

## PRECIPITAÇÃO E VAZÃO MENSAL NA AMAZÔNIA

Leila Limberger.

Aluna de doutorado, Geografia Física/FFLCH/USP, Bolsista DG/CNPq  
leilalimberger@usp.br

Maria Elisa Siqueira Silva.

Docente do curso de Geografia e da pós-graduação em Geografia Física/FFLCH/USP  
elisasiq@usp.br

### CLIMATOLOGIA: APORTES TEÓRICOS, METODOLÓGICOS E TÉCNICOS.

#### RESUMO:

A vazão vem sendo empregada como variável que responderia à variabilidade de precipitação, associada a anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), subsidiando estudos de teleconexões climáticas. Isso ocorre tendo em vista que os postos de vazão apresentam, na maioria das vezes, séries de dados mais longas e com menos falhas, além de representarem de forma mais abrangente a precipitação que ocorre em uma bacia hidrográfica. O objetivo desta pesquisa, no entanto, é saber o quanto as variáveis vazão e precipitação podem ser correlacionadas, estatisticamente. Para isso foram utilizadas séries históricas de dados de 5 postos de coleta na bacia amazônica, às quais aplicaram-se testes de correlação. Os resultados indicam que há uma correlação de média a forte para as menores bacias hidrográficas analisadas, e com correlações baixas, nulas e até negativas para as bacias hidrográficas maiores. Sugere-se, então, que em pesquisas que necessitem utilizar a vazão como uma resposta dos componentes climáticos esta associação seja feita considerando-se os componentes físicos e o tamanho da bacia, além do balanço hídrico; ou que a vazão seja utilizada como resposta generalizada de anomalias de TSM na bacia hidrográfica, porém sem associação estatística direta com a precipitação.

Palavras-chave: correlação linear, vazão, precipitação, bacia amazônica.

#### ABSTRACT:

The streamflow has been used as a variable that respond to precipitation variability associated with anomalies of sea surface temperature (SST), supporting studies of climatic teleconnections. This is in view that streamflow stations present, most often, the data series longer and with less failures, beyond representing more comprehensively the precipitation that occurs in a watershed. The objective of this research, however, is know how much streamflow and precipitation variables may be correlated statistically. For this we used time series data from five stations in the Amazon basin, to which we applied correlation tests. The results indicate that there is a strong to middle correlation for smaller watersheds analyzed, and correlations low, nulls or even negative for larger watersheds. It is suggested, therefore, that in research that require the use of streamflow as a climatic components response this association is made considering the physical components and size of the basin and water balance; or streamflow is used as a generalized response to SST anomalies in the watershed, but not with direct statistical association with precipitation.

Keywords: linear correlation, streamflow, rainfall, amazon basin.

#### Introdução

A análise estatística em Climatologia Geográfica é uma das principais ferramentas utilizadas para se obter informações de séries longas de dados. Mas é necessário e adequado o conhecimento sobre as técnicas estatísticas empregadas para que não se incorra em erros de aplicação ou interpretação.

A correlação é uma técnica estatística bastante utilizada em estudos da Climatologia, já que mostra como e quanto um conjunto de dados pode estar associado a outro(s). O coeficiente de

correlação "fornece uma medida padronizada de associação linear entre duas variáveis" (ROGERSON, 2012, p. 184).

Por outro lado, sabe-se da falta de informações meteorológicas consistentes, com séries grandes, sem muitas falhas, para que se possam realizar estudos climatológicos confiáveis estatisticamente. Por isso, muitas vezes se recorre à associação de dados análogos para que se consiga interpretar o comportamento climático de determinadas localidades, sendo que um dos principais exemplos dessa associação é a utilização dos dados de vazão dos rios como meio de interpretar a precipitação em uma bacia hidrográfica. Como a vazão relativa a uma bacia hidrográfica pode representar a somatória da chuva precipitada na área, pode, em tese, estar mais associada à variabilidade climática remota do que a precipitação. Ademais, os dados de vazão podem apresentar menos falhas e séries mais longas que os dados de precipitação. O uso das séries de vazão também é considerado já que se compreende a bacia hidrográfica como um sistema aberto, onde a água entra através da precipitação, interage com todos os componentes do sistema e sai pelo exutório.

