



ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO E DA VAZÃO NA BACIA DO RIO UNA, ESTADO DE PERNAMBUCO

*José Guimarães de Carvalho Neto¹; Richarde Marques da Silva² &
Suzana Maria Gico Lima Montenegro³*

RESUMO – Visando contribuir com estudos sobre variabilidade da chuva foi analisada a tendência da precipitação entre 2004 e 2008, na Bacia do Rio Una, localizada no Estado de Pernambuco. Foram utilizadas técnicas de estatística básica nas análises da variabilidade espacial e temporal da precipitação e da vazão nessa bacia. Constatou-se neste trabalho que nos totais pluviométricos anuais e mensais e nas médias mensais de vazão foram significativas. O estudo em escala mensal mostra a ocorrência de maior pico de precipitação entre os meses de março e julho, quando ocorrem 68% da precipitação anual, e que os meses secos na sua grande maioria possuem totais pluviométricos significativos para o período. Na escala anual os resultados mostraram uma diminuição significativa das chuvas da ordem de -20% em relação à média histórica. Sobre a variabilidade espacial constatou-se que a precipitação decresce no sentido leste-oeste. Os períodos com menor volume pluviométrico possuem os maiores coeficientes de variação, ou seja, há maior heterogeneidade na distribuição da precipitação nos anos menos chuvosos e no período úmido.

ABSTRACT – This work analyzed the rainfall between 2004 and 2008 within Una River Basin, located in Pernambuco State, aiming to contribute with studies about rainfall variability. Basic statistics was used for the analysis of temporal and spatial rainfall variability. The results showed that spatial variability was significant for the total annual and daily. The study shows the occurrence of major peak of rainfall between the months of March and July, when it occurs 68% of annual precipitation, and that even in the dry months significant rainfall events occurred. About rainfall spatial variability, it was verified that it decreases at the direction east-west. Periods that present lower rainfall amounts have higher values of coefficient of variation, i.e., there is higher variability of rainfall distribution in the years which have lower totals, and in the winter.

Palavras-Chave – SIG, modelagem, precipitação, vazão

¹ Bolsista CNPq e Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFPE, Recife-PE. E-mail: ze.ambiental@gmail.com

² Professor Adjunto do Departamento de Geociências – UFPB, João Pessoa-PB. E-mail: richarde@geociencias.ufpb.br

³ Professora Associada do Departamento de Engenharia Civil – UFPE, Recife-PE. E-mail: suzanam@ufpe.br

INTRODUÇÃO

A precipitação é um importante componente do ciclo hidrológico, sendo entendida, no campo da hidrologia, como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre (Tucci, 2009). Desta maneira diferenciam-se as forma de precipitação pelo estado que a água se encontra: neblina, chuva, neve e outras. Este dinamismo da água, entre atmosfera e o solo, apresenta, aparentemente, um aspecto quantitativo para cada local no globo, mas sua distribuição, durante o ciclo anual, é irregular em todo o planeta (Lira et al., 2006).

Diante das questões que envolvem mudanças climáticas, o estudo da precipitação tem sido um desafio. Alguns estudos já apontam influência direta entre o aquecimento global e a mudanças no padrão de precipitação, no tocante a frequência de eventos extremos (Trenberth, 2005; Guhathakurta *et al.*, 2011). Consideram-se eventos extremos as cheias e as secas. As cheias estão associadas com eventos de chuva de grande magnitude, enquanto que as secas caracterizam-se pelo período com ausência de chuvas e altas temperaturas (Trenberth, 2005). Neste âmbito, temos o clima do Nordeste brasileiro, que apresenta uma grande irregularidade espacial e temporal da precipitação, como também pelo alto potencial para evaporação da água em função da enorme disponibilidade de energia solar e altas temperaturas durante todo o ano (Silva *et al.*, 2010). Com isto, o nordeste brasileiro é considerado como uma região anômala no que se refere à distribuição espacial e temporal da precipitação ao longo do ano (Souza *et al.*, 1998), enaltecendo a importância de estudos no tocante a distribuição de precipitação.

