

# A INFLUÊNCIA DO CLIMA NA FORMAÇÃO E PROTEÇÃO DOS AQÜÍFEROS CÁRSTICOS NAS BACIAS DOS RIOS PASSAÚNA E BARIGÜÍ

**Luiz Eduardo Mantovani<sup>1</sup>; Eduardo Chemas Hindi<sup>2</sup>; Ernani F. da Rosa Filho<sup>1</sup>;  
André Virmond Lima Bittencourt<sup>3</sup>, Elenice Fritzsons<sup>4</sup> & Suresh Babu<sup>5</sup>**

**RESUMO** - O clima é um elemento básico na compreensão da dinâmica de todos os ecossistemas, desencadeando e modulando processos biológicos, físicos e químicos. Neste contexto tendo como base as novas teorias desenvolvidas em meteorologia, este trabalho analisa a influência do clima na formação, recarga e potencialidade de contaminação em aquíferos cársticos, tomando como base um setor próximo à Curitiba. Nas conclusões do trabalho estão: o superávit de umidade regional que favorece processos de carstificação e pode facilitar a entrada de poluentes no solo e a recarga de aquíferos; a ocorrência de nebulosidade matinal que propicia a ocorrência de acidentes de circulação vinculados ao risco potencial de contaminação de corpos d'água e aquíferos com poluentes tóxicos.

**ABSTRACT** - Climate acts as one of the fundamental elements for understanding dynamics of all ecosystems that have been developed and maintained by biological, physical and chemical processes. Within this basic concept and on the basis of new theories developed under meteorology, an analysis was conducted to unravel the influence of climate in the formation, recharge and contamination potential of karst aquifers located in area near to Curitiba. Following are the conclusions of this work. The surplus regional humidity must have favored the process of karstification and it can facilitate the entry of pollutants into the soil and also the recharge of aquifers. Further, the occurrence of morning mist, which conciliate the associated air circulation offers the risk of contamination potential of toxic pollutants through water medium to the aquifer.

**Palavras - chave:** clima, clima e carste, clima

---

<sup>1</sup> Prof. Dr. do Depto. de Geologia / UFPR

<sup>2</sup> Geólogo M.Sc., LPH/UFPR

<sup>3</sup> Prof. Titular, Depto. de Geologia/UFPR

<sup>4</sup> Doutoranda em Engenharia Florestal (UFPR/CNPq)

<sup>5</sup> Prof. Dr. Visitante Depto. de Geologia/UFPR

## INTRODUÇÃO E LOCALIZAÇÃO

O clima é um elemento básico na compreensão de todos ecossistemas, desencadeando e alimentando processos biológicos, físicos e químicos. Entretanto sua compreensão envolve múltiplos conceitos transdisciplinares, difíceis de serem assimilados e correlacionados entre si.

Reconhecidamente os sistemas cársticos são sensíveis às mudanças ambientais sendo e que a direção e intensidade sendo que seus processos são controlados por fatores ambientais tais como: temperatura, clima, hidrogeologia, geologia, vegetação, todos em funções abertas relativamente à atmosfera. Desta forma, sendo as feições cársticas um produto do ciclo de carbono, estas se diferenciam no tempo e no espaço (DAOXIAN, 1997) o que é claramente assumido pelo Projeto de Correlação Mundial do Karst, IGP 299.

Dentro deste conceito e tendo como base as novas teorias desenvolvidas em Meteorologia, este trabalho se propõe a analisar a influência do clima dominante na Região Sudeste do Paraná I e sua relação com a formação, recarga e potencialidade de contaminação de aquíferos cársticos, tomando como base um setor de rochas carbonáticas próximo à cidade de Curitiba.

A região de estudo dista aproximadamente 20 km ao norte da cidade de Curitiba, tendo como acesso principal a Rodovia dos Minérios. Em termos hidrográficos, a área se localiza próximo ao divisor de águas das bacias do Iguaçu e do Ribeira. As sub-bacias dos rios Barigüi e, Passaúna se inserem na bacia do Alto Iguaçu, sendo que a primeira constitui a extremidade setentrional desta bacia. A bacia do Iguaçu pertence à bacia do Paraná – Platina ou Paraná Paraguai, a qual forma um denso complexo hidrográfico com 186.321 km<sup>2</sup>, direcionados para o interior do continente, abrangendo 80% do Estado (MAACK, 1968).

As bacias superiores dos Rios Barigüi e Passaúna constituem área de mananciais no contexto da Região Metropolitana de Curitiba. Sua importância potencial é acentuada pois este setor ainda se encontra com baixa taxa de urbanização e ocupação demográfica, o que se reflete na porcentagem dominante de área coberta por florestas entremeadas de campos e glebas cultivadas.

