

XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ANÁLISE DE REGIÕES HIDROLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS NA REGIÃO LESTE DO ESTADO DE ALAGOAS

Altair Maciel de Barros¹; Camila de Carvalho Agra²; Letícia Leite de França Lopes³ & Ticiania Ayres Agra⁴

RESUMO – O conhecimento do potencial hídrico de uma bacia hidrográfica é fundamental para a adequada gestão dos recursos hídricos. No entanto, muitas vezes, ao realizar estudos de disponibilidade hídrica, defronta-se com o problema da ausência ou insuficiência de dados que possibilitem o estabelecimento de uma série histórica de vazões. O presente trabalho apresenta uma metodologia que define regiões hidrologicamente homogêneas para a região leste de Alagoas através da aplicação da análise multivariada de conglomerados a 19 bacias hidrográficas. A aplicação dessa metodologia mostrou ser uma ferramenta satisfatória para o agrupamento das bacias em análise, visando à previsão de regiões hidrologicamente homogêneas. Os resultados indicaram ainda que, de maneira geral, as curvas de permanência das vazões específicas para as estações fluviométricas reunidas em um mesmo grupo apresentaram similaridades em suas formas. No entanto, o método de conglomerados mostrou limitação quanto à previsão de regiões hidrologicamente homogêneas na região hidrográfica do rio Coruripe.

ABSTRACT – The knowledge of the water potential of a watershed is fundamental for the adequate management of water resources. However, when carrying out water availability studies, it is often faced with the problem of the absence or insufficiency of data that allow the establishment of a historical series of flows. The present research presents a methodology that defines hydrologically homogeneous regions for the eastern region of Alagoas through the application of multivariate analysis of conglomerates to 19 watersheds. The application of this methodology proved to be a satisfactory tool for the grouping of the watersheds under analysis, aiming at the prediction of hydrologically homogeneous regions. The results indicated that, in general, the permanence curves of the specific flows for the stations in the same group presented similarities in their forms. However, the conglomerate method showed a limitation regarding the prediction of hydrologically homogeneous regions in the hydrographic region of the Coruripe river.

Palavras-Chave – análise de conglomerados; curva de permanência; vazão específica.

1) Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas. Rodovia AL 101 Norte, Km 05, S/N – Jacarecica, Maceió-AL. altairmaciel@ymail.com

2) Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas. Rodovia AL 101 Norte, Km 05, S/N – Jacarecica, Maceió-AL. camila.agra@hotmail.com

3) Universidade Federal de Alagoas. Av. Lourival Melo Mota, S/N – Tabuleiro do Martins, Maceió-AL. leticia.leitefl@gmail.com

4) Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas. Rodovia AL 101 Norte, Km 05, S/N – Jacarecica, Maceió-AL. agraticiania@gmail.com

1 – INTRODUÇÃO

O conhecimento do potencial hídrico de uma bacia hidrográfica é fundamental para a adequada gestão dos recursos hídricos, entretanto, ao realizar-se estudos de disponibilidade hídrica é frequente o problema da ausência ou insuficiência de dados que possibilitem o estabelecimento de uma série histórica de vazões. Nesses casos, geralmente, são utilizadas técnicas que permitem a transferência de informações pontuais de uma região onde há dados hidrológicos para locais onde há ausência ou deficiência desses, desde que as regiões sejam hidrológicamente homogêneas. Ao referido procedimento de transferência de informação de vazão denomina-se regionalização hidrológica (TUCCI, 2000).

Dentre os métodos de regionalização existentes, o Manual de Minicentrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS, 1985) estabelece um método simplificado baseado na premissa de que, em uma região hidrológicamente homogênea, há uma relação de proporcionalidade entre a vazão de uma determinada seção (Q) e a sua área de drenagem (A), que resulta em uma vazão específica ($q=Q/A$).

Diante disso, o presente trabalho visa definir regiões hidrológicamente homogêneas localizadas no leste de Alagoas através da aplicação da análise multivariada de conglomerados em 19 (dezenove) bacias hidrográficas, visando subsidiar o emprego da metodologia de proporcionalidade da vazão pela área para a estimativa de disponibilidade hídrica na região leste de Alagoas.