Estudar a variabilidade da precipitação é atualmente um desafio na área de recursos hídricos, sobretudo devido à grande relevância sobre as implicações da disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas, principalmente aquelas localizadas em áreas semiáridas ou de transição, como é o caso da Bacia do Rio Una. Neste ponto evidencia-se a problemática da qualidade dos dados obtidos pelos pluviômetros, onde é possível encontrar diversos erros. Tucci (2009) aponta alguns destes erros: preenchimento errado do valor na caderneta de campo; valor estimado pelo observador, por não se encontrar no dia da amostragem; danificação do aparelho, além da soma errada do número de provetas, quando a precipitação é alta, e outras. Sendo assim, a precipitação, sob a forma de chuva, é a principal fonte de entrada diante do sistema de uma bacia hidrográfica, a sua precisão está atrelada a confiabilidade da estimativa dos demais processos hidrológicos que ocorrem na bacia.

Dito isto, a importância da confiabilidade dos dados de precipitação na aplicação de estudos no tocante a uma bacia hidrográfica, é de grande importância. Quanto a aplicação de modelos hidrológicos, os dados de precipitação respondem como o principal dado de entrada que proverá estimativas para todos os demais processos hidrológicos, e mesmo sedimentológicos. Com isto faz-

se necessário uma análise dos dados das estações pluviométricas de modo a selecionar os postos a serem utilizados no processo de simulação. Assim, esse estudo tem como objetivo analisar a distribuição espaço-temporal e a correlação entre os dados de chuva e vazão na bacia do Rio Una, Estado de Pernambuco, de modo a vislumbrar quais estações deverão ser utilizados de modo a aprimorar futuros trabalhos de simulação hidrológica.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A bacia do Rio Una possui uma área de 6.704 km² e está localizada na porção sul do Estado de Pernambuco, entre as latitudes sul 8° 17' 14" e 8° 55' 28" e entre as longitudes oeste 35° 07' 48" e 36° 42' 10". Essa bacia possui 42 municípios inseridos total ou parcialmente na área, sendo que 19 possuem suas sedes na área da bacia (Pernambuco, 2006). A população residente na bacia é de cerca de 553,3 mil habitantes (Pernambuco, 2011). O Rio Una, com seus 255 km de extensão, apresenta em sua parte alta escoamento intermitente devido aos baixos índices pluviométricos (Pernambuco, 2006). A Figura 1 apresenta a área de estudo e define as estações pluviométricas analisadas e as estações pluviométricas utilizadas no processo de análise de correlação.

A bacia do rio Una apresenta duas regiões climáticas distintas, o clima semi-árido e quente úmido. A primeira região com índices de precipitação total média anual entre 500 a 800 mm, cuja abrangência vai até proximidades da estação pluviométrica de Capivara (Figura 1) e a segunda com totais anuais superiores a 1000 mm, toda área a jusante da estação de Capivara. Dessa maneira, a vegetação também busca adaptação ao clima, com existência da Caatinga na porção semiárida e manchas de Mata Atlântica na região quente úmida. Inclusive, há diversas Áreas de Proteção Ambiental na área da bacia do Rio Una (Pernambuco, 2006).

Quase toda área da referida bacia é representada por rochas cristalinas, enquanto que área sedimentar apresenta-se próximo ao litoral. Os solos da região são pouco desenvolvidos, medianamente a pouco profundos, com baixa permeabilidade e capacidade de retenção (Pernambuco, 2006).

A bacia do Rio Una tem apresentado um histórico de enchentes, de tal modo que estão em fase de construção quatro barragens visando contenção de enchentes. Nos últimos anos a frequência de desastres foi intensa, com ocorrência nos anos de 2000, 2004, 2005, 2010 e 2011. Dados oficiais existem para o ano de 2000, quando no estado de Pernambuco houveram 27 municípios afetados, na bacia de estudo, dos quais apenas cinco não emitiram estado de emergência ou calamidade pública. Aproximadamente 47 mil pessoas estavam desabrigadas ou desalojadas, destas cerca de 37,5 mil apenas na Zona da Mata e Agreste – o que significava 7,8% da população (Senado Federal, 2000). Os custos diante dos gastos de recuperação de estradas, habitações, infra-estrutura urbana (incluindo

equipamentos sociais de saúde e educação) e mesmo apoio a comerciantes e agricultores, atingiu cerca de R\$ 128 milhões de reais (Senado Federal, 2000).

