

## APRESENTAÇÃO DE UM EPISÓDIO REPRESENTATIVO E A ABORDAGEM DINÂMICA DO CLIMA: O CASO DE SÃO CARLOS, SP.

Isabel Silva Dutra de Oliveira<sup>1</sup>, Marcelo Pereira de Souza<sup>2</sup> e Francisco Arthur S. Vecchia<sup>3</sup>.

**Resumo** – O clima é um elemento importante na ponderação da sustentabilidade ambiental, como um integrante da dimensão espacial. A abordagem dinâmica do clima tem nos episódios representativos uma importante ferramenta de análise. O presente trabalho relata um desses episódios na região de São Carlos, SP, local onde ocorrem cerca de 60 episódios por ano, e suas conseqüências em termos climáticos, mostrando a necessidade em se considerar em diferentes escalas: o zoneamento ambiental e o planejamento urbano com seus reflexos na adensamento urbano, evidenciando a necessidade de considerá-los na localização de edifícios, na escolha dos sistemas construtivos, na definição de aberturas e escolha de materiais e na drenagem superficial.

**Abstract** - Climate is an important element as an environmental sustainable component, in its spatial dimension. The climate dynamic criteria has with the representatives episodes an important tool of analyze. The present work describes one of this episode in the region of São Carlos, SP, your climatic consequences showing the necessity to consider it in its different scales: ambiental zoning and urban planning with its reflects in urban density, land use, location of buildings, in choosing constructive systems, in the definition of projects (open spaces and materials) and also urban drainage.

**Palavras Chaves:** Climatologia dinâmica, previsões hidrológicas

---

<sup>1</sup> Arquiteta, Pesquisadora da Agenda Ambiental. Isabeldutra@aol.com

<sup>2</sup> Professor da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. mps@sc.usp.br

<sup>3</sup> Professor da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. fvecchia@sc.usp.br

## **INTRODUÇÃO**

O clima como um elemento de sustentabilidade ambiental, independente da escala de abordagem, não pode ser tratado isoladamente, ou como um processo puramente físico, notadamente nos ambientes urbanos, uma vez que as interfaces dos diversos fatores ambientais são muito marcantes, além de serem cenários das grandes manifestações humanas. Trata-se de ambientes modificados e com forte componente antrópica.

Para Ross (1995), a climatologia deve apresentar como objetivos a dinâmica das chuvas e da temperatura, dos ventos, da unidade do ar, da disponibilidade de água no solo, a dominância dos sistemas atmosféricos considerando uma escala temporal e um determinado espaço. Também, as análises climatológicas são fundamentais para a avaliação da potencialidade e da fragilidade dos Sistemas Ambientais, uma vez que se constituem juntamente com os recursos hídricos, em um dos elementos mais dinâmicos da natureza.

Em contraposição ao exposto, a prática de produção do espaço urbano tem negligenciado esse importante fator ambiental. As variáveis climáticas não têm sido consideradas na tomada de decisão no que se refere às questões urbanas. As inundações, a poluição atmosférica e a má localização de edifícios e suas aberturas são exemplos eloqüentes e estão presentes nas cidades brasileiras.

O presente trabalho pretende discutir a inserção das variáveis climáticas e suas interferências na produção do espaço urbano, tendo a sustentabilidade ambiental como paradigma.

## **SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

A sustentabilidade ambiental deve ser almejada a partir de ações e posturas que consigam mudanças sociais, institucionais, tecnológicas e culturais, considerando o desenvolvimento de estratégias que conduzam às mudanças de comportamento requeridas. Nesse sentido, a Agenda 21 aponta para a necessidade de uma ampla revisão das ações humanas, com vistas a conceber novas práticas capazes de propiciar um desenvolvimento mais equilibrado.

O alcance dessas premissas para o estabelecimento do desenvolvimento sustentável é um grande desafio. Afinal, o conceito de sustentabilidade sugere um contínuo legado inter e intrageracional, exigindo um esforço permanente para conseguir avanços também permanentes na capacidade de utilizar e conservar os recursos naturais e de atender aos novos desafios da sociedade.

Para essa implementação, a sustentabilidade apresenta três pontos básicos que devem ser observados, a saber: a dimensão temporal, em que devem ser observadas as presentes e futuras gerações, preocupações refletidas por medidas como desativação da atividade em questão; a

dimensão espacial, na medida em que devem se garantir as diferenças regionais na implementação das diversas atividades econômicas e a participação da sociedade, como modo de garantir que os anseios mínimos da sociedade envolvida estejam presentes nas decisões a serem tomadas (Souza, 2000).

O clima em escala regional, mesmo não sendo elemento de previsível manipulação do Homem, traz especificidades locais que devem ser respeitadas desde sua gênese. São estas especificidades locais que garantirão o agir localmente, garantindo ao Homem seu entendimento e sua melhor utilização nos espaços urbanos. Afinal, o clima como uma estrutura dinâmica se relaciona com diferentes ambientes naturais trazendo contribuições bem específicas e definidas nas mais diversas áreas.

O clima, enquanto um dos instrumentos de promoção do desenvolvimento sustentável, tem suas preocupações em escala global definidas na Convenção sobre mudança do Clima (Rio 92), muito em função das preocupações com os gases do efeito estufa. Quanto às influências humanas no clima global há uma preocupação expressa, embora não conclusiva, dada pela Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Portanto, pode-se entender como uma aplicação do Princípio da Precaução nesta escala planetária.

No caso do presente trabalho, trata-se do clima em escala regional e relacionando aos ambientes urbanos. Os comprometimentos gerados pelo ser humano (interferências e desdobramentos) têm sofrido com impactos críticos para o bem estar de sua população.

Os diferentes estudos sobre ilhas de calor, inclusive nas metrópoles, são bem característicos da atuação e intervenção sem preocupações com o meio, não respeitando suas especificidades locais e nem mesmo o ser humano em sua plenitude de viver com qualidade. A intervenção humana continua tentando muito mais dominar a natureza do que se incorporar a ela, entendendo seus mecanismos e usufruindo de suas particularidades e potencialidades (Lombardo, 1985).