2 – METODOLOGIA

No presente estudo, foram consideradas 19 (dezenove) estações fluviométricas monitoradas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), estando 16 (dezesesseis) dessas situadas na região sul de Pernambuco e leste de Alagoas, na região hidrográfica do Atlântico NE Oriental, e 3 (três) no estado de Sergipe, na região hidrográfica do Atlântico Leste, todas apresentando série de dados de vazão com, no mínimo, dez anos de dados.

A metodologia utilizada para a elaboração do trabalho foi dividida em duas etapas: na primeira, os dados referentes às 19 bacias hidrográficas foram obtidos e preparados para a análise, enquanto que a segunda etapa consistiu no agrupamento das bacias em regiões homogêneas com base em suas similaridades, utilizando o ferramental estatístico do programa Bioestat 5.0, dentre os quais se encontra o método de análise multivariada de conglomerados (AYRES *et al.*, 2007).

O método citado foi aplicado considerando as seguintes variáveis das 19 bacias hidrográficas: localização geográfica da estação, área de drenagem, perímetro, coeficiente de compacidade, altitudes máxima e mínima, amplitude altimétrica, relevo, clima, localização geográfica do centróide da bacia, precipitação média mensal e anual e ordem do curso d'água.

Como todas as estações fluviométricas em análise fazem parte da RHN, suas localizações geográficas foram obtidas através do Portal Telemetria (ANA, 2018a) e do Portal Hidroweb (ANA, 2018b), através do qual se obteve também as séries históricas de vazão das estações fluviométricas. Foram ainda utilizados os programas QGIS Desktop 2.12.3 e Hidro 1.3.0.005 (ANA, 2018c) para manipulação e tratamento dos dados.

Para a estimativa das áreas de drenagem, perímetros e coeficientes de compacidade das bacias hidrográficas em estudo, inicialmente, foi necessário realizar a delimitação geográfica dessas, a partir do modelo digital de elevação (MDE) da região (SANTOS, 2018).

Após a delimitação das bacias (Figura 1), foram extraídos de cada vetor os valores referentes à área de drenagem e ao perímetro de cada uma e a partir do conhecimento dessas variáveis foi calculado o coeficiente de compacidade.

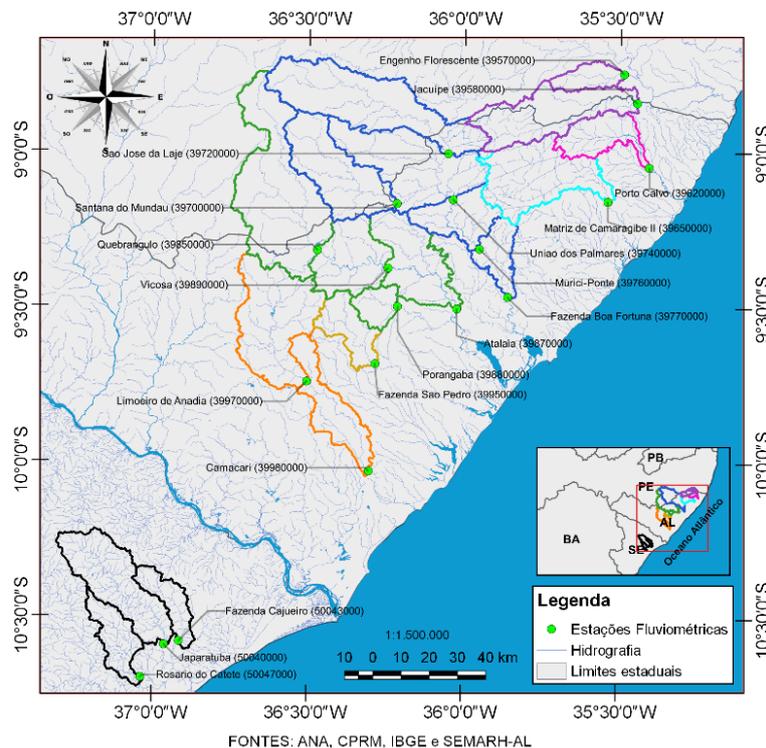


Figura 1 - Estações fluviométricas que monitoram mananciais de bacias hidrográficas na área de estudo e delimitação das áreas de drenagem

Com base nos MDE de toda área de estudo, as altitudes máxima e mínima de cada bacia hidrográfica foram obtidas. Com essas informações, a amplitude altimétrica foi calculada a partir da diferença entre as altitudes máxima e mínima identificadas em cada bacia hidrográfica.

