

IV-079 - IDENTIFICAÇÃO DE SUB-REGIÕES HOMOGÊNEAS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO TAPAJÓS

Vanessa Conceição dos Santos ⁽¹⁾

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/ITEC/UFPA)

Edkeyse Dias Gonçalves ⁽²⁾

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/ITEC/UFPA)

Claudio José Cavalcante Blanco, PhD ⁽³⁾

Professor da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental (FAESA/ITEC/UFPA)

Francisco Carlos Lira Pessoa ⁽⁴⁾

Pós-doutorando do Programa Nacional de Pós-Doutorado – PNPD/CAPES (PPGEC/ITEC/UFPA)

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, Belém – PA – CEP: 66075-110 – Brasil
- Telefone: (91) 3201-8063 - E-mail : vanessa.santos@itec.ufpa.br

RESUMO

A precipitação é um parâmetro meteorológico que varia muito no tempo e no espaço e compreensão das características pluviométricas das regiões é de extrema importância para o desenvolvimento de pesquisas na área de recursos hídricos e também para o estudo das mudanças climáticas, uma vez que referencia a pluviometria regional ao longo do tempo. No entanto, há uma grande dificuldade em monitorar os dados de precipitação em uma rede hidrográfica densa e extensa como a do Brasil. Para tentar preencher essa falha, os pesquisadores têm empregado a identificação de regiões hidrologicamente homogêneas, que quando realizada de forma integrada, ou seja, considerando as variações interanuais, podem suprir a carência de informações numa dada região. Assim, no presente estudo, foi aplicado a Análise de Cluster para a identificação de regiões pluviometricamente homogêneas na Bacia Hidrográfica do Tapajós para uma série histórica de 12 anos (2003 a 2014) em 70 estações pluviométricas distribuídas no limite da Bacia. Foram utilizadas as variáveis: altitude, longitude, latitude e precipitação média descendial. Utilizando o método hierárquico aglomerativo de *Ward*, com a distância Euclidiana como medida de similaridade, foram encontradas quatro sub-regiões homogêneas de precipitações médias descendiais. A aplicação do método de *Ward* resultou em uma boa representação espacial das sub-regiões homogêneas na Bacia Hidrográfica do Tapajós.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Cluster, Precipitação, Regiões Homogêneas.

INTRODUÇÃO

Na região amazônica, a precipitação é um parâmetro meteorológico que varia muito no tempo e no espaço. A compreensão das características pluviométricas das regiões é de extrema importância para o desenvolvimento das pesquisas hídricas, hidrogeológicas, para o setor agrícola e florestal, para o planejamento ambiental e também para o estudo das mudanças climáticas, uma vez que referencia a pluviometria regional ao longo do tempo.

O monitoramento de dados históricos tanto de precipitações como de vazões são obtidos em postos pluviométricos e fluviométricos instalados em bacias hidrográficas. No entanto, há uma grande dificuldade em monitorar vazões e precipitações em uma rede hidrográfica densa e extensa como a do Brasil, e também pela falta de investimento na implantação dessas estações hidrométricas (PESSOA et al., 2011).

Motivado pela diversidade de distribuição, espaço-temporal, da precipitação pluviométrica, a falta de manutenção das estações e ainda tendo em vista necessidade de utilização de séries longas de dados nos estudos climatológicos, é recomendado identificar regiões similares de precipitação.

Em hidrologia, o termo “regiões homogêneas” está associado com as regiões que possuem semelhança hidrológica, seja ela uma semelhança física, climática, fatores biológicos e geológicos e as ações humanas e

efeitos. A definição de regiões homogêneas é considerada a fase de regionalização com um determinado grau de dificuldade, pois a etapa de determinação muitas vezes requer julgamento subjetivo. Uma sub-região é uma unidade conceitual que deriva de uma região maior permitindo assim a utilização de um método de análise em menor escala.