Contudo, as ações têm sido muito mais no sentido de mitigar os efeitos nocivos do não envolvimento desta variável na produção do espaço urbano do que de incorporá-la, como por exemplo os efeitos que se deseja com ventos direcionados para minimizar situações de *stress* térmico necessários ao ambiente que se propõe para atividades relacionadas ao ser humano.

No Brasil, para Vecchia (1997), as realidades climáticas não têm sido devidamente exploradas quando se trabalha com ambientes urbanos. A maior parte dos estudos e do instrumental hoje existente é direcionado muito mais à agricultura e produção energética, nitidamente direcionado a uma atividade produtiva direta. Já o clima urbano não pode ser responsável diretamente por influências nas atividades econômicas, exceto quando se detecta níveis catastróficos como inundações, deslizamentos, poluição descontrolada e até sociais, quando se pensa que as oscilações

climáticas, mesmo de pequena variabilidade, são capazes de provocar danos à saúde, ao trabalho e à vida.

Os estudos sobre clima urbano (escala meso e microclimática), até a década de 60, permaneceram na descrição dos fenômenos em níveis de reconhecimento específico ou então em local específico. No Brasil, as referências continuam sendo poucas e os trabalhos ainda estão mais relacionados à descrição e reconhecimento específico de fatores relacionados ao clima e ao ambiente.

O estudo da climatologia urbana, embora escasso, quando a referência é a faixa tropical, associado às dificuldades relativas aos países subdesenvolvidos necessita, para maiores avanços, de incorporar as tecnologias de ponta. Através de dados digitais e dos recursos e informações vindas de outras áreas do conhecimento há uma maior possibilidade de que o conhecimento das causas dos fenômenos traga um novo enfoque dos estudos urbanos e o desafio de se conseguir que exista uma visão do conjunto que permitirá o reconhecimento da hierarquia destes fatores sem perder o enfoque totalizador do ambiente urbano.

Com isso, infere-se que o conhecimento da realidade climática possibilitará minimizar os riscos climáticos para a vida decorrentes dos climas urbanos na criação de seu espaço.

As áreas urbanas, além do comprometimento quanto ao conforto térmico, reflexos de suas diferentes manifestações físicas no espaço, preocupa do ponto de vista climático quando reflete os impactos gerados por chuvas concentradas onde não se garante uma permeabilidade de solo ou uma estabilidade frente aos deslizamentos.

O equilíbrio que se pretende com a sustentabilidade permeia o ser humano em suas atividades desde que respeitados os fatores ambientais.

## **A ABORDAGEM DINÂMICA DO CLIMA**

O clima considerado como uma sucessão encadeada de tipos de tempo é o que hoje se considera na abordagem dinâmica, respeitando-se sempre sua gênese e sua identidade local (Vecchia, 1997).

Esta abordagem, diferentemente da clássica, iniciou-se com Sorre em 1951 ao introduzir os conceitos de “ritmo” e “sucessão”. Também, existe a contribuição dada por Pédélaborde, em 1959, agregando o método sintético das massas de ar.

No Brasil, os primeiros estudos foram de Monteiro em 1962, culminando em 1973 com o estudo de caso do Estado de São Paulo em que explicita toda sua concepção geográfica do clima conforme mencionado por Sant’ana Neto (1994).

A abordagem clássica, segundo Vecchia (1997), está respaldada por uma concepção de médias dos elementos climáticos, o que não mostra as variabilidades reais do fenômeno, garantindo suas particularidades locais nem consegue chegar à necessária compreensão do fenômeno atmosférico. Passa a ser um modelo e não o entendimento de mecanismos atmosféricos.

As diferentes escalas de abordagem dinâmica do clima, em particular no Estado de São Paulo, são essenciais quando se constata o grau de alterações do ambiente natural, grau de ocupação de seu território, contingente populacional e nível de desenvolvimento.

Todos estes aspectos são insumos necessários às decisões se conseguirem responder com uma aproximação melhor e mais eficaz as necessidades do meio, minimizando sua deterioração e aumentando sua qualidade.

A complementaridade entre a abordagem clássica e a abordagem dinâmica do clima possibilitarão o entendimento de fenômenos locais não atendidos pelas médias.

Dessa maneira, o clima, entendido como elemento essencial à organização do espaço/tempo, pode, em suas diferentes escalas, subsidiar e diferenciar o território, bem como os níveis de intervenção e/ou organização do mesmo, como mostram Tarifa e Armani (2000) na organização e definição de Unidades Climáticas Naturais no Município de São Paulo.

Assim, o ritmo de sucessão dos estados atmosféricos sobre uma região, cidade, sítio urbano ou até mesmo local, é fundamental para se planejar e disciplinar o crescimento, a organização e a concentração do que se tenha como desejável, de modo a afastar uma qualidade ambiente indesejável.

As diferentes escalas que são abordadas no planejamento urbano, entendidas também em seu conjunto, podem ser consideradas bem próximas das abordagens que explicam os fenômenos climáticos desde a sua gênese. Suas influências são sentidas em todos os níveis de interpretação e resultados, com seus devidos recortes de abordagem e nas diferentes escalas. Evidenciar as articulações entre regime climático e as necessidades do ambiente construído é integrar os elementos do clima com as variáveis de conforto humano.

O clima, não como fim, mas como elo constante em todos os processos em que existe atividade humana na natureza, deve ser considerado para que dele se tire o melhor proveito, usufruindo seus aspectos energéticos que favoreçam o equilíbrio desejável ao ambiente. A identificação de sua gênese leva ao conhecimento dos períodos críticos que comprometem a qualidade ambiental, conforto e economia de energia.

Este balanço energético é um fator importantíssimo quando, na escala urbana, se trabalha com clima e seus diversos elementos. Os reflexos em ganho de energia, em especial nos centros urbanos, são preocupações e importantes fatores que associado à visão dinâmica do clima pode criar

condições de melhor entender e solucionar problemas aparentemente pontuais e que, em sua gênese, estão necessariamente vinculados a fenômenos atmosféricos muitas vezes ignorados.