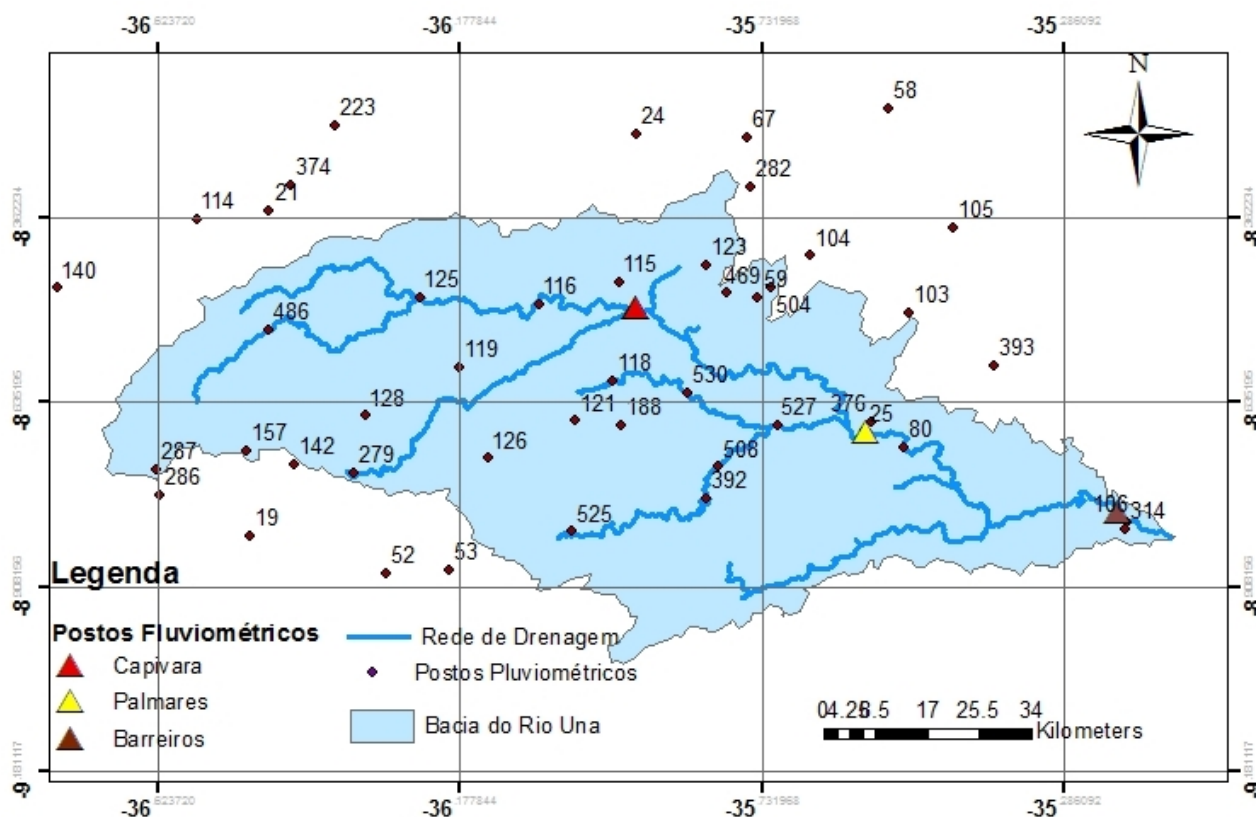


Figura 1 – Bacia do Rio Una e localização das estações fluviométricas e pluviométricas utilizadas neste estudo.

Para melhor estabelecer o cenário do desastre, expõe-se a vazão média das estações de Capivara e Palmares, para o período entre 1977 a 2006 que foi de 3,45 m³/s, enquanto que a segunda no período de 1967 a 2006 tem uma vazão média de 31,6 m³/s. Contudo, no evento do desastre, a estação de Capivara registrou uma vazão de 404 m³/s e a de Palmares 1.134 m³/s.

Dados utilizados de precipitação e vazão

Foram utilizados nesse estudo dados de postos fluviométricos e pluviométricos para o período entre 2000 a 2008. A localização geográfica desses postos é apresentada na Figura 1.