O presente trabalho tem como objetivo oferecer uma contribuição ao estudo climático da Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós, a partir da identificação de sub-regiões pluviométricamente homogêneas em relação à média total descendial, utilizando-se análise hierárquica de agrupamento (*Cluster*).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

Para este trabalho, a região estudada foi a Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós. A bacia do Tapajós configura uma das principais sub-bacias da amazônica legal, faz fronteira com o estado do Pará, Amazonas, Mato Grosso e Roraima (Figura 1), com uma área drenagem de 764.183 km². A referida bacia é afluente da margem direita do rio Amazonas, representa uma bacia federal (por drenar mais de um Estado) e de importante contribuição para manutenção dos ecossistemas amazônicos, configurando também áreas de diferentes potenciais à exploração dos recursos naturais.

Com extensão territorial de 2.000 quilômetros, o principal rio, o Tapajós, é formado a partir do encontro dos rios Jurueña e Teles Pires, na divisa dos estados de Mato Grosso, Amazonas e Pará. A partir desse ponto, avança cerca de 800 quilômetros para desaguar na margem direita do rio Amazonas. A estação de maior pluviosidade se dá nos meses de dezembro a maio, tendo o mês de março como período mais chuvoso, já o período de menor pluviosidade está entre junho e novembro com precipitações menores para o mês de setembro (TAPAJÓS, 2014).

