

## XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

### **VARIABILIDADE INTRA E INTER-ANUAL DA PRECIPITAÇÃO E SEUS EFEITOS NA REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL – A BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL, SUDESTE DO BRASIL**

*Silvio Jorge C. Simões<sup>1</sup>*

**RESUMO** – O rio Paraíba do Sul possui grande importância econômica e ambiental e constitui um grande corredor que ligar as cidades do Rio de Janeiro e São Paulo. Dados mensais e diários de precipitação, vazão e de temperatura foram analisados neste trabalho. Os resultados mostram que os registros de precipitação não mostram qualquer tendência desde os anos 60. Ao contrário, a análise dos padrões sazonais mostra que, no período 1960 a 2000 as precipitações têm aumentado durante o outono e o inverno e decrescido durante a primavera e o verão. Comparação entre precipitação e vazão mostra uma redução mais pronunciada na vazão. Variabilidade climática poderia estar reduzindo disponibilidade hídrica especialmente nos meses mais secos. Para reduzir as incertezas na previsão hidrológica, planejadores necessitam incorporar a variabilidade climática, em escala de bacia, com o objetivo de se adaptar as novas condições provenientes destas mudanças.

**ABSTRACT**– Paraíba do Sul River is of great economic and environmental importance and also constitutes a major corridor connecting the two cities of Sao Paulo and Rio de Janeiro. Monthly and daily records for rainfall, streamflow and temperature were analyzed in this work. Rainfall records do not show any significance trend since the 1960s. By contrast, analysis of seasonal patterns show that in the period 1960 - 2000, rainfall has increased during autumn and winter (dry season) and decreased during spring and summer (rainy season). Comparison between rainfall and streamflow shows a more pronounced deficit in streamflow when compared with rainfall. Climate variability could be reducing water availability especially in the driest months. To reduce the uncertainties in hydrological predictions, planners need to incorporate climatic variability, at the catchment scale, in order to accommodate the new conditions from these changes.

**Palavras-Chave** – Variabilidade climática, redução de vazão, Paraíba do Sul

#### **INTRODUÇÃO**

A motivação para este estudo foi no sentido de investigar a variabilidade temporal das respostas precipitação – escoamento em resposta aos processos físicos que ligam a atmosfera (clima) com a parte terrestre (regime hidrológico) e, portanto, procurar explicar as mudanças na disponibilidade dos recursos hídricos.

A maioria das regiões brasileiras poderia ser grandemente afetada pelas mudanças climáticas, pois apresentam alta variabilidade intra-anual e elevado contraste sazonal dos padrões de precipitação. Apesar dos impactos sócio-econômicos significativos que estas mudanças poderiam

---

1) Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, UNESP, Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Guaratinguetá, 12-9106-0702, simoes@feg.unesp.br |

ocasionar poucos estudos detalhados existem, em escala regional, dos efeitos da variabilidade climática sobre os recursos hídricos.

Portanto, este trabalho procura contribuir nesta discussão considerando que estimativas quantitativas de mudanças em longo prazo tais como precipitação, vazão e temperatura e seus processos de retro-alimentação são necessários para serem incorporados no gerenciamento da água e nas decisões técnicas dos comitês de bacias hidrográficas.

## ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Paraíba do Sul (também conhecida como “Vale do Paraíba”), se constitui uma das mais importantes do país estando inserida nos três mais importantes estados da federação: São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Recentemente, esta bacia foi considerada como uma das quatro prioritárias pela Agência Nacional de Águas (ANA) juntamente com a bacia do rio São Francisco, bacia do rio Doce e bacia do Piracicaba / Capivari. A superfície da bacia possui cerca de 57000 km<sup>2</sup> correspondendo a pouco menos de 0,7% da área do país e 6% da superfície da região sudeste do Brasil. A porção da bacia que está sendo aqui estudada situa-se no Estado de São Paulo (Alto e Médio Vale do Paraíba do Sul) possuindo cerca de 15.300 km<sup>2</sup> (figura 1) correspondendo a 37,7% do total da área de contribuição da bacia.

