

COMPORTAMENTO DA UMIDADE RELATIVA DO AR EM CENTROS URBANOS: O EXEMPLO DA METRÓPOLE DE SÃO PAULO

Tomás, Denis Dorighello

Doutorando, Depto. Geografia da USP, Rua Prof. João Arruda, 176 – ap. 92, São Paulo/SP.
Tel.: (11) 3872 8350 E-mail: denisdt@usp.br

RESUMO

A presente pesquisa objetivou investigar o campo higrométrico em centros urbanos, estudando o comportamento da umidade relativa do ar na cidade de São Paulo e sua relação com a urbanização. A pesquisa pautou-se pelo tratamento estatístico dos dados de médias mensais de umidade relativa, obtidos junto às estações meteorológicas do IAG, Mirante de Santana e Aeroporto de Congonhas, referentes ao período de 1961 a 1997, e no acompanhamento da evolução urbana da área de entorno das estações, por meio de fotointerpretação, realizada para os anos de 1962, 1972 e 1994, no intuito de constatar o incremento da área construída. A análise conjunta dos dados de umidade relativa e da evolução urbana das áreas de entorno indicou tendência de diminuição da umidade relativa para as estações Mirante e IAG, enquanto a estação de Congonhas apresentou tendência nula, demonstrando, com isso, que os aspectos geoecológicos e geourbanos atuam sobre o comportamento da umidade relativa, levando a diferenciais microclimáticos e de conforto térmico urbano, os quais contudo, não deixam de estar subordinados às condições mesoclimáticas.

ABSTRACT

The following project aimed to investigate hygrometry fields in urban centres, studying the behaviour of the relative humidity of the city of São Paulo in relation to its urbanization. The research was based on statistic data of the monthly average relative humidity of the air from the IAG, Mirante de Santana and Aeroporto de Congonhas' meteorological station, regarding the period between 1961 to 1997. Following the urban evolution of fields surrounding the stations by aerial interpretation among 1962, 1972 and 1994, to establish the growth of constructed areas. The overall analysis of the average relative humidity data and the evolution of the surroundings urban settlements indicate a decrease in the relative humidity in the Mirante and IAG stations. However, the Congonhas' station represented a neutral tendency. Demonstrating that geoecologic and geourban aspects influence in the behaviour of the relative humidity. Leading to differential microclimate, which are subordinated to mesoclimate conditions.

INTRODUÇÃO

A presente pesquisa objetivou investigar o campo higrométrico em centros urbanos, estudando o comportamento da umidade relativa do ar na cidade de São Paulo e sua relação com a urbanização.

Abordar o assunto da umidade relativa do ar em centros urbanos, sobretudo em São Paulo, resultou de uma série de constatações, dentre as quais destaca-se que os núcleos urbanos hoje são os locais onde a maioria da população do planeta vive; os estudos de clima urbano são voltados em sua maioria para o comportamento da temperatura, das chuvas e da poluição atmosférica.

Estudos de clima urbano, abordando o comportamento da umidade do ar, não são frequentemente encontrados na literatura. Eles aparecem, quase sempre, em artigos de periódicos especializados ou como capítulos de obras sobre clima urbano e abordam o campo higrométrico pela análise do comportamento da umidade absoluta, da umidade relativa e/ou da pressão de vapor.

A umidade do ar em áreas urbanas é matéria pouca aprofundada e controversa quanto a muitos aspectos de seu comportamento. As áreas urbanas ao mesmo tempo em que causam diminuição da umidade, também podem incrementar a umidade por processos liberadores de vapor d'água, notadamente processos de combustão de hidrocarbonos.

O estudo da umidade assume importância pelo fato desta agir como agente regulador térmico, absorvendo tanto a radiação solar como a radiação terrestre; indica a potencialidade da atmosfera para produzir chuva logo acima da superfície; atua sobre a capacidade de evaporação e evapotranspiração dos elementos do meio e ajuda a enfrentar o problema da poluição atmosférica, retirando poluentes do ar por meio de processos físicos conhecidos como remoção pela via úmida. Atua também, como condicionante da vitalidade da vegetação; age sobre o período de floração; influi para o predomínio de determinadas espécies e, contribuindo para retirada de poluentes do ar, ajuda a diminuir a quantidade de fuligem que recobre as folhas, favorecendo o processo normal de fotossíntese, além de ser determinante para o conforto térmico urbano e conseqüentemente dos seres vivos.