Descrição do método de análise espacial da precipitação

O método Inverso do Quadrado da Distancia (IDW – *Inverse Distance Weighted*), é um método determinístico de interpolação linear, sendo uma das técnicas de interpolação mais usada para pontos espalhados espacialmente. O método IDW baseia-se na suposição de que os valores próximos a determinado ponto contribuem mais que aqueles mais distantes (Azpurua e Ramos,

2010). Ou seja, a influência de um dado ponto é inversamente relacionada à distância para aquele ponto desconhecido em que se deseja determinar, de tal modo que quanto mais próximo estiver o ponto de valor conhecido do ponto desconhecido, maior será a influência daquele sobre o ponto a se determinar.

Disto isto, o modelo IDW consiste em se multiplicar os valores das amostras pelo inverso das suas respectivas distâncias ao ponto de referência para a interpolação dos valores, de acordo com a equação (1):

$$Z_x = \frac{\sum_{i=1}^n w_i z_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

em que:

Z_x = valores estimados

Z_i = valores conhecidos

w_i = peso em função da distância do ponto a se determinar.

O valor do peso da distância “w” é dado pela divisão do quadrado da distância, justificando o nome do método, conforme a equação (2), onde “d” é a distância.

$$w_i = 1/d^2 \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 são apresentadas as precipitações anuais para a bacia do Rio Una. Pode-se observar a variabilidade nesta série, com destaque para o valor da precipitação máxima anual próxima de 1200 mm. Ainda de acordo com essa figura, em alguns anos, ocorreram precipitações significativamente acima da média, como em 2004 e 2008 (acima de 1.100 mm). Já as séries pluviométricas mínimas, ou seja, abaixo da média foram registradas em torno de 700 a 1.000 mm, com destaque para os anos de 2001, 2003 e 2006. Segundo Andreoli e Kayano (2007) essas anomalias, isto é, a variabilidade anual e interanual podem ser explicadas no ponto de vista da climatologia como estando associados à influência dos eventos El Niño e La Niña, que influenciam na temperatura da superfície do mar.

A Figura 3 mostra a distribuição da precipitação anual média para cada posto utilizado nesse estudo. Nota-se que os postos 314, 105, 104, 393, 103, 25, 530, 376, 392, 106, 527, 508, 188, 80, 469 apresentam medias históricas acima da média da bacia. Os postos 121, 115, 114, 140, 157, 128 apresentam valores anuais de precipitação inferiores a 600 mm/ano, isto é, valores muito abaixo da média da bacia.