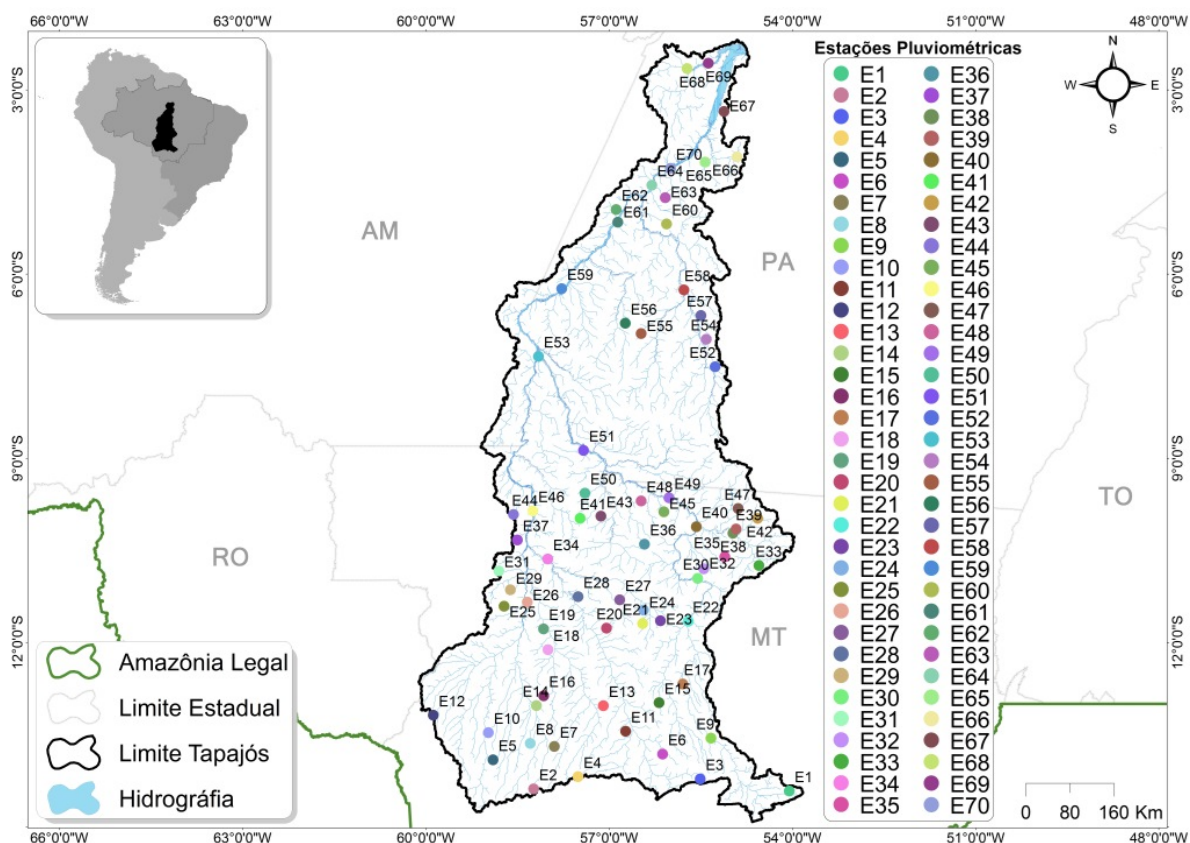


Figura 01: Localização da Bacia do Tapajós e das estações pluviométricas utilizadas.

Dados utilizados

Foram utilizadas médias totais descendiais da precipitação de 70 estações meteorológicas, período 2003 – 2014, das redes do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e da Agência Nacional de Águas - ANA, distribuídas espacialmente no território da Bacia do Tapajós. As estações utilizadas estão listadas na Tabela 01.

Tabela 01: Estações pluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Tapajós

ID	Código	NOME	EST	LON	LAT	ALT	P (mm)
E1	1454000	Paranatinga	MT	-54.0494	-14.4178	484	4.80092
E2	1458002	Brasfor	MT	-58.2344	-14.3842	605	4.74185
E3	1455009	Fazenda Rio Novo	MT	-55.5067	-14.2214	422	4.97934
E4	1457003	Deciolândia	MT	-57.5069	-14.1847	620	5.15183
E5	1358005	Speráfico	MT	-58.8981	-13.9100	661	5.64922
E6	1356002	Nova Mutum	MT	-56.1222	-13.8156	471	4.58554
E7	1357001	Campo Novo do Parecis	MT	-57.8944	-13.6922	569	4.81783
E8	1358001	Bacaval	MT	-58.2892	-13.6414	547	4.57406
E9	1355001	Porto Roncador	MT	-55.3317	-13.5564	352	5.07997
E10	1358002	Fazenda Tucunaré	MT	-58.975	-13.4667	547	7.20783
E11	1356004	São José do Rio Claro	MT	-56.7275	-13.4450	356	4.55625
E12	1359000	Padronal	MT	-59.8769	-13.1831	600	6.13600
E13	1357000	Nova Maringá	MT	-57.0925	-13.0292	316	5.01300
E14	1358007	Aldeia Sacre II	MT	-58.1881	-13.0267	383	4.45987
E15	1256002	Fazenda Divisão	MT	-56.1806	-12.9797	407	5.14230
E16	1258001	Fazenda Floresta	MT	-58.0703	-12.8675	478	5.06531
E17	1255001	Teles Pires	MT	-55.7931	-12.6750	316	4.83527
E18	1257000	Brasnorte	MT	-57.9992	-12.1169	321	5.16005
E19	1158003	Fazenda Tombador	MT	-58.0725	-11.7772	257	5.18458
E20	1157002	Olho D'água	MT	-57.0419	-11.7650	284	5.35917
E21	1156001	Sinop (Faz. Sempre Verde)	MT	-56.4486	-11.6914	358	5.36917
E22	1155000	Cachoeirão	MT	-55.7017	-11.6531	298	5.22296
E23	1156003	Nova Americana	MT	-56.1572	-11.6447	351	5.62477
E24	1156000	Fazenda Itauba	MT	-56.4333	-11.4714	346	5.42892
E25	1158002	Juína	MT	-58.7186	-11.4081	356	6.27505
E26	1158001	Fontanilhas	MT	-58.3383	-11.3417	250	4.79453
E27	1156002	Tabaporã	MT	-56.825	-11.3047	339	5.15969
E28	1157001	Juara	MT	-57.5067	-11.2531	288	5.42056
E29	1158004	Castanheira	MT	-58.615	-11.1392	337	4.98932
E30	1055003	Fazenda Tratex	MT	-55.5486	-10.9558	343	5.70450
E31	1058004	Novo Tangara	MT	-58.8033	-10.8342	326	5.88879
E32	1055002	Colider	MT	-55.4486	-10.7986	313	4.74400
E33	1054000	Agropecuária Cajabi	MT	-54.5461	-10.7461	424	5.30586
E34	1058006	Rio Arinos	MT	-58.0039	-10.6397	208	5.50127
E35	1055004	Terra Nova do Norte	MT	-55.1033	-10.6044	265	5.87582
E36	1056001	Estância Buriti	MT	-56.4192	-10.3975	362	5.81862
E37	1058003	Juruena	MT	-58.5003	-10.3286	219	5.54111
E38	1055000	Estrada Cuiabá - Santarém	MT	-54.9703	-10.2194	250	5.72708
E39	1054002	Matupá	MT	-54.9186	-10.1500	270	5.61420
E40	1055001	Indeco	MT	-55.57	-10.1125	254	5.32995
E41	957002	Nova Monte Verde	MT	-57.4736	-9.9761	297	6.15194
E42	954002	Guaranta do Norte	MT	-54.5653	-9.9758	300	4.92465
E43	1057001	Trivelato	MT	-57.1319	-9.9414	262	6.29015
E44	958004	Cotriguaçu	MT	-58.5642	-9.9133	261	6.31431
E45	956000	Alta Floresta	MT	-56.1022	-9.8703	400	6.11500
E46	1058002	Núcleo Ariel	MT	-58.2469	-9.8561	220	5.85115
E47	954001	Cachimbo	MT	-54.8858	-9.8172	297	6.09876
E48	956002	Paranaíta	MT	-56.4742	-9.6939	290	6.28998
E49	956001	Jusante Foz Peixoto de Azev.	MT	-56.0183	-9.6425	290	6.41033