Conjuntamente, a urbanização em São Paulo possui muitos aspectos que influenciam de maneira direta o campo térmico e higrométrico da cidade. Os vários tipos de usos e ocupações do solo, aliados aos diversos materiais utilizados nas construções, geram diferenciais de conforto térmico. Surgem, deste modo, verdadeiras ilhas de (des)conforto térmico.

As indagações que nortearam a pesquisa foram: em primeiro lugar, verificar se houve diminuição nos valores de umidade relativa do ar para a cidade de São Paulo no decorrer de anos de urbanização e, em segundo lugar, analisar a relação entre a urbanização e a diminuição de umidade, uma vez que esta depende em muito do tipo de cobertura existente na superfície e das feições topográficas do sítio da cidade.

METODOLOGIA

Para a realização da pesquisa foram levantados os dados de umidade relativa do ar para a área do município de São Paulo. O primeiro passo foi o de identificar as estações meteorológicas instaladas no município de São Paulo e obter as respectivas séries de dados. Esta identificação foi realizada junto às bibliotecas de órgãos e instituições relacionadas ao monitoramento meteorológico e climatológico na área do município de São Paulo.

Das estações meteorológicas identificadas para o município de São Paulo, apurou-se que somente 11 estações possuíam registros de umidade relativa do ar. Dentre as 11 estações com registros de umidade relativa, somente as estações da Água Funda (IAG), Mirante de Santana e Congonhas possuíam série histórica de dados com mais de trinta anos e registros até os dias atuais.

Essas séries, por apresentarem uma continuidade temporal, ausência de falhas e confiabilidade dos dados, foram as séries adotadas para realização da presente pesquisa. A série histórica de dados coletada e coincidente de cada estação constitui-se de um lapso temporal de 37 anos, compreendendo os anos de 1961 a 1997, inclusive. Os dados de umidade relativa são referentes às médias mensais de cada estação para cada ano da série. Estas representam a média dos registros diários de um mês.

O tratamento estatístico empregado, utilizou o auxílio da informática. Os dados foram armazenados em forma de tabelas, elaboradas em aplicativo computacional "Excel 97" para "Windows 95", o qual realiza os principais tipos de cálculos intrínsecos ao tratamento estatístico de dados.

Três técnicas estatísticas foram aplicadas aos dados de umidade relativa para a realização de posteriores análises; essas compreendem: técnica de média aritmética, técnica de desvio padrão e técnica de regressão linear.

Para cada ano das séries foi calculada a média aritmética com a finalidade de obter-se a média anual da umidade relativa e possibilitar, em um segundo momento, uma análise comparativa entre as estações, bem como se traçar gráficos representativos das curvas de comportamento da média anual para cada uma das estações.

Procedimento similar foi adotado em relação às estações do ano. Para cada uma das séries adotadas (IAG, Congonhas e Mirante) foi calculada a média aritmética das respectivas estações do ano. Isso possibilitou realizar uma análise comparativa sazonal entre as estações meteorológicas, bem como se

traçar gráficos representativos das curvas de comportamento da média de cada estação do ano para cada uma das estações meteorológicas.

Com os resultados obtidos das médias anuais e sazonais, calculou-se o desvio padrão de cada ano das séries para saber-se sobre a variabilidade dos valores mensais em termos anual e sazonal.

Para verificar a tendência de comportamento das séries adotadas, tanto para a base anual como para sazonal, aplicou-se às mesmas o método de regressão linear pelo sistema dos mínimos quadrados.

Essas técnicas estatísticas, aplicadas às séries de dados, possibilitam apreender o comportamento da umidade relativa de uma maneira isolada ou seja, como se o elemento climático umidade relativa não interagisse com outros elementos climáticos e com o meio/espaço.

Segundo OKE (1978), a influência do meio/espaço urbanizado sobre a temperatura decorre do tamanho da área construída, do número de habitantes, densidade da população, concentração de áreas construídas, geometria e tipos dos prédios, entre outros fatores. Tomando esta constatação como referencial de partida, foi elaborada uma tentativa de verificar uma correlação entre a evolução dos usos e ocupações do solo da área de estudo e o comportamento da umidade relativa no decorrer dos anos da série de dados, no intuito de poder constatar uma influência do meio/espaço urbanizado sobre a umidade relativa como ao observado com a temperatura.