Em estudos científicos a vazão tem sido associada à Temperatura da Superfície do Mar (TSM) já que dados de precipitação poderiam mascarar uma anomalia climática em uma bacia, pois podem representar uma anomalia local, o que não representaria o comportamento da bacia como um todo, enquanto que a vazão representaria o escoamento de água de forma generalizada. No entanto, sabe-se que o comportamento da água em uma bacia hidrográfica é bastante complexo, dependendo de uma série de fatores até que tenha sua saída do sistema. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar se é possível afirmar que a vazão pode ser compreendida como uma componente climática, resultado *linear* da precipitação, para subsidiar estudos de correlação entre vazão e TSM.

Para se compreender quanto a vazão está relacionada com a precipitação na região norte do Brasil serão desenvolvidos cálculos entre essas variáveis com as séries históricas de cinco estações meteorológicas, com o uso do software livre R.

#### Referencial teórico e conceitual

A vazão é tida como uma "resposta" à precipitação já que em uma bacia hidrográfica, como um sistema aberto, é considerada como a saída de matéria deste sistema. Mas é preciso considerar que a água que entra no sistema através da precipitação, passa por interceptação, infiltração, escoamento superficial, evapotranspiração, além de interferência antrópica; todos esses processos apresentam variações espaciais e temporais:

- a interceptação depende do tipo de uso de solo, da densidade da cobertura vegetal e da estação do ano;
- a infiltração depende da cobertura do solo, do tipo/profundidade do solo, do tipo de rocha, do balanço hídrico

- o escoamento superficial depende da declividade, da cobertura do solo, do tipo/profundidade do solo

- a evapotranspiração depende do balanço hídrico, da disponibilidade de umidade na atmosfera.

Para Chevalier (2001, p. 489), a boa compreensão do fluxo hídrico em uma bacia hidrográfica depende do relacionamento entre mapas ou informações topográficas, geológicas, pedológicas, de vegetação e uso do solo. De maneira geral, o tempo de concentração (tempo necessário para que toda a área de drenagem passe a contribuir para a vazão na seção estudada) depende da área da bacia, do comprimento e declividade do canal mais longo, da forma da bacia, da declividade média do terreno, da declividade e comprimento dos afluentes, da rugosidade do canal, do tipo de cobertura vegetal e da distância entre o fim do canal e o divisor de águas (PINTO, 1976, p. 140).

Como já apresentado na introdução, é muito comum, em Climatologia, utilizar-se do recurso de correlação linear entre vazão e TSM para se verificar como anomalias desta poderiam interferir na dinâmica hídrica de uma bacia hidrográfica. Trabalhos como os de Molion e Moraes (1987), Marengo (1992, 1995), Amarasekera et al. (1997), Marengo e Tomasella (1998), Guyot et al. (1998), Uvo et al. (2000), (todos citados por RONCHAIL et al. 2005, p. 21), além de Marengo et al. (1998), Garcia e Vargas (1998), Barros et al. (1999), Moraes et al. (1999), Hulme e Sheard (1999), Mechoso e Iribarren (1992), Genta, Iribarren e Mechoso (1998) (todos citados por SILVA, SANTOS, 2011), Silva, Silva e Gadelha (2011), Enfield, Mestas-Nuñez e Trimble (2001), Richey et al. (1989), Hamlet e Lettenmaier (1999), Foley et al. (2002) fizeram estudos de associação entre os valores de TSM e vazão. Nestes casos a vazão é compreendida como um resultado ou como uma componente climática, já que seria o reflexo de alterações na composição da atmosfera, desencadeados por uma forçante atmosférica, que é a anomalia de TSM, tal como o apresentado em estudos de teleconexão atmosférica.

Mas a vazão não é um componente climático, e sim a precipitação. Então, a vazão é considerada como uma componente climática indireta. Poucos estudos tem sido desenvolvidos sobre a relação entre a vazão e a precipitação, para se verificar a correlação estatística entre esses dois componentes de uma bacia hidrográfica.

Zilli (2008, p. 128-130), ao estudar alterações na TSM do Pacífico e do Atlântico e a produção de energia no Brasil, faz a correlação entre as componentes principais (não rotacionados e rotacionados) de vazão e precipitação, encontrando valores baixos e até negativos de correlação, conforme as Tabelas 1 e 2, a seguir:

	CP1PRI PREC	CP2PRI PREC
CP1PRI VAZ	0,24	0,64
CP2PRI VAZ	0,51	-0,32

As áreas sombreadas mais claras (escuras) apresentam correlação com nível de significância 0,1 (0,05).

Tabela 1 - Correlação linear obtida por Zilli (2008, p. 128) entre as componentes principais não-rotacionadas de vazão e precipitação de bacias hidrográficas brasileiras para a primavera.