### **Episódio representativo**

O episódio representativo do fato climático se caracteriza por um encadeamento sucessivo de tipo de tempo (prenúncio, avanço, domínio e transição) relacionando o fenômeno da circulação atmosférica com os registros de superfície, ou seja, considera o fato climático em sua gênese e estabelece a precisão e a representatividade dos dados climáticos – série histórica (Monteiro, 1976).

Cabe aos episódios representativos, sempre relacionados aos fenômenos da circulação atmosférica, a função de localizar onde e quando ocorrem fenômenos com intenso rigor térmico – períodos críticos inadequados ao conforto – e permitir a análise de seu comportamento para tomada de decisões necessárias à sua correção no ambiente que atendam ao conforto humano. Em escala regional, o nível de abordagem é nos grandes movimentos de massa, seus deslocamentos e conseqüências no espaço macro do ambiente urbano.

A utilização da análise de episódios representativos dá resposta rápida às excitações provocadas pelo clima, desde que se utilize os dados meteorológicos relacionados ao fenômeno da circulação atmosférica. A definição e escolha de determinado episódio permite avaliar situações a partir de reduzido período de tempo cronológico, pois o que os diferencia são a intensidade com que ocorrem e a duração das incursões de massas de ar polar ou tropical.

Por meio de um episódio representativo do fato climático vinculado aos estados atmosféricos e à sua circulação geral e regional é possível perceber a abrangência deste instrumento repleto de interfaces e interdisciplinaridade, garantindo confiabilidade, consistência e boa resolução na interpretação dos mesmos.

Para o planejamento urbano, a interpretação do clima vinculado à sua gênese é importante e pretende garantir ao ser humano as condições de conforto necessárias ao seu bem estar, ou seja, garantir uma adequada caracterização do clima, apontando as potencialidades e suscetibilidades de um determinado local.

Dessa maneira, do zoneamento em escala regional ao plano diretor urbano, esta abordagem é altamente benéfica para adequação de projetos em função das excitações do clima, impostas aos edifícios e aos espaços urbanos – orientação de fachadas e aberturas com melhor aproveitamento energético e do fluxo de ventos, implantação das edificações no terreno e nos espaços urbanos, limitação do adensamento e verticalização, uso e ocupação do solo, critérios construtivos – concepção e materiais, traçado urbano, dissipação de poluentes, definição de barreiras de proteção e muitas outras aplicações.

Outro componente importante associado aos episódios típicos é a chegada de frentes e as alterações associadas: temperatura, pressão atmosférica, umidade, vento, entre outros.

## **REFLEXOS DO COMPONENTE PRECIPITAÇÃO NO AMBIENTE URBANO**

No ambiente rural, a chuva é elemento de fundamental importância para o processo; enquanto se procura entender e respeitar seus mecanismos e sua sazonalidade. No ambiente urbano este elemento é pouco considerado ou mesmo se inseri “a posteriori” por meio de medidas de controle. Respeitar seu ciclo e sua sazonalidade não faz parte do conceito econômico que se instalou nos espaços urbanos em que este também é única e exclusivamente uma mercadoria.

### **Drenagem urbana**

O entendimento integrado dos fenômenos do ciclo hidrológico regional é um dos principais componentes a ser considerado na gestão dos Recursos Hídricos. Assim, quando se trata do meio ambiente urbano, tem-se na drenagem urbana (e os fenômenos associados) um dos elementos importantes neste sistema de relações.

Inicialmente, o objetivo principal da drenagem urbana era remover as águas pluviais em excesso da forma mais eficiente possível. Embora essas medidas estruturais sejam importantes, hoje sabe-se que as soluções destas por si só não atenderão o problema da drenagem urbana se não considerar que as soluções sejam eficazes e sustentáveis. Atualmente, não é mais um problema exclusivo da engenharia mas que depende de relações substanciais com outras ciências para que seu entendimento possa ser mais amplo, articulado e sustentável (Wilken, 1978).

Fatores importantes que devem ser considerados na drenagem urbana são o uso e ocupação do solo e seus reflexos imediatos na ocupação das várzeas de inundação, tecnologias adequadas, entendimento macro do fenômeno e a dinâmica do clima e seus reflexos imediatos no ambiente urbano (Tucci et al., 1995).

Os impactos ambientais oriundas da urbanização são preocupantes, quando se sabe que o crescimento acelerado e caótico das populações urbanas foi intenso nas últimas décadas no Brasil e as conseqüências destes são maiores quando se dimensiona o problema em termos de ocupação da bacia hidrográfica. Em geral, a ocupação da bacia se dá no sentido de jusante para montante devido às características do relevo.

Portanto, pensar, projetar e agir no ambiente urbano enquanto bacia de contribuição pode ser mais eficaz em termos de drenagem urbana, pois é o conjunto que trará estabilidade quanto a

inundações, ou seja, soluções pontuais ou parciais trarão reflexos em outros pontos da bacia se não trabalhadas de forma correta.

Esta grande preocupação com as águas pluviais, independente da existência de um sistema de drenagem adequado, é mais complexo que o próprio tema, uma vez que o ambiente urbano deve articular muitos subsistemas. A influência dos sistemas climáticos, de pouco controle urbano, são fundamentais como manifestações diretas na drenagem urbana com conseqüências imediatas no uso do solo, traçado urbano,. Afinal, a expansão urbana desordenada, sem planejamento, pode trazer como conseqüência uma progressiva impermeabilização do solo, aumentando o escoamento superficial e posterior transbordamento dos rios e várzeas (Tucci et al., 1995).

A drenagem urbana nos remete a dois níveis de abordagem importantes: macro drenagem e microdrenagem. Na macrodrenagem a escala de abordagem é mais ampla e os componentes naturais são bem definidos, já a microdrenagem é mais determinada pela ocupação do solo pois não é natural e é mais pontual. Os aspectos dinâmicos do clima em escala mesoclimática e microclimática trariam grandes contribuições se, enquanto origem do processo de precipitação, for considerado nas ponderações de drenagem urbana.

Afinal, gerenciar os recursos hídricos dentro das possibilidades limitadas do recurso e do espaço geográfico que este ocupa possibilitará um alcance de resultados com maior sustentabilidade.

