

## **XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**

### **CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E MORFOMÉTRICA DA REGIÃO FISIAGRÁFICA DO BAIXO SÃO FRANCISCO EM AL E PE**

*Altair Maciel de Barros<sup>1</sup>; Rodrigo Perdigão Gomes Bezerra<sup>2</sup>; Jáder Vinícius Almeida Pereira<sup>3</sup> & Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves<sup>4</sup>*

**RESUMO** – O estudo dos processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica é de grande importância para a gestão de recursos hídricos tendo em vista a influência desses processos na ocorrência de eventos como as cheias e estiagem. Dessa forma, o presente estudo selecionou as variáveis de precipitação, declividade, densidade de drenagem e índices de forma para investigar aspectos do regime hidrológico da Região Fisiográfica do Baixo São Francisco (RF BSF) na zona situada entre os estados de Alagoas e Sergipe. A metodologia utilizada envolveu o programa QGIS e os complementos TauDEM e GDAL/ORG, e a análise de séries de dados de precipitação. Os resultados apontam que a precipitação anual média na RF BSF em AL e PE (638 mm/ano) é inferior ao valor médio para toda a RH do São Francisco, que a declividade média é predominantemente suave ondulada (3% - 8%), a densidade de drenagem é predominantemente mediana (0,5 km/km<sup>2</sup> – 2 km/km<sup>2</sup>) e que os índices de forma caracterizam as bacias hidrográficas como alongadas.

**ABSTRACT**– Studies involving hydrologic processes are really important for the water management in a watershed because of their relation with drought periods or inundation events. This study selected parameters like precipitation, slope, drainage density and shape coefficients with the aim of investigating the hydrologic processes of the Low São Francisco Region (LSFR) located between Alagoas and Sergipe. The study was developed using precipitation analysis, QGIS software and its plugins TauDEM and GDAL/ORG. The results showed that average annual rainfall of the study area (638mm/yr) is lower than the mean values from the entire São Francisco watershed. The mean slope is classified as smooth wavy (3% - 8%), drainage density is mainly median (0,5 km/km<sup>2</sup> – 2 km/km<sup>2</sup>) and shape coefficients are related to long watersheds.

**Palavras-Chave** – Análise pluviométrica; Características morfométricas; Baixo São Francisco.

<sup>1</sup>) SEMARH-AL: Av. General Luiz de França Albuquerque, S/N, Jacarecica, Maceió – AL, (82) 991282779, altair\_m@hotmail.com;

<sup>2</sup>) Universidade Federal de Minas Gerais: Avenida Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte – MG, (82) 996461375, rodrigopgb@ufmg.br;

<sup>3</sup>) SEMARH-AL: Av. General Luiz de França Albuquerque, S/N, Jacarecica, Maceió – AL (82) 996011860, jader.vinicius27@gmail.com;

<sup>4</sup>) Universidade Federal de Alagoas: Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins, Maceió – AL, (82) 991056677, marllus.neves@ctec.ufal.br.

## 1 – INTRODUÇÃO

A compreensão dos processos hidrológicos que ocorrem em uma bacia hidrográfica é uma ferramenta essencial para a gestão de recursos hídricos tendo em vista a relação direta desses processos com períodos de escassez hídrica, eventos de inundação ou mesmo na gestão de conflitos pelo uso da água de um manancial.

Diversos fatores podem ser analisados para compreender o regime hidrológico de um corpo hídrico, porém destacam-se o clima, o tipo do solo, as rochas do subsolo, a vegetação e os fatores morfométricos que estão relacionados ao relevo e atuam no movimento da água através da bacia hidrográfica (COLLISCHON; DORNELLES, 2013).

Para melhor compreender o regime hidrológico da área de estudo selecionada, o presente trabalho aborda uma análise da variável climática de precipitação, tendo em vista que a chuva é a principal forma de entrada da água em uma bacia hidrográfica. Além disso, são analisadas as características morfométricas devido à influência que possuem na velocidade do escoamento, na formação de lagos e na distribuição das vazões geradas em resposta a um evento chuvoso intenso.

