

## UMA ANÁLISE DE TENDÊNCIA NO REGIME DE VAZÕES E PRECIPITAÇÕES PARA O ESTADO DO PARANÁ

Fabricio Müller e Martha Regina von Borstel Sugai  
 Departamento de Hidrologia e Estudos Energéticos da COPEL  
 R. Treze de maio, 616 - 5º andar - CEP 80510-030 - Curitiba - PR - FAX: 331-3276

### INTRODUÇÃO

Tendência, em uma série temporal, é definida como uma mudança sistemática e contínua em qualquer parâmetro de uma dada amostra, excluindo-se mudanças periódicas ou quase periódicas (Yevjevich, 1972).

O problema da existência ou não de tendência nas vazões médias anuais e precipitações totais anuais no Estado do Paraná é objeto de muitas especulações, principalmente devido às enchentes de 1983 e 1992, onde foram registradas as maiores vazões e precipitações do histórico na maior parte do Estado. As perguntas mais comumente feitas são: estão aumentando as vazões e precipitações no Estado? Se isto for verdade, seria este efeito causado pelo homem?

O que se sabe é que o desmatamento e a impermeabilização do terreno aumentam os picos de cheia e o escoamento superficial instantâneo quando da ocorrência de enchentes. Não se sabe ainda se as ações do homem ocasionam ou não aumentos ou tendências nas vazões e precipitações em nível anual, e, mesmo se este tipo de tendência for estatisticamente comprovado, se esta tendência se deve à ação do homem ou a grandes ciclos periódicos anuais. Estes grandes ciclos periódicos anuais têm sido estudados na literatura mas não serão levados em conta neste trabalho pela dificuldade em estabelecer tanto a correta dimensão dos mesmos, quanto suas causas (Kelman, 1987).

Este trabalho visa dar um tratamento estatístico ao problema de tendências anuais no Estado do Paraná, analisando o comportamento de dez estações fluviométricas e dez pluviométricas. Estas estações foram escolhidas segundo os requisitos de longo período de dados e representatividade geográfica. A lista das estações fluviométricas e pluviométricas utilizadas, seus códigos, períodos de dados disponíveis na COPEL e bacias onde estão situadas está mostrada no início da tabela 1.

Serão feitos testes estatísticos e análise de resultados por bacia. O estudo se resumiu na análise de tendência nas médias anuais: embora outros parâmetros mostrem tendência é usual se considerar que ela é descoberta somente nas médias (Yevjevich, 1972).

### ANÁLISE VISUAL DAS MÉDIAS MÓVEIS

As figuras 1 e 2 mostram as médias móveis de 10 anos para as estações, respectivamente, fluviométricas e pluviométricas estudadas. As médias móveis foram calculadas considerando sempre dez anos seguidos: quando da ocorrência de, por exemplo, uma falha, a média foi calculada sobre os nove valores restantes. Na figura 1, nas ordenadas está plotada a vazão média móvel específica anual em  $l/s/km^2$ , e na figura 2, nas ordenadas, está plotada a precipitação média móvel anual em  $mm/ano$ . Em ambas as figuras o ano de início da média móvel está plotado nas abscissas.

Uma análise visual destas figuras mostra que a preocupação com tendências no Estado do Paraná é válida: em grande parte das estações percebe-se uma forte propensão ao crescimento. É óbvio que isto não é suficiente para a detecção de tendência, e isto pode ser feito analisando-se mais profundamente estas médias móveis. Porém, ainda segundo Yevjevich (1972) este tipo de estudo têm trazido mais maus do que bons resultados. Ele sugere que a análise de tendência seja