	CPR1PRI PREC	CPR2PRI PREC
CPR1PRI_VAZ	0,58	0,16
CPR2PRI_VAZ	0,02	-0,72

As áreas sombreadas mais claras (escuras) apresentam correlação com nível de significância 0,1 (0,05).

Tabela 2 – Correlação linear obtida por Zilli (2008, p. 131) entre as componentes principais rotacionadas de vazão e precipitação de bacias hidrográficas brasileiras para a primavera.

Percebe-se nas Tabelas 1 e 2 valores baixos de correlação linear, até negativos no caso da correlação relativa à segunda componente CPR2PRI dos rios que correm para o Norte, já que a autora estuda rios da região centro-sul do Brasil. No modo não rotacionado (da Tabela 1), o maior valor de correlação ocorre entre o segundo modo de precipitação e o primeiro de vazão. No caso da análise de CP rotacionada, o maior valor de correlação ocorre entre os primeiros modos de vazão e precipitação. Nos seus estudos Zilli (2008, p. 130) afirma que "não está claro qual fator determina o modo das anomalias de vazão em decorrência das anomalias de precipitação". Afirma também que podem ocorrer "relações diretas significativas entre a chuva e a vazão na mesma estação, embora haja deslocamentos entre o padrão espacial do modo de precipitação e do modo de vazão, devido à propagação das anomalias de vazão em relação às anomalias de precipitação" (ZILLI, 2008, p. 139).

Twine e Foley (2005) analisaram os efeitos do El Niño no clima, balanço hídrico e vazão na bacia do rio Mississipi. Não encontraram sinal significativo de influência do El Niño-Oscilação Sul (ENSO, na sigla em inglês) na vazão de saída da bacia, mas encontraram anomalias significativas em todos os componentes do balanço hídrico em várias regiões na bacia; verificaram, portanto, que há alto grau de variabilidade na resposta hidrológica em cada fase do ENOS; no entanto, condições de superfície podem transmitir anomalias de precipitação ligadas a eventos ENOS.

É em virtude das questões levantadas por estes estudos que se desenvolveu a presente pesquisa.

#### Metodologia utilizada

Foram utilizados dados mensais de vazão e precipitação de rios da bacia amazônica, gerenciados pela Agência Nacional de Águas (ANA), disponibilizados no Hidroweb. A partir da elaboração do mapa de localização das estações, procedeu-se à análise de correlação linear entre vazão e precipitação utilizando-se o software R para cinco estações meteorológicas. A adoção destas estações visou verificar a correlação entre vazão e precipitação para as principais regiões climáticas da região amazônica, já apresentadas pela literatura. Procurou-se, também, neste estudo, utilizar estações de vazão e precipitação próximas geograficamente:

1) Posto 1: Cruzeiro do Sul, postos de coleta de vazão e precipitação localizados nas coordenadas de -7°37'59" e -72°39'42" e -7°36'40" e -72°40'52", respectivamente, ou seja, muito próximas, mas não são

estações coincidentes. Ficam localizadas nas margens do rio Juruá, no limite entre os estados do Acre e Amazonas, extremo oeste da bacia amazônica brasileira. Os dados de chuva e vazão cobrem o período de 01/01/1975 a 01/12/2007.

2) Posto 2: Vila Surumu, tem os postos de coleta de vazão e precipitação localizados na mesma coordenada,  $4^{\circ}11'46''$  e  $-60^{\circ}47'38''$ , o único ponto no hemisfério norte, na bacia do Alto Rio Branco. Os dados vão de 01/01/1984 a 01/12/2010.

3) Posto 3: Fontanilhas, limite sul da bacia amazônica, tem os pontos de coleta de vazão com as mesmas coordenadas, sendo  $-11^{\circ}20'30''$  e  $-58^{\circ}20'18''$ , já com características de clima tropical. O período de dados analisados para esta estação é de 1979 a 2010.

4) Posto 4: São Félix do Xingu, limite leste da bacia amazônica, com pontos de coletas de vazão e precipitação não coincidentes, sendo vazão observada nas coordenadas  $-6^{\circ}36'00''$  e  $-52^{\circ}03'00''$  e precipitação, nas coordenadas  $-6^{\circ}38'00''$  e  $-51^{\circ}58'00''$ . O período de coletas vai de 01/01/1976 a 01/12/1996.