A área de estudo selecionada foi a Região Fisiográfica do Baixo São Francisco (RF BSF) devido à sua importância para o atendimento das demandas de diversos estados do litoral brasileiro. A RF BSF está situada nos estados de Alagoas (43,9%), Sergipe (23,8%), Pernambuco (22,8%) e Bahia (9,5%) e, apesar de ser a zona menos povoada da região hidrográfica do São Francisco (4,7%), possui mais de 2 milhões de habitantes. Nessa região, o uso do solo é destinado predominantemente a pastagens (52,6%) e estabelecimentos agropecuários (27,1%) (CBHSF, 2016).

Este trabalho tem como objetivo analisar as características pluviométricas e morfométricas das bacias que compõem a RF BSF situadas em Alagoas e Pernambuco para melhor compreender os processos hidrológicos e subsidiar a gestão de recursos hídricos dessa região. Para isso, foram utilizadas ferramentas de análise de dados de precipitação obtidos pela Agência Nacional de Águas (ANA) e metodologias de geoprocessamento com o uso do programa QGIS Desktop 2.18.20.

## 2 – METODOLOGIA

Para caracterizar as bacias hidrográficas da área de estudo foi utilizado o programa QGIS Desktop 2.18.20 e o complemento TauDEM 5.0 (TARBOTON, 2020). A Figura 1 sintetiza os procedimentos adotados na análise de cada uma das bacias hidrográficas.

Após a aplicação dos procedimentos apontados (Figura 1), foi feita a análise das características

de precipitação, declividade média, densidade de drenagem e índices de forma que serão detalhados no decorrer do trabalho.

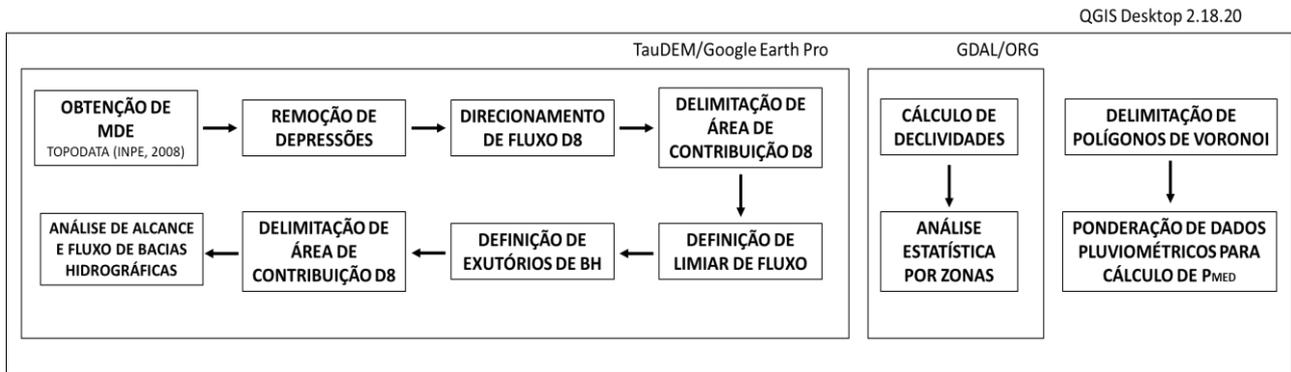


Figura 1 – Ferramentas utilizadas para delimitação de bacias hidrográficas.

## 2.1 – Área de estudo

A área de estudo corresponde à Região Fisiográfica do Baixo São Francisco (RF BSF), abrangendo 29 bacias situadas em Alagoas e Pernambuco, com uma área de 18.890 km<sup>2</sup>. A Figura 2 apresenta a localização das bacias hidrográficas analisadas e dos postos pluviométricos utilizados.