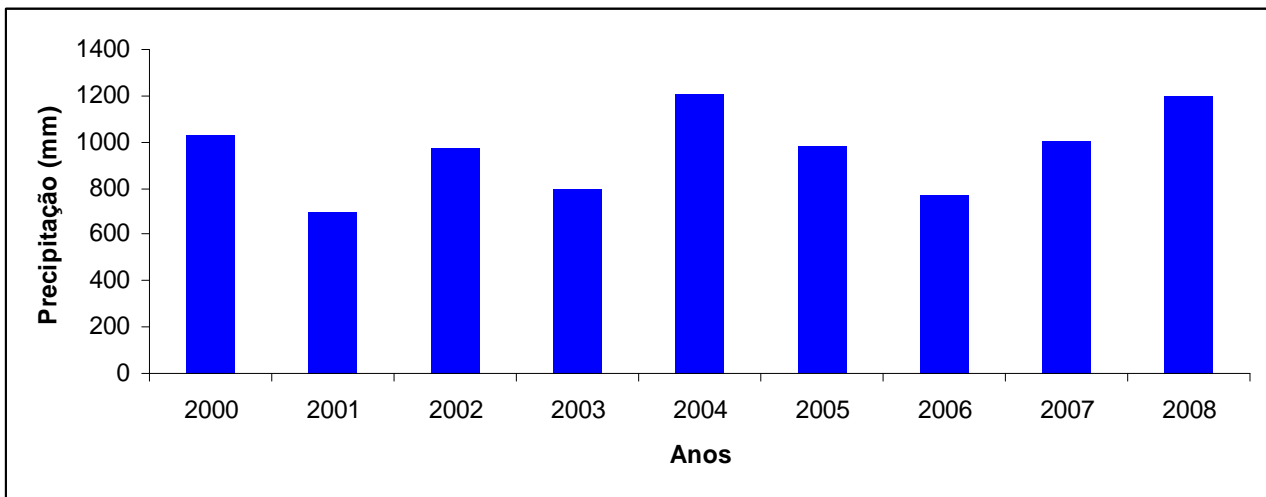


Figura 2 – Evolução anual da precipitação média pluvial para a bacia do Rio Una

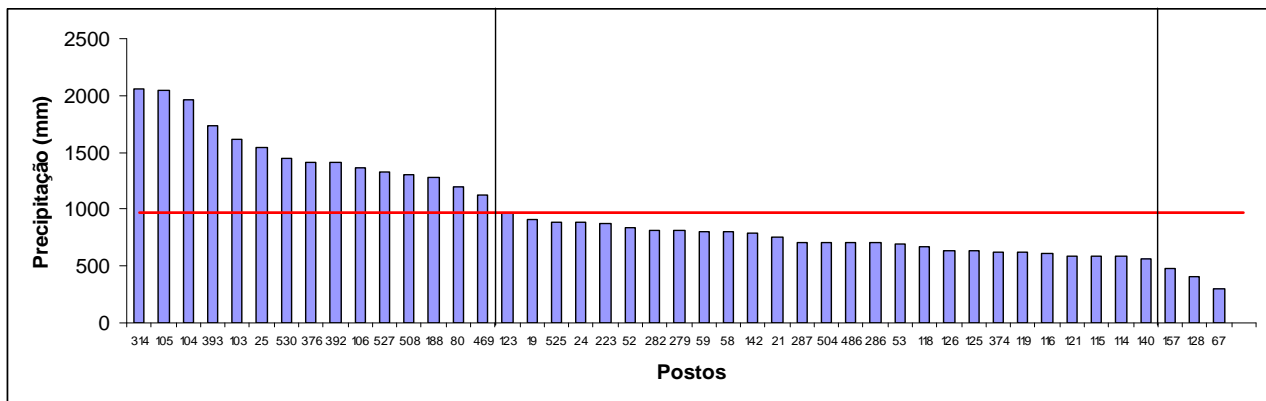


Figura 3 – Distribuição da precipitação média anual dos postos de chuva na bacia do Rio Una

A aplicação do método IDW sobre os 45 postos pluviométricos tornou possível a confecção do mapa, representado pela Figura 4. A Figura 4 mostra como a bacia de contribuição para a estação fluviométrica de Capivara está sujeita a baixos índices pluviométricos anuais de tal modo que, aliado às características de solo rasos e rochosos, que impossibilitam à estabilização de aquíferos subterrâneos, faz esta estação apresentar comportamento fluviométrico intermitente. Ao passo que a estação fluviométrica de Palmares já apresenta comportamento perene, associado a condições climáticas de precipitação e contribuição de aquíferos subterrâneos. Dito isto, a informação gerada pela Figura 4 enaltece a faixa de transição representada pela média anual de precipitação entre 881 a 1.076 mm.