5) Posto 5: Manacapuru, logo após a confluência dos rios Negro e Solimões, sendo que os postos de coleta de vazão e precipitação estão na mesma longitude,  $-60^{\circ}36'e34''$ , havendo diferença, porém, na latitude, já que o posto de precipitação fica um pouco distante do rio, sendo a estação de precipitação localizada na latitude de  $-3^{\circ}18'30''$  e a de vazão em  $-3^{\circ}18'38''$ . O período de coleta para este ponto é de 01/01/1973 a 01/12/2010.

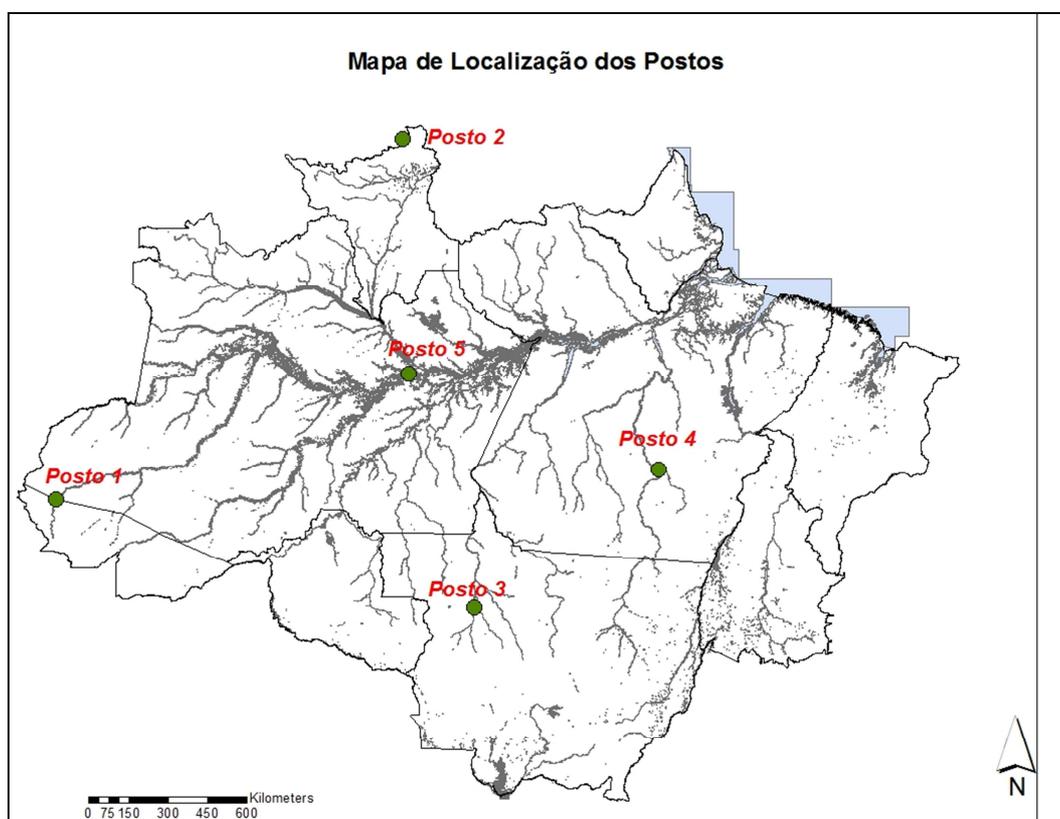
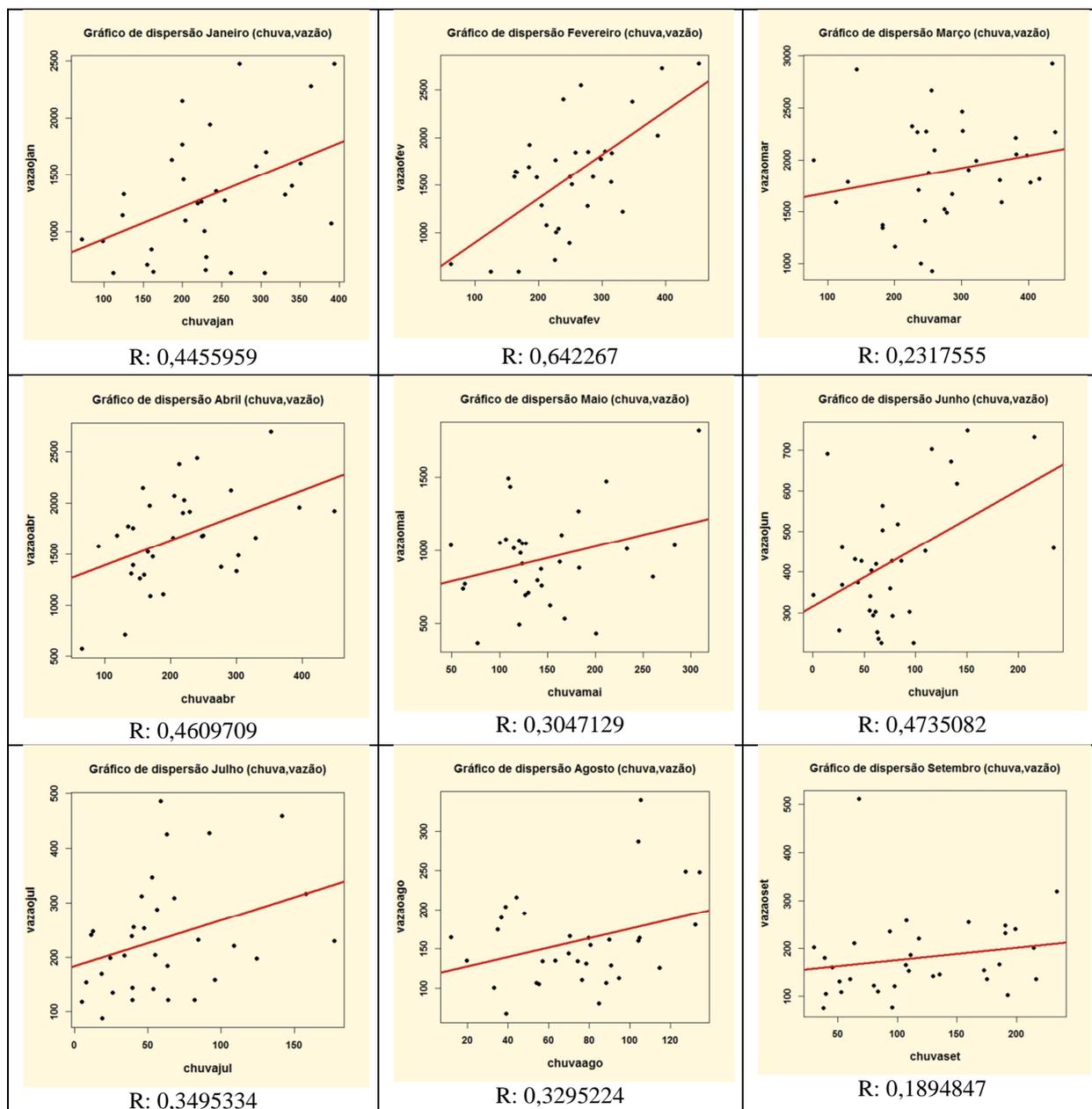