E50	957001	Novo Planeta	MT	-57.3947	-9.5664	219	5.58261
E51	857000	Santa Rosa	MT	-57.4164	-8.8703	212	5.57919
E52	655001	Km 1027 da Br-163	PA	-55.2614	-7.5067	231	6.11356
E53	758000	Barra do São Manuel	AM	-58.155	-7.3389	101	7.61577
E54	755000	Novo Progresso	AM	-55.4078	-7.0606	242	5.91519
E55	655002	Garimpo do Patrocínio	PA	-56.4728	-6.9678	247	5.59650
E56	656003	Crepório (Ex. - Mundico Coelho)	PA	-56.7333	-6.8000	240	6.30749
E57	555002	Km 1130 Br-163	PA	-55.4958	-6.6714	193	5.74134
E58	655004	Jardim do Ouro	PA	-55.7733	-6.2575	179	5.29659
E59	657000	Jacareacanga	PA	-57.7756	-6.2358	99	5.85149
E60	555000	Km 1326 Br-163	PA	-56.0578	-5.1825	100	6.80145
E61	556000	Jatobá	PA	-56.8556	-5.1542	108	6.54162
E62	456001	Km 1342 Transamazônica	PA	-56.8822	-4.9469	70	6.20082
E63	455003	Km 1385 Br-163	PA	-56.0794	-4.7547	160	5.73555
E64	456002	Acampamento Uruá	PA	-56.3	-4.5500	19	6.70263
E65	455002	Cupari	PA	-55.4269	-4.1750	43	5.99801
E66	455004	Rurópolis Presidente Médici	PA	-54.9028	-4.0894	130	5.67515
E67	355001	Mutum	PA	-55.1167	-3.35	126	5.63426
E68	255001	Cachoeira do Aruá	PA	-55.7206	-2.6508	20	5.77094
E69	255002	São José	PA	-55.3742	-2.5644	15	6.45245
E70	455001	Itaituba	PA	-55.9931	-4.2772	45	6.25509

A determinação dos decêndios foi o mesmo proposto por Braga (1998), onde foram feitos totais descendiais da precipitação, sendo que cada mês está dividido em três decêndios com base na informação diária de precipitação, de modo que nos meses de 30 dias, cada decêndio terá um período de 10 dias, já nos meses de 31 dias o último decêndio tem um período de 11 dias, e por fim, no mês de fevereiro o último decêndio tem um período de 08 ou 09 dias, se o ano for bissexto.