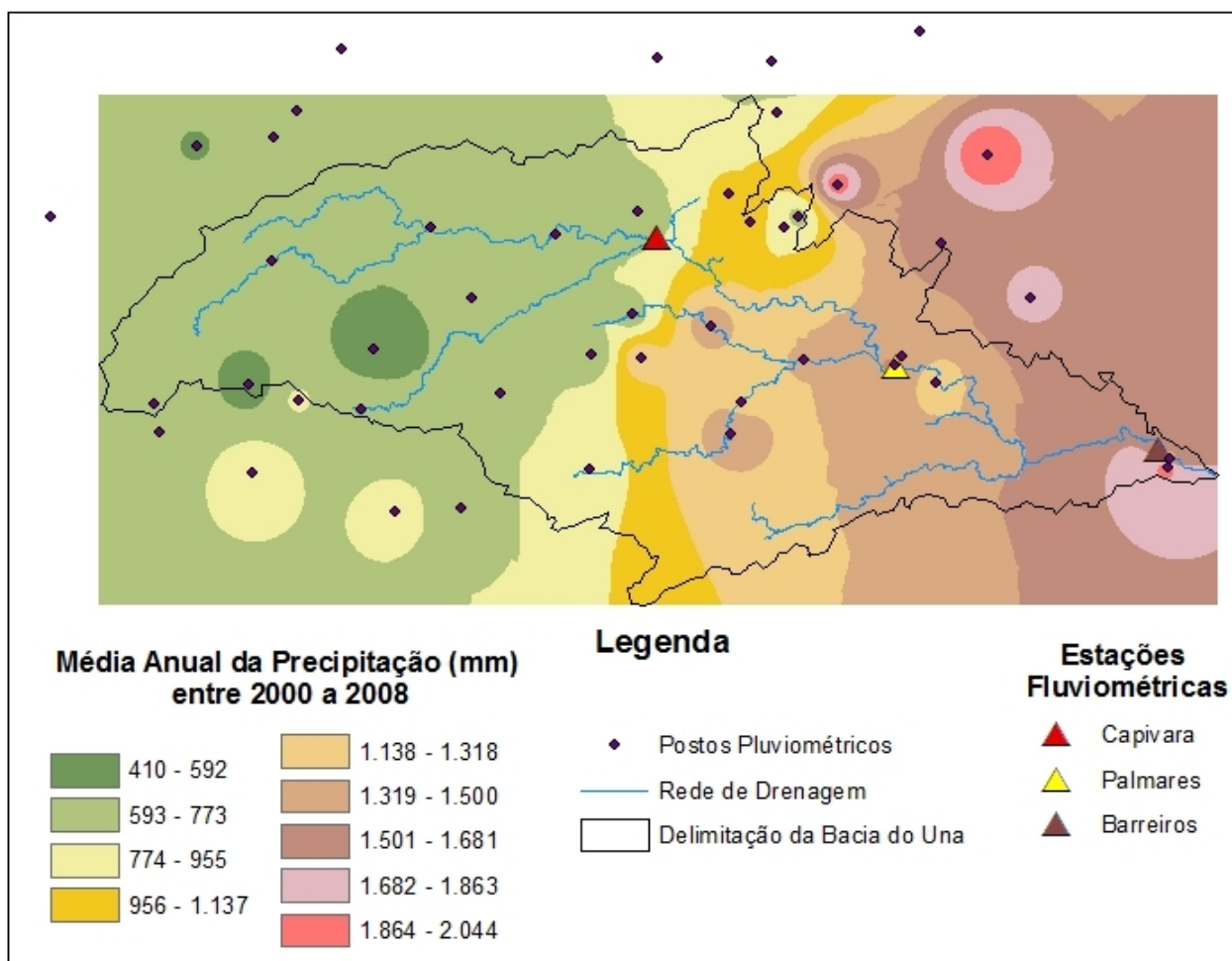


Figura 4 – Mapa gerado pela aplicação do método IDW às médias anuais de precipitação, entre 2000 a 2008, na bacia do Rio Una.

A Tabela 1 mostra as informações dos 45 postos pluviométricos utilizados neste trabalho, e o coeficiente de determinação de cada uma delas em relação às três estações fluviométricas analisadas ao nível diário para o período entre 2000 a 2008. Os resultados do coeficiente de Determinação de Pearson, R^2 , são apresentados na Tabela 1, para cada uma das estações pluviométricas e as estações fluviométricas ao qual podiam ser relacionadas. Desde logo o que se observam são resultados pouco satisfatórios do coeficiente de determinação: para a estação fluviométrica de Capivara o melhor resultado foi de 0,1746, enquanto para a estação de Palmares foi de 0,3895, e o resultado do R^2 mais satisfatório para a estação fluviométrica de Barreiros foi de apenas 0,201.

Para uma análise mais atenta dos resultados há de enfatizar que os dados foram correlacionados a nível diário e, com isto, para muitos dias no qual não houve evento de precipitação, as estações de Palmares e Barreiros, que apresentam comportamento perene, apresentaram valores de vazão. Ou seja, é possível que o valor de R^2 seja sensível a eventos nulos de precipitação havendo, para o mesmo dia, uma resposta da vazão.