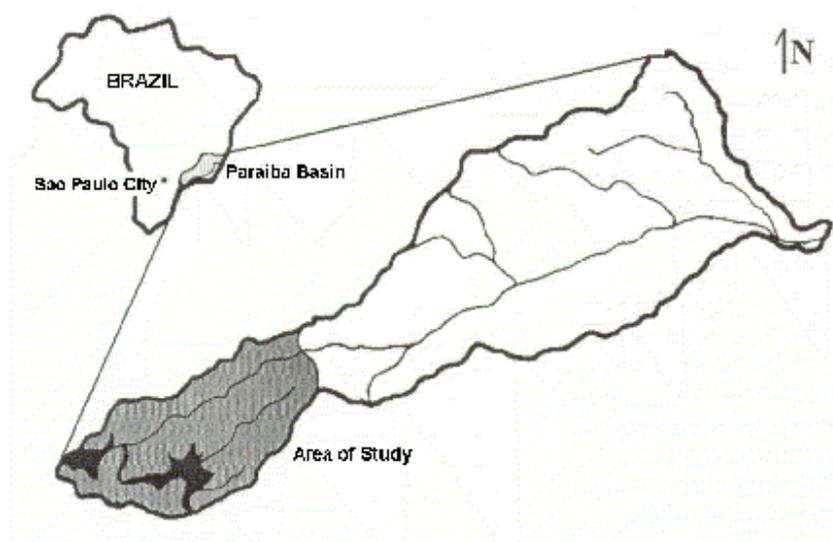


Figura 1 – Localização da área de estudo

A bacia do Paraíba do Sul é caracterizada por uma grande diversidade geológica, geomorfológica e pedológica. A variação altimétrica na bacia situa-se entre 400m e 2400 m. Na sua porção paulista possui uma extensa planície aluvionar que chega a alcançar cerca de 6 km de

largura. Desde os anos 50, parte do curso d'água foi retificado e canalizado além de terem sido construídos “polders” para a proteção de áreas agricultáveis com arroz irrigado.

No interior da bacia a paisagem é formada por um complexo mosaico constituído de pastagem (53,4%), fragmentos de mata natural e capoeira (30,7%), reflorestamento (5%), agricultura (1,4%), áreas urbanas (2,9%) e outras formas de uso (5,2%) (CEIVAP, 2000). Em termos quantitativos, a irrigação é o uso mais relevante quando comparado com outros usos (industrial e doméstico) conforme se vê na tabela 1.

Tabela 1 – Vazões média e mínima e os principais usos de água superficial na bacia (Estado de São Paulo, 2000).

Vazões e usos de água (m <sup>3</sup> /s)	Paraíba do Sul
Vazões médias	217,0
Vazões mínimas	72,0
Irrigação	10,42
Indústria	6,50
Doméstico	3,35

Entretanto, as áreas de irrigação estão sendo reduzidas devido ao avanço da urbanização sobre as planícies aluvionares e do elevado crescimento demográfico na região. A população na região do Vale do Paraíba aumentou 300% nos últimos trinta anos, de aproximadamente 518.000 para 1.690.000 habitantes (IBGE, 2001). As cidades continuam a se expandir próximas, e no interior, das planícies aluvionares contribuindo para a eliminação dos ecossistemas de áreas úmidas.

## MÉTODOS E DESCRIÇÃO DOS DADOS

Os dados hidro-climatológicos para este estudo incluem uma extensa rede de 107 estações pluviométricas instaladas em uma grande variedade de altitudes (450 m a 1700 m) e uma rede de 22 estações fluviométricas. Algumas das estações pluviométricas estão em atividade desde os anos 40 do século XX e as estações fluviométricas desde os anos 50. Infelizmente, não existem muitos dados disponíveis de temperatura; o mais longo registro foi obtido a partir do Centro de Meteorologia da Aeronáutica para o período 1981-2000.

Para uma análise mais detalhada, foram considerados três critérios para a escolha das estações: a) estações ativadas possuindo, no mínimo, trinta anos de dados contínuos; b) menos que 5% de dados faltosos; e c) análise de confiabilidade dos dados. Considerando estes critérios foram selecionados 29 estações pluviométricas e 5 estações fluviométricas.