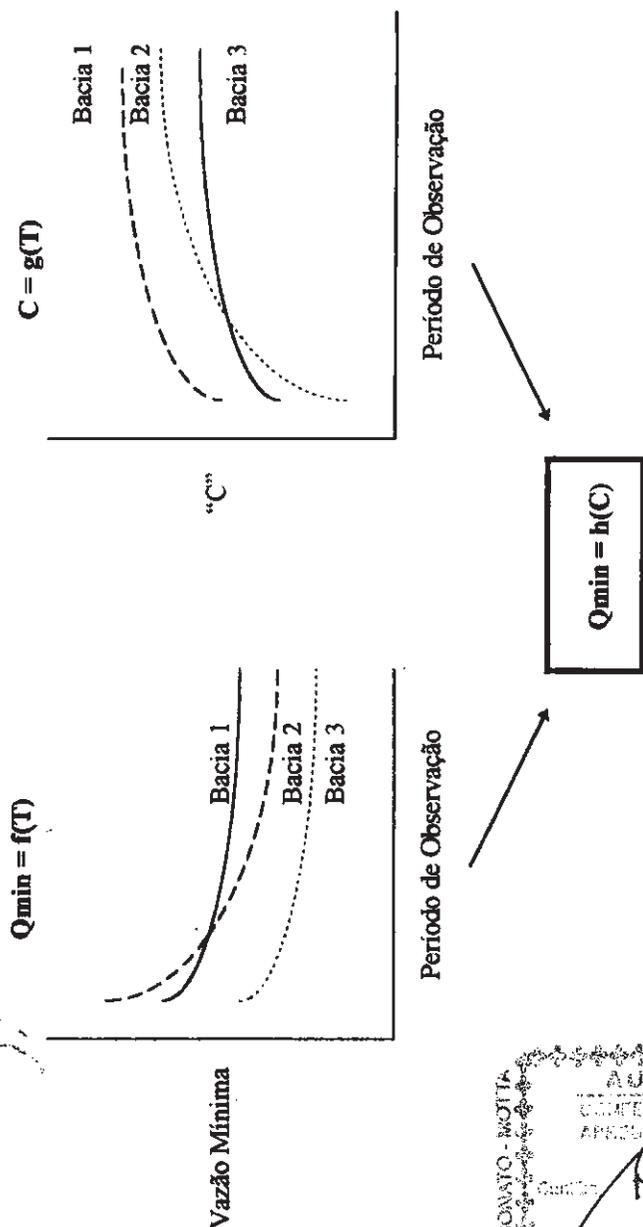


Figura 2 - Análise da Vazão Mínima em Função da Cobertura do Solo

feita por análise de regressão linear ou de igualdade de médias, o que será feito mais adiante neste estudo.

## ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foram feitos os seguintes testes estatísticos: análise da variância, da tendência por regressão linear e da tendência por igualdade de médias. Estes testes estão descritos em Spiegel (1978).

A análise da variância testa, para uma série de médias de duração menor do que o histórico, a igualdade das mesmas. Para o caso deste trabalho foram analisadas  $N$  médias de dez anos consecutivos, não importante a existência ou não de falhas. Quando o número de anos analisados do histórico não era divisível por dez, a última série ficou com dez valores mais os restantes para completar o número de anos do histórico.

Na realidade, a análise da variância não chega a acusar a existência de tendência, e sim se há diferença significativa entre médias de períodos distintos. Esta análise foi incluída neste estudo pois se considerou que havendo diferença significativa entre médias de dez anos consecutivos, esta seria causada possivelmente por aumentos de médias. Os estudos de tendência propriamente feitos aqui são os de tendência por regressão linear e por igualdade de médias.

Para a análise da tendência por regressão linear basta ajustar uma reta  $y = h + mx$ , por mínimos quadrados, nas séries de vazões médias e precipitações totais anuais, onde  $x$  é o ano e  $y$  a série. Uma série não apresentará tendência se o coeficiente  $m$  for estatisticamente igual a zero.