Para aplicar a análise de agrupamento para os dados acima mencionados, foram selecionadas quatro variáveis: longitude, latitude, altitude e precipitação.

Análise de Agrupamento - Cluster

Segundo Hair et al (2009), a análise estatística multivariada pode ser definida como todas as técnicas estatísticas que simultaneamente analisam múltiplas medidas sobre indivíduos ou objetos sob investigação, ou seja, é a relação entre duas ou mais variáveis

A análise de agrupamento tem a finalidade de agrupar itens individuais (tais como objetos, locais ou de amostras) em vários grupos, de acordo com um critério de classificação para que haja homogeneidade dentro de um grupo (ou variáveis) e heterogeneidade entre os demais grupos formados com base em suas características (GONÇALVES, 2015).

O método de agrupamento utilizado é um método hierárquico, com principais aspectos que produzem sequência de partições em classes cada vez mais vastas e obtém a construção de uma sequência de partição em $n, n-1, n-2, \dots$, classes embutidas uma nas outras no sentido de uma distância e um critério de agrupamento (BOUROCHE et. al., 1980; EVERITT, 1974 *apud* BRAGA et al, 1998), de modo que os resultados são pares ou grupos que vão de muito a pouco próximos ou similares.

O critério de agrupamento utilizado foi o de Ward (1963), sendo este um método de agrupamento de dados hierárquico que forma grupos de tal forma a conseguir sempre o menor erro interno entre os vetores que compõem cada grupo e o vetor médio do grupo. Para cada fase, o método de Ward usa a Equação. (01), que regula o funcionamento do método e da sua convergência.

$$E_{(G1G2)} = \sum_V^p \sum_{\substack{i=1 \\ i \in G1}}^n (x_{iv} - \bar{x}_v)^2$$

Equação (01)

Onde:

O valor de E para dois grupos, G_1 e G_2 ;

\bar{x}_v é a média do grupo para cada variável v .

O método da distância euclidiana é uma medida constantemente utilizada na combinação de objetos pela medida de similaridade, visto que é uma distância geométrica perfeitamente métrica tomada em um espaço de p dimensões. Sendo x_{ij} a observação da i -ésima estação pluviométrica ($i = 1, 2, \dots, n$), com referência a j -ésima variável em cada classe ($j = 1, 2, \dots, p$) estudada, define-se a distância euclidiana padronizada entre dois postos i e i' , dada pela (Equação 02), (GOMES et al., 2013).

$$DE = \sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{i'j})^2$$

Equação (02)

Onde:

x_{ij} é a j -ésima característica do i -ésimo indivíduo;

$x_{i'j}$ é a j -ésima característica do i' -ésimo indivíduo.

A padronização dos dados ocorre quando as variáveis se encontram em diferentes escalas de medidas, portanto quando se tem diferentes variáveis e o objetivo é aplicar a análise de Cluster é recomendado realizar a padronização dos dados, pois qualquer medida de distância vai refletir os pesos das variáveis que apresentarem maior valor e maior dispersão (PESTANA e GAGEIRO, 2000). A padronização é realizada subtraindo-se de cada variável a média e dividindo pelo desvio padrão da variável, este método de padronização pode ser verificado em Gomes et al., (2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de agrupamento foi aplicada a valores de Precipitação Média Descendial, nas 70 estações pluviométricas estudadas, considerando uma série histórica de 12 anos. Para o período selecionado, a precipitação média máxima diária e média mínima diária encontrada na bacia em estudo foi de 7,6159 mm e 4,4599mm, respectivamente.