Para a análise das vazões, foram selecionadas bacias de afluentes cuja interferência antrópica seja pouco significativa e sem os efeitos provocados pela regularização das vazões por parte de

reservatórios. Assumiu-se, que as atividades humanas nestas bacias não tenham sido suficientemente modificadoras das condições hidrológicas locais e possam ser consideradas representativas dos processos hidrológicos dominantes.

Dados diários e mensais de precipitação foram analisados com respeito ao número de dias com precipitação superior a 6,35 mm, o qual é considerado um valor significativo do ponto de vista hidrológico. Os números de dias foram ajustados em um modelo de regressão linear testado com um nível de significância de 95%. Uma análise com base nos desvios cumulativos normalizados foi usada para comparar a flutuação dos dados diários e mensais de precipitação e vazão no período 1959-1996. Em relação aos dados de temperatura, um modelo linear de temperaturas diárias e mensais foi também utilizado para detectar possíveis tendências.

As análises foram realizadas considerando séries temporais completas e séries temporais sazonais. Dezembro–janeiro–fevereiro (DJF) representam os meses de verão, o período mais chuvoso; março–abril–maio (MAM) são os meses de outono e recebem significativa precipitação; junho–julho–agosto (JJA) representam os meses mais secos; setembro-outubro-novembro (SON) são os meses da primavera e correspondem ao início do período chuvoso.

## RESULTADOS

Como já mencionado anteriormente, estudos prévios documentaram o caráter bi-modal dos ciclos anuais de precipitação no sudeste brasileiro com alternâncias de estações secas e úmidas. No Vale do Paraíba a média anual de precipitação é da ordem de 1.400 mm, mas exibe uma grande variabilidade compreendida entre 900 e 2100 mm/ano. Anos secos típicos apresentam valores entre 800 e 1.100 mm e anos típicos chuvosos possuem variabilidade entre 1.300 e 2.000 mm. Secas mais severas ocorreram em 1943/1944, 1953-1957, 1963, 1968, 1984, 1997 e 2001. Anos mais chuvosos ocorreram em 1947, 1976, 1983 e 2000.

No tocante as tendências da precipitação anual, Barros *et al.* (2001), encontraram um aumento geral na porção sul da América do Sul (Argentina, Paraguai e Sul do Brasil) especialmente desde os anos 1950. Ao contrário, Marengo (1995) não encontrou tendências nos padrões de precipitação no Sudeste do Brasil.

Na análise desenvolvida neste trabalho os registros de dados diários não apontam tendências nem na direção de anos mais secos nem na direção de anos mais chuvosos. Ou seja, não há mudanças nos padrões de chuva quando se consideram escalas inter-anuais. Similarmente, o número de dias chuvosos não parece mostrar aumento no mesmo período.

Porém quando se observam os dados em escalas de tempo mais curtas (intra-anual) se observam mudanças significativamente importantes. Análise do número de dias no qual a chuva ocorre é mostrado na figura 2. O período MAM é o único período onde a maioria das estações

aponta tendências significantes; ou seja, na direção de mais dias de chuva. Os meses de verão, DJF, possuem mais dias decrescendo em número de dias chuvosos do que aumentando; o mesmo ocorre com os meses de primavera, SON.

O aspecto mais significativo que se pode observar da figura 2 é que ela aponta para uma tendência positiva na direção de mais dias de chuva durante o outono e para menos dias chuvosos durante a primavera e o verão.

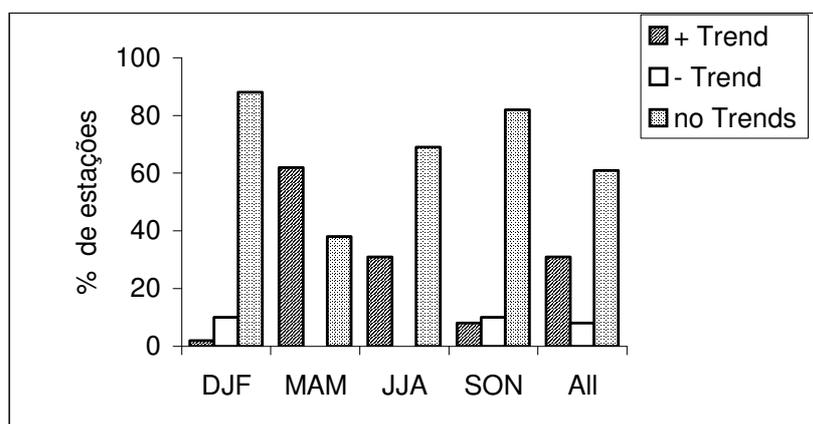


Figura 2 – Número de estações que apresentam tendências significantes no número de dias entre 1959 e 1996 para um total de 29 estações selecionadas