Para este motivo, foi necessário acompanhar a evolução da mancha urbana no município de São Paulo. Neste sentido recorreu-se ao uso de fotografias aéreas. Um levantamento, junto ao Arquivo de Fotos Aéreas (AFA) do Departamento de Geografia da USP, foi realizado para saber-se quais seriam os sobrevôos aerofotogramétricos existentes para a área do município de São Paulo que cobrissem os anos das séries escolhidas (1961 a 1997). Os sobrevôos identificados que atendessem esta expectativa foram: sobrevôo de 1962; sobrevôo de 1972 e sobrevôo de 1994.

O acompanhamento da evolução urbana por meio das fotos áreas selecionadas restringiu-se às áreas de entorno imediato das estações meteorológicas selecionadas. Essas foram tomadas como áreas amostrais da evolução urbana devido estarem diretamente relacionadas às estações selecionadas, o que representaria de uma maneira direta a influência do urbano (da atividade urbana) no comportamento da umidade relativa.

Entende-se que os dados registrados pelas estações são representativos do meio/espaço do entorno imediato, considerando-se as condicionantes de localização das estações. E que o uso e a ocupação de áreas mais distantes, por exemplo a área central do município, não teriam uma influência direta nos registros das estações do Mirante de Santana, Congonhas ou IAG.

Para realizar este acompanhamento, a área do entorno imediato de cada estação foi delimitada, sendo concebida como uma área de forma quadrada de 25 Km², tendo como centro a estação meteorológica.

Criou-se uma classificação de áreas que representam basicamente áreas construídas e áreas não construídas, conforme as seguintes classes: área predominantemente de vegetação arbórea; área predominantemente de vegetação não arbórea; área predominantemente de espaços livres; corpos d'água; rios e córregos; vias não pavimentadas; vias pavimentadas; área predominantemente construída; área predominantemente construída com presença de edifícios e área predominantemente de indústrias, galpões e armazéns.

Tomando-se por base as classes estabelecidas, foi realizada a fotointerpretação da área de entorno imediato de cada uma das estações para cada ano de sobrevôo selecionado. Assim, foram elaborados nove produtos (“*overlays*”). Posteriormente, os “*overlays*” foram desenhados no aplicativo computacional “AutoCad 14” e calculada a área de cada uma das classes por meio de ferramenta desse aplicativo.

Tendo-se os “*overlays*” desenhados e as áreas de cada classe, foi possível, tanto em termos visuais como em termos quantitativos, observar a evolução urbana da área de entorno em relação às áreas construídas e áreas não construídas no decorrer dos anos abordados.

Com a quantificação das áreas de cada classe, foi possível elaborar uma curva de comportamento da área construída para cada área de entorno. Isto permitiu estabelecer uma comparação com a curva de comportamento da umidade relativa das estações no decorrer dos anos, visando constatar uma relação entre o comportamento da umidade relativa do ar e a evolução urbana.

COMPORTAMENTO DA UMIDADE

As localizações das três estações, apesar de não apresentarem uma representatividade espacial significativa da área do município, em razão das estações IAG e Congonhas estarem localizadas próximas entre si, na zona Sul da área urbana do município, e a estação Mirante na zona Norte, podem ser consideradas representativas de alguns dos usos e ocupações do solo na cidade: a estação do IAG situa-se em área de parque; a estação de Congonhas em local de ocupação restrita e diferenciada, em virtude de estar situada em área de aeroporto e, ao passo que a estação Mirante de Santana fica em área densamente ocupada - figura 1.