Tabela 1 – Descrição das estações pluviométricas utilizadas e as estações fluviométricas relacionados para o aquisição do coeficientes de Pearson (R^2)

Código	Latitude	Longitude	Elevação (m)	Estações Fluviométricas		
				Capivara	Palmares	Barreiros
19	-8,833	-36,488	764		0,0825	0,0517
21	-8,353	-36,459	654	0,0859	0,0485	0,0269
24	-8,238	-35,916	606		0,132	0,0915
25	-8,678	-35,58	114		0,1258	0,1571
52	-8,888	-36,286	661		0,0456	0,0692
53	-8,883	-36,194	539		0,0487	0,0296
58	-8,201	-35,543	483		0,2094	0,1041
59	-8,48	-35,737	421		0,2926	
67	-8,243	-35,753	504		0,1311	
80	-8,703	-35,522	93			0,201
103	-8,503	-35,514	194		0,1414	0,1525
104	-8,419	-35,66	492		0,3895	0,099
105	-8,378	-35,447	326		0,0281	0,0598
106	-8,813	-35,19	15			0,1383
114	-8,364	-36,566	653	0,0605	0,072	0,0342
115	-8,458	-35,942	433	0,091	0,1705	0,0579
116	-8,491	-36,06	456	0,0828	0,1318	0,0856
118	-8,604	-35,951	404		0,1372	0,0852
119	-8,583	-36,178	633	0,1746	0,0625	0,0344
121	-8,663	-36,008	520		0,0012	0,0011
123	-8,433	-35,813	456		0,1033	0,0797
125	-8,481	-36,237	531	0,0798	0,0386	0,0302
126	-8,718	-36,137	723	0,1126	0,1143	0,1306
128	-8,656	-36,318	648	0,0892	0,1166	0,021
140	-8,466	-36,774	730		0,0339	0,0125
142	-8,728	-36,423	762		0,0081	0,0216
157	-8,707	-36,493	822	0,0026	0,0094	0,0074
188	-8,669	-35,939	469		0,1267	0,1264
223	-8,226	-36,362	657		0,0184	0,0152
279	-8,74	-36,334	659	0,0674	0,0759	0,0182
282	-8,318	-35,747	671		0,1437	0,1166
286	-8,773	-36,621	833		0,0363	0,0234
287	-8,734	-36,627	881	0,0118	0,0087	0,0085
314	-8,824	-35,194	27			0,165
374	-8,315	-36,427	645		0,0669	0,0444
376	-8,664	-35,569	164		0,2159	0,0159
392	-8,777	-35,812	243		0,2159	0,1591
393	-8,582	-35,388	88		0,1894	0,177
469	-8,474	-35,784	449		0,1389	0,1063
486	-8,528	-36,46	620	0,0851	0,0507	0,0285
504	-8,467	-35,717	641		0,2813	0,00006
508	-8,731	-35,795	177		0,2072	0,1283
525	-8,827	-36,012	459		0,1509	0,1297
527	-8,669	-35,709	154		0,1582	0,089
530	-8,622	-35,841	230		0,1885	0,1386

Os trabalhos de Girardi *et al* (2011), Silveira e Souza (2012), Limberger e Silva (2012) buscaram analisar a relação entre chuva e vazão, através do coeficiente de determinação, a nível mensal e obtiveram resultados mais satisfatórios. Girardi *et al* (2011) obteve os valores $R^2 = 0,27$ para duas pequenas bacias de 1,13 e 19,4 km² e de 0,59 para uma bacia de 105 km². Silveira e Souza (2012), analisando uma bacia de 269 km² no Estado do Rio de Janeiro obteve dois valores de R^2 , um para cada estação pluviométrica disponível: um primeiro resultado, cuja estação estava na nascente da bacia, apresentou R^2 de 0,56, enquanto o R^2 de 0,42 foi obtido com relação a estação pluviométrica localizada na foz da bacia. Enquanto que o trabalho de Limberger e Siqueira Silva (2012) definiu cinco postos fluviométricos e cinco postos pluviométricos, abrangendo quatro pontos limítrofes da bacia amazônica, além de um ponto central, para aquisição dos coeficientes de determinação. Neste trabalho, para um determinado, obteve-se o valor de R^2 de 0,679 para um longo período, entre 1975 a 2007, além do que foi realizado o trabalho de correlação, a nível mensal, para cada um dos meses, desta maneira identificando nuances entre meses de chuva e estiagem.

Limberger e Silva (2012) apontam que para períodos de menores índices pluviométricos, a relação entre precipitação e vazão apresentam uma baixa correlação. Isto pode ser enfatizado uma vez que, com exceção dos anos de 2000, 2004 e 2005, os demais anos analisados neste trabalho apresentaram uma baixa e dispersa precipitação.