Dados acumulados de chuva também foram analisados para os diferentes períodos sazonais. Para os meses de verão (DJF), as estações que mostram tendência significativa apontam na direção de menos chuvas. No outono (MAM), ao contrário, as estações que mostram tendências significantes apontam na direção de um aumento na chuva cumulativa. A relação entre a quantidade de chuva e o número de dias chuvosos indica um aumento da chuva no outono a qual é manifestada através de chuvas de baixas intensidades antes que chuvas de mais alta intensidade e de curta duração.

Os dados de registros de vazão também apontam uma grande variabilidade intra-anual. Isto é ilustrado aqui examinando os registros de chuva e vazão de uma das bacias de afluente do rio Paraíba do Sul (ribeirão Pinhão). A análise dos desvios cumulativos normalizados mostra uma anomalia mais pronunciada e persistente nos dados de vazão do que nos dados de precipitação nos últimos 40 anos (figura 3). Esta assimetria entre precipitação e vazão é decorrência da armazenagem da água no solo e do papel da evapotranspiração.

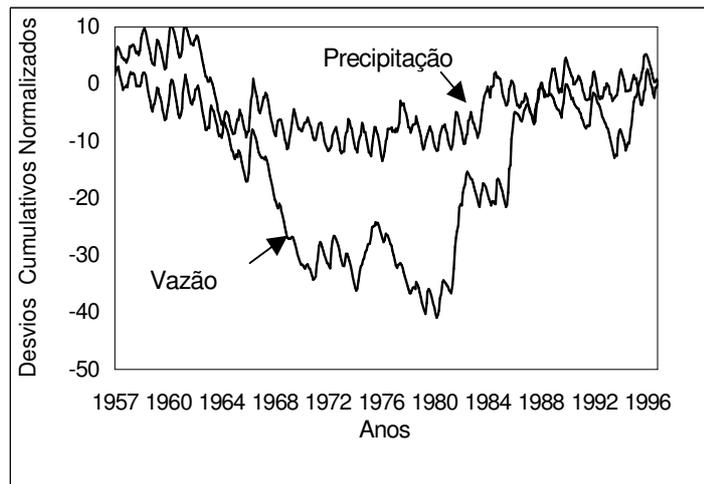


Figura 3 – Comparação de precipitação e vazão (bacia do Pinhão, 1957-1996).

Apesar do limitado tamanho dos registros mensais e diários de temperatura (20 anos), tendências positivas foram encontradas para todas as estações ainda que o aumento foi ligeiramente mais pronunciado nos períodos JJA e DJF. A figura 4 mostra, para dados anuais, uma tendência positiva em torno de  $0,07^{\circ}\text{C}$ . Estes resultados corroboram com aqueles encontrados para a América do Sul e outros continentes a partir dos anos 80 (Jenkins *et al.*, 2002; Marengo, 2002).

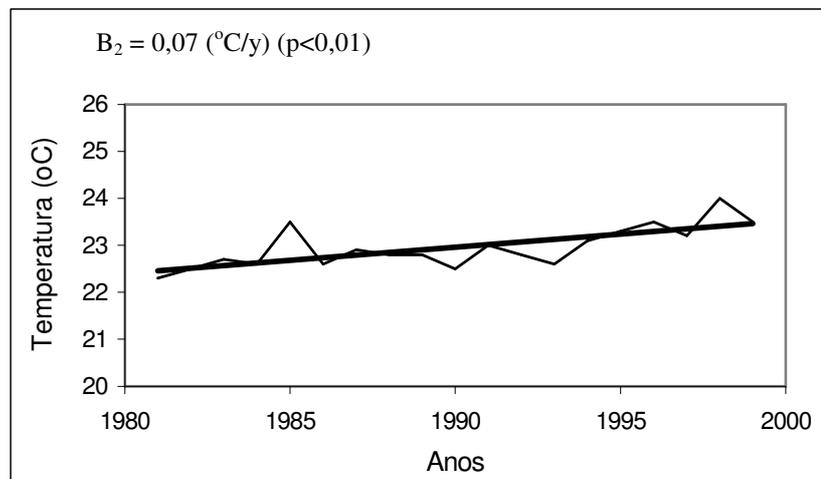


Figura 4 – Tendência positiva da temperatura (dados anuais). Período 1981-2000.