O último teste deste trabalho é o de igualdade de duas médias. Este teste simplesmente analisa se duas médias pertencem à mesma população. Aqui as médias foram tomadas de duas formas diferentes:

- comparação entre médias de dois períodos de praticamente mesmo tamanho;
- comparação entre médias de dois períodos de tamanhos diferentes: o primeiro até 1973 e o segundo de 1974 em diante. Este período comum para as estações, de 1974 em diante, foi incluído no estudo porque é o período básico de estudo do Plano Diretor de Recursos Hídricos para o Estado do Paraná (JICA, 1995).

Os resultados destes três testes, estação por estação, estão mostrados na tabela 1 (onde para o teste de análise da variância corresponde o trecho da tabela "An. da Var.", e assim por diante). Cada uma das análises estatísticas foi testada para intervalos de confiança de 95% e 99%. Onde foi constatada tendência, está escrito "S"; onde não foi, "N". Como foram testadas médias tomadas de duas maneiras diferentes no teste de igualdade de médias, estas duas maneiras também estão mostradas na tabela 1. Na coluna "Per. 1 até" está escrito o último ano analisado para a primeira média testada em cada um dos dois testes. Como o segundo teste de igualdade de médias comparou a média do início do período até 1973 com a média de 1974 em diante, o segundo teste de igualdade de médias apresenta, na coluna "Per. 1 até", apenas o ano de 1973.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

As quatro últimas colunas da tabela 1 mostram o resultado das porcentagens de "S" (presença de tendência) e "N" (ausência), estação por estação. Destas quatro, as duas primeiras mostram as porcentagens de "S" e "N" para os testes com 95% de confiança e as duas últimas para os testes com 99% de confiança. Após a linha final de cada bacia, está escrita a média de "S" e "N" para a mesma, tanto para 95% quanto para 99% de confiança.

Para a análise de resultados, bacia por bacia, preferiu-se chamar de bacias com "tendência forte" aquelas que apresentaram tendência a 99% de confiança, e bacias "sem tendência" aquelas que não apresentaram tendência a 95% de confiança. Aquelas que

apresentaram tendência a 95% de confiança, mas não a 99%, foram chamadas de bacias com "tendência fraca". O que se pode perceber nas quatro últimas colunas da tabela 1 é que, de maneira geral, existe grande coerência entre os resultados de "S" e "N", para cada intervalo de confiança, entre as estações fluviométricas e pluviométricas de cada bacia, o que elimina a hipótese de que, no longo período, estejam aumentando as vazões sem o correspondente aumento nas precipitações. O único caso que não se encaixa neste caso é o da bacia do Ribeira, cujos resultados podem ser considerados incompletos porque esta bacia tem grande parte de sua área no Estado de São Paulo, área esta não considerada aqui.

Para analisar se uma dada bacia tem tendência a 95% ou 99% de confiança, estabeleceu-se o seguinte critério: uma vez que há coerência entre resultados fluviométricos e pluviométricos como foi comentado acima, a bacia tem tendência se o posto fluviométrico situado próximo à foz da mesma apresentar tendência. Este posto pode ser considerado o "ponto final" de todo o balanço hídrico em uma dada bacia, e, a princípio, mudanças locais na infiltração causadas por desmatamentos e impermeabilizações não são significativos a ponto de aumentar o escoamento superficial de longo prazo. Estas estações estão seguidas de um asterisco na tabela 1. Quando não for claro se este posto apresenta ou não tendência, a bacia terá tendência se a média de "S" para o intervalo de confiança estudado for maior que 50%.

Seguindo este critério, abaixo estão relacionadas as bacias estudadas com seus resultados:

- bacias com tendência "forte": Cinzas e Ribeira;
- bacia com tendência "fraca": Tibagi;
- bacias sem tendência: Iguaçu e Ivaí.

A figura 3 mostra o Estado do Paraná com as bacias hidrográficas estudadas e os resultados da análise efetuada.