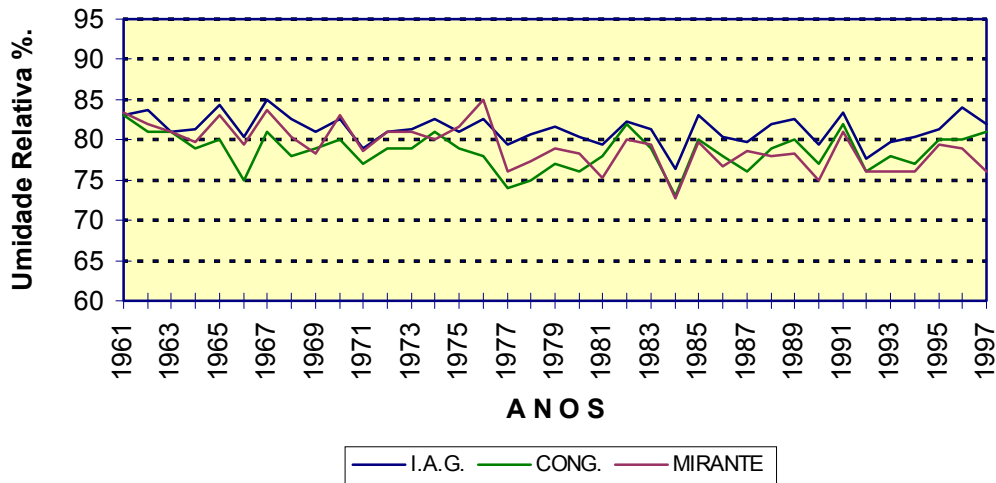
Fonte: EMPLASA / PRE / SIP CCA
Organizado pelo autor.

Figura 1 – Localização das Estações Meteorológicas com Registros de Umidade Relativa do Ar no Município de São Paulo Utilizadas na Pesquisa.

Comparando-se as médias das três estações meteorológicas, tanto em nível anual como em nível sazonal, via de regra, a estação do IAG apresenta as maiores médias de umidade relativa. Em termos gerais, possui médias em torno de 2% mais elevadas – gráfico nº 1.

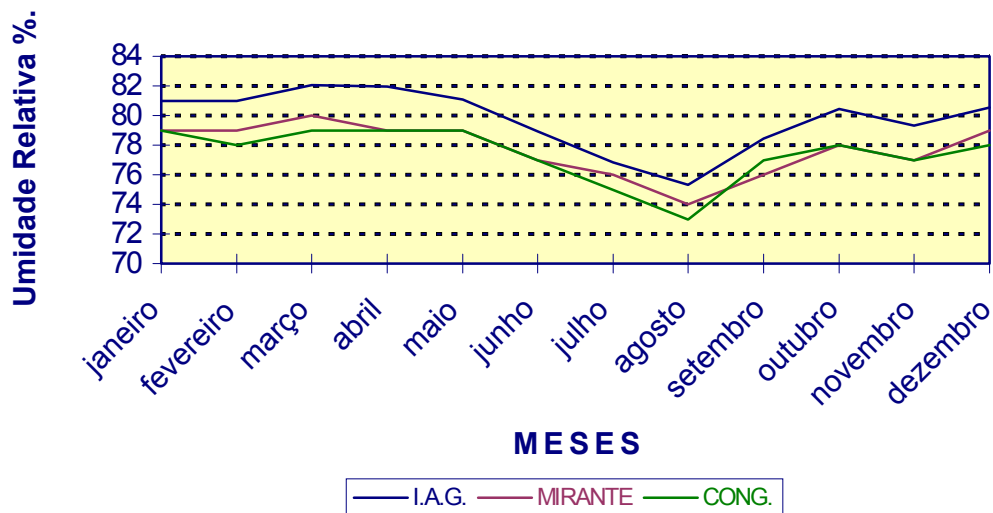
A estação Mirante apresenta, de modo geral, médias com os menores valores, notadamente após o final da década de 70.

Gráfico 1 – Comportamento das Médias Anuais da U.R. nos Meses de Verão para as Três Estações no Período 1961 – 1997.



As diferenças encontradas nas médias das estações podem ser atribuídas às condicionantes localizacionais e ambientais, que são fatores significativos. Contudo, o comportamento similar na oscilação das médias mensais nos 37 anos abordados para as três estações indica que a dinâmica climática regional é fator preponderante – gráfico n° 2.