Para a utilização deste manancial de forma sustentada quanto à sua qualidade, quantidade e impactos negativos inerentes ao seu aproveitamento, o estudo do meio físico torna-se um elemento básico para a partir daí se iniciar o referenciamento dos demais dados e resultados ligados aos fatores ambientais. Assim, deve-se fazer um zoneamento das áreas implicadas no processo de exploração. Este zoneamento do meio físico pode ser apoiado na cartografia hierarquizada de unidades geoambientais. Neste sentido um levantamento desta natureza pode contribuir para uma compreensão circunstanciada da área, envolvendo análise associada dos solos, geologia, geomorfologia, rede de drenagem e seus vínculos com problemas de uso e ocupação de cada compartimento da paisagem.



FIGURA 1: Localização da área de estudo

## REVISÃO DE LITERATURA E DISCUSSÃO

### Clima – Aspectos gerais

Vários estudos sobre impactos ambientais reúnem informações sobre o clima de forma estanque, mais no sentido de um inventário do meio físico do que integrando sua análise no contexto da compreensão do meio a ser considerado. No presente quadro os aspectos climáticos se revestem de uma importância ainda maior, pois envolvem a interpretação sistêmica do ciclo hidrológico e de suas interações com o meio, além da veiculação de matérias potencialmente impactantes ou poluentes.

### Caracterização Climática Regional

O Sul do Brasil apresenta predomínio do clima mesotérmico super-úmido, sem estação seca definida. As características mais marcantes do clima no Sul estão ligadas à umidade média elevada e as bruscas oscilações de temperatura resultantes de fatores climáticos regionais. Segundo a visão clássica ou frontogenética, elaborada pela denominada “Escola Norueguesa” durante a 1ª Guerra Mundial e ainda muito referenciada na literatura técnica o clima local seria marcado pela passagem da denominada “frente polar” em frontogênese, tornando esta região constantemente sujeita as sucessivas inversões provocadas por tais fenômenos frontogenéticos em qualquer estação do ano” (NIMER, 1977).

Na fachada leste do sul do Brasil, a acentuada amplitude topográfica, a orientação do relevo e a proximidade do oceano condicionam substancialmente o clima. As principais influências ocorrem na temperatura, na redução da amplitude térmica diária e anual, no aumento da umidade relativa do ar e na quantidade de chuva (EMBRAPA/IAPAR, 1984).

A massa Polar Atlântica, com temperatura relativamente baixa, é acompanhada de um anticiclone frio que se dirige para o anticiclone Subtropical atlântico, reativando-o com frequência, dirigindo-se para a costa montanhosa do Brasil, chegando no inverno até os 10° (graus) latitude sul e, no verão, até os 20°(graus). Devido aos aumentos de temperatura e umidade adquiridos sobre a corrente quente do Brasil, as massas tornam-se acentuadamente mais instáveis quanto maior for o percurso sobre o mar. No inverno, o anticiclone frio que acompanha a massa Polar Atlântica suaviza a instabilidade. No verão, essa massa possui espessura vertical reduzida, o que a impede, frequentemente, de transpor as serras costeiras. Assim, esta aproximação frontogenética do clima regional com “enfrentamento” de massas de ar diferentes é bastante evocativa dos fenômenos meteorológicos regionais e quase a totalidade da literatura ambiental existente no Paraná se refere aos seus conceitos.

Entretanto, para uma ampliação da visão dinâmica dos fenômenos climáticos, responsáveis pelas precipitações que abastecem a rede hidrográfica e os aquíferos, deve-se partir para uma visão atualizada correspondente aos modelos globais de circulação atmosférica.

Graças a grande diversidade de imagens e processamentos facultados pelas técnicas de sensoriamento remoto e modelagem em ambiente n dimensional, a meteorologia tem progredido de forma radical nas décadas mais recentes. Assim o motor dinâmico dos eventos denominados prosaicamente como “frentes frias” encontram sua explicação nos deslocamentos e oscilações da corrente de jato subtropical atuante sobre a região sul brasileiro, entre 30 e 25° S.

O “jato subtropical” (PEZZI et al. 1996) constitui um ramo das correntes de jato que no nível da superfície isobárica referencial de 200mb (correspondente à altitude média de 11.000m) envolvem toda a terra em circulação que se adianta àquela da rotação. Desta forma, as correntes de jato se deslocam sub-latitudinalmente de oeste para leste, sem interagirem diretamente com as rugosidades topográficas ficando sujeitas apenas aos gradientes de pressão e a força de Coriolis (vento geostrófico). Sua elevada velocidade, máxima no topo da troposfera induz uma redução do campo de pressão na zona de entorno da corrente.. Assim, ele induz convecção nos baixos níveis e conseqüente instabilidade atmosférica. (Ver FIGURA 2)

Grande parte das chuvas que ocorrem na região está ligada a este fenômeno que oscila segundo as ondulações de direção e velocidade do jato subtropical. Ondulações de cavados com concavidade no jato subtropical voltada para sul provocam deslocamentos de ar em superfície dirigidos para N e NNE causando as “frentes frias”. Em caso inverso, tem-se correntes perturbadas de NW e N. A atuação do jato se produz ao longo de todo o ano porém, com menor frequência durante o verão. Em certos anos, a passagem do jato durante a primavera traz apenas instabilidade sem precipitações significativas em termos hídricos



FIGURA 2: Intensificação do Jato Subtropical e conseqüente bloqueio dos sistemas frontais.

