

DETERMINAÇÃO DE REGIÕES PLUVIOMETRICAMENTE HOMOGÊNEAS NA BACIA DO RIO DOCE/MG

Isa Belly Dominguito de Castro Sena¹
Fábio Monteiro Cruz²
Daniela Martins Cunha³
Fulvio Cupolillo⁴
Karina Bicalho Ervilha do Nascimento Campos⁵

RESUMO

A precipitação compreende fator fundamental para o desenvolvimento das atividades humanas, uma vez que ela constitui a principal forma de entrada de água nas bacias hidrográficas. Especial destaque pode ser dado ao abastecimento humano, industrial e às práticas agrícolas dentre os usos que dependem das chuvas direta ou indiretamente. A bacia do Rio Doce, localizada no sudeste brasileiro entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, compreende uma bacia de grandes dimensões cujos usos da água dependem fundamentalmente do regime de chuvas. Dessa forma, procedeu-se a um exercício de regionalização do seu clima com base na precipitação média anual, utilizando Análise de *Cluster*, buscando identificar as regiões com comportamento climático semelhante, podendo assim colaborar com os mecanismos de gestão de recursos hídricos e a racionalização do uso da água na bacia do Rio Doce. O estudo permitiu determinar duas regiões climaticamente homogêneas, dispostas no sentido leste-oeste, que caracterizam a precipitação na bacia do Rio Doce; sendo que a porção ocidental apresenta maior disponibilidade hídrica em comparação à oriental. Dessa forma, os procedimentos de outorga de recursos hídricos devem levar em conta a realidade hidrológica destas regiões.

Palavras-chave: Usos da água. Gerenciamento de recursos hídricos. Climatologia.

¹ Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) - isabelly@live.com

² Mestre em Ciências Ambientais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) - fabio.cruz@ifmg.edu.br

³ Doutora em Geografia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) - daniela.cunha@ifmg.edu.br

⁴ Doutor em Geografia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) - fulvio.cupolillo@ifmg.edu.br

⁵ Mestre em Gestão Integrada de Territórios, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) - karina.campos@ifmg.edu.br

ABSTRACT

Precipitation is a fundamental factor for the development of human activities, since it is the main form of water entry into watersheds. Special emphasis can be given to human, industrial supply and agricultural practices among the uses that depend on rainfall directly or indirectly. The Rio Doce watershed, located in southeastern Brazil between the states of Minas Gerais and Espírito Santo, comprises a large basin whose water uses depend fundamentally on the rainfall regime. Thus, an exercise of regionalization of its climate was carried out based on the average annual precipitation, using Cluster Analysis, seeking to identify the regions with similar climatic behavior, thus being able to collaborate with the mechanisms of management of water resources and the rationalization of water use in the Rio Doce watershed. The study allowed to determine two climatically homogeneous regions, arranged in the east-west direction, which characterize the precipitation in the Doce River watershed; the western portion has greater water availability compared to the eastern. Thus, the procedures for granting water resources must consider the hydrological reality of these regions.

Keywords: *Water uses. Water resources management. Climatology.*

Data de submissão: 14/06/2019

Data de Aprovação: 07/02/2020

1 INTRODUÇÃO

A água é fundamental para a manutenção da vida na Terra. Ocupando dois terços da superfície terrestre, aproximadamente 360 a 510 milhões de km², pode ser encontrada nos estados sólido, líquido e gasoso, sendo doce ou salgada; possui total interação com o meio e demais organismos (MARENGO, 2008) e sua importância se dá devido aos seus múltiplos usos. Alguns autores como Marengo (2008); Collischon e Dornelles (2013) concordam que alguns dos principais usos da água são: abastecimento humano; recreação e lazer; abastecimento industrial; irrigação, agricultura e pecuária (dessedentação animal); preservação da fauna e flora; navegação e pesca e geração de energia elétrica.