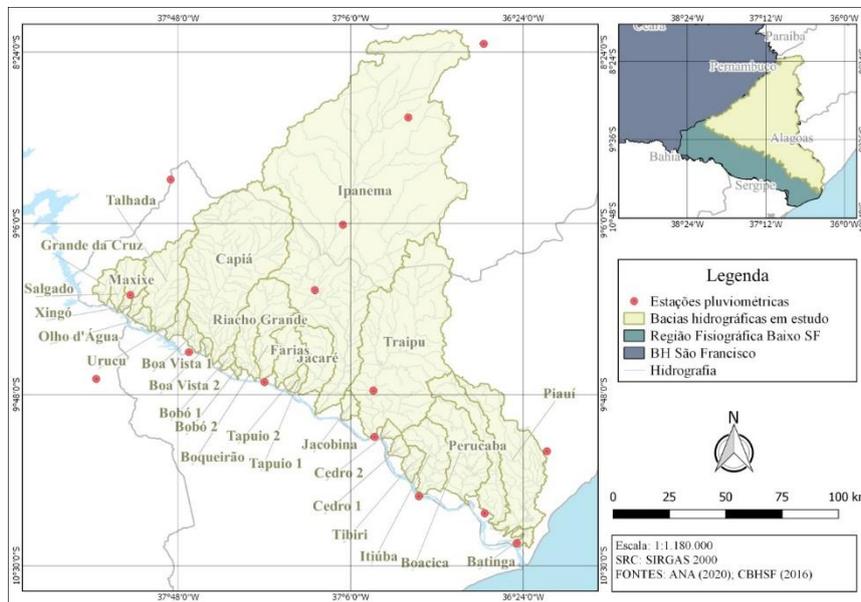


Figura 2 – Identificação da área de estudo.

## 2.2 – Análise pluviométrica

A precipitação anual média ( $P_r$ ) foi calculada através dos dados pluviométricos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), por meio da plataforma Hidroweb (ANA, 2020). Inicialmente, selecionou-se as estações pluviométricas que existem no entorno da RF BSF e, em seguida, através do programa Super Manejo de Dados 2.1 (COELHO; FAN, 2016), foi realizada

uma análise da disponibilidade temporal dos dados de precipitação.

A partir dessa análise, notou-se que o intervalo de tempo que abrange a maior quantidade de registros de precipitação sem falhas está compreendido entre 01/01/2005 e 31/12/2018, totalizando 14 anos de dados diários de precipitação em 16 estações pluviométricas. Em seguida, foi utilizada a ferramenta *Polígonos de Voronoi* do QGIS Desktop 2.18.20 para a obtenção da Pr em cada bacia através do método dos polígonos de Thiessen.

## 2.3 – Análise morfométrica

### 2.3.1 – Densidade de drenagem (Dd)

A densidade de drenagem (Dd) (equação 1) pode ser definida como o somatório do comprimento de todos os cursos d'água da bacia hidrográfica ( $\Sigma L$ ), sendo eles intermitentes ou efêmeros, dividido pela área de drenagem dessa bacia (A) (HORTON, 1945).

$$D_d = \frac{\Sigma L}{A} \quad (1)$$

Para a definição das variáveis A e L, inicialmente, foi utilizado o QGIS Desktop 2.18.20 e seu complemento TauDEM 5.0 para delimitação das bacias hidrográficas que compõem a RF BSF em AL e PE. Para tal, foi empregado o Modelo Digital de Elevação (MDE), com resolução espacial de 30 m, disponibilizado em formato matricial, através do projeto Topodata (INPE, 2008).

Salienta-se que o valor do limiar para geração da rede de drenagem foi adotado de maneira específica para cada bacia hidrográfica estudada. O critério utilizado para a sua definição foi a aproximação da rede de drenagem definida pelo algoritmo às redes de drenagem identificadas através de imagens de satélite de cada bacia hidrográfica utilizando o programa Google Earth Pro.

De posse da delimitação das bacias hidrográficas, foi possível calcular a área de drenagem (A) e o comprimento axial (L) de cada uma delas. Em seguida, para a obtenção do somatório do comprimento dos cursos d'água das bacias hidrográficas, foi utilizado o algoritmo *alcance e fluxo de bacias hidrográficas* do TauDEM, que retorna um arquivo vetorial com diversas informações a respeito da conectividade topológica entre os segmentos de canais da rede de drenagem gerada, incluindo os comprimentos de cada um desses segmentos.

### 2.3.2 – Declividade média (Sb)

Para a obtenção da declividade média em cada uma das bacias hidrográficas contidas na região em estudo, foi utilizada a ferramenta *Declividade* do conjunto de geocalgoritmos GDAL/ORG do programa QGIS Desktop 2.18.20, utilizando como base o MDE da região, obtendo um produto

matricial com declividades expressas em termos percentuais. Em seguida, utilizando a ferramenta *Estatísticas por zonas*, foi possível obter um valor da declividade média para cada bacia hidrográfica.