FONTE: (GRIMM et al., 1996, in CLIMERH, 2002)

Durante o verão austral o aquecimento do Continente Sul Americano induz a descida da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT (GUSMÃO e GUANDU, 1996) para sul. A ZCIT corresponde a zona de encontro dos ventos alísios de ambos os hemisférios acompanhada de atividade convectiva. Este tipo de monção sul americana carrega ar úmido tropical e equatorial úmido desde a Amazônia ocidental até latitudes mais meridionais. A natureza tropical/equatorial da ZCIT, associada às células de Walker, tornam sua atuação muito dependente das oscilações El Niño / La Niña (GRIMM, 2001a). Seu estacionamento sobre as latitudes da Região Metropolitana pode se refletir em chuvas prolongadas durante os meses quentes (GRIMM, 2001b).

Outro mecanismo importante para a ocorrência de chuvas se relaciona a atuação da baixa pressão detectável em altos níveis (p.ex.. superfície isobárica de referência de 500mb) conhecida como “Alta da Bolívia” (GUSMÃO, 1996), que atuando nos meses de verão facilita a atividade convectiva. Chuvas e enxurradas de “verão”, ambas localizadas e vespertinas, se associam a sua atuação.

Com base nestas informações pode-se extrair as seguintes conclusões gerais relativas ao problema ambiental tratado neste estudo:

- a) Os mecanismos geradores de chuvas sobre o 1º Planalto são vários sendo os principais associados às instabilidades provocadas pelo jato subtropical. Isto garante um suprimento de chuvas mais estável, pois uma deficiência associada a um dos mecanismos acima descritos pode ser compensada ao menos em parte pelos demais. Assim a região não conhece as secas mais intensas que afetam o Brasil tropical

inclusive o norte do Estado. Os anos mais úmidos atingem uma pluviometria de 2000mm enquanto os mais secos chegam a 800mm, variações relativamente reduzidas sem deixarem de ser importantes;

- b) A elevada dinâmica da corrente de jato pode se traduzir por chuvas intensas, porém sem a persistência de vários dias o que poderia acarretar inundações e problemas de estabilidade de taludes;
- c) A dinâmica considerável do clima se reflete em mudanças mais rápidas do que as geralmente verificadas na zona tropical brasileira. Igualmente noites de pouco vento e com pouca cobertura de nuvens mais altas facilitam o resfriamento noturno levando a formação de neblina. Pessoas pouco habituadas podem ser surpreendidas levando a situações de perigo para a circulação rodoviária. Acidentes são bastante freqüentes sendo que o Paraná e Santa Catarina, segundo estatísticas divulgadas em maio de 2002, devem liderar as taxas de acidentes de transito no Brasil.
- d) A variabilidade sazonal pode, entretanto ser alta sobretudo durante o final de inverno, primavera e início do verão. Estiagens persistentes neste período causam problemas no abastecimento de água e aumento da poluição em diversos cursos de água devido a redução do aumento da razão efluentes/vazão. A seca de 2001, (CAVALCANTI e KOUSKY, 2001) além dos prejuízos em termos de abastecimento de energia provocou problemas de abastecimento na RMC que persistiram até o início de 2002.
- e) Enxurradas fortes, sobretudo quando precedidas de estiagens mais prolongadas aumentam a carga de detritos e mobilizam materiais depositados em terraços e bacias fechadas. Após estas chuvas se agravam as condições de qualidade da água dos rios.
- f) Os eventos climáticos mais frios se devem a ondulações da corrente de jato com acentuada concavidade voltada para NE carreando ar frio e seco durante o final do outono e inverno. Noites frias, limpas e secas com velocidade de vento próxima ao solo menor de 2 m/s podem levar a temperatura até a 4 ou 5° C abaixo de zero. Entretanto a isoterma 0° C raramente atinge o nível da superfície, sendo que as temperaturas negativas do ar na maioria dos anos se restringem aos primeiros metros acima do solo.
- g) Períodos de risco potencial em termos climáticos se configuram durante o final de inverno e início de primavera quando após sucessivas geadas se seguem em agosto e setembro condições de tempo quente e seco. Nestes casos se tem sobre os campos, bordas dos fragmentos florestais e principalmente nos campos abandonados que se encontram nos primeiros estágios de sucessão florestal, uma grande quantidade de matéria vegetal seca capaz de entreter queimadas e incêndios florestais danosos. O risco é mais elevado em vertentes expostas a norte e noroeste durante tardes quentes,

ensolaradas, com temperatura de ponto de orvalho baixa, isto é umidade relativa abaixo de 50 ou 40%, vento de noroeste. As queimadas que nesta região são sempre de origem não natural isto é provocadas, sendo potencialmente perigosas para a vegetação arbórea podendo invalidar em algumas horas o esforço de anos na recuperação das florestas. Elas também podem também atingir e danificar canalizações de água principalmente tubulação em PVC.