## CONCLUSÕES

Estudos mais complexos envolvendo densidade populacional, uso do solo, etc podem e devem ser feitos nas bacias que apresentaram tendência e também na bacia do Iguaçu, que apresentou alta porcentagem de "S" (38,9%) para 95% de confiança, e cuja estação fluviométrica próxima à foz - Salto Cataratas - para esta confiança apresentou 50% de "S". Entretanto, a princípio, não se pode concluir pela existência de tendência no Estado como um todo, devido aos seguintes fatos:

- o desconhecimento que existe sobre grandes ciclos anuais;
- muitas das tendências observadas podem ser simplesmente causadas por erros na coleta dos dados;
- as duas maiores bacias do Estado, Iguaçu e Ivaí, não apresentaram tendência e a terceira maior, Tibagi, apresentou tendência "fraca".

## REFERÊNCIAS

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. The master plan study on the utilization of water resources in Paraná State in the Federative Republic of Brazil: interim report. Tóquio, Jan. 1995.

KELMAN, Jerson. Cheias e aproveitamentos hidrelétricos. ABRH RBE, 1987. 175p.

SPIEGEL, Murray R. Probabilidade e estatística. São Paulo: McGraw-Hill, 1978. 188p.

YEVJEVICH, Vujica. Stochastic processes in hydrology. Fort Collins: Water Resources Publ., 1972. 276p.