A caracterização do relevo das 19 bacias hidrográficas em análise foi realizada a partir da avaliação de suas declividades conforme a classificação proposta pela EMBRAPA (1979).

A caracterização do clima foi realizada com base no mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil proposta por Alvares *et al.* (2014).

As coordenadas geográficas dos centroides das 19 bacias hidrográficas foram obtidas através do programa QGIS Desktop 2.12.3, o que possibilitou a avaliação da localização geográfica desses centroides como variável para a análise.

A estimativa da precipitação média mensal e anual nas 19 bacias hidrográficas foi realizada com base em dados de precipitação de 39 estações pluviométricas da RHN instaladas no entorno da área de estudo que possuem uma série histórica de precipitação com, no mínimo, 20 anos de dados (de 1964 a 1984). Após a seleção das estações pluviométricas, foram utilizados o Portal Hidroweb e o programa Hidro 1.3.0.005 para obtenção e tratamento dos dados das 39 séries históricas.

Em seguida, foi utilizado o método de Thiessen para definir as áreas de domínio de cada estação pluviométrica. Assim, através das delimitações das bacias hidrográficas, do traçado dos polígonos de Thiessen e das estimativas de precipitação média mensal e anual registradas pelas estações pluviométricas, foi empregada a Equação 1 para avaliar a precipitação média mensal e anual em cada bacia hidrográfica.

$$P_m = \frac{\sum P_{m_i} \cdot A_i}{\sum A_i} \quad (1)$$

Onde: P_m – precipitação média para a bacia (em mm); P_{m_i} – precipitação média avaliada para a estação i ; A_i – área de domínio da estação i na bacia (em km^2); $\sum A_i$ – área total da bacia (em km^2).

Por fim, as ordens dos cursos d'água nas seções relativas aos exutórios das 19 bacias hidrográficas em análise foram definidas utilizando o método proposto por Horton e modificado por Strahler (STRAHLER, 1975). Para tal, foi utilizada como referência a rede hidrográfica unifilar dos estados de Alagoas, Pernambuco e Sergipe apresentada na base cartográfica de geodiversidade estaduais do Serviço Geológico do Brasil – CPRM (CPRM, 2006).

3 – RESULTADOS

3.1 – Análise multivariada de conglomerados

A análise de conglomerados permitiu agrupar hierarquicamente as 19 bacias hidrográficas estudadas em regiões homogêneas considerando seus níveis de similaridade quanto às 12 variáveis avaliadas, conforme mostra o dendograma da Figura 2.

Considerando um nível de dissimilaridade de 50%, observa-se que a análise estatística retornou três grandes grupos de bacias hidrográficas que podem ser caracterizados como:

- Grupo I – composto, em sua maior parte, pelas bacias hidrográficas situadas entre a zona da mata e o litoral norte alagoano, compreendendo a região norte da área de estudo;
- Grupo II – composto pelas bacias hidrográficas situadas nas regiões hidrográficas do Mundaú

e Paraíba, abrangendo a zona da mata alagoana e o agreste pernambucano, compreendendo a região central da área de estudo; e

- Grupo III – composto pelas bacias hidrográficas situadas entre o agreste e litoral sul alagoano e o leste sergipano, regiões que, apesar de estarem situadas próximas ao rio São Francisco, drenam suas águas para o oceano atlântico, compreendendo a região sul da área de estudo.