No que se refere aos tipos de chuva, quando há associação de chuvas ciclônicas com as de convecção, estas podem tornar-se excepcionalmente intensas. O insuflamento no verão é por causa da massa continental atlântica (ar amazônico) e também a massa polar que entra, o que evidencia a importância dos estudos dos episódios representativos, como o exposto no presente trabalho.

A abordagem dinâmica do clima, considerando sua gênese associada aos elementos climáticos dá uma dimensão mais representativa das influências que este pode causar na região e o seu entendimento, a partir desta gênese, contribui para que os resultados nas diferentes escalas de abordagem sejam compatíveis e coerentes em seu todo.

## **O CASO DE SÃO CARLOS, SP**

A cidade de São Carlos não foi diferente da maioria das cidades no aspecto de ocupação do solo e da consideração da bacia hidrográfica como um todo, pois não controlou esta ocupação e ainda não possui um planejamento integrado de seus recursos. A importância de um planejamento neste sentido daria à cidade um disciplinamento de densidade compatível com os riscos de inundação não menosprezando suas especificidades locais e regionais que são particularmente importantes na cidade em função de sua conformação geomorfológica e climática (Tucci, 1995).



A cidade de São Carlos teve seu principal vetor de crescimento no eixo N-S desenvolvendo uma malha viária quadrada sem nenhuma preocupação com suas especificidades de localização, características ambientais que pudessem privilegiar suas suscetibilidades e potencialidades.

Seu adensamento, até a década de 40 era bem compacto que, com o crescimento passou a ocupar as áreas adjacentes. A explosão de crescimento da cidade se deu a partir da década de 50 quando chegou a dobrar sua área, a partir de 1970 passou a incorporar áreas rurais e nitidamente induzindo seu crescimento.

A ausência de uma política que atendesse a cidade propiciou o atendimento de interesses específicos de loteadores com uso de áreas ambientalmente inadequadas e indução de crescimento prejudicial às suas potencialidades.

Sua expansão se deu de forma desorganizada, sem planejamento com os vícios pertinentes como adensamentos inadequados em áreas não propícias, vazios urbanos sem controle ou manutenção e nenhum cuidado com o tratamento aos recursos hídrico..

Mesmo considerando e constatando a importância da preservação da cabeceira dos rios que abastecem São Carlos e seus pontos de captação, a manutenção das várzeas, ainda não existe plano que os considere na formulação de uma política para a cidade.

Cabe ressaltar que nem mesmo as conseqüências desta falta de preocupação com os recursos hídricos na região urbana, como as enchentes que sistematicamente ocorrem na cidade, ausência de um zoneamento e conseqüente plano para a cidade tem sido motivo de preocupação para que se considere os mecanismo e gênese do processo que influencia estas manifestações humanas.

No caso de São Carlos, as manifestações quanto à drenagem urbana não diferem do pensamento até então predominante em relação à necessidade de medidas estruturais e que estas, por si só, responderiam a todos os problemas. No entanto, hoje mostra-se inviável e preocupante o processo que a cidade passa sem que outros conhecimentos adquiridos sejam ponderados para solucionar os problemas de enchentes. O desconhecimento e a falta de vontade política – até então - para que medidas mais comprometidas com todos os subsistemas envolvidos sejam ponderadas faz com que São Carlos não contribua de forma significativa para uma mudança de comportamento hoje já vigente, inclusive nas áreas da engenharia (Queiroz, 1996).

A região, por estar localizada nas médias latitudes e por sua posição geográfica associando relevo, altitude e continentalidade apresenta uma situação que favorece, em termos climáticos, o encontro do anticiclone tropical atlântico responsável pelos ventos NE e do anticiclone polar atlântico responsável pelos ventos SE; ou seja, São Carlos está numa zona onde se revezam as influências do ar tropical e do ar polar, com avanços e recuos das frentes durante todo ano, ou seja tem uma significativa participação dos sistemas extratropicais (Monteiro, 1969, Sant'anna Neto, 1994 e Vecchia, 1997).

Outro fator importante para se entender a situação de São Carlos é quanto a sua localização geográfica, 22° 01' latitude sul e 47° 53' longitude oeste – no topo das cuestas basálticas e, em particular sua altitude – em torno de 850m -, elementos estes que fazem com que esta região esteja exposta a ventos de caráter zonal, sem barreiras que possam atenuar ou desviar os fluxos de ar vindos da região polar.

No que se refere a entrada de frentes e, na região, são em torno de 60 durante o ano – as características apresentadas auxiliam no entendimento da gênese do clima em relação à circulação geral da atmosfera. Pode-se afirmar que a região está situada no caminho das frentes.

Cabe observar, portanto, que esta situação tem, no momento da entrada de frentes, particular importância para se entender o surgimento de ventos NW-SW com velocidades relativamente mais elevadas e até críticas pelos efeitos que podem vir a produzir.

Também, a instabilidade gerada pelo vento ao longo da linha frontogênica faz com que as chuvas que chegam em São Carlos sejam frias por causa do avanço da massa polar (fria e úmida).

Admitindo-se que a pluviosidade se constitui no *out-put* mais significativo da atuação dos sistemas meteorológicos intertropicais, seus reflexos no espaço urbano também são de significativa importância e aqui estarão sendo ponderados em relação à drenagem urbana.

Dessa maneira, por meio da abordagem dinâmica do clima, é possível entender sob que influência de massa de ar está a região em estudo (gênese e ação dos anticiclones).

Em São Carlos, pode-se dizer que a gênese da chuva é frontogênica, ou seja, a frente se forma no jogo de dois anticiclones tropical atlântico e polar atlântico (ante-horário e descendentes) que se encontram na faixa de 30 graus e é onde se define também os ventos dominantes. O vento é ante-horário e é NE mais quente por influência do anticiclone tropical atlântico e SE, mais gelado porque vem do migratório polar atlântico (Vecchia, 1997).

São Carlos é influenciada por fenômenos macro (exteriores à própria região), por sua altitude e latitude como abordagem mesoclimática e na escala de clima local está relacionada às manifestações urbanas e fatores antrópicos.

Nessa região, há o predomínio de chuva de frentes combinadas com chuvas convectivas. Assim, por sua localização e características físicas, consegue-se determinar que as chuvas que se formam a SE são frontais de origem polar atlântica e a que se forma a NW é frente quente de retorno carregada de eletricidade.