Zhang (2011) aponta que discrepâncias na relação entre precipitação e resposta da vazão podem estar associadas ao uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica, influenciando nos processos de escoamento superficial e evapotranspiração da água, além de fatores relacionados a existência de barragens, de tal maneira que podem comprometer a relação precipitação/vazão. Contudo, para melhor atestar esta relação à bacia do Rio Una, seria necessária uma análise mais detalhada, através da correlação ano a ano, ao longo de vários anos, e assim acompanhar a resposta do R^2 e melhor atribuir os seus resultados às questões de mudança de uso e ocupação do solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou a variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia do Rio Una mediante auxílio de Sistemas de Informação Geográfica e base de dados de precipitação de 45 postos pluviométricos, que foram utilizados para estimar a variabilidade anual no período de 2000 a 2008 na bacia.

Os resultados mostram grande variabilidade da precipitação anual na escala espacial. Constatou-se uma grande variabilidade da precipitação de um ano para outro, com anos mais

chuvosos: 2004 e 2008, e anos mais secos: 2001, 2003 e 2006. Os anos onde ocorreram precipitações significativamente acima da média foram e torno de 1.100 mm, e os anos mais secos foram em torno de 700 a 1.000 mm.

Na escala sazonal o período mais seco na bacia ocorre nos meses de agosto, setembro, outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro (30 a 100 mm/mês); e o período mais chuvoso ocorre nos meses de março, abril, maio, junho e julho (entre 120 e 210 mm/mês).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FACEPE – Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco, pela bolsa de doutorado do primeiro autor.

BIBLIOGRAFIA

ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. (2007). A importância relativa do atlântico tropical sul e pacífico leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 22(1), 63-74.

AZPURUA, M.; RAMOS, K. (2010). A comparison of spatial interpolating methods for estimation of average electromagnetic field magnitude. *Progress in Electromagnetics Research M*. Vol. 14, pp. 135-145.

GIRARDI, R. V.; CASTRO, N.; GOLDENFUND, J. A.; SILVEIRA, A. L. L. (2011). Avaliação do Efeito de Escala em Características de Chuva e Vazão em Sub-Bacias Embutidas da Bacia do Potiribu – RS. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Volume 16 n.2, pp. 49-64

GUHATHAKURTA, P.; SREEJITHAND, O. P.; MENDON, P. A. (2011). Impact of climate change on extreme rainfall events and flood risk in India. *Journal Earth System Science*, 120, No. 3, pp. 359–373

PERNAMBUCO (2006). Bacia Hidrográfica do Rio Una, GL4 e GI 5. SEPLAN, Recife, 84p.

PERNAMBUCO (2011). Relatório de Monitoramento da Qualidade da Água de Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco em 2010. Agência Estadual de Meio Ambiente, Recife, 100p.

LIRA, M. L.; OLIVEIRA M.; DANTAS, R. T.; SOUZA, W. M. (2006). Alterações da precipitação em municípios do Estado de Pernambuco. *Engenharia Ambiental*, 3(1), pp. 52-61.

LIMBERGER, L.; SILVA, M. E. S. (2012). Precipitação e Vazão Mensal na Amazônia. *Revista Geonorte*, V.1, N.5, pp. 719 – 728.

SENADO FEDERAL. Comissão especial externa, criada por intermédio do requerimento Nº 426, de 2000-SF “Destinada a acompanhar o drama das enchentes nos estados de Pernambuco e Alagoas, que já ocasionaram morte de vítimas”. (2000). Disponível em: <http://www.senado.gov.br/atividade/materia/getPDF.asp?t=56458&tp=1>. Acessado em 20 de Julho de 2013.

SILVA, R.M.; SILVA, L.P.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SANTOS, C.A.G. (2010). Análise da variabilidade espaço-temporal e identificação do padrão da precipitação na bacia do rio Tapacurá, Pernambuco. *Sociedade & Natureza*, v. 22, pp. 357-372.

SILVEIRA, C. S.; SOUZA, K. V. (2012). Relações hidrológicas entre a pluviosidade e a vazão em uma série temporal (2007-2009) de uma bacia e drenagem de uso misto – Teresópolis, RJ, Brasil. *Geociências*, v. 31, n. 3, pp. 395-410.

TUCCI, C. E. M. (2009) Hidrologia: ciência e aplicação. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – ABRH. 4ª Edição. Porto Alegre, 943 p.

TRENBERTH, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47, pp 123-138.