Figura 1 - Mapa de localização dos postos analisados.

Resultados alcançados

O primeiro posto a ser estudado foi o de Cruzeiro do Sul. A correlação para todo o período foi de 0,679. Mas fazendo uma análise mensal, observa-se correlação linear variável para os 12 meses do ano, obtida para a série temporal de 1975 a 2007 (Figura 2). Verifica-se que, em geral, a correlação linear entre os dados de vazão e precipitação é maior nos meses mais chuvosos na região (outubro a março).



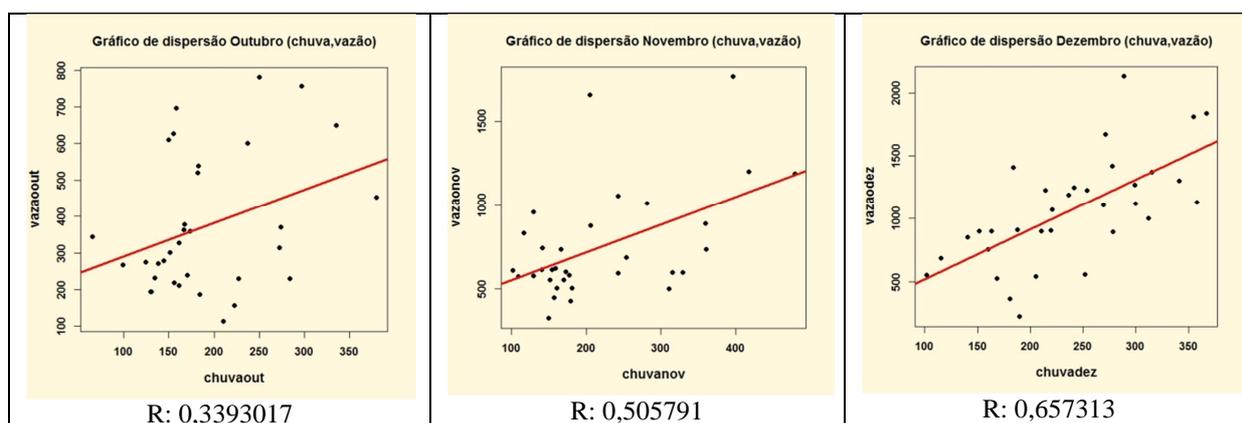


Figura 2 - Gráfico de dispersão para a correlação chuva e vazão para todos os meses, em Cruzeiro do sul, durante o período de 1975-2007.

Para confirmar a maior correlação para os meses chuvosos observa-se a Figura 3. Verifica-se que há uma tendência de valores maiores de correlação especialmente para os meses do início do período chuvoso. Os menores valores de correlação foram registrados nos meses de setembro e março, períodos de transição entre as estações de verão e inverno. Os maiores valores de correlação ocorreram nos meses de dezembro e fevereiro. No entanto, percebe-se que, de forma geral, a correlação mensal entre vazão e precipitação foi de média a baixa.

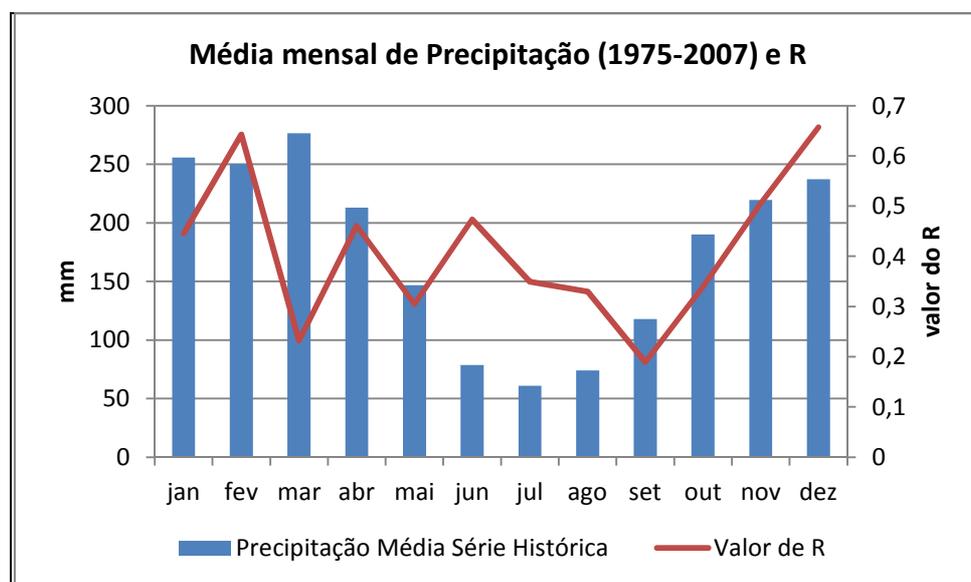


Figura 3 - Gráfico com precipitação média da série histórica (1975 - 2007) e os valores de R para cada mês da série histórica.

Analisando a Figura 4, percebe-se que o ciclo anual médio (1975-2007) da vazão e precipitação mostra que aquela demora mais para atingir o máximo na época chuvosa, depois do período seco. É provável que se tenha que considerar outras componentes do balanço hídrico para a composição da vazão com base na precipitação, tal como a evapotranspiração. De qualquer forma,

verifica-se certa homogeneidade do comportamento sazonal entre a vazão e a precipitação para o período chuvoso, entre outubro e abril.