Gráfico 2 - Comportamento das Médias Mensais da U. R. para as Três Estações, 1961-1997



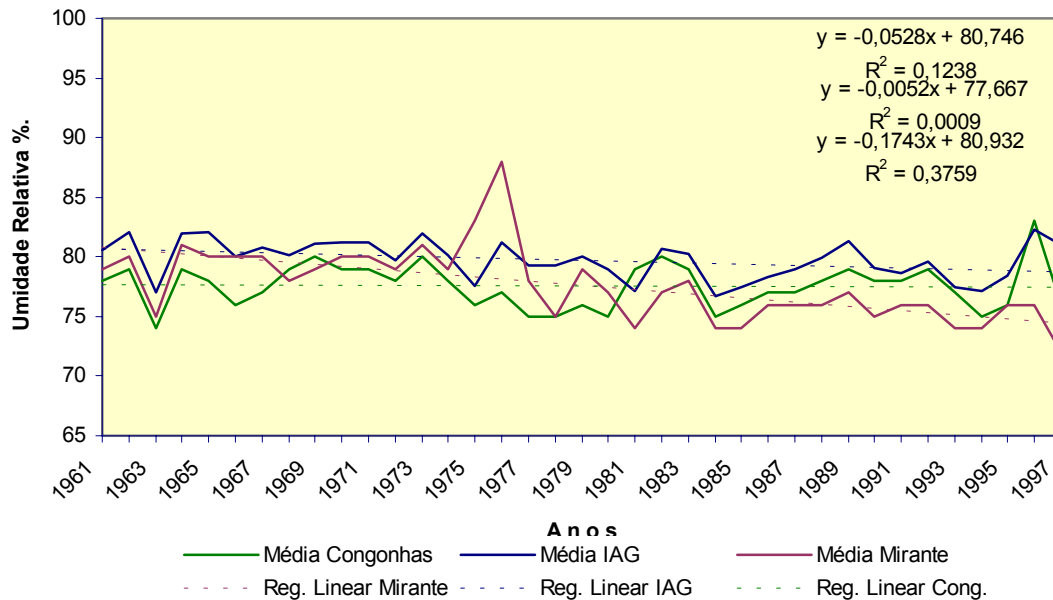
Os valores de desvio padrão apresentaram-se levemente maiores para as estações Mirante e Congonhas, tanto anual como sazonalmente, indicando para essas estações uma maior variabilidade da umidade relativa. Isso pode ser atribuído à influência da maior urbanização nas áreas de localização das duas estações.

As médias decenais anuais indicam a diminuição dos valores de umidade relativa para as estações IAG e, sobretudo, Mirante. Para a estação Congonhas, as médias decenais não são conclusivas. Em nível sazonal, as médias decenais têm comportamento similar.

Confirmando aspectos do comportamento da umidade relativa anteriormente expostos, a regressão linear aplicada às médias anuais e sazonais indica, de um modo geral, que as estações IAG e Mirante

possuem tendência de diminuição dos valores da umidade relativa, enquanto Congonhas não apresenta qualquer tendência - gráfico n° 3.

Gráfico 3 - Média e Regressão Linear Anual da U. R. - Estações IAG, Mirante e Congonhas Período 1961 a 1997.



A regressão linear ressalta a maior diminuição da umidade relativa da estação Mirante em comparação com IAG e Congonhas para o período estudado, apontando para a associação dessa redução com a urbanização das áreas de localização das estações.

EVOLUÇÃO URBANA DE SÃO PAULO

A cidade de São Paulo já foi descrita como local onde as construções duram menos do que as pessoas. Em sua história mais recente, a cidade é marcada por um intenso processo de crescimento e vários planos de reurbanização, verdadeiras reconstruções urbanas.

Pode-se dizer que a cidade até a metade do século XIX, pouco havia crescido desde sua fundação. O professor MILTON SANTOS, em trabalho de 1990, dispõe que o raio do círculo que continha a área construída de São Paulo, até 1870, não ultrapassava 1 Km e que em 1954 esse raio alcançaria 15 Km. E ainda, a área urbana cresceu nove vezes entre 1950 e 1980, e somente na década de 1980, foram incorporados à área urbana 480 Km².

Como já colocado, o acompanhamento da evolução urbana restringiu-se às áreas de entorno imediato das estações meteorológicas. Em todas as áreas de entorno pode-se verificar a intensidade da urbanização. Há aumento acentuado da área construída, alterando sensivelmente a cobertura da superfície dessas áreas. Passa haver predomínio das superfícies impermeabilizadas em detrimento de superfícies com áreas verdes e solo não impermeabilizado.