### 2.3.2 – Índices de forma

Os índices de forma são utilizados para relacionar a forma das bacias hidrográficas com formas geométricas conhecidas com o intuito de compreender o modo com que as bacias hidrográficas respondem a chuvas intensas (VILLELA; MATTOS, 1975). Neste estudo, o fator de forma e o coeficiente de compacidade foram adotados como índices de forma relacionando a forma da bacia a de um retângulo e de um círculo, respectivamente.

O fator de forma ( $K_f$ ) pode ser definido como a razão entre a área de drenagem ( $A$ ) e o quadrado do comprimento axial da bacia ( $L$ ), sendo calculado através da equação 2.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Já o coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) é definido como a razão entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de área igual à da bacia, sendo calculado por meio da equação 3.

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

## 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 – Análise pluviométrica

As 29 bacias da RF BSH em AL e PE apresentam  $Pr$  variando de 480 mm/ano a 1.150 mm/ano. No entanto, 25 delas apresentam uma  $Pr$  inferior a 770 mm/ano, enquanto somente quatro apresentam  $Pr$  elevadas e atípicas para a região, são elas: a BH do rio Piauí (1.121 mm/ano), a BH do rio Batinga (1.088 mm/ano), a BH do rio Perucaba (1.024 mm/ano) e a BH do rio Boacica (937 mm/ano).

Essas 4 bacias fazem parte da RH Piauí e estão localizadas no extremo leste da RF BSF em AL e PE, sendo as quatro últimas bacias hidrográficas da margem esquerda do rio São Francisco. O aumento da  $Pr$  nas bacias hidrográficas à medida em que elas se aproximam do litoral é um comportamento que pode ser observado de uma maneira geral na RF BSF em AL e PE (Figura 3).

Esse aumento é pouco acentuado na região situada entre as BH do riacho Grande da Cruz, no extremo oeste da região, e do rio Itiúba. No entanto, esse comportamento sofre um aumento pronunciado entre as BH do rio Itiúba e do rio Boacica, demonstrando assim uma transição entre os regimes pluviométricos nessa faixa da RF. Esse fator pode ser decisivo para a perenidade dos cursos d'água nessa RF, haja vista que os rios Boacica, Perucaba e Piauí são os únicos perenes nessa região.

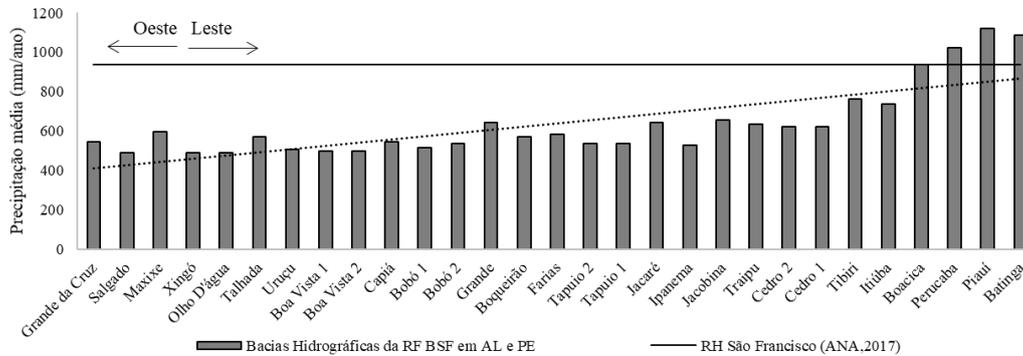


Figura 3 – Pr nas 29 bacias hidrográficas da RF BSF em AL e PE em comparação à Pr na RH São Francisco.

A Pr na RF BSF em AL e PE corresponde, em média, a 638 mm/ano, inferior à média para a RH São Francisco (938 mm/ano) e à média nacional (1.760 mm/ano) (ANA, 2017).

Essa situação é ainda mais crítica na região situada entre as BH do riacho Grande da Cruz e do rio Itiúba. Essa região apresenta uma pluviometria média de 574 mm/ano, o que corresponde a cerca de 62% da pluviometria média na RH São Francisco e 36% da pluviometria média nacional.

A RF BSF em AL e PE apresenta um período de maiores índices pluviométricos durante os meses de abril a julho, sendo maio o mês que, em média, apresenta o maior volume de chuva (Figura 4). Além dessa quadra, verifica-se que a região apresenta ainda índices pluviométricos medianos durante os três primeiros meses do ano, período em que ocorrem eventos de chuva intensos conhecidos como trovoadas de verão.