Os usos múltiplos das águas e seu aproveitamento estão intrinsecamente relacionados à disponibilidade hídrica, e esta por sua vez, é produto de inúmeros fatores. Para Lima (2008) a maneira como uma bacia se comporta em termos hidrológicos é resultado de suas características geomorfológicas, como forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, entre outros, além de sua cobertura vegetal. Ou seja, as características físicas e bióticas de uma bacia influenciam nos processos do ciclo hidrológico.

Dentre tais influências, Santos e Araújo (2013) afirmam que o fator de fundamental importância é o clima, que regula a entrada e a saída da energia dentro de uma bacia. Além disso, fornece calor e umidade e controla os processos de um sistema ambiental físico. Silva, Trinca e Nery (2009) corroboram para ressaltar a importância da precipitação para as atividades humanas ao afirmarem que, para haver um bom planejamento regional é necessário que se conheça o regime de precipitação, que determina as formas de ocupação antrópica e quais os tipos de atividades serão realizadas.

Concordam ainda com esta concepção Bertoni e Tucci (2012), ao ressaltarem que tal conhecimento sobre o regime de precipitações de uma região se torna um fator decisivo para determinar se há a necessidade de irrigação e abastecimento de água doméstico e industrial, ou de controlar inundações e erosão do solo.

No estado de Minas Gerais, uma bacia hidrográfica que merece destaque quanto aos diversos usos múltiplos das águas e suas respectivas demandas setoriais, que movimentam a economia regional e fomentam o desenvolvimento socioeconômico, é a bacia do Rio Doce. Neste sentido, o clima desta unidade merece ser estudado em grande extensão uma vez que ele comanda em grande parte os processos hidrológicos e que em última análise, garantem a disponibilidade hídrica que sustenta as atividades socioeconômicas desenvolvidas na região.

Por se tratar de uma bacia com grandes proporções - o Rio Doce possui 875 km de extensão, com uma área de drenagem de 83.400 km², de acordo com Lage *et al.* (2005 *apud* Cupolillo, Abreu e Vianello, 2008) - a bacia hidrográfica do Rio Doce apresenta início e fim de suas estações chuvosas e secas em períodos diferentes.

Desta forma, a presente pesquisa realizou um processo de zoneamento da bacia hidrográfica do Rio Doce, por meio da análise espaço-temporal do comportamento da precipitação, com fins de auxiliar os tomadores de decisão nas ações relacionadas à otimização da água nos mais diversos usos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os estudos de zoneamento climático no Brasil vêm tornando-se cada vez mais frequentes e avançados para que se conheçam as características de determinada bacia, além de sistematizar e estruturar os dados climáticos obtidos e identificar as potencialidades e as limitações para o uso da água nestes locais.

Destaque em trabalhos dessa natureza em grande escala espacial é dado a Keller, Assad e Lima (2005) que utilizaram técnicas hierárquicas de agrupamento com variáveis classificatórias definidas pela proporção de pântadas secas e por medidas de posição, escala e forma das distribuições de frequências da quantidade de chuva a fim de identificar regiões homogêneas utilizando o critério de distribuição de probabilidades de chuva no Brasil. Os autores concluíram que a análise de agrupamento se mostrou adequada ao objetivo de regionalização e que no Brasil há 25 zonas pluviometricamente homogêneas situadas em 6 áreas representativas de diversidade climática.

Exemplo dessas iniciativas pode ser observado ainda em Fachine e Galvínio (2008), que analisaram as precipitações mensais no semi-árido pernambucano e identificaram as regiões pluviometricamente homogêneas na bacia hidrográfica do Rio Brígida. Foram utilizados os dados de precipitação mensal de seis estações meteorológicas com séries de amostras entre os anos de 1964 a 2006, empregando o método de Ward.

Também ratificam a tendência na utilização de técnicas de agrupamento para estudos climatológicos Mello e Silva (2009); Silva, Trinca e Nery (2009), que identificaram as áreas espacialmente homogêneas de níveis de precipitação nas regiões sudeste e sul do Brasil, utilizando três diferentes técnicas em conjunto: análise em componentes principais (ACP), análise de agrupamento (*Cluster Analysis*) e análise geoestatística. Foram utilizadas 164 séries diárias de chuva no período de 1972 a 2002, que compreenderam 13 regiões homogêneas de precipitação com variações entre 956 mm a 1830 mm.

