Dentre estes, encontram-se os fatores climáticos envolvidos na sensação térmica humana, como temperatura, ventilação e umidade. Estes dados meteorológicos são melhor compreendidos pelo planejador quando traduzidos para sua própria linguagem, a representação gráfica sobre a malha urbana.

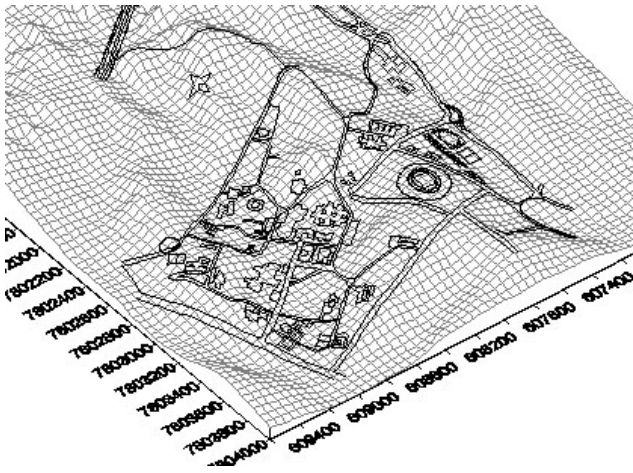
Uma pesquisa de climatologia urbana envolve levantamentos em campo para medição de dados climatológicos. A previsão da dinâmica dos ventos antes do levantamento de campo pode orientar a definição das medições móveis em transectos, criando hipóteses a ser confirmadas no local. Este trabalho ajusta um método desenvolvido na Alemanha (WIRTSCHAFTSMINISTERIUM, 1995; KATZSCHNER, 1998) para uma paisagem específica de Belo Horizonte, reunindo as características climatológicas da área numa linguagem acessível ao planejamento urbano, a linguagem gráfica.

Belo Horizonte carece de estudos sobre as condições de ventilação da cidade, assim como planejamento que considere parâmetros específicos à sua morfologia. Cruzando dados topográficos, de rugosidade e de altura das edificações em uma matriz, foi possível investigar o método e sua aplicação no território do campus como um primeiro passo para, sua adaptação e aplicação a áreas mais amplas, como o município ou, no futuro, em toda a Região Metropolitana. Além da ventilação, é necessário monitorar dados de temperatura. Estes, isoladamente, podem ter significados distintos aos relacionados à sensação térmica humana. Valendo-se de dados complementares à temperatura, é possível estabelecer parâmetros melhores para a análise térmica de um território e portanto, gerar subsídios ao planejamento urbano.

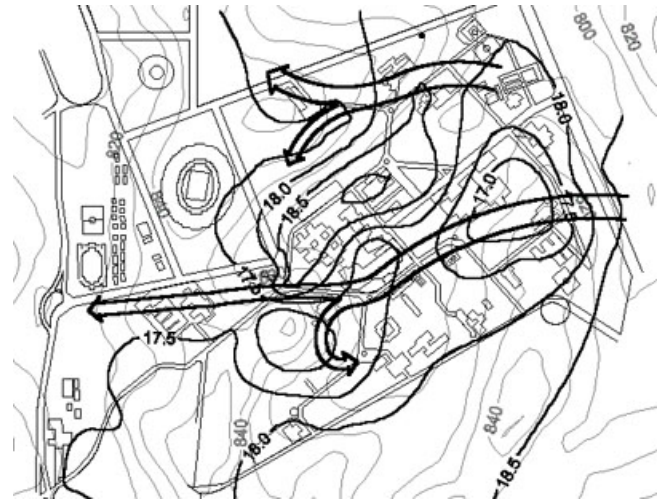
## **2 Estudo de Caso: Campus Pampulha UFMG**

O Campus Pampulha está localizado em região de relevo estratificado numa área total de 270 ha divididos em uma área ocupada de uso da comunidade universitária e em uma reserva vegetal. Seus edifícios são distribuídos dispersamente sobre o território (figura 1), cercados de vegetação típica da região. Esta ocupação é bem distinta da ocupação urbana de Belo Horizonte, extremamente densa e carente de áreas verdes.