A Figura 02 apresenta o dendrograma com a formação dos grupos e os resultados das análises de sensibilidade. No eixo x do dendrograma estão representadas as estações pluviométricas que foram agrupadas de acordo com a sua semelhança. O eixo y representa a medida de semelhança para distâncias de ligação. Na análise de sensibilidade, a distância 06 foi selecionada por apresentar uma menor ocorrência de pontos isolados nos grupos formados, resultando assim em 04 sub-regiões homogêneas, ou seja, 04 grupos sendo as estações de cada grupo identificada na tabela 02.

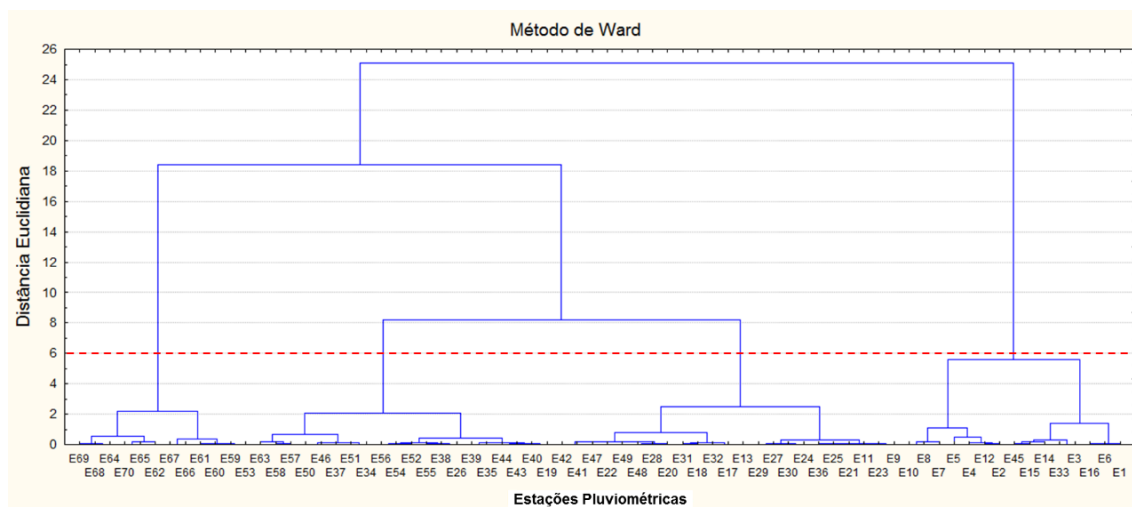


Figura 02: Dendrograma - Estações agrupadas de acordo com sua similaridade

Tabela 02: Identificação das estações de cada grupo

Grupo	ID das Estações Pluviométricas
Grupo 01	E1; E2; E3; E4; E5; E6; E7; E8; E10; E12; E14; E15; E16; E33; E45.
Grupo 02	E9; E11; E13; E17; E18; E20; E21; E22; E23; E24; E25; E27; E28; E29; E30; E31; E32; E36; E41; E42; E47; E48; E49.
Grupo 03	E19; E26; E34; E35; E37; E38; E39; E40; E43; E44; E46; E50; E51; E52; E54; E55; E56; E57; E58; E63
Grupo 04	E53; E59; E60; E61; E62; E64; E65; E66; E67; E68; E69; E70

A Figura 03 apresenta os resultados da análise de agrupamento das médias descendentes de precipitação, considerando-se os 12 anos, 2003-2014, com a distribuição da precipitação representada por isolinhas.