O nordeste brasileiro, por apresentar historicamente problemas relacionados aos regimes de chuvas, também tem sido objeto de pesquisas com foco na regionalização. No Estado de Alagoas Lyra, Oliveira-Júnior e Zeri (2014) utilizaram a técnica de agrupamento hierárquico de Ward para identificar padrões espaço-temporais na precipitação e relacioná-los aos sistemas climáticos atuantes na região, com base em séries temporais de 30 anos obtidas em uma rede de 36 estações. Foram identificadas cinco regiões com níveis de associações distintos com os diferentes sistemas atuantes no Estado.

Outro exemplo é o de Lucas *et al.* (2006), que tratam sobre a regionalização da precipitação na Bacia Hidrográfica do Xingu, no Pará, e utilizaram a técnica de agrupamento para identificar três grupos homogêneos de precipitação na bacia, que foram definidos como regiões central, sul e norte da bacia. Cada região possui estação chuvosa diferenciada, reflexo de áreas de atuação dos principais sistemas meteorológicos atuantes sobre a bacia. Portanto, a técnica diferenciou as estações de acordo com padrões de precipitação associados aos diferentes sistemas atuantes sobre a região da bacia hidrográfica do Xingu.

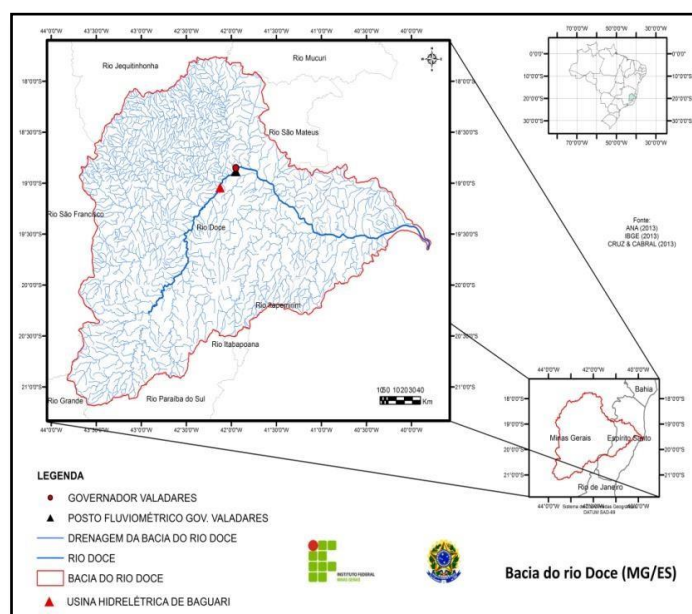
No que tange às características climáticas de Minas Gerais, Souza *et al.* (2011) estudaram a variabilidade de precipitação no Estado e identificaram quais sistemas atmosféricos atuam sobre determinadas regiões. Os métodos utilizados foram de Análise Fatorial em Componentes Principais (ACP) e agrupamentos dos dados de precipitação. Os autores constataram a existência de, pelo menos, três regimes pluviométricos distintos: os maiores totais, com cerca de 1300-1800 mm ao ano, ocorreram entre o oeste e o sul do Estado; na faixa de transição noroeste-sudeste, foram observados 1000-1300 mm ao ano; já no norte-nordeste, os valores foram de 700-900 mm ao ano.

Importante contribuição dessa natureza no estado de Minas Gerais foi dada por Pereira *et al.* (2018) que também realizaram exercício de determinação de regiões homogêneas da precipitação mensal utilizando técnicas de agrupamento por ACP. A inovação dos autores coube a fonte dos dados de chuvas que, diferentemente da abordagem convencional com base em dados observados em postos em solo, obteve estimativas desse parâmetro por meio de produtos de sensoriamento remoto. Os autores identificaram 7 regiões homogêneas no Estado com a estação chuvosa se estendendo de outubro à março e estação seca indo de abril a setembro. Evidenciaram também que a estação chuvosa é menor na região norte de Minas e que a região Sul e extremo oeste do Estado possuem tendência de aumento de dias da estação chuvosa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é compreendida pela bacia hidrográfica do Rio Doce, situada no sudeste do Brasil (MAPA 1).