A primeira etapa do trabalho consistiu na pesquisa realizada para o Projeto Campus 2000 (ASSIS et al, 1998) cujo objetivo era estabelecer diretrizes para recomendações de novos edifícios a ser implantados no Campus Pampulha. Mapas de insolação das encostas e uma distribuição prévia dos possíveis sentidos dos ventos em função da direção dominante e morfologia do terreno serviram de orientação para a definição das medidas móveis em transecto. Foram realizadas medições nos horários das 6:00, 12:00 e 18:00 h em dia estável - sem entradas de frente - quando foram coletadas temperaturas de bulbo seco (TBS) e bulbo úmido (TBU), direção e velocidade do vento. Os dados de temperatura de bulbo seco foram processados manualmente pelo método da triangulação e para determinação das isolinhas de temperatura de bulbo seco. Estas serviram de controle para a determinação das mesmas através do Surfer 5.0, software de processamento de isolinhas e superfícies, após inseridos os dados medidos em campo. A partir destes foi possível gerar recomendações para os novos edifícios a ser construídos no Campus, como a identificação de áreas de aquecimento potencial em que não é recomendável a construção ou áreas que abrigam corredores de vento, em que a implantação de novos edifícios deve seguir parâmetros específicos.



**Fig. 1** Vista a nordeste do modelo computadorizado do terreno do campus. Abaixo, (nordeste) está localizada a av. Presidente Antônio Carlos.



**Fig. 2** Isolinhas de TBS e principais sentidos do vento para o turno da manhã, variando de 17 a 19° C.

A segunda etapa da pesquisa ajusta um método (KATZSCHNER, 1994) que prediz a dinâmica dos ventos e cria uma base confiável para que o levantamento em campo se torne apenas uma confirmação da hipótese inicial e assim, facilita e agiliza a pesquisa climatológica em áreas urbanas. A matriz de ventilação assemelha-se a uma matriz simples de análise ambiental: é uma matriz ponderada de pesos atribuídos às variáveis – chamados neste trabalho de fatores - de topografia, rugosidade e altura de edifícios que são relacionados segundo as características intervenientes na ventilação, como mostra a tabela 1.

Para o fator topografia, foi considerada uma variação das cotas altimétricas de 780 a 840, dividindo-as em três categorias: de 780 a 805, de 806 a 820 e maior que 820, onde são incluídas todas as cotas restantes – até 880 – localizadas em áreas cuja ocupação é proibida e portanto, descartadas da amostra. Assim, o processo de divisão procurou atender ao aspecto qualitativo e não quantitativo, caso houvessem as categorias sido divididas proporcionalmente no intervalo de 780 a 880. Entretanto, a escala do fator topografia determina uma maior influência sobre o vento do que a rugosidade ou altura de edifícios - para o caso em estudo – razão pela qual esta recebeu peso dois. Além da altitude, foi observado outro fator interveniente na dinâmica da ventilação: morfologia do relevo. Este altera a direção e sentido do vento e, aliado à altura topográfica, mostrou-se extremamente relevante em áreas de topografia estratificada. O fator morfologia foi quantificado então de acordo com a posição relativa das curvas de nível topográfico:

- Curvas de nível perpendiculares à principal direção do vento apresentam maior resistência à passagem deste,
- Curvas de nível paralelas à principal direção de vento tendem a canalizar a ventilação,
- Áreas planas não alteram a ventilação,
- Curvas de nível inclinadas em relação à principal direção do vento são intermediárias aos dois primeiros itens.