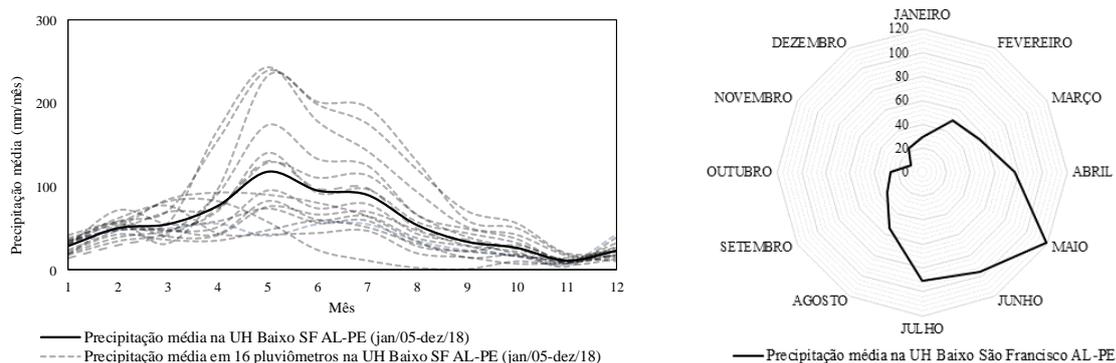


Figura 4 – Distribuição temporal da precipitação média mensal na RF BSF em AL e PE.

Por outro lado, a época mais seca na região ocorre durante os meses de setembro a dezembro, após as chuvas do meio do ano, sendo novembro o mês mais crítico (Figura 4).

### 3.2 – Análise morfométrica

#### 3.2.1 – Declividade média (Sb)

A Sb das 29 bacias hidrográficas da RF BSF em AL e PE apresentam uma média em torno de

7% com variação entre 1,2% e 12,9% (Figura 5).

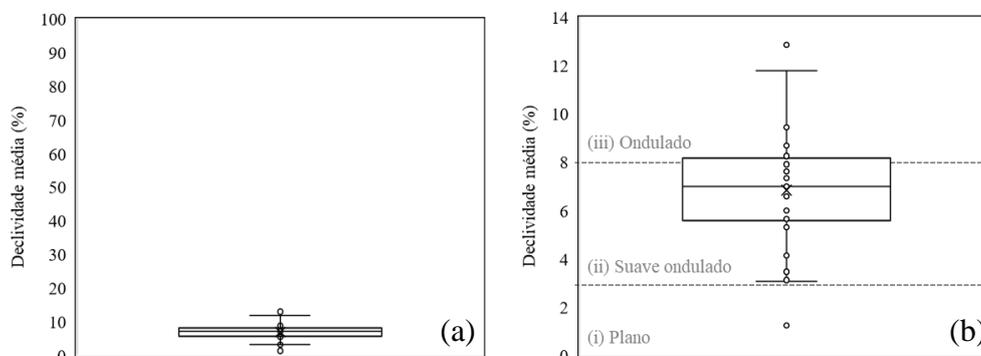


Figura 5 – Sb das 29 bacias hidrográficas da RF BSF em AL e PE: (a) avaliação dos dados no intervalo [0%; 100%] e (b) zoom gráfico no intervalo [0%; 14%], classificado segundo EMBRAPA (1979).

A menor Sb (1,2%) ocorre na BH do rio Batinga, uma bacia situada na planície litorânea do município de Piaçabuçu-AL, próxima à foz do rio São Francisco. Essa bacia é marcada por abranger parte da APA da Marituba do Peixe que, devido à baixa declividade associada a outros fatores ambientais, forma uma região alagadiça composta por pequenos lagos e canais.

As maiores Sb avaliadas para a RF BSF em AL e PE (12,9% e 11,8%), correspondem às BH do rio Cedro 2 e 1, respectivamente. Essas bacias apresentam Sb destoantes pois é marcada por uma topografia acidentada, apresentando uma série de serras situadas na região de cabeceira.

As demais bacias hidrográficas da RF BSF em AL e PE apresentam Sb inferior a 10%. Cerca de 72% das bacias hidrográficas na RF BSF em AL e PE apresentam classe de declividade média variando de plano ( $0\% \leq S_b < 3\%$ ) a suave ondulado ( $3\% \leq S_b < 8\%$ ). Com destaque para a classe de declividade suave ondulado que é verificada em cerca de 69% das bacias hidrográficas estudadas. Oito bacias hidrográficas (cerca de 28% das bacias estudadas) apresentam Sb superior a 8%, indicando assim um relevo ondulado.