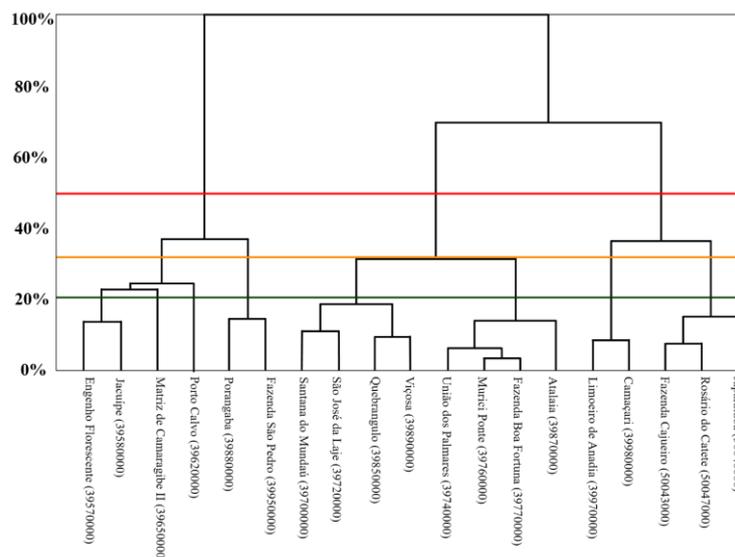


Figura 2 – Dendrograma obtido da análise multivariada de conglomerados considerando 12 variáveis de 19 bacias

Destaca-se que, no caso do grupo I, apesar das bacias monitoradas pelas estações fluviométricas Porangaba (39880000) e Fazenda São Pedro (39950000) estarem situadas próximas à região do Paraíba (grupo II), as características físicas e hidrológicas consideradas levaram ao agrupamento dessas duas bacias como semelhantes às bacias do litoral norte alagoano (grupo I).

Considerando um nível de dissimilaridade mais restritivo, de 30%, observa-se a formação de seis sub-grupos de bacias hidrográficas que podem ser caracterizados da seguinte forma:

- Sub-grupo I-A – composto pelas quatro bacias situadas entre a zona da mata e o litoral norte alagoano – região ao extremo norte da área de estudo;
- Sub-grupo I-B – composto pelas duas bacias situadas na zona da mata alagoana entre as regiões do Paraíba e São Miguel;
- Sub-grupo II-A – composto pelas quatro bacias situadas nas regiões do alto Mundaú e alto Paraíba, abrangendo predominantemente o agreste pernambucano;
- Sub-grupo II-B – composto pelas quatro bacias situadas nas regiões do médio e baixo Mundaú e baixo Paraíba, abrangendo a zona da mata alagoana e o agreste pernambucano;
- Sub-grupo III-A – composto pelas duas bacias situadas na região do Coruripe, abrangendo o agreste, a zona da mata e o litoral sul alagoano; e
- Sub-grupo III-B – composto pelas três bacias situadas na região do Japarituba, abrangendo o

leste sergipano – região ao extremo sul da área de estudo.

Realizando uma análise mais restritiva, ao reduzir ainda mais o nível de dissimilaridade, para percentuais inferiores a 20%, é possível perceber que o método de conglomerados realiza certos agrupamentos considerando algumas especificidades, tais como:

- No sub-grupo I-A, apesar das similaridades entre todas as bacias do litoral norte alagoano, ao aumentar o nível de restrição, o método de conglomerados agrupou as bacias pertencentes à região do Jacuípe-Úna diferenciando-as das demais situadas em outras regiões; e
- Nos sub-grupos II-A e II-B, apesar das similaridades entre as regiões do Mundaú e Paraíba, ao aumentar o nível de restrição, o método de conglomerados formou dois conjuntos distintos sendo um para as bacias pertencentes à região do Mundaú e outro para a região do Paraíba.

Diante disso, é possível perceber que a análise de conglomerados, considerando as 12 variáveis avaliadas, mostrou ser uma ferramenta prática e satisfatória para o agrupamento das bacias hidrográficas da região leste de Alagoas, visando à definição de regiões homogêneas.

3.2 – Análise da curva de permanência das vazões específicas

De posse das séries históricas de vazão para cada estação fluviométrica e conhecidas suas respectivas áreas de drenagem, foram geradas as curvas de permanência das vazões específicas para cada estação fluviométrica (Figura 3).