### **Descrição de um episódio em São Carlos.**

A importância da avaliação diária dos fatores que compõem o clima é fundamental para se perceber os movimentos atmosféricos e determinar os momentos precisos que serão ou não

determinantes para tomada de decisões nos diferentes campos de interferência e atuação do clima no ambiente.

O episódio em estudo vai do dia 01 de novembro de 1999 a 07 de novembro de 1999. Os dados para o presente estudo são do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC – USP e das imagens do satélite GOES e registros da meteoro-marinha.

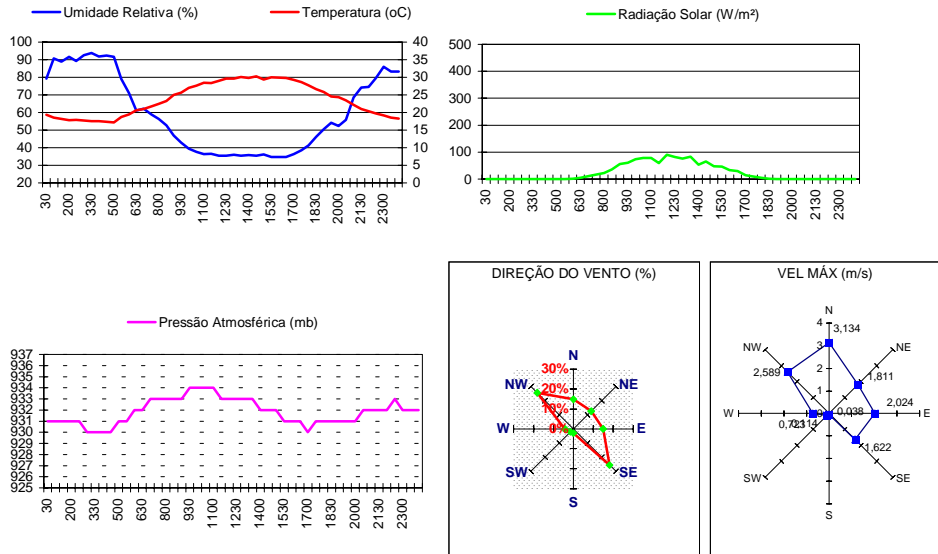
A frente em questão caracterizou-se pela média intensidade e longa duração. Dentre os elementos climáticos, o mais afetado em termos de análise foi a radiação global pois, no período estudado, apresentou-se nublado durante toda a passagem da frente, embora com alguns momentos de chuva.

Pela observação das imagens satélite esta frente polar atlântica está sobre o continente na região da Argentina no dia 01/11, faz um desvio para o oceano mantendo ainda uma boa parte de sua massa sobre o continente e já chegando ao sul do Brasil no dia 02/11. No dia 03/11, dia da entrada da frente em São Carlos, pode-se notar que uma parte desta massa de ar se desloca para o oceano e outra parte para o continente, mantendo-se sobre a região em estudo pelo período de domínio – dias 04 e 05/11 – e depois seguindo para Minas Gerais e, mais uma vez, para finalizar tropicalizando-se no oceano. Este último momento, dia 06,07 e 08/11, na região de São Carlos, pode ser caracterizado como um período de estabilidade atmosférica visto que a próxima frente só está entrando no sul do Brasil no dia 08/11 e com uma intensidade bem menor que a anterior.

A descrição da frente trouxe o seguinte quadro:

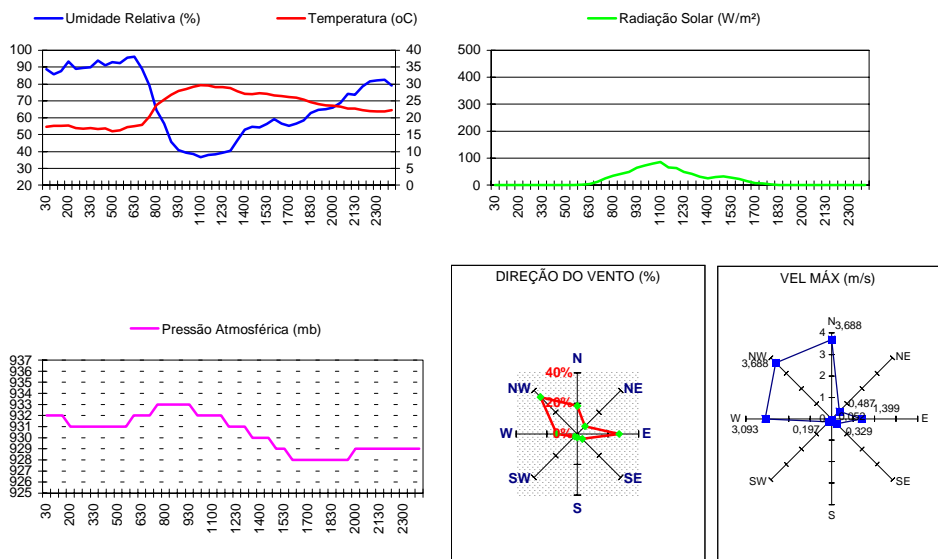
### **Dia 01 de novembro de 1999**

A alteração desordenada do regime de ventos – direção e velocidade – evidencia alterações na circulação atmosférica com fortes indícios de que haverá uma frente entrando na região em breve. Esta pode ser considerada a fase de prenúncio da frente em que, mesmo tendo ventos NE, verifica-se que já há instabilidade em relação aos outros quadrantes.



**Dia 02 de novembro de 1999**

O período de prenúncio permanece com a mesma instabilidade de ventos, embora mais definido convergindo para a posição de avanço que é o vento NW e com maior intensidade. Neste dia existe uma clara evidência de que a frente virá também pela tendência de queda no gráfico de pressão que, em geral, em seu primeiro pico das 10h da manhã tem evidenciado uma maior ocorrência de enfartos (VECCHIA, 1997). Pela imagem pode ser verificado que a frente já está sobre o Estado de São Paulo e entrando pela região oeste deste.