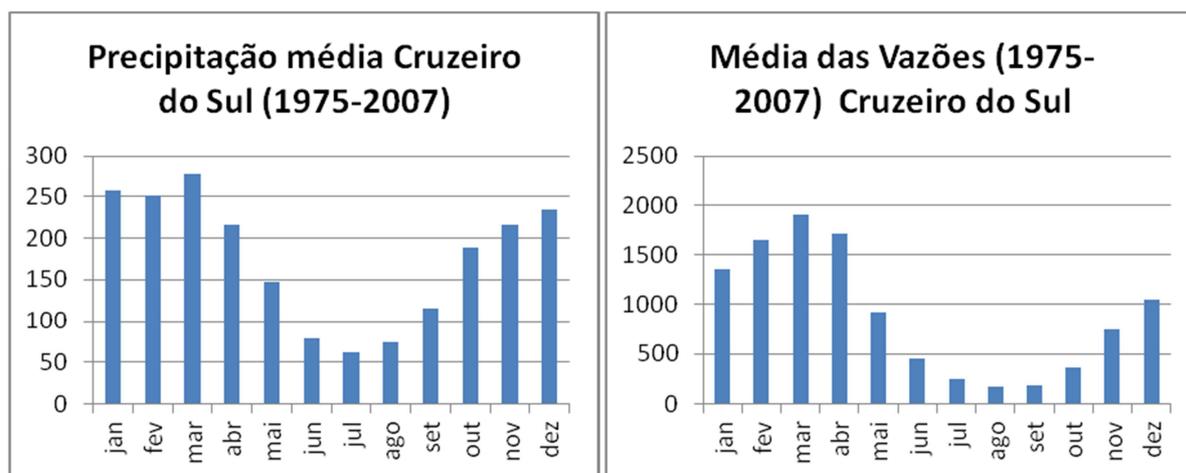


Figura 4 - Média da série histórica para precipitação e vazão para Cruzeiro do Sul para a série histórica.

Os resultados para os postos de Vila Surumu, que fica no alto Rio Branco, com uma vazão baixa, uma bacia de pequenas dimensões, e estação de vazão e precipitação com as mesmas coordenadas, mostram um valor relativamente alto para a correlação para todo o período: 0,794. O período analisado é de 1984 a 2010. Já para os cálculos específicos para o período chuvoso (mês de julho, para esta localidade), a correlação é 0,531 e para o período seco (fevereiro) a correlação é de 0,479. Percebe-se que, como no caso da estação de Cruzeiro do Sul, correlação para meses específicos revelam mais as diferenças de valores entre vazão e chuva, e que para toda a série histórica a correlação é maior. Esses valores também concordam com a tendência encontrada na estação analisada anteriormente no sentido de ter valor de correlação maior para o período chuvoso do que para o período seco.

A correlação para o Posto 3, Fontanilhas, ocorreu para o período de 1979-2007 foi de 0,579. A média de vazão de Fontanilhas é de 1467,86 m<sup>3</sup>/s enquanto que Vila Surumu é de 73,52 m<sup>3</sup>/s, sendo que pode-se afirmar que quanto maior a bacia hidrográfica analisada, maior a área de captação de precipitação, menor a correlação entre os dados de vazão e precipitação. Também é possível afirmar que como Fontanilhas está em uma faixa de transição do clima equatorial para o tropical, a variabilidade de precipitação tende a ser maior.

Já para o Posto 4, São Félix do Xingu, onde a média de vazão é 4888,26 m<sup>3</sup>/s e o clima tende para o tropical, a correlação entre precipitação e vazão para o período de 01/01/1976 a 01/12/1996 é de 0,561.

Para Manacapuru, o posto com maior média de vazão, de 103.069 m<sup>3</sup>/s, estando localizada no próprio rio Amazonas e período analisado de 01/01/1973 a 01/12/2010, o resultado da correlação linear é de -0,110. Esta correlação negativa baixa é explicada devido ao posto de Manacapuru receber

a vazão de grande parte da bacia amazônica, com uma área de drenagem continental, e a chuva do posto de coleta utilizada para o cálculo de correlação é registrada pontualmente.

Os mesmos testes mensais para períodos secos e chuvosos que foram aplicados para as estações de Cruzeiro do Sul e Vila Surumu também foram desenvolvidos para as outras estações, no entanto não apresentados, devido à brevidade do trabalho. Indicaram, porém, as mesmas tendências de menor correlação do que a série completa, como no caso das estações aqui apresentadas.

Os dados desta pesquisa, resultados de testes simples, podem dar ideia da complexidade que é trabalhar com a relação vazão/precipitação. Percebeu-se que quanto maior é a bacia hidrográfica analisada, menor é a correlação da vazão com a precipitação, já que se amplificam os elementos que definem a vazão e, também, porque a chuva registrada no posto contíguo ao da vazão é muito pontual.

Cabe ressaltar que é necessário conhecer bastante o conjunto de dados e a dinâmica climática e geográfica da região em estudo para adequar o método estatístico.