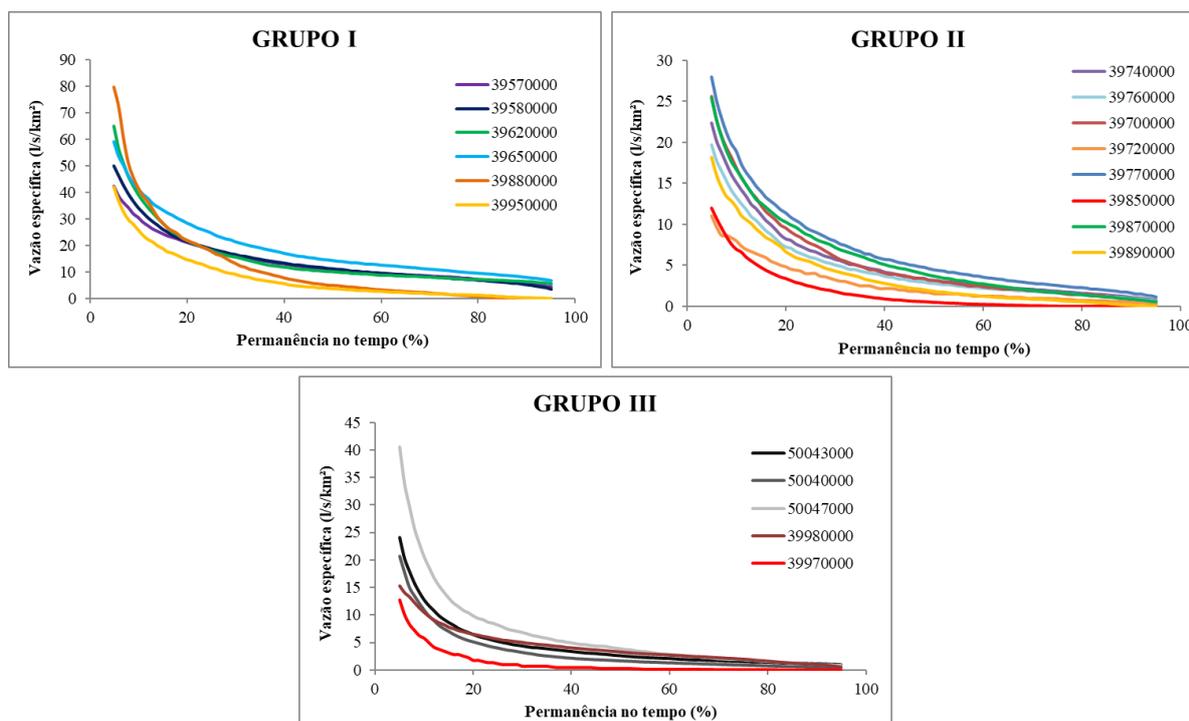


Figura 3 – Curvas de permanência das vazões específicas das 19 estações fluviométricas consideradas no estudo, agrupadas conforme resultados obtidos da análise de conglomerados para um nível de dissimilaridade de 50%
Considerando o resultado da análise de conglomerados para um nível de dissimilaridade de

50% (grupos I, II e III), observa-se que as curvas de permanência das vazões específicas para as estações fluviométricas reunidas em um mesmo grupo apresentam similaridades em suas formas.

Essa análise fica mais evidente observando a Tabela 1 que mostra os desvios obtidos para os dados de vazão específica de todas as estações fluviométricas, e também os desvios obtidos para os dados de vazão específica das estações fluviométricas de cada grupo.

Tabela 1 – Desvio padrão obtido para os dados de vazão específica de todas as estações fluviométricas e das estações fluviométricas separadas por grupo

Perm (%)	Desvio Padrão			
	Todas as estações	Grupo I	Grupo II	Grupo III
90	2,44	3,28	0,53	0,47
80	2,86	3,57	0,71	0,67
70	3,24	3,78	0,86	0,89
60	3,54	3,88	1,05	1,13
50	3,99	4,07	1,28	1,42
40	4,63	4,11	1,57	1,74
30	5,78	4,02	2,03	2,28
20	7,68	4,36	2,73	2,91
10	11,86	6,40	4,28	5,38

Nota-se que o agrupamento das bacias produziu, em geral, uma redução nos desvios, o que indica que as curvas de permanência das vazões específicas de um mesmo grupo apresentam um comportamento mais homogêneo do que quando realizada a análise entre todas as estações.