Mapa 1 – Bacia Hidrográfica do Rio Doce



Fonte: CABRAL (2013)

A bacia hidrográfica do Rio Doce drena os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, sendo 86% pertencentes ao estado mineiro e 14% ao espírito-santense. O Rio Doce possui nascentes nas serras da Mantiqueira e Espinhaço (MG) e deságua no oceano Atlântico em Regência, Distrito de Linhares (ES). Sua população é estimada em torno de 3,5 milhões de habitantes, distribuídas em 228 municípios (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE - CBH-DOCE, 2019).

De acordo com o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam), após a criação da Política Estadual de Recursos Hídricos, houve a necessidade de se definir unidades físico-territoriais regionais dentro da bacia, com o objetivo de orientar as ações relacionadas à aplicação da política. Assim, foram criadas as Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH's), que apresentam identidade caracterizada por aspectos físicos, socioculturais, econômicos e políticos de cada região (IGAM, 2019).

No estado de Minas Gerais, a bacia do Rio Doce é dividida em seis UPGRH's, com Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH's) já estruturados. As sub-bacias são: DO1 – Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Piranga; DO2 – Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba; DO3 – Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio; DO4 – Comitê de

Bacia Hidrográfica do Rio Suaçuí; DO5 – Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Caratinga; e DO6 – Comitê de Bacia Hidrográfica Águas do Rio Manhuaçu. No Espírito Santo não existem subdivisões administrativas, entretanto há os CBH's dos Rios Guandu, Santa Joana, Santa Maria do Doce, Pontões e Lagoas do Rio Doce e Barra Seca e Foz do Rio Doce. (CBH-DOCE, 2019).

A determinação de regiões homogêneas quanto à precipitação na bacia do Rio Doce adotou como unidades espaciais de análises as UPGRH's, tal como preconizado pelo estado de Minas Gerais. Devido ao fato do estado do Espírito Santo não adotar os mesmos critérios espaciais de gestão da água, assumiu-se a premissa de que toda a porção da bacia localizada neste Estado compreende uma única UPGRH, denominada DO7, conforme proposto por Cupolillo (2008).

As etapas que compuseram esta pesquisa foram: consolidação de base de dados pluviométricos da bacia, determinação do horizonte temporal de análise, tratamento e preparação da base de dados, geração de modelo contínuo de distribuição da precipitação na bacia, determinação da precipitação média anual das UPGRH's, determinação de regiões climaticamente homogêneas na bacia e análise de consistência dos resultados.

Foram utilizadas as estações operadas e mantidas pela Agência Nacional de Águas (ANA) na região como base para essa pesquisa. Note-se que, de forma a criar condições ideais de contorno da distribuição da variável precipitação, utilizou-se não somente estações localizadas nos limites da bacia, mas algumas presentes nas imediações próximas a ela. As séries históricas contendo dados de observações diárias de precipitação em cada estação foram obtidas diretamente do portal Hidroweb (ANA, 2019).

Depois de realizada a primeira etapa, foi necessário aferir quais estações, dentre todas as inventariadas, estariam aptas a subsidiar a pesquisa, assim como determinar o horizonte temporal. Para tanto foi utilizado diagrama de barras composto pela sistematização dos dados de monitoramento de todas as estações pluviométricas inventariadas na forma de matriz. Nele, as linhas compuseram as estações identificadas e as colunas de cada ano de observação pluviométrica. Para aferir a qualidade dos dados, os anos com totais mensais foram simbolizados por preenchimento de célula na cor verde, enquanto os anos em que houve falhas de monitoramento em algum mês foram representados por preenchimento na cor vermelha.