## Conclusões

A partir da aplicação do teste de correlação para as variáveis vazão e precipitação para cinco postos de coleta na bacia amazônica percebeu-se que há grande variação nos resultados, sendo que as vazões de rios das bacias hidrográficas menores apresentaram maior correlação com a precipitação enquanto que para rios de grandes bacias apresentaram-se baixas e até negativa correlação entre as variáveis.

Estes resultados permitem afirmar-se que quando se utiliza a vazão como um resultado direto da precipitação para estudos climáticos, é necessário tomar o devido cuidado e avaliar as condições geográficas do posto analisado, da bacia hidrográfica, das condições de cobertura vegetal e balanço hídrico, principalmente.

Em Climatologia a vazão vem sendo utilizada, por vários autores, por exemplo, para analisar a correlação com a TSM, para verificar a ocorrência teleconexões entre ambas. Quando se trata de uma grande área de análise recomenda-se, a partir dos resultados desta pesquisa, a utilização de outros testes estatísticos, além da correlação, para que se possa ter maior confiabilidade nos resultados. Sugestiona-se também a não utilização da vazão como resposta direta da precipitação, com possibilidade de ser alterada por anomalias de TSM, mas que trabalhos nessa linha analisem a vazão como uma resposta regional a alterações de TSM, tendo em vista que a associação direta vazão-precipitação apresenta-se de forma complexa. Ou seja, ou utiliza-se relação TSM-vazão ou TSM-chuva, e adota-se métodos estatísticos apropriados para cada tipo de dado.

Os resultados apresentados valem somente para os dados fornecidos pela ANA. Novos estudos são necessários para verificar como se dá a correlação com os dados disponibilizados pelo CPTEC e pela NOAA, que por terem outras formas de registro e armazenamento podem apresentar resultados diferenciados dos aqui apresentados.

## Referências bibliográficas

- CHEVALIER, P. Aquisição e processamento de dados. In: TUCCI, C.E.M. (org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2a. ed. Porto Alegre: ABRH, 2001, p. 485-525.
- ENFIELD, B. D. et al. The Atlantic Multidecadal oscillation and its relationship to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophysical Research Letters*, 2001.
- FOLEY, J.A. et al. E Niño - Southern Oscillation and the climate, ecosystems and rivers of Amazonia. *Global biogeochemical cycles*. Vol. 16, n. 4, p. 79/1-79/17, 2002.
- HAMLET, A.F.; LETTENMAIER, D.P. Columbia river streamflow forecasting based on ENSO and PDO climate signals. *Journal of water resources planning and management*. Vol. 125, n.6, p. 333-341, nov/dec 1999.
- PINTO, N.L.S.(org.) *Hidrologia Básica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.
- RICHEY, J. et al. Amazon river discharge and climate variability: 1903-1985. *Science*, New Series, vol. 246, n. 4926, p. 101-103, oct./1989.
- ROGERSON, P.A. *Métodos estatísticos para Geografia: um guia para o estudante*. 3ªed. São Paulo: Bookman, 2012.
- RONCHAIL, J. et al. Discharge variability in within the Amazon Basin. In: FRANKS, S. et al. (ed.) *Regional Hydrological Impacts of Climate Change - Hydroclimatic variability*. Oxfordshire: IAHS, 2005, p. 21-29.
- SILVA, M.E.S; SANTOS, K. Variabilidade climática da vazão do rio taquara no nordeste do Brasil e a temperatura da superfície do mar. Disponível em <[sic2011.com/sic/arq/62491805376056249180537.pdf](http://sic2011.com/sic/arq/62491805376056249180537.pdf)>. Acesso em 14 ago. 2012.
- SILVA, M.E.S; SILVA, C.B e GADELHA, S.M. Climatic variability between north brazilian rivers and sea surface temperature. *Anais da UGI*. Conferencia Geográfica Regional. Santiago/Chile, 2011.
- TUCCI, C.E.M. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. (org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2a. ed. Porto Alegre: ABRH, 2001, p. 35-51
- TWINE, T.E.; FOLEY, J.A. Effects of El Niño-Southern Oscillation on the Climate, Water Balance, and streamflow of the Mississippi River Basin. *Journal of Climate*. Vol. 18, p. 4840-4861, nov./2005.
- ZILLI, M.T. *Variabilidade interanual da precipitação de primavera e verão na América do Sul, suas interconexões e seu impacto nos principais aproveitamentos hidrelétricos brasileiros*. 2008. 212f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Engenharia de Recursos Hídricos, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Setor de Tecnologia da UFPR, Curitiba.