No entanto, avaliando os dados do grupo I, para as vazões mínimas (permanência entre 50% e 90%), observa-se que os desvios aumentaram quando comparados com os desvios obtidos entre todas as estações. Isso se deve ao fato das estações fluviométricas 39880000 e 39950000 (que formam o grupo I-B) apresentarem vazões específicas mínimas inferiores às demais estações do grupo (que formam o grupo I-A), conforme pode ser observado na Figura 3. Isso que mostra que, apesar de haver semelhanças entre as bacias hidrográficas que compõem os dois sub-grupos (I-A e I-B), o regime hidrológico de base desses dois sub-grupos são consideravelmente diferentes.

Partindo para a análise das curvas de permanência das vazões específicas para as estações fluviométricas reunidas por sub-grupo (I-A, I-B, II-A, II-B, III-A e III-B), foram obtidos os agrupamentos de curvas de permanência das vazões específicas apresentados na Figura 4.

Considerando o resultado da análise de conglomerados para um nível de dissimilaridade de 30%, observa-se que as curvas de permanência das vazões específicas reunidas em um mesmo sub-grupo apresentam similaridades em suas formas.

Mais um vez, essa análise fica mais evidente observando os desvios obtidos para os dados de vazão específica das estações fluviométricas separadas por sub-grupo (Tabela 2).

Nota-se que, comparativamente aos desvios obtidos com o agrupamento anterior (Tabela 1), o agrupamento mais restritivo das bacias em sub-grupos produziu, em geral, uma redução nos desvios,

o que indica que as curvas de permanência das vazões específicas de um mesmo sub-grupo apresentam um comportamento mais homogêneo do que quando realizada a análise entre os grupos.