Dessa forma, verifica-se que, de maneira geral, a região da RF BSF em AL e PE apresenta uma  $S_b$  pouco acentuada, com classe de declividade variando de plano a ondulado, mas com predominância suave ondulado (EMBRAPA, 1979).

### 3.2.2 – Densidade de drenagem (Dd)

As bacias hidrográficas situadas na RF BSF em AL e PE apresentam Dd que variam de 0,06 km/km<sup>2</sup>, na bacia hidrográfica do rio Batinga, até 1,65 km/km<sup>2</sup>, na bacia hidrográfica do rio Tapuio.

Apesar da região estudada apresentar uma Dd média em torno 0,60 km/km<sup>2</sup>, a variação existente é considerável, representada por um coeficiente de variação de cerca de 50%. Analisando o gráfico

da Figura 6, nota-se que cerca de 90% das bacias hidrográficas situadas na RF BSF em AL e PE apresentam  $D_d$  no intervalo  $0,6 \pm 0,3$  km/km<sup>2</sup>.

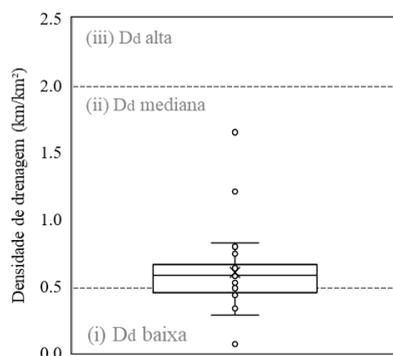


Figura 6 –  $D_d$  das 29 bacias hidrográficas da RF BSF em AL e PE, classificando-as segundo Beltrame (1994).

Segundo a classificação de Beltrame (1994), cerca de 75% das bacias hidrográficas situadas na RF BSF em AL e PE apresentam uma  $D_d$  mediana. Enquanto as demais (25%), são classificadas como apresentando uma baixa  $D_d$ .

A  $D_d$  está relacionada aos processos climáticos da região, fatores que influenciam a distribuição de água e que definem as condições para ocorrer escoamento superficial, possibilitando assim a formação de canais de drenagem (HORTON, 1945). Dessa forma, os baixos valores de  $D_d$  avaliados para as bacias hidrográficas situadas na RF BSF em AL e PE sugerem que, nessa região, há um baixo escoamento superficial associado a uma baixa dissecação do solo. Tais fatores estão possivelmente relacionados à escassa distribuição pluviométrica na região e às condições do solo que impossibilitem a rápida formação de canais de drenagem.

Além do tipo de solo e das características climáticas, a topografia da bacia hidrográfica também é um fator determinante para a dissecação do solo, formação de canais e definição da  $D_d$ .

### 3.2.3 – Índices de Forma

O  $K_f$  e o  $K_c$  constituem índices relevantes para a avaliação da suscetibilidade de uma bacia à ocorrência de enchentes, uma vez que quanto mais o  $K_f$  se aproxima de 1, mais a largura média da bacia se aproxima do  $L$ , demonstrando assim que essa bacia possui um formato próximo ao circular e uma maior tendência à formação de enchentes. Assim como, à medida o valor de  $K_c$  se aproxima de 1, mais o seu perímetro está próximo a um círculo de mesma área (VILLELA; MATTOS, 1975).

De acordo os diagramas de caixa apresentados na Figura 7(a), observa-se que os valores de  $K_f$  destacam duas bacias com características mais próximas à circular: a BH do rio Cedro 1 (0,61) e a

BH do rio Cedro 2 (0,58). Nesse aspecto, as bacias hidrográficas da RF BSF em AL e PE apresentam uma característica predominantemente alongada, já que 93% delas apresentam  $K_f$  menor que 0,45.