### **Dia 03 de novembro de 1999**

O momento de entrada da frente se dá no período da tarde quando o vento predominante é NW, de velocidade maior que as anteriores. Esta fase de avanço é caracterizada por picos e rajadas. Este é um momento particularmente importante não pelo tempo que dura e sim pelo dano material que pode causar. Foi neste momento da entrada da frente que existiu uma chuva frontogenética, às 15h. Cabe notar que, no inverno, por ter ar muito seco normalmente não há chuva na hora da entrada de frente e, por outro lado, há chuvas curtas e muito intensas no verão.

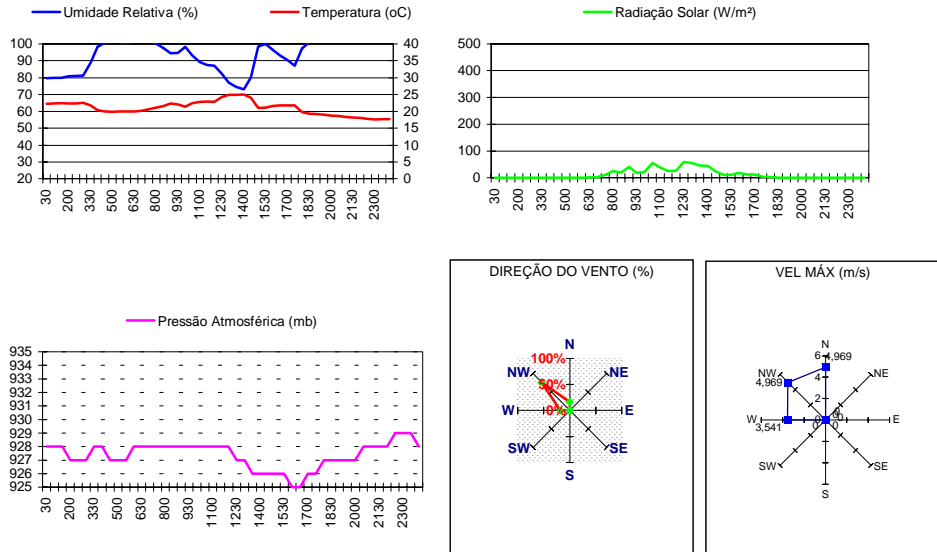
Há, também, uma ruptura nítida no desenvolvimento do gráfico de temperatura e umidade em que a senóide é descaracterizada, sendo estes fatores importantes para atendimento das necessidades de conforto humano, evidencia-se uma situação de desconforto.

A pressão sofre queda momentos antes da entrada da frente e um aumento no instante em que entra a frente e com amplitude um pouco maior que a habitual para o momento.

O gráfico de radiação ficou prejudicado pela nebulosidade, embora sabe-se que o seu comportamento no momento de entrada da frente deve se caracterizar por uma ruptura na parábola.

Confirmando este momento e a precisão de sua identificação é possível detectar através da imagem que a frente está sobre São Carlos.

Vale ressaltar a importância deste dia da entrada da frente sobre a região e seu comportamento em relação à precipitação. No verão, no momento da entrada da frente a chuva é intensa e de curta duração o que, em termos de drenagem urbana, pode significar o não atendimento mínimo de um fenômeno que ocorre sistematicamente na cidade, que está sendo desconsiderado e acarretando sérios prejuízos à população.



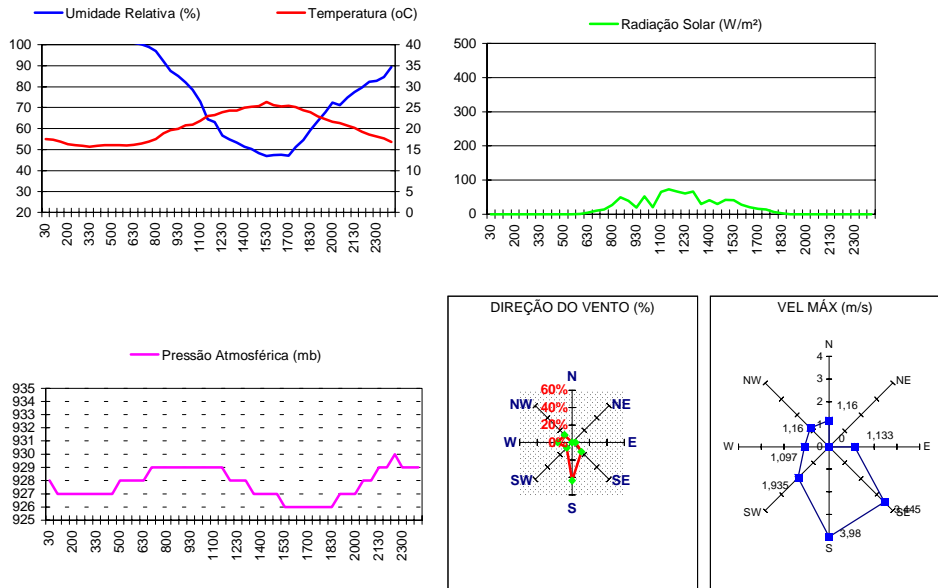
### Dia 04 de novembro de 1999

A partir da fase de domínio da massa polar atlântica, quando a frente já está instalada, a pressão mantém seu ritmo de crescimento em senóide. A velocidade do vento permanece elevada, porém menor que as rajadas e maior que as do vento NE. Os ventos são SE carregados de frio dependendo do vigor da massa polar que avança, principalmente à noite.

A temperatura é menor que na hora da entrada da frente pois agrega à temperatura existente uma massa de ar frio e a umidade relativa é maior porque a massa formada no oceano carrega muita umidade. A amplitude térmica e a umidade são inferiores aos valores da fase de transição e prenúncio.

A quase inexistência de radiação solar neste período de domínio da massa polar atlântica não aumentou a temperatura embora houvesse uma umidade relativa alta diminuindo as chances de ocorrência de chuvas. Esta chuva que normalmente se forma a SE é denominada chuva frontal polar atlântica.