Em seguida, foram estabelecidos os parâmetros de análise da rugosidade. Como os edifícios são dispersos no território, estes foram excluídos como fatores intervenientes

na rugosidade – o que não aconteceria caso a análise fosse numa área ordinária da malha urbana, onde normalmente as áreas edificadas são contínuas como no caso de Belo Horizonte – e foi considerado somente o tipo de cobertura do solo: vegetação rasteira, asfalto, arbustos e mata. Vegetação rasteira e asfalto, ou qualquer cobertura de pequeno porte, não oferecem resistência ao vento e portanto, foram incluídas na mesma categoria. Arbustos e mata foram incluídas em um categoria comum devido à sua escala em relação à topografia.

Finalmente, foram estabelecidas as categorias para as alturas dos edifícios. Poucos são os edifícios no local que ultrapassam 4 andares, razão pela qual foram divididos em edifícios de 1 e 2 andares, edifícios de 3 e 4 e edifícios cujos andares ultrapassam quatro.

**Tab. 1 Tabela origem da matriz de ventilação.**

Topografia		Morfologia		Rugosidade		Altura Edifícios	
-	-	Plano	0	-	-	-	-
> 820	2	Paralelo	1	Asfalto/arbustos	1	1-2 andares	1
806 - 820	4	Inclinado	2	Mata	2	3-4 andares	2
780 - 805	6	Perpendicular	3	-	-	> 4 andares	3

O território teve sua área dividida em "bolhas" de acordo com os fatores definidos na tabela 1. Os edifícios tiveram seus dados processados separadamente devido a sua disposição esparsa no território, ou seja, não formam áreas em comum para ser caracterizados como "bolhas", o que seria o caso da malha urbana ordinária de Belo Horizonte (tabela 2).

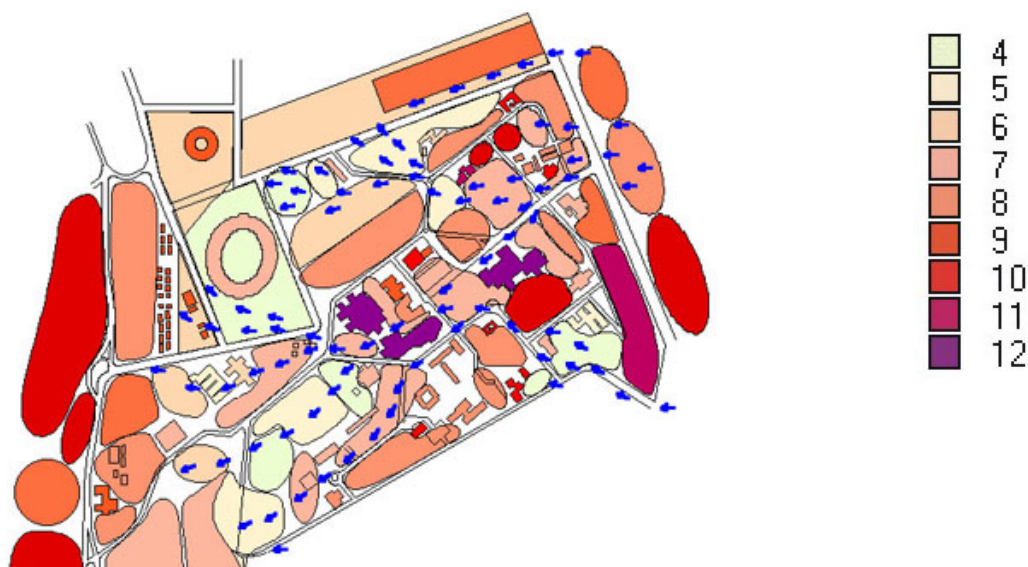
**Tab. 2 Parte da matriz de ventilação para o cálculo dos edifícios.**

CÓDIGO	TOPOGRAFIA	RUGOSIDADE	MORFOLOGIA	H EDIF.	TOTAL	DESCRIÇÃO
1	6	1	2	1	10	Imprensa
2	6	1	0	1	8	Serviços
3	6	1	1	2	10	Belas Artes
...						