Em 1962, as áreas de entorno, quase não apresentavam a existência de edifícios e as vias de circulação, em sua grande maioria, não eram pavimentadas. Já em 1994, todas as áreas de entorno exibem vias de circulação quase que totalmente pavimentadas e significativas áreas com presença de edifícios, sobretudo o entorno da estação Congonhas. A estação do IAG aparece como exceção em relação às áreas com edifícios.

Na área de entorno da estação meteorológica do Mirante de Santana, a modificação da paisagem é notória. Evidencia-se isso pela supressão quase que total das áreas com vegetação e das áreas de várzeas junto ao rio Tietê, as quais hoje são ocupadas por vários complexos comerciais e industriais. Também, pela ocupação intensa e sua expansão pela porção Norte da área, já próxima aos contrafortes

da Serra da Cantareira, e a instalação de infra-estrutura para atendimento de grande contingente populacional, como metrô e amplas avenidas.

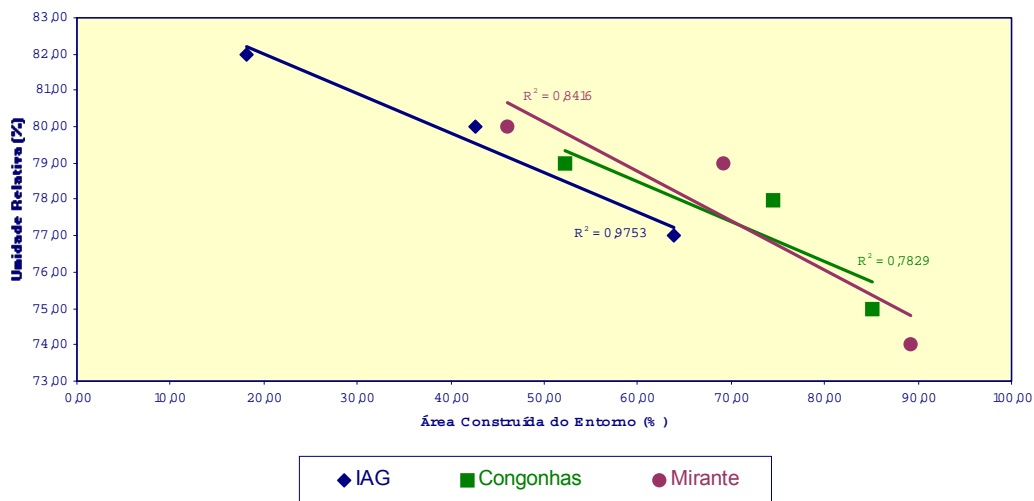
A área de entorno da estação meteorológica de Congonhas, em 1962 apresentava-se bem urbanizada, sobretudo em sua parte Norte. Em 1972, apresentou o avanço da urbanização na direção Sul, com aumento significativo da área construída nessa parte. Em 1994, mostrou-se totalmente urbanizada, mas tendo o uso e ocupação restritos em razão da existência do próprio aeroporto. Destaca-se em sua paisagem a forte verticalização ocorrida na sua porção Noroeste (Moema – Campo Belo).

O entorno da estação meteorológica do IAG apresentou crescimento e adensamento da ocupação das áreas ao redor do parque onde está localizada. A área imediatamente vizinha à estação manteve-se quase intacta, com o predomínio da vegetação arbórea. A urbanização apresentou sua marca na paisagem, não só pelo aumento da área construída, como nas demais áreas de entorno, também pela implantação da autopista Rodovia dos Imigrantes e várias indústrias de porte na sua porção Sul/Sudeste.

EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DE ENTORNO E A UMIDADE RELATIVA

Para apreender as possíveis relações entre a umidade relativa e a evolução urbana, foram elaborados gráficos de correlação para verificar a relação entre o aumento da área construída no entorno das estações e a diminuição da umidade relativa. Os dados para a construção desses gráficos compõem-se das médias anuais de umidade relativa, em função do percentual da área construída de cada estação meteorológica. Eles são referentes aos anos em que foram realizadas as fotointerpretações das áreas de entorno (1962, 1972 e 1994). Os gráficos mostram que há uma boa correlação linear entre as áreas construídas no entorno das estações e as médias de umidade relativa para cada um dos três anos representados - gráfico nº 4.