### Caracterização Climática Local

O tipo climático da região estudada, segundo MAACK (1968) é classificado como Cfb de Koeppen, onde C indica climas pluviais temperados, com mês mais frio possuindo temperatura entre + 18° e - 3° C; f indica sempre úmido e chuva em todos os meses do ano; b representa a temperatura do mês mais quente menos de 22° C, mas no mínimo quatro meses mais de 10° C.

De acordo com cartas climáticas básicas do Estado do Paraná (EMBRAPA/IAPAR 1978), a média anual das temperaturas mínimas da região oscila entre 11° e 12 °C, enquanto que a média anual das máximas fica entre 23° e 24° C. A média anual global está em torno de 16° e 17° C. O trimestre menos chuvoso (Junho-Julho-Agosto) apresenta precipitação entre 250 à 300 mm e o mais chuvoso (Dezembro-Janeiro-Fevereiro) com precipitação pluviométrica entre 600 e 700 mm.

A FIGURA 3 ilustra a as temperaturas máximas, mínimas e médias do ar, diárias, monitoras pela ETA de São Dimas (SANEPAR) durante os anos de 1998, 1999 e 2000. A ETA de São Dimas dista aproximadamente 30 km da região de estudo.

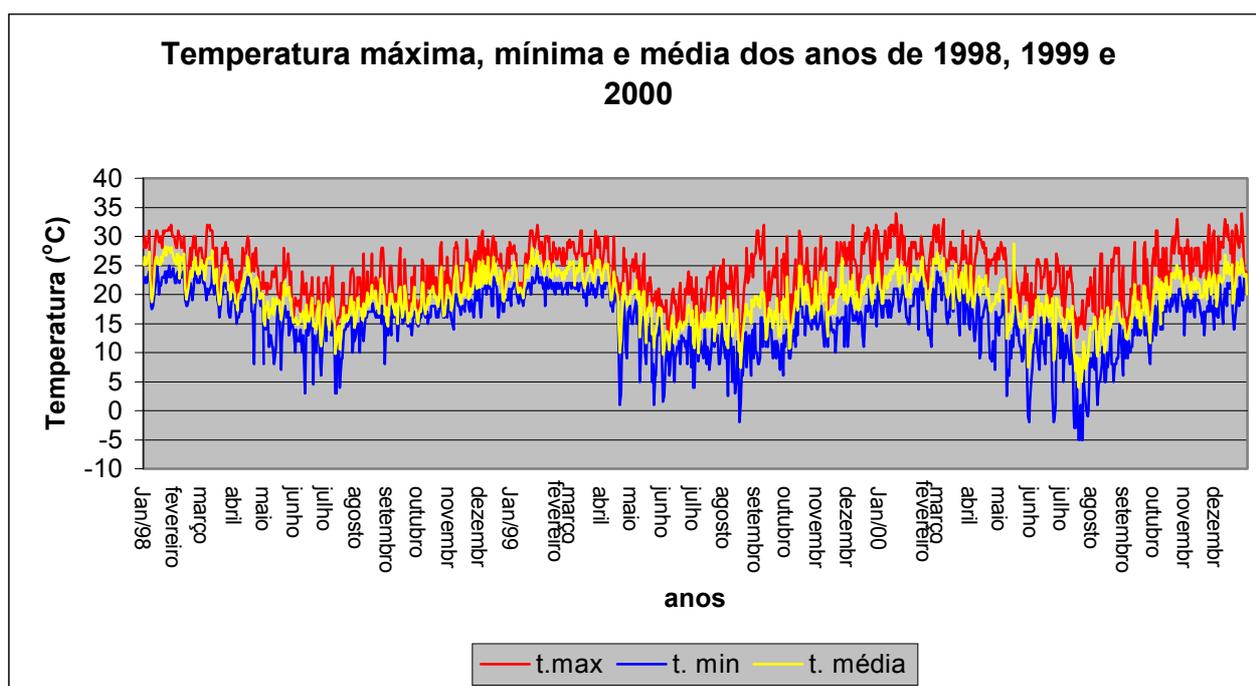


FIGURA 3: AMPLITUDE TÉRMICA DIÁRIA E ANUAL PARA 1998, 1999 E 2000.

A precipitação anual média da região é de 1.400 mm, variando de um mínimo de 800 mm à um máximo de 2.000 mm, correspondendo a anos de estiagem e anos mais chuvosos respectivamente. Entretanto de acordo com JICA (1995), as chuvas monitoradas durante 20 anos (1974 a 1993) no Estado do Paraná variaram de 1400 a 2400 mm/ano. Assim a região de estudo está inserida na menor faixa de precipitação do Estado.