**Tab. 3 Parte da matriz de ventilação para o cálculo das bolhas.**

CODIGO	TOPOGRAFIA	RUGOSIDADE	MORFOLOGIA	H EDIF.	TOTAL	DESCRIÇÃO
1	6	2	0	-	8	Imprensa
2	6	1	0	-	7	Serviços
3	6	1	0	-	7	Entrada Principal
...						
E1	2	1	2	1	6	Área Urbana N
E2	4	1	2	1	9	Área Urbana NE
...						

No modelo final, obteve-se um intervalo de 9 índices que caracterizam áreas com maior ou menor resistência à ventilação, variando de 4 a 12: 4 a 11 para "bolhas" e 5 a 12 para edifícios. Ao lançar a principal direção do vento, neste caso leste, no mapa, verificou-se que todas as áreas – bolhas e edifícios – menores ou iguais a 7 eram áreas de potencial canalização da ventilação, resultando então na figura 3.



ig. 3 Detalhe da área ocupada do Campus com o resultado final. Os transectos estão identificados de A a J para melhor entendimento na análise, assim como a área de calma em K.

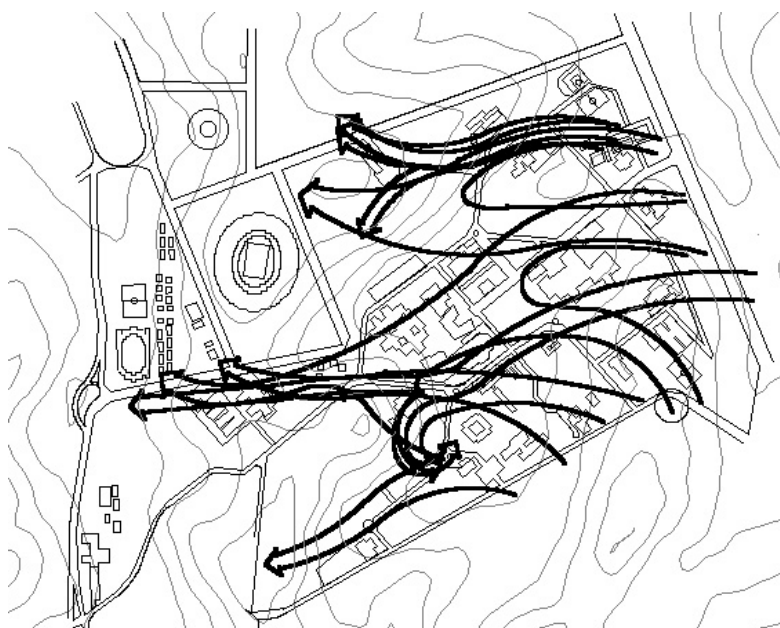


Fig. 4 Mapa síntese das medições de vento nos três turnos realizados para comparação com os resultados finais da matriz de ventilação.

Comparando-se as figuras 3 e 4 foi possível confirmar alguns resultados anteriormente medidos, como as correntes em B, D, E, F, H e J. As correntes em A, G e I estão em áreas onde não foram realizadas medições e que, caso este estudo fosse usado como formulador prévio de hipóteses a serem confirmadas em campo, estas teriam sido incluídas no percurso. A área K indica um ponto de calma confirmado nos três turnos do percurso, assim como são confirmados os dois principais locais por onde os ventos adentram no território, entradas B e C da figura 3.

## 2.1 Índices de Conforto

Os dados de temperatura processados na primeira etapa referem-se à temperatura de bulbo seco. Entretanto, a sensação térmica é função de outros fatores também, como umidade, ventilação e radiação. Confirmado o uso do Surfer 5.0 para determinação das isolinhas de temperatura, foi calculado, para cada ponto do transecto, seu equivalente ao índice de temperatura efetiva (KOENISBERGER, 1997), em que são relacionados os dados de TBS e TBU com a velocidade do vento. Como não houveram medições de radiação térmica, os índices referem-se ao conforto térmico na sombra, onde foram coletados os dados de TBS e TBU.