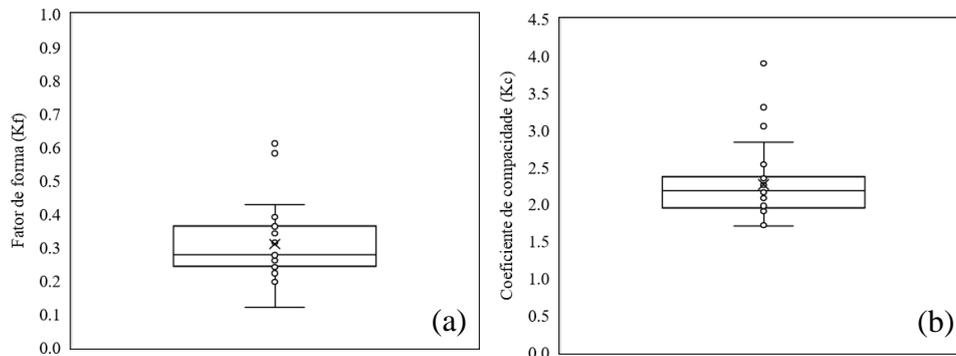


Figura 7 – (a)  $K_f$  e (b)  $K_c$  das 29 bacias hidrográficas da RF BSF em AL e PE.

Em contrapartida, em análise à figura na Figura 7.(b) os valores de  $K_c$  destacam três bacias com características mais alongadas quando comparadas às demais bacias da região em estudo: a BH do rio Perucaba (3,90), a BH do rio Piauí (3,31) e a BH do rio Batinga (3,05). Além disso, as BH dos rios Cedro 1 e Cedro 2 também são apontadas como as bacias com os menores valores de  $K_c$ , portanto, como as que apresentam as características mais circulares (1,70 e 1,71, respectivamente).

Sendo assim, o formato alongado predominante nas bacias da URFH BSF em AL e PE tende a indicar uma resposta às chuvas mais lenta com menor potencial para geração de enchentes.

#### 4 – CONCLUSÕES

A região da RF BSF em AL e PE apresenta uma média pluviométrica de 638 mm/ano, inferior à média para a RH São Francisco e à média nacional. Essa situação é mais crítica nas bacias situadas mais a oeste, adentrando no semiárido nordestino, quando a pluviometria média reduz para de 574 mm/ano. As chuvas na RF BSF se concentram de abril a julho, sendo maio o mês mais chuvoso, enquanto o período seco vai de setembro a dezembro, sendo novembro o mês menos chuvoso.

Quanto à topografia da região, cerca de 72% das bacias hidrográficas na RF BSF em AL e PE apresentam classe de declividade média variando de plano a suave ondulado (< 8%), com destaque para a classe suave ondulado (3% - 8%) que é verificada em cerca de 69% das bacias estudadas.

As bacias da RF BSF em AL e PE apresentam uma densidade de drenagem predominantemente mediana ( $0,6 \pm 0,3$  km/km<sup>2</sup>), essa situação pode estar associada ao tipo de solo, à baixa pluviometria e à topografia pouco acidentada da região. Quanto à forma das bacias hidrográficas da RF BSF em AL e PE, é possível concluir que elas são predominantemente alongadas com drenagem avançando no

sentido norte-sul.

**AGRADECIMENTOS** – Os autores agradecem à UFAL, à UFMG, à SEMARH-AL e à FAPEAL pelo apoio técnico e institucional, através da disponibilização de dados e materiais, assim como pelo financiamento das pesquisas que culminaram no desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. (2020). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: Relatório pleno*. Brasília – DF, 2017. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>>.

\_\_\_\_\_. (2020). *Portal Hidroweb v3.1.1 – Séries históricas de estações*. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>.

BELTRAME, A. V. (1994). *Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação*. Florianópolis: Editora da UFSC.

COELHO, V. R.; FAN, F. M. (2016). *Manual do programa Super Manejo de Dados – Versão 1.1*. Grupo de Pesquisa em Hidrologia de Grande Escala (HGE). Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. (2013). *Hidrologia para engenharia e ciências ambientais*. Porto Alegre-RS, 350 p.

CBHSF - COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. (2016). *Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco*. Alagoas. 520 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. (1979). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos*. p. 83, Rio de Janeiro.

HORTON, R. E. (1945). *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. Bulletin of Geological Society of America. v. 56, n. 3, p. 275-370.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. (2020). *Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil*. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>.

TARBOTON, D. G. (2020). *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models (TauDEM)*. (2020). Disponível em: <<http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5/downloads.html>>.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. (1975). *Hidrologia Aplicada*. São Paulo: Mc Graw Hill.