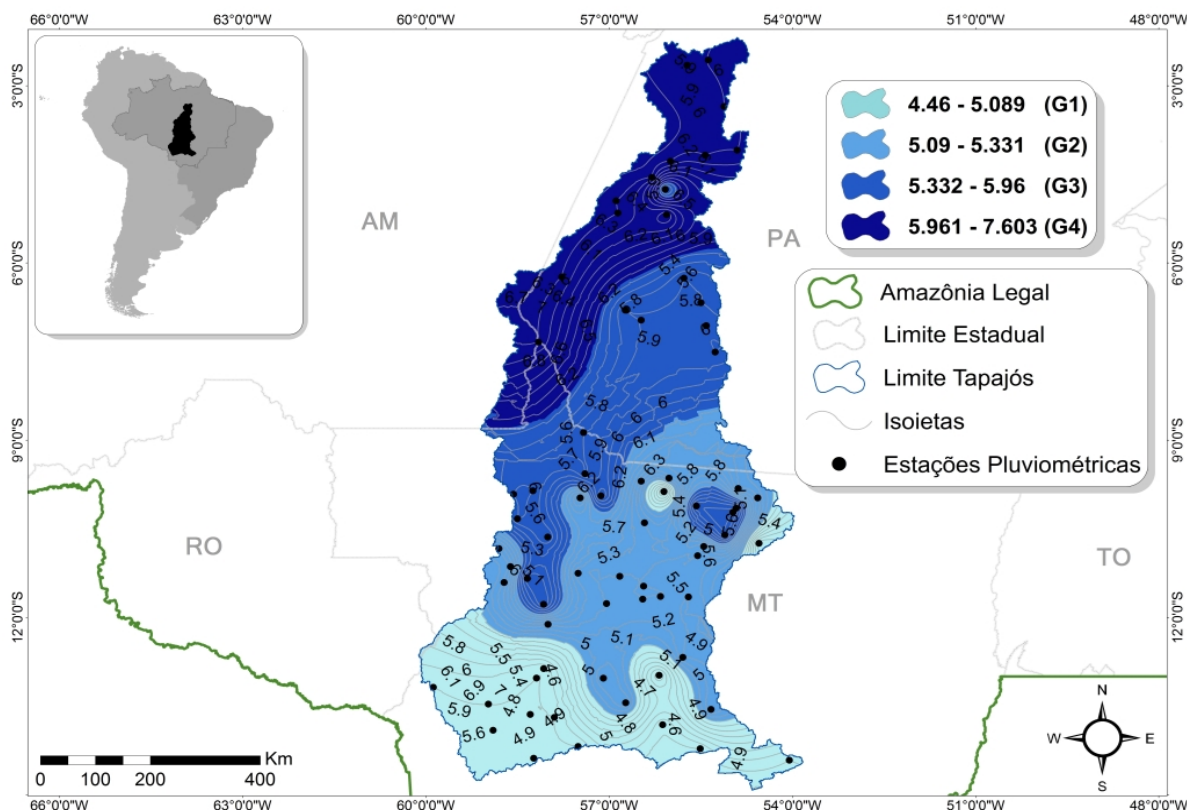


Figura 03: Sub-regiões homogêneas de precipitação na Bacia do Tapajós – Isolinhas de precipitação média descendial.

Conforme se pode visualizar na Figura 03, o maior índice de precipitação média diária ocorreu na porção Norte da Bacia, que está representado pelo intervalo de 5,961mm – 7,603mm (Grupo 04). Já os menores índices de precipitação ocorreram na região Sul da bacia, representado pelo intervalo de 4,46mm – 5,089mm (Grupo 01).

O primeiro grupo ficou concentrado dentro do Estado de Mato Grosso, onde há a predominância do bioma Cerrado. Segundo Domingues & Bermann (2012), o Sul da bacia do rio Tapajós, onde foram encontrados os menores índices de precipitação, é coincidente com a área definida como Arco do desmatamento. O Grupo 4 se distribuiu nos Estados do Amazonas e Pará onde há a predominância no Bioma Amazônico, ou seja, há uma predominância da cobertura vegetal. A questão entre cobertura vegetal e balanço hídrico podem estar relacionadas, pois demonstra que de acordo com a cobertura do solo pode variar o percentual de precipitação pluviométrica que possibilita a recarga das águas superficiais e subterrâneas, por interferir diretamente na componente escoamento (ZINGLER et al (2004) *apud* SANTOS et al. (2014).