Gráfico 4 - Correlação entre as Médias de Umidade Relativa e Área Construída no Entorno das Estações IAG, Mirante e Congonhas - Anos 1962, 1972 e 1994.



A relação da urbanização das áreas de entorno com o comportamento da umidade relativa pode ser apreendida também pela observação da alteração processada no uso e ocupação do solo dessas áreas, que resultaram em substanciais transformações da cobertura da superfície das mesmas. Em 1962, possuíam, via de regra, a maior parte composta por superfícies não impermeabilizadas, com parcelas consideráveis de vegetação, espaços livres e áreas de várzeas. Em 1994, a maior parte das áreas de entorno era constituída por áreas construídas e superfícies impermeabilizadas.

A influência das alterações da cobertura da superfície fica destacada na área de entorno da estação Mirante de Santana. Essa estação apresentou a maior tendência de diminuição da umidade relativa em todos os cenários de análise nos 37 anos de dados levantados. Ao mesmo tempo, em seu entorno,

grandes áreas de várzeas foram suprimidas, a vegetação foi sensivelmente reduzida e houve o maior crescimento da área construída, alterando o balanço térmico e hídrico da área.

A influência da alteração da cobertura no comportamento da umidade relativa também é perceptível na área de entorno da estação Congonhas. Essa estação apresentou tendência nula para os valores da umidade relativa, mesmo havendo incremento da área construída e decréscimo da área de vegetação.

Esse comportamento deve ser analisado pela observação da maneira pela qual se processou a alteração da superfície na área de entorno e sua localização. Possuindo a maior área construída no ano de 1962, seu incremento, comparativamente, não foi tão intenso como o ocorrido no entorno da estação Mirante. Ao mesmo tempo, as áreas de vegetação não sofreram uma supressão tão forte quanto na área de entorno do Mirante. E além do mais, sua localização está mais sujeita à brisa marítima, fria e úmida.

A alteração da cobertura da superfície, verificada na área de entorno da estação do IAG corrobora o anteriormente exposto. Esta estação apresentou as maiores médias de umidade relativa, tanto em nível anual como sazonal, decorrência de possuir entorno com a maior quantidade de áreas com vegetação. Contudo, a estação do IAG apresentou tendência de diminuição dos valores de umidade, o que parece resultar da própria diminuição de áreas com vegetação e o crescimento de áreas construídas. Destaca-se a instalação de várias industriais de porte na porção Sudeste da área de entorno, sendo importante observar que os ventos predominantes na região da cidade de São Paulo são da direção E, SE, e S, do que se pode apreender que esses atinjam primeiramente a área das indústrias.

Aspecto importante na evolução das áreas de entorno das estações é a alteração da cobertura das vias de circulação, as quais em 1962 eram, em sua quase totalidade, não pavimentadas. Em 1994, praticamente todas as vias passaram a ser pavimentadas, em sua grande maioria com material asfáltico. Este possui um grande poder de absorção de calor, o que altera o balanço térmico e hídrico, gerando maior aquecimento e rápida evaporação da água.

Muito do verificado no presente estudo está relacionado com o comportamento da temperatura do ar. O aumento da temperatura leva, em geral, à diminuição da umidade relativa. A estação Congonhas, embora apresente tendência de aumento da temperatura, constatado por CABRAL (1997), não mostra tendência de diminuição da umidade relativa, o que demonstra que devem ser considerados os aspectos geocológicos e geourbanos para o entendimento do comportamento dos elementos climáticos em áreas urbanas.

A análise conjunta dos dados de umidade relativa e da evolução urbana das áreas de entorno (aumento da área construída) possibilitou apreender que aspectos geocológicos e geourbanos atuam sobre o comportamento da umidade relativa, levando a diferenciais microclimáticos e conseqüentemente a existência de locais com diferentes confortos térmicos dentro da mesma malha urbana. Contudo, não deixam de estar subordinados às condições mesoclimáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CABRAL, E. (1997) Análise das alterações climáticas da Cidade de São Paulo (1887-1995) no contexto da expansão de sua mancha urbana. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.
- OKE, T. R. (1978) *Boundary Layer Climate*. London, Methuen & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York. 372p.
- SANTOS, M. (1990) *Metrópole Corporativa Fragmentada: o caso de São Paulo*. Ed. Nobel/Secretaria de Estado da Cultura, São Paulo. 177p.