Valter Hernandez

Faculdade de Engenharia civil - UNICAMP

Rua Cincinati, 60

Telefone e Fax: 530-0825

CEP 04564-070 - São Paulo, SP. - Brasil

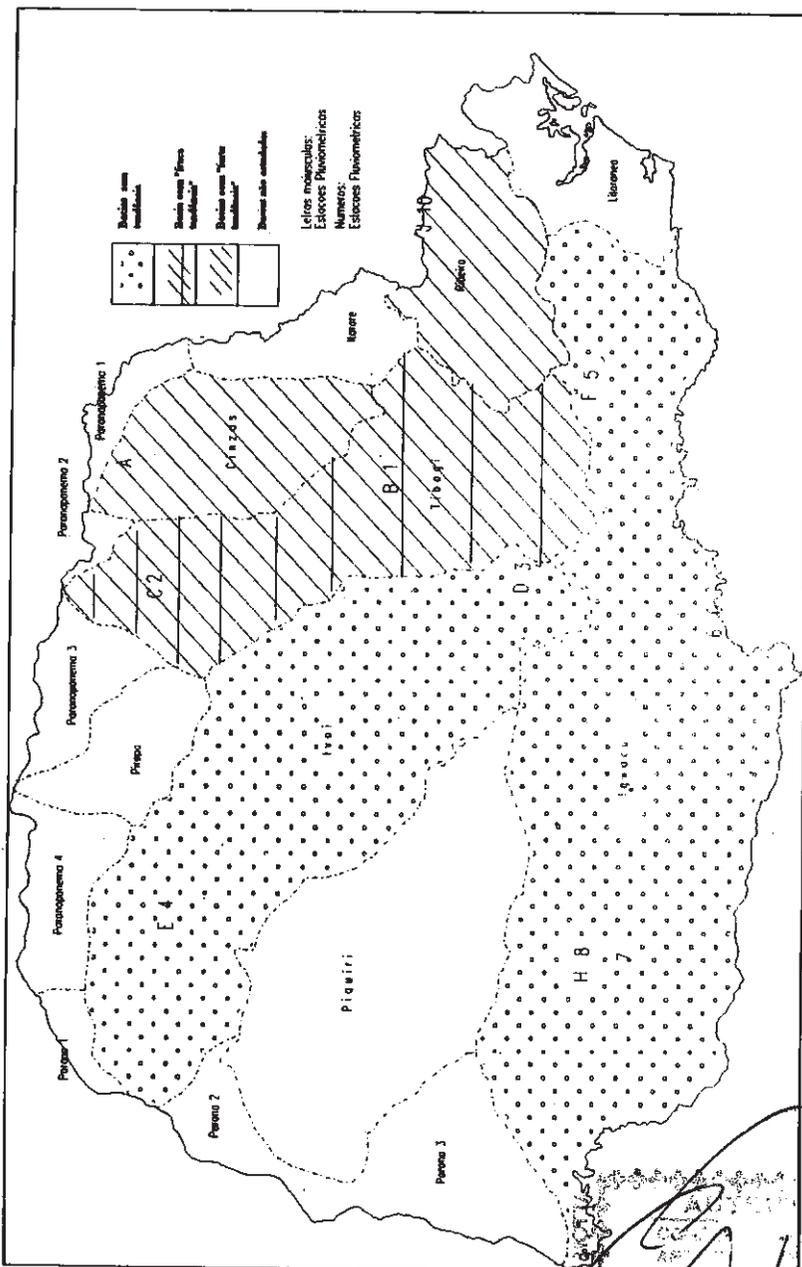


Figura 3 - Estado do Paraná: estações estudadas, bacias hidrográficas com e sem tendência

## INTRODUÇÃO

De há muito que a questão da influência da urbanização sobre o clima foi levantada, havendo estudos sobre regiões específicas que mostram alterações significativas.

De modo geral, as análises se concentram no regime de chuvas intensas, como entre outros o trabalho de KEIM e MULLER (1992), mas pouco se tem analisado sobre o efeito da urbanização sobre durações maiores, como o ano. Por outro lado, estudos recentes como o de CHANG et al(1992) tem demonstrado uma preocupação a respeito do efeito da atuação do homem sobre o clima, de uma maneira geral, não restrita à urbanização.

Examinando-se a pluviometria na região urbana da Grande São Paulo, verifica-se que nos últimos 20 anos, após seu grande crescimento, os totais anuais tem-se mostrado maiores do que anteriormente. Como essa região, que chamaremos apenas de cidade, se situa entre as maiores aglomerações existentes no planeta, com altos níveis de atividade industrial, vem a tona o interesse sobre a evolução temporal das chuvas que sobre ela caem.

O objetivo deste trabalho é a pesquisa de eventuais alterações no regime de chuvas na cidade de São Paulo, em termos de totais anuais, ou seja, de volume anual precipitado.

## METODOLOGIA E CRITÉRIOS

Tomou-se como base as chuvas em postos situados nessa região antes e depois da urbanização, tendo como referência postos situados fora dela, numa região que a envolve.

Utilizou-se os testes de Spearman de correlação ordinal, teste F de estabilidade da variância e teste t de estabilidade da média, comumente usados. De acordo com estudo de HERNANDEZ (1987), para análise prévia de qualidade das séries utilizou-se a metodologia das duplo acumuladas, conforme variante apresentada por DAHMEN e HALL (1990). Como nível de significância dos testes, adotou-se 5%, ou seja 2,5% em cada extremo da região crítica.

## AMOSTRAGEM PLUVIOMÉTRICA

Os estudos urbanísticos indicam que o grande crescimento da urbanização de São Paulo, que ocupa uma área da ordem de 1100km<sup>2</sup>, se deu a partir de 1960, e se estendeu até fins da década de 70, não havendo depois grandes alterações.

Quanto à disponibilidade de dados, verifica-se que a partir de 1940 e até 1993, pode-se contar com uma rede de 68 postos, já excluídos os de má qualidade, cobrindo uma área da ordem de 23000km<sup>2</sup>, amostra esta que pode ser considerada satisfatória. As falhas foram preenchidas ao nível mensal, a partir dos postos mais próximos daquele com dado falho. Para uma melhor análise, os postos foram agrupados em cinco conjuntos: 14 postos na cidade, 14 ao norte, 13 a oeste, 14 ao sul e 13 a leste da cidade.

Quanto ao período, ele foi subdividido em três sub-períodos, cada um de 18 anos: período 1: 1940-57, representando as condições anteriores à grande escalada de urbanização; período 2: 1958-75, representando a fase de transição e período 3: 1976-93, para a fase pós-urbanização.

12 JUN 1998