Os resultados obtidos para a distribuição da precipitação pluviométrica demonstram que a área referente cabeceira da bacia do rio Tapajós representa a zona de menores índices de precipitação, tanto por apresentar maior variabilidade entre os períodos seco e chuvoso, quanto por ser uma zona de maior tendência ao escoamento, o que naturalmente contribui para uma menor recarga do sistema (DAS et al., 2012).

CONCLUSÕES

Na Bacia do Tapajós, foi possível identificar por meio da análise de agrupamento 04 regiões pluviometricamente homogêneas. Essa identificação possibilitou apresentar a diferença na distribuição da chuva ao longo da bacia hidrográfica em estudo, sendo o maior índice encontrado na foz e o menor índice na cabeceira da bacia.

Por estar localizada em Estados com biomas distintos, a área de estudo demonstra predominância de valores de precipitações diárias médias distribuídas do centro ao exutório da bacia, apresentando as maiores diferenças de precipitação máxima e mínima nas extremidades.

O método proposto por *Ward* determinou uma boa representação espacial das sub-regiões homogêneas quando se considera valores médios descendias de precipitação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOUROCHE, J. M., & SAPORTE, G. L. *Analyse des Données*, Presses. Universitaire France, 127p, 1980.
2. BRAGA, C.C., de MELO, M.L.D., MELO, E.C.S. Análise de agrupamento aplicada a distribuição da precipitação no Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, Brasília-DF. Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia. p.1857-62, 1998.
3. DAS, A.; MONDAL, M.; DAS, B.; GHOSH, A. R. Analysis of drainage morphometry and watershed prioritization in Bandu Watershed, Purulia, West Bengal through Remote Sensing and GIS technology - A case study. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, v. 2, n. 4, p. 995-1013, 2012.
4. DOMINGUES, M.; BERMAN, C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. *Ambiente & Sociedade*, v. 15, n. 2, p. 1-22, 2012.
5. EVERITT, B. *Cluster Analysis*, Heinemann Educational Books, London, 135 p, 1974.
6. GOMES, E. P., BLANCO, C. J. C., PESSOA, F. C. L. Análise de Agrupamento para Identificação de Regiões Hidrológicamente Homogêneas na Amazônia. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves-RS, 2013.
7. GONÇALVES, M. F., BLANCO, J. C. C., SANTOS, V. C. dos, SANTOS, L. L. dos,. Regiões homogêneas de precipitação pluvial no Estado do Pará, considerando a ocorrência de El Niño e La Niña. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Brasília, 2015.
8. PESSOA, F. C. L., BLANCO, C. J. C., MARTINS, J. R. Regionalização de Curvas de Permanência de Vazões da Região da Calha Norte no Estado do Pará. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos — RBRH*. Volume 16 n.2 - Abr/Jun 2011, p. 65-74.
9. PESTANA, M. H. e GAGEIRO, J. N. *Análise de dados para ciências sociais: a complementaridade do SPSS*. 2. ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2000.
10. SANTOS, C. A. dos, SERRÃO, E. A. O, GONÇALVES, L. de J. M., WANZELER, R. T. S, LIMA, A. M. M. de,. Zoneamento da distribuição da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Tapajós. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18; p. 2014
11. TAPAJÓS: Hidrelétricas, infraestrutura e caos. Elementos para a governança da sustentabilidade em uma região singular. Organizado por Wilson Cabral de Sousa Júnior. 1.ed. São José dos Campos: ITA/CTA, 2014. p. 92.
12. WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function, *Journal American Association*, 58: 236 – 244 p, 1963.