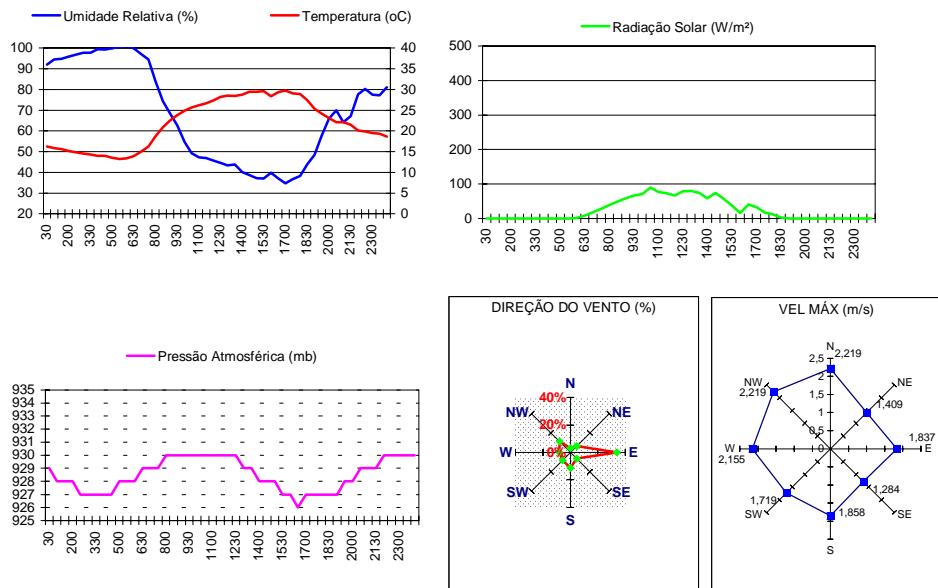
04.11.99



### Dia 05 de novembro de 1999

A partir deste dia, a temperatura tende a subir devagar e a umidade relativa cair. Neste ponto pode ser percebido que nos dias seguintes a nebulosidade fará com que esta massa demore para se tropicalizar. Os ventos deste período são predominantemente Leste e com uma velocidade bem mais reduzida. A pressão continua em ascendência e desenhando a senóide característica. Esta tendência de ascensão propicia, em conjunto com os outros fatores, a condição de dizer que há um período de estabilidade atmosférica em curso, como pode ser confirmado pelas imagens.

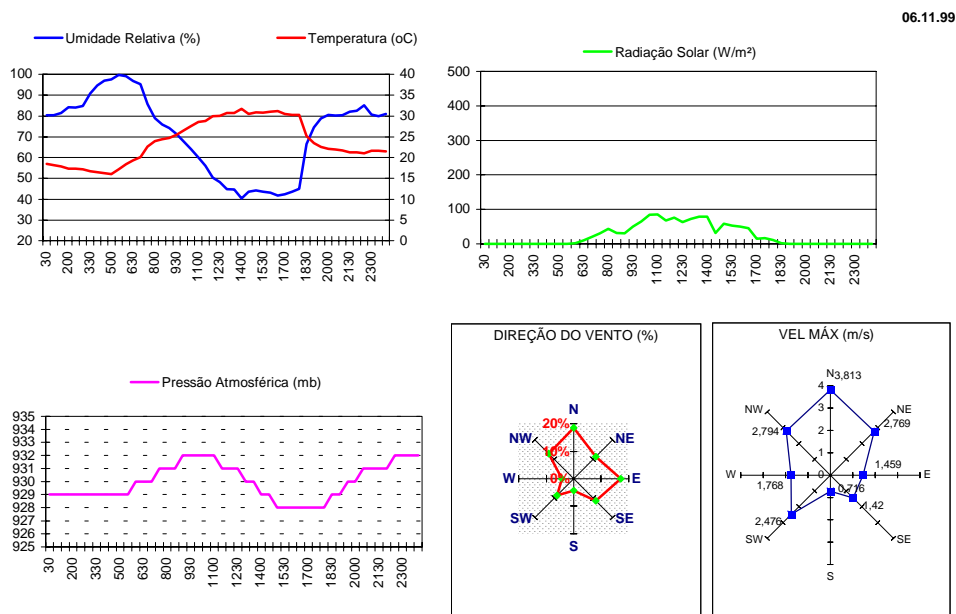
05.11.99



## Dia 06 de novembro de 1999

Neste dia, a frente, que já passou por São Carlos, está próxima do norte de Minas Gerais, a pressão em São Carlos continua em ascensão e tanto a senóide de temperatura quanto a de umidade estão se normalizando e, de maneira bem característica, como duas senóides invertidas.

Já o gráfico de ventos reflete uma situação não normalizada quanto à predominância do vento NE que indica um período de transição/prenúncio, ou seja, permanece um período de estabilidade atmosférica mais prolongado – transição – sem a presença próxima de uma massa de ar polar chegando a São Carlos.

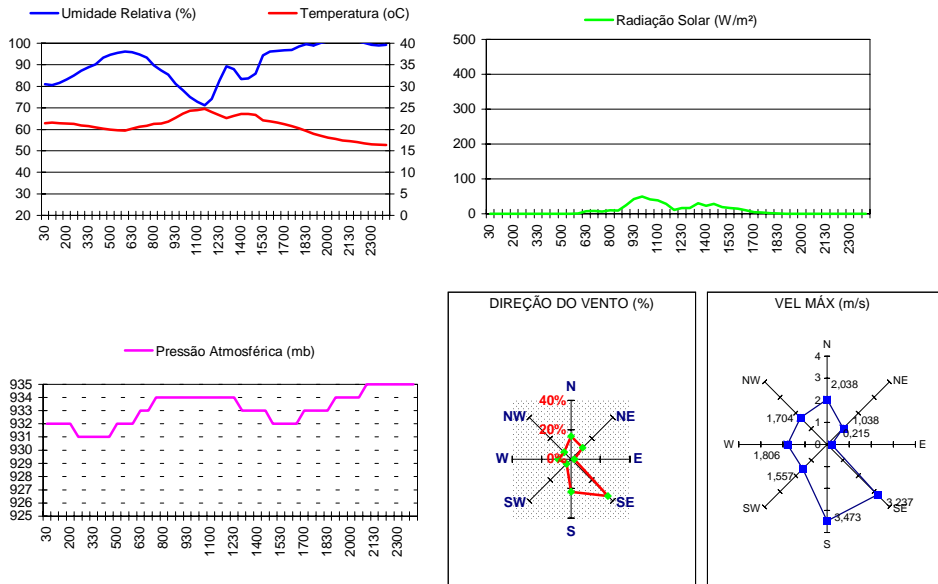


## Dia 07 de novembro de 1999

A frente fria que havia subido para o norte de Minas Gerais volta um pouco para o sul deste Estado para então tropicalizar-se no Atlântico sem, contudo, chegar a São Carlos que permanece com a pressão subindo e atmosfera estável.