Segundo LLADÓ (1970), nas regiões carbonáticas com precipitações superiores a 1000 mm/ano, o processo de carstificação apresenta elevada atividade. Nas regiões com precipitações da ordem de 600 a 400 mm/ano, a circulação hídrica, muitas vezes, possui um caráter intermitente, fazendo com que os fenômenos cársticos tenham atividade reduzida. Por fim, nas áreas muito secas, com precipitações inferiores a 200 mm/ano, a circulação hídrica é praticamente nula, ocorrendo elementos cársticos mortos, desenvolvidos em épocas de maior atividade hídrica. Pode-se admitir, então, com certeza, a existência de episódios de carstificação gerados por ciclos climáticos que tendem a aumentar ou diminuir consideravelmente o volume de água que se infiltra e que circula pelos condutos cársticos.

O balanço hídrico anual normalmente será positivo, isto é, com superávit d'água, estando este disponível para recarga dos aquíferos, e muitas vezes com sobras significativas correspondentes aos anos das grandes enchentes. O histograma da figura 4, ilustra a precipitação e a evaporação em estação mais próxima da área durante 8 anos.

Conforme acima visto na questão das correntes de jato, pode-se esperar um regime de chuvas local mais diversificado do que ocorre acima do Trópico de Capricórnio, ao norte do Estado. Na média dos anos, as chuvas se distribuem ao longo de todo o ano sem uma estação seca bem marcada. Entretanto resultados médios podem esconder a realidade da ocorrência de períodos secos prolongados (CAVALCANTI e KOUSKY, 2001) marcados por significativas reduções nas vazões dos rios.

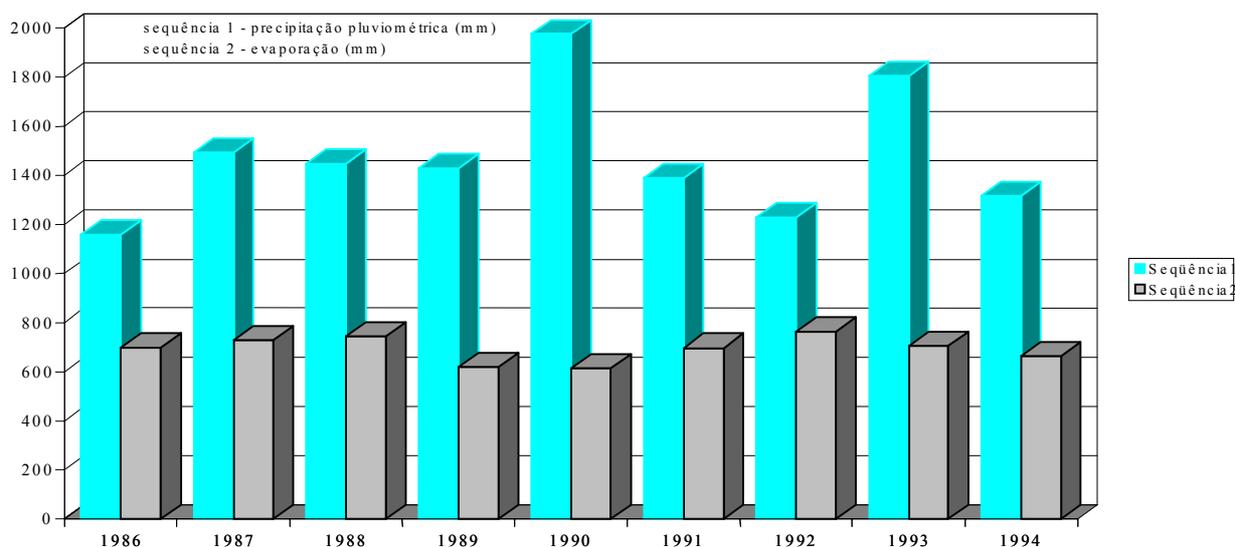


FIGURA 4: Histograma mostrando a diferença hídrica anual entre precipitação e evapotranspiração anual (estações Juquiri e F.E.F.A, período, 1986-1994).

Bacias hidrográficas consideráveis como a do Alto Capivari, na estação de Chácara da Luz, acusa uma redução de  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$  (vazão média) para mínimas de  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Isto para uma bacia de  $120 \text{ km}^2$  de área e contendo diversos compartimentos cársticos contribuindo para uma maior regularidade. Deve-se salientar que constitui uma situação totalmente diversa da observada no Alto Iguaçu que tem em seus formadores e afluentes da margem esquerda oriental, nas nascentes na Serra do Mar. Ai sob influência da brisa marítima pode-se ter atividade convectiva de natureza orográfica em qualquer época do ano.

Em relação ao microclima, o setor estudado apresenta três compartimentos bem diferenciados:

1. Tamandaré –Sede - situado na calha do rio Barigüi com tendência a apresentar as máximas diurnas mais elevadas do município devido à sua posição topográfica mais baixa, ao relevo mais “fechado”, ao avanço da urbanização acentuando sua “ilha de calor”. Inversões térmicas podem ocorrer quando se verificam as condições necessárias para uma grande queda da temperatura noturna, tais foram acima descritas. Quando essas inversões se acompanham de neblina esta pode persistir pelas primeiras horas da manhã, criando dificuldades para a circulação e aumentando o risco de acidentes na rodovia Curitiba-Rio Branco. Neste sentido uma zona sensível para acidentes com cargas perigosas se encontra próxima à passagem da rodovia sobre o rio Pacotuba que deságua no Barigüi algumas centenas de metros a jusante.