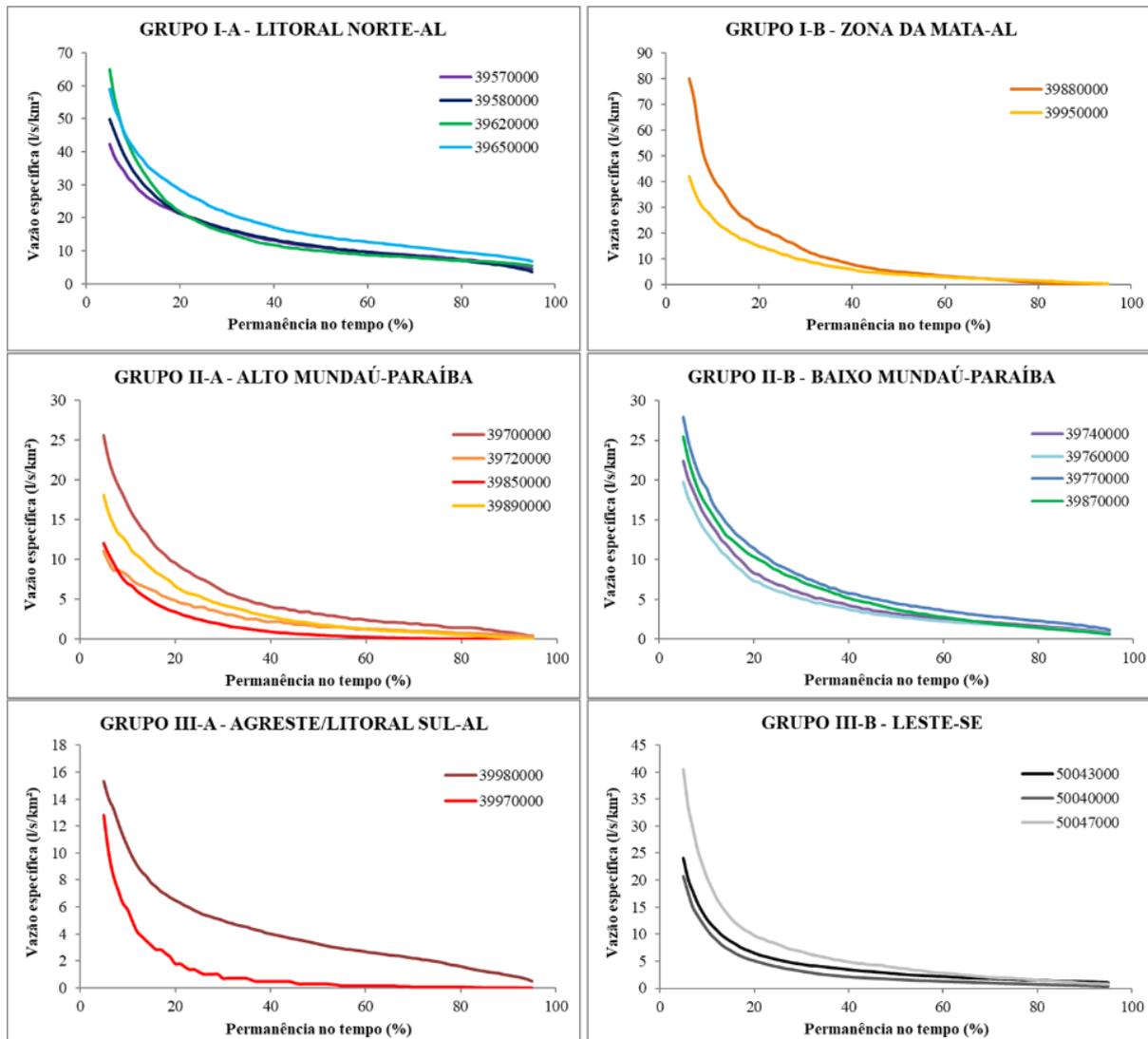


Figura 4 – Curvas de permanência das vazões específicas das 19 estações fluviométricas consideradas no estudo, agrupadas conforme resultados obtidos da análise de conglomerados para um nível de dissimilaridade de 30%

Tabela 2 - Desvio padrão e média obtidos para os dados de vazão específica das estações separadas por sub-grupo

Perm (%)	Desvio Padrão						Perm (%)	Média					
	Grupo I		Grupo II		Grupo III			Grupo I		Grupo II		Grupo III	
	A	B	A	B	A	B		A	B	A	B	A	B
90	1,19	0,30	0,38	0,33	0,64	0,38	90	6,30	0,21	0,38	1,15	0,47	0,88
80	1,25	0,37	0,59	0,42	1,07	0,48	80	7,71	1,06	0,69	1,68	0,83	1,23
70	1,41	0,20	0,76	0,45	1,50	0,57	70	9,01	2,01	0,97	2,18	1,13	1,59
60	1,74	0,40	0,88	0,59	1,77	0,83	60	10,08	3,04	1,29	2,76	1,42	2,09
50	1,86	0,87	1,11	0,73	2,09	1,15	50	11,67	4,34	1,77	3,54	1,77	2,71
40	2,27	1,50	1,33	0,93	2,48	1,43	40	13,84	6,76	2,50	4,67	2,24	3,48
30	2,65	2,89	1,80	1,35	3,02	1,89	30	17,47	11,25	3,86	6,48	2,86	4,80
20	3,48	5,18	2,66	1,90	3,31	2,46	20	23,23	18,32	6,13	9,29	4,13	7,12
10	4,85	11,21	4,51	2,38	3,28	5,16	10	36,28	33,77	10,99	16,00	8,13	14,71

O único sub-grupo que apresentou um resultado discrepante dos demais foi o sub-grupo III-A,

que envolve as duas estações que monitoram a bacia do rio Coruripe. Nesse sub-grupo, os desvios foram mais acentuados do que os obtidos no agrupamento anterior (Tabela 1). Isso indica que as curvas de permanência das vazões específicas obtidas para as estações fluviométricas 39970000 e 39980000 apresentam considerável diferença, conforme pode ser verificado na Figura 4.