A temperatura que vinha em ritmo normal – senóide – sofre queda em especial durante o dia, período em que a massa mais se aproxima do norte do Estado de São Paulo pois a tropicalização ainda não ocorrida desta massa polar se dará no Atlântico como mostra a tendência de imagem do dia 08/11.





Dando continuidade ao comportamento da temperatura descrito no dia 07, a umidade permanece alta, mesmo porque a nebulosidade alta acompanhou a frente em todos os seus estágios, mantendo a temperatura no mesmo patamar com muito pouca amplitude, ou seja, mantém o balanço hídrico – umidade/temperatura – e percebe-se a demora na tropicalização da massa de ar em curso pela ausência, ou muito pouca, radiação.

Outro fator afetado é o vento que novamente sofre alterações com predominância para SE – vento de domínio da massa polar atlântica – e não NE como se suporia para uma frente que já passou e está em fase de tropicalização em outro local que não a região de São Carlos.

Este retorno da frente em fase de tropicalização, associado à chuva branda que ocorreu- as chuvas de verão -, acontecem muito mais por causa das frentes quentes de retorno – quando a frente fria polar atlântica encontra uma frente quente tropical atlântica mais poderosa que a empurra de volta como frente quente – do que por conta da quantidade de umidade da frente fria – chuva de SE – ou seja, é uma chuva que se forma a NW, é característica de frente quente de retorno e vem carregada de eletricidade.

O período de tropicalização desta frente foi longo com a ajuda da nebulosidade, ou seja, a radiação, essencial para que a frente se tropicalize com mais rapidez, era praticamente nula neste período, favorecendo níveis altos de umidade e comportamento da temperatura mais amenos mesmo durante o período vespertino.

## **CONCLUSÕES**

A análise de um episódio representativo traz uma série de possibilidades no que se refere a drenagem superficiais, tais como, verificar em que medida a intensidade de precipitação - representativo da entrada de frente - é importante na consideração dos cálculos de precipitação para dimensionar os equipamentos utilizados na drenagem urbana, ou já está, de alguma maneira, contemplado pelas médias normalmente utilizadas. Cabe observar que a entrada de frente traz uma chuva intensa e que nem sempre está devidamente representada pelas médias de precipitação diárias, por exemplo.

Quanto a utilidade dos resultados apresentados no presente trabalho, no tocante a drenagem superficial, é que a entrada de frente é prenúncio de chuvas de curta duração e grande intensidade e, quando a frente está estacionada, de chuva de maior duração e menor intensidade. Essas regiões - que estão sujeitas a freqüentes episódios como esses - devem estar aptas a considerá-los nos cálculos de precipitação e dimensionamento de medidas estruturais e não estruturais.

Na região de São Carlos, a abordagem dinâmica do clima desenha uma situação específica de movimentos de massa, pois a incidência de 4 a 6 episódios mensais faz com que ela traga conseqüências também muito específicas e que seja uma componente no clima local.

A grande freqüência de frentes faz com que seja necessária a inserção desse marcante fenômeno nas política públicas do município. Afinal, considerar as frentes é uma necessidade para a localização de edifícios e as suas aberturas, de modo a propiciar melhor conforto aos habitantes, o afastamento e as dimensões dos edifícios para que o vento não se transforme - ainda mais - em um fator de desconforto e que não ocasione prejuízos materiais, além dos aspectos relativos a drenagem superficial.

Como uma informação necessária à drenagem urbana de São Carlos, cabe indicar uma investigação no que se refere ao momento da entrada da frente - que é um momento crítico quanto à manifestação climática - e seus reflexos na intensidade e duração da precipitação. A pergunta a ser respondida é em que medida as precipitações intensas e de curta duração estão sendo consideradas pelas médias utilizadas no cálculo de drenagem urbana e se elas têm relevância no cálculo de vazões.

## **AGRADECIMENTOS:**

Agradecemos à FAPESP - Projeto de Políticas Públicas, sob a coordenação do Prof. Dr. Sérgio Antônio Röhm.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Queiroz, E.A (1996). A utilização do SIG no estudo da dinâmica do escoamento superficial em áreas urbanas: aplicação na bacia do Córrego do Gregório, São Carlos, SP. Dissertação de Mestrado defendida na EESC – USP.
- Lombardo, M. A (1985). *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. HUCITEC.
- Monteiro, C.A F. (1976). *Teoria e clima urbano*. Instituto de Geografia. Universidade de São Paulo.
- Monteiro, C.A F. (1969). *A frente polar Atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil*. Instituto de Geografia. Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Sant'anna Neto, J. L. (1994). *Dinâmica Atmosférica e o caráter transicional do Clima na zona Costeira Paulista*. Revista do Departamento de Geografia – USP. no.8: 35-50.
- Tarifa e Armani (2000). A organização das Unidades Climáticas Naturais no Município de São Paulo. Mimeo.
- Tucci, C.E.M.; Porto, R.LL. e Barros, M.T. (1995). Drenagem urbana. Editora da Universidade e ABRH.
- Tucci, C. E.M.(org.) (1993). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Ed Universidade, EDUSP e ABRH.
- Tucci, C.E.M. (1998). *Modelos hidrológicos*. Ed. Universidade e ABRH.
- Vecchia, F.A S. (1997) Clima e Ambiente Construído - Abordagem dinâmica aplicada ao Conforto Humano. São Paulo, Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – USP.
- Wilken, P.S. (1978). *Engenharia de drenagem superficial*. Cetesb. São Paulo.