2. Tranqueira – situada em maior altitude entre 1000 e 1100m possui um microclima mais ventilado com menor incidência de inversões térmicas e redução nas temperaturas máximas em relação a Tamandaré – Sede. Mínimas noturnas podem ser ainda menores, porém para a ocorrência de inversões geradoras de geadas nestas áreas mais elevadas é necessário uma redução drástica na velocidade do vento. Provavelmente as precipitações devem ser um pouco maiores em Tranqueira devido ao efeito orográfico, mas faltam dados comprobatórios. Quando incidem ventos úmidos, as bordas do Platô de Tranqueira ficam envoltas em nevoeiros alguns momentâneos outros mais persistentes. As fachadas a barlavento são as mais atingidas. Este tipo de situação acompanhada de outras como incidência de ventanias fortes aumentam o risco para o transporte rodoviário. O depósito de veículos destruídos ao lado do Posto da Polícia Rodoviária de Tranqueira é bastante evocativo das condições de acidentes rodoviários graves no sector. Em se tratando de área de mananciais sensíveis ter-se-ia ainda um motivo adicional para incrementar as medidas de segurança neste trecho. Deve ser lembrado que em muitos países as áreas de mananciais recebem um tratamento especial no sentido de se evitar acidentes com cargas perigosas. No Brasil tentativas neste sentido são realizadas desde longa data.
3. Serrotes e elevações – as áreas mais elevadas da bacia de Tranqueira possuem climas serranos com acentuada incidência de vento e precipitações ocultas sob a forma de nevoeiros que molham a vegetação e assim o solo. Essas precipitações embora não sejam normalmente computadas nos índices pluviométricos tendem a aumentar a disponibilidade hídrica e a favorecerem a infiltração mantendo a umidade do solo (MANTOVANI e FRITZSONS, 1996). Estas áreas se caracterizam por máximas diurnas relativamente baixas e maior ocorrência de geadas em algumas depressões mais fechadas e abrigadas dos ventos e da insolação da tarde (vertentes expostas com exposição S e SE)

Todo o sul do Paraná está sujeito a alguns fenômenos relativamente raros e violentos como rodaminhos ou tornados e as ainda pouco conhecidas “tesouras de vento” ou “Wind blasts”. Embora muito mais comuns na região Central, Oeste e Sudoeste do Estado, alguns eventos destrutivos deste tipo já foram registrados no Município. Deve-se notar que normalmente os ventos mais violentos, de tempestades, quase sempre sopram de quadrante oeste e noroeste devendo este fato ser levado em conta na proteção rodoviária e em eventuais planos de recuperação da vegetação, particularmente nas áreas mais expostas.

## **A importância da rosa dos ventos**

A título de síntese formula-se em seguida um resumo da rosa dos ventos e de algumas conseqüências ambientais concernentes aos problemas tratados. Os ventos em superfície na ausência de barreiras topográficas maiores são de quadrante leste, isto é com predomínio de nordeste durante os meses quentes e de sudeste no restante do ano. Ventos de norte ocorrem com freqüência no verão, mas se produzem em qualquer época do ano, muitas vezes associados a instabilidades. Ventos diretos do sul normalmente se associam a “frentes frias” não permanecendo por mais de um ou dois dias. Ventos de noroeste normalmente precedem a chegada de sistemas frontais, normalmente se associam a instabilidades (atuação da corrente de jato em altitude) podendo ser muito secos e quentes na primavera e meados do inverno. O risco de incêndios e acidentes em geral (entre outros motivos por ionização positiva do ar e elevação de potencial eletrostático) aumenta durante esses episódios, sobretudo no período da tarde. A poeira levantada e depositada suscita uma maior procura por lavagens e consumo de água. Ventos de oeste e sudoeste são bastante raros relativamente aos demais. Vendavais de quadrante oeste ocorrem durante tempestades e o sudoeste muito frio e seco (equivalente do conhecido minuano dos pampas) praticamente não se manifesta em certos anos. O sudoeste normalmente precede a ocorrência de geadas.

Qualquer empreendimento que implique na formação de plumas transportadas pelo vento deve levar em conta o vento e sua freqüência conjugada com seus períodos de manifestação. A incidência de plumas impactantes sobre uma zona de mananciais não deve ser negligenciada. A pluma de Chernobil circundou a Terra no hemisfério norte transportando particulados.

## **Influência das Características Climáticas na Carstificação**

Os elementos fisioclimáticos influenciam diretamente o funcionamento do sistema hidrogeológico cárstico, controlando a principal entrada (input) do sistema, a precipitação. A circulação subterrânea de água no carste é responsável pela maioria das peculiaridades naturais e relativas a ocupação e uso destas em regiões.