Esta situação pode ser considerada consistente com o papel da evapotranspiração e da umidade do solo no balanço hídrico. Durante a estação chuvosa, quando o solo está saturado, a produção de runoff é determinada pela diferença entre precipitação e evapotranspiração (P-E). Durante a estação seca, a precipitação é armazenada nas porções superiores do solo e reciclada de volta para a atmosfera por evapotranspiração sem gerar runoff. Por outro lado, o aumento de temperatura conduziu a um aumento na fração de evaporação (E/P) com um decréscimo dentro da produção de runoff.

## CONCLUSÕES

A análise dos registros mensais e diários de precipitação na bacia do Rio Paraíba do Sul não mostram tendências nem na direção de condições mais chuvosas nem de condições mais secas. Entretanto, a análise dos padrões sazonais mostra que, no período 1959-1996, a precipitação tem decrescido durante a estação chuvosa (DJF) e a primavera (SON) e aumentado durante o outono (MAM), e de forma menos pronunciada, no inverno (JJA). A análise dos dados de temperatura mostra tendências positivas em todas as estações. O impacto do aumento da precipitação em MMA e JJA é menor que o aumento da evapotranspiração potencial, decorrente do aumento de temperatura, conduzindo a solos mais secos quando começa a estação das chuvas na primavera. Se persistente, esta mudança no ciclo sazonal, poderia conduzir a um déficit das vazões em longos períodos de tempo.

Ainda que sutis, estas mudanças nos padrões de precipitação, acompanhados com o aumento da temperatura, podem ameaçar a sustentabilidade dos recursos hídricos e, portanto, comprometer a qualidade de vida e ambiental da região.

Os resultados apontam para a necessidade de se incluir a análise intra-anual e as mudanças de sazonalidade das chuvas na avaliação do ciclo hidrológico das bacias hidrográficas. No caso da bacia do rio Paraíba do Sul, o planejamento de longo prazo deve levar em consideração não apenas as questões relacionadas ao uso da terra mas, também, aquelas relacionadas a variabilidade climática no sentido de compreender as verdadeiras causas de possíveis reduções na disponibilidade hídrica dos rios da região.

## BIBLIOGRAFIA

- Barros, V.; Castaneda, M.E.; Doyle, M. (2001) *“Recent precipitation trends in Southern South America East of the Andes: An indication of climatic variability”*. In: P. Smolka & W. Wolkheimer (eds.) *Southern Hemisphere Paleo-and Neoclimates*. Berlin, Springer-Verlag.
- CEIVAP (2000) *“Projeto qualidade das águas e controle da poluição hídrica – PQA”*. ANEEL/SMA-SP/BIRD/PNUD (CD-ROM).

- Estado de São Paulo (2000) “*Relatório de situação dos recursos hídricos do Estado de São Paulo*”. 2000. (www.sigrh.sp.gov.br)
- Fujieda, M.; Kudoh, T.; de Cicco, V.; Carvalho, J.L. (1997) “*Hydrological processes at the subtropical forest catchments: the Serra do Mar, Sao Paulo, Brazil*”. Journal of Hydrology, 196: 26-46.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (2001) “*Censo demográfico brasileiro*”. (www.ibge.gov.br)
- Jenkins, G.S.; Adamon, G.; Fongang, S. (2002) “*Changes in West Africa*”. Climate Change, 52: 263-286.
- Marengo, J.A. (2002) “*Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual no Brasil e projeções de cenários climáticos no futuro*”. Revista Brasileira Meteorologia, 17 (2): 181-194.
- Marengo, J.A. (1995) “*Variations and change in South America streamflow*”. Climate Change, 31, 99-117.