Fig. 5 Índices de Temperatura Efetiva renderizados sobre o território do campus para o turno da manhã. As áreas escuras representam os índices máximos - cerca de 16.7° C - e as claras, os mínimos - cerca de 10.8° C.

## 3 CONCLUSÃO

Como visto, o levantamento de campo teria novos pontos a medir caso a matriz de ventilação fosse realizada *a priori*. Ao ser usado antes das medições *in loco*, pode definir melhor os transectos e os pontos de coleta de dados de ventilação e temperatura. Recomenda-se que, em adição aos dados coletados, deve ser medida a radiação térmica através de um termômetro de globo, de forma a serem obtidos índices de conforto em ambientes externos que considerem a temperatura radiante. Como esta medida atrasa o percurso, é necessário que cuidados sejam tomados para evitar ultrapassar os sessenta minutos limites para completar um circuito do transecto.

Um procedimento que facilitou o desenvolvimento do estudo foi o uso dos *softwares* Surfer 5.0 e MapInfo 3.0 com apoio do AutoCad 14. O primeiro não somente calculou

as isolinhas de temperatura como foi base para geração do mapa do território. O MapInfo processou os dados da matriz e os lançou automaticamente sobre o mapa do território, atualizando-o a cada ajuste da matriz, até alcançar o resultado pretendido economizando, tempo em relação a um trabalho manual de processamento dos dados e do mapa.

Os procedimentos aqui adotados podem ser referência para territórios cuja paisagem sejam semelhantes à do Campus Pampulha, lembrando não ser este o caso da malha urbana ordinária do município de Belo Horizonte, o que necessitaria de mais ajustes metodológicos e uma atenção maior ao fator rugosidade. Entretanto, é recomendável o uso do fator morfologia do relevo assim como do fator topografia em uma análise de ventilação no território do município de Belo Horizonte.

É importante ressaltar o uso constante da representação gráfica no desenvolvimento do estudo. Em nenhum momento as variáveis foram desconectadas de suas áreas nos mapas, de forma a permitir o acompanhamento do planejador urbano. Mesmo não havendo tal acompanhamento, a representação das condições climatológicas sobre o território permite ao planejador uma melhor compreensão e utilização dos resultados.

Os resultados permitem identificar as áreas do território do campus que oferecem condições mais confortáveis para a edificação, aquelas onde a edificação e/ou adensamento não são recomendáveis e as áreas de preservação de correntes principais de vento, onde será desejável o uso de vegetação ou o controle da volumetria dos novos edifícios.

#### **4 Referências Bibliográficas**

ASSIS, E. S., SOUZA, R. V. G., VALADARES, V. M. & CARLO, J. C. (1998): Avaliação de Conforto Ambiental Fase 1 – O Território do Campus e suas Edificações. Belo Horizonte: UFMG/EA, p. 43.

KATZSCHNER, Lutz. (1998): Designation of Urban Climate Qualities and the Implementation in the planning Process. PLEA, 1998, Lisbon. Anais... Lisbon: James & James Science Publishers, pp. 75-78.

KATZSCHNER, Lutz. (1994): Stadtklima und Städtebauliche Struktur Folgerungen für die Planung, Dissertation zur Ehrengabe des Grades Dr. Ing., Universität Gesamthochschule Kassel, Kassel.

KOENISBERGER, O. H., INGERSOLL, T. G., MAYHEW, A., SNOKOLAY, S.V.(1977): Viviendas y Edificios en Zonas Cálidas y Tropicales. Madrid: Paraninfo.

WIRTSCHAFTSMINISTERIUM Baden-Württemberg. (1995): Städtebauliche Klimafibel: Hinweise für die Bauleitplanung, folge 2, Stuttgart,. ( Cartilha Urbanística do Clima; Indicações para o Plano Diretor )