A parcela de água precipitada que efetivamente se infiltra e se transforma na recarga do aquífero cárstico depende do processo de interceptação vegetal, dos solos, da inclinação e forma do relevo, que provocam diferentes índices de infiltração gerando na região verdadeiros mosaicos de situações diferenciadas (FRITZSONS, 1996) e, conseqüentemente, variações no volume armazenado. O poder de dissolução da água circulante pelo sistema, que permite a geração de feições cársticas típicas de superfície e subsuperfície, também é controlado pela presença de vegetação, de solos ácidos e pela temperatura.

O desenvolvimento dos fenômenos cársticos é condicionado pelo clima, pois, enquanto existir circulação hídrica, que depende diretamente do clima, ocorrerá a dissolução da rocha carbonática.

Outro elemento climático muito importante é a temperatura, pois ela faz variar o poder dissolvente da água. Essa variação é tal que os carstes localizados em regiões com climas diferentes apresentam características distintas devido ao poder de dissolução diferente da água.

A temperatura é o fator físico controlador da solubilidade do CO<sub>2</sub>, sendo que a quantidade de CO<sub>2</sub> está na razão inversa da temperatura. Então, a água fria dissolve mais CO<sub>2</sub> que a água quente e, quanto maior a quantidade de CO<sub>2</sub> dissolvida, maior será a acidez e o poder dissolvente da água. Considerando-se a pressão de 1 atm, 1 litro de água pode dissolver a 25°C, 0,81 litros de CO<sub>2</sub>; a 15°C, 1,0 litro de CO<sub>2</sub>; e a 0°C, 2,15 litros de CO<sub>2</sub> (LLADÓ, 1970, in FORD e WILLIAN (1996)).

Para compensar a diminuição do CO<sub>2</sub> na água pelo aumento da temperatura, a solubilidade do bicarbonato de cálcio, que é o produto dissolvido e transportado pela água, aumenta. Portanto, os fenômenos de dissolução e desenvolvimento do processo de carstificação nos climas quentes são tão ativos quanto nos climas frios.

CHRISTOFOLETTI (1980) lembra que a carstificação é mais rápida nas regiões úmidas que nas regiões secas, desde que os demais fatores sejam iguais, mas não está totalmente certo de que ela seja mais rápida nas regiões tropicais que nas regiões frias. Enquanto que LLADÓ (1970) in FORD e WILLIAN (1996) demonstrou que a água de origem glacial dissolve maior quantidade de rocha carbonática que as águas de regiões temperadas ou tropicais, mas que o efeito da água quente na solubilidade do bicarbonato de cálcio propicia um desenvolvimento maior, principalmente, dos carstes tropicais em relação aos glaciais.

BIGARELLA et al. (1994) além de muitos autores consideram ser a carstificação mais intensa nos trópicos do que nas regiões temperadas, não só devido às temperaturas mais elevadas nessas áreas, mas também devido a maior precipitação (1000 a 4000 mm anuais) que contribui com um volume muito grande de água para atuar nos processos de dissolução das rochas carbonáticas e também nos de erosão mecânica. Os valores elevados das temperaturas de regiões tropicais (20 a 25°C) em comparação aos das regiões temperadas (5 a 6°C) tornam a água muito mais fluida, facilitando sua infiltração pelas fraturas e interstícios da rocha. As águas tropicais também apresentam maior agressividade devido à presença de ácidos de origem orgânica e do CO<sub>2</sub> produzido pela intensa atividade bioquímica nos solos. PAN et. al (2000) mostram que em área subtropical úmida da China a carstificação é acelerada pelo aumento de CO<sub>2</sub> proveniente da decomposição de matéria orgânica do solo sob floresta climacíclica.. Esses autores concluem que cerca de 60% do CO<sub>2</sub> da água de percolação provém do solo.

A observação de afloramentos e pedreira de calcário na região, incluindo a Mina de Calcário do Cimento Votorantim, já na bacia do Ribeira, porém distante menos de 20km dos divisores do

Barigüi, mostra em geral uma carstificação limitada. O conjunto parece sugerir que no passado quando essas áreas ainda estavam muito abaixo do nível de superfície não haveria muita quantidade de água circulante para a carstificação. Em todo o setor parece que a carstificação ocorre de forma mais acentuada nos tempos atuais.

De qualquer forma o carste em Tranqueira assume uma função extremamente importante na manutenção da vazão do alto Barigüi, como demonstrado por BONACIM (1996). Com efeito, nesta bacia tem-se uma seqüência de rios pequenos de curta extensão não ultrapassando uns 4km de comprimento desde suas nascentes, com ausência de várzeas ou terrenos aluviais mais permeáveis que poderiam alimentar a vazão de estiagem, poucos sendo também os reservatórios, açudes ou lagos. Os compartimentos hidrogeológicos menores (ROSA FILHO et al 1999) e com vazões mais livres seriam os mais afetados. Estes fatores configuram um quadro favorável a uma grande diminuição da vazão durante secas prolongadas, ao contrário do que se verifica devido à contribuição cárstica. Entretanto a exigüidade de sua extensão territorial e a presença dominante de terrenos desenvolvidos sobre outras litologias não permite assegurar durante os períodos secos a forte demanda do abastecimento urbano de Almirante Tamandaré, sem o apelo compulsório aos recursos subterrâneos.