Visto que ambas as estações fluviométricas estão situadas na bacia hidrográfica do rio Coruripe, monitorando o rio Coruripe em duas seções que distam aproximadamente 60 km (ao longo do rio), a discrepância observada entre as curvas suscita reflexões, tais como:

- i. A vazão específica baseada somente na área como variável de equalização pode não ser suficiente para avaliar o comportamento hidrológico dessa bacia, visto que ela cruza mais de uma região do estado: agreste, zona da mata, e litoral sul;
- ii. Apesar das estações monitorarem o mesmo rio, o regime hidrológico entre as duas seções pode mudar consideravelmente. Nesse caso, as 12 variáveis consideradas na análise de conglomerados podem não ser suficientes para distinguir as regiões hidrológicas; e
- iii. Além destes, outros fatores não avaliados no presente estudo como variações significativas na bacia hidrográfica no tempo e espaço (*e.g.* uso do solo, aumento no consumo e estruturas hídricas), podem ter interferido na análise.

Por fim, comparando as médias das vazões específicas obtidas nos sub-grupos (Tabela 2), nota-se que o sub-grupo I-A apresentou vazões específicas consideravelmente superiores aos demais, indicando que as bacias situadas no litoral norte de Alagoas possuem os maiores potenciais hídricos superficiais por unidade de área dentre as regiões avaliadas.

Por outro lado, o sub-grupo III-A apresentou as menores vazões específicas, indicando que as bacias situadas próximas ao agreste alagoano, transição entre o leste e o sertão, possuem os menores potenciais hídricos superficiais por unidade de área dentre as regiões avaliadas.

4 – CONCLUSÕES

A análise multivariada de conglomerados considerando as 12 variáveis (físicas e hidrológicas) empregadas no estudo mostrou ser uma ferramenta satisfatória para o agrupamento das bacias da região leste de Alagoas, visando à previsão de regiões hidrológicamente homogêneas.

A partir do estudo, foi possível notar a existência de quatro regiões hidrológicamente homogêneas em Alagoas: Litoral Norte, Zona da Mata, Alto Mundaú-Paraíba, Baixo Mundaú-Paraíba, considerando as 19 estações fluviométricas com série de dados disponíveis na área de estudo e seu entorno. Dentre essas regiões, o litoral norte de Alagoas desponta como a região com o maior potencial hídrico superficial por unidade de área.

O método de conglomerados mostrou limitação quanto à previsão de regiões hidrologicamente homogêneas na região hidrográfica do rio Coruripe. Nesse sentido, o aumento na rede de monitoramento hidrológico associado a estudos mais detalhado da região do agreste e litoral sul do estado são fatores necessários para o entendimento dos regimes hidrológicos na região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH-AL) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (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.

5 – REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. *Köppen's climate classification map for Brazil*. Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Portal Telemetria*. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/gestorpcd/>> Acesso em março de 2018a.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Portal Hidroweb*. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>> Acesso em março de 2018b.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Hidro 1.3.0.005 - Sistema de informações hidrológicas*. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/sistemas/gestao-e-analise-de-dados-hidrologicos/instalador-hidro-build-1-3-0-005.zip/view>> Acesso em março de 2018c.
- AYRES, M. A. J.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. A. S. *BioEstat 5.0: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas*. Belém: MCT; IDSM; CNPq, 2007. 364 p. il.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Mapa de geodiversidade Estaduais*. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geodiversidade/Mapas-de-Geodiversidade-Estaduais-1339.html>>. Acesso em abril de 2018.
- ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. *Manual de minicentrals hidrelétricas*. Rio de Janeiro-RJ, 1985.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Serviço nacional de levantamento e conservação de solos*. Rio de Janeiro-RJ. Reunião técnica de levantamento de solos, 10. Súmula. Rio de Janeiro, SNLCS, 1979. 83p.
- SANTOS, J. QGIS - *Delimitação de bacias hidrográficas com o TauDEM no Windows 10*. Disponível em: <<http://www.processamentodigital.com.br/2017/11/06/qgis28-delimitacao-de-bacias-hidrograficas-com-taudem/>>. Acesso em abril de 2018.
- TUCCI, C. E. M. “Regionalização de vazões”, in *Hidrologia: ciência e aplicação*. Org por TUCCI, C. E. M. Porto Alegre: ABRH, 2013. p.573-619.