## **CONCLUSÃO FINAL**

Assim, apesar da área apresentar os menores índices de precipitação do Paraná, a umidade permanente do clima favorece os processo de carstificação e também de ingresso de poluentes, devido à manutenção da umidade, no interior do solo. Durante períodos secos áreas de descarga do aquífero carste podem passar a funcionar como áreas de recarga, disto decorre a importância de se manter ambas essas zonas preservadas e protegidas.

Cuidados especiais, como restrição à veiculação de cargas tóxicas e mesmo uma boa sinalização podem evitar muitos acidentes, uma vez que as condições freqüentes de nebulosidade pela manhã prejudicam a visibilidade dos motoristas. Pelo mesmo motivo não dever-se-ia atear fogo próximo às rodovias e ferrovia que cortam as áreas de recarga. A região é propícia às geadas que provocam o fenecimento da vegetação e favorecem a combustão do material seco. Após isto e com baixa umidade do ar, os cuidados com incêndios deveriam ser multiplicados. O estudo da direção dos ventos deveria ser levado em consideração pois a incidência de plumas impactantes sobre uma zona de mananciais não deve ser negligenciada no caso da instalação de novas indústrias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIGARELLA, J.J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. G. dos. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: UFSC, v.1, p.425, 1994.
- BLOOM, A L. **Geomorphology: A systematic Analysis of Late Cenozoic Landforms**. Prentice Hall order: Nova Jersey. 1991. 532p.
- BONACIN, E. A. **Dinâmica do sistema hidrogeológico cárstico na área de Tranqueira - Região Metropolitana de Curitiba**. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) - Departamento de Geologia, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 162 f, 1996.
- DAOXIAN, Y. Sensitivity of karst process to environmental change along the PEP II transect. **Quaternary International**, v. 37, 1997, Pages 105-113.
- CAVALCANTI, I. F.A.; KOUSKY, V. Drought in Brazil during summer and fall 2001 and associated atmospheric circulation features. **Climanálise**, 2001, INPE/CPTEC <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/index1.html>
- EMBRAPA/IAPAR **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná**. Curitiba, EMBRAPA-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984, 2t., (EMBRAPA-SNLCS, Boletim Técnico,57).
- FORD, D. C. & WILLIAN, P.W. **Karst Geomorphology and Hidrology** Londres: Chapman & Hall. 1996. 601p.
- FRITZSONS, E. **Avaliação do impacto da contaminação por nitrogênio na bacia hidrográfica cárstica de Fervida – Ribeirão das Onças – Colombo/PR**. Curitiba, 1996, Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná
- FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; RIZZI, N. Relações entre geologia e paisagem numa região cárstica curitibana In. VII SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA E II ENCONTRO DE GEOLOGIA DO MERCOSUL, 1999, Foz de Iguaçu **Resumos**, , 1999
- GRIMM, A. M Relationship between ENSO and intraseasonal oscillations in South Atlantic Convergence Zone. **Anais**. 8<sup>TH</sup> SCIENTIFIC ASSEMBLY OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF METEOROLOGY AND ATMOSPHERIC SCIENCES (IAMAS 2001), Innsbruck, 2001b.
- GRIMM, A. M. El Niño impact on summer monsoon in Brazil. Large-Scale influences versus regional process. **Anais**. 8<sup>TH</sup> SCIENTIFIC ASSEMBLY OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF METEOROLOGY AND ATMOSPHERIC SCIENCES (IAMAS 2001), Innsbruck, 2001 a.

- GUSMÃO, A. M. Alta da Bolívia, **Climanálise**, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 1999, <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/index1.html>
- GUSMÃO, A.M. GUANDU, A. W. A zona de convergência do Atlântico Sul. **Climanálise**, 1996, INPE/CPTEC <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/index1.html>.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2º Ed., Ed. José Olympio, Rio de Janeiro, RJ. 1981.
- MANTOVANI, L. E.; FRITZSONS, E. Ambiente climático da floresta ombrófila mista In. **4TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOREST ECOSYSTEMS -FOREST 96**, 1996, Belo Horizonte, 1996, p. 269-270
- PAN, G; SUN, Y; TENG, Y; TAO, Y; HAN, F Distribution and transferring of carbon in karst soil system of peak forest depression in humid subtropical region. **The Journal of Applied Ecology**. v.11, Issue 1, 2000, p. 69-72.
- PEZZI, L.P., ROSA, M.B, BATISTA, N.N.M. A corrente de jato sobre a América do Sul. **Climanálise**, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 1996. <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/index1.html>.
- ROSA FILHO, E.; HINDI, E. GIUSTI, D.; MANTOVANI, L.E. Efeitos de bombeamento de poços tubulares na descarga de fontes naturais - região de Almirante Tamandaré, PR. **Bol Par. de Geociências**, n. 47, p.45-50; Curitiba, 1999.