O período determinado para o estudo compreendeu aquele em que ocorreu o maior período comum de dados sem falhas em todas as estações. Logo, as estações que não obedeceram a esse critério foram eliminadas. Da mesma forma foram descartados os anos de observação fora deste período nas estações selecionadas. Ao final, do total de 107 estações pôde-se selecionar 71 aptas ao uso, assim como se definiu como horizonte ideal de análise aquele limitado ao intervalo de 1970 a 1999, num total de 30 anos de registros temporais de precipitação.

As análises espaciais da precipitação utilizaram Sistemas de Informações Geográficas (SIG), como ferramenta. Após a importação e vetorização dos dados, procedeu-se à geração de vários modelos espaciais de superfície que representaram a variabilidade da precipitação em cada ano estudado ao longo da bacia do Rio Doce, de forma que ao final foram gerados 30 modelos, todos no formato matricial GRID. Como critério de interpolação foi utilizado o método “inverso do quadrado da distância”, em função de já ter apresentado bons resultados na análise de dados de precipitação na bacia do Rio Doce (CUPOLILLO, 2008).

Neste método considera-se que a chuva em um dado local (ponto) pode ser calculada como uma média ponderada das chuvas registradas em pluviômetros da região. A ponderação é realizada de forma que os postos pluviométricos mais próximos têm um peso maior no cálculo da média (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Cada modelo gerado posteriormente foi fragmentado em sete partes diferentes, correspondentes às próprias UPGRH's, eliminando o excedente espacial do modelo. A precipitação média ocorrida em cada ano em cada UPGRH estudada ao longo do horizonte temporal da pesquisa foi determinada segundo critério proposto por Collischonn e Dornelles (2013), onde a média é calculada como a média de todas as células que compõem a área de estudo.

Como critério de identificação das similaridades no padrão da distribuição espacial da precipitação anual dentre as UPGRH's foi aplicado sobre os dados de precipitação média total anual o método de *Cluster* de Ward, utilizando como medida de dissimilaridade o quadrado da distância Euclidiana.

A análise de *Cluster* é um procedimento de estatística multivariada que tenta agrupar um conjunto de dados em subgrupos homogêneos, chamados *clusters*, podendo os dados serem objetos ou variáveis. Trata-se, portanto, de uma técnica matemática que foi

concebida com a finalidade de revelar estruturas de classificação nos dados observados em fenômenos do mundo real (QUINTAL, 2006).

De acordo com Quintal (2006) neste tipo de análise procede-se o agrupamento, de maneira que os objetos pertencentes a um mesmo *cluster* sejam o mais semelhante possível entre si e os objetos pertencentes a *clusters* diferentes sejam os mais discrepantes possível quando comparado ao primeiro cluster. Logo, os membros de cada grupo possuem certas características em comum e espera-se que o resultado da classificação forneça pistas para a interpretação dos grupos. Podem ser reveladas associações nos dados, não evidentes previamente, mas que são importantes e úteis quando encontradas. A ideia é que os *clusters* tenham significado e sejam interpretáveis.

A semelhança entre objetos ou variáveis frequentemente é avaliada aos pares. Aqueles que possuem a menor distância entre si são semelhantes, um do outro, do que aqueles que estão mais distantes. Essa medida de semelhança é fornecida pela distância euclidiana. Considerando o caso mais simples, no qual n indivíduos, onde cada um dos quais possuem valores para p variáveis, a distância euclidiana entre eles é obtida mediante o teorema de Pitágoras, para um espaço multidimensional (VICINI, 2005).

Há inúmeros métodos de *Cluster*, dentre os quais está o método proposto por Ward. Segundo Hair *et al.* (2005 *apud* Seidel *et al.*, 2008) o método de Ward consiste em um procedimento de agrupamento hierárquico no qual a medida de similaridade usada para juntar agrupamentos é calculada como a soma de quadrados entre dois grupos feita sobre todas as variáveis. Em cada estágio, combinam-se os dois agrupamentos que apresentam menor aumento na soma global de quadrados dentro dos agrupamentos (SEIDEL *et al.*, 2008).

Por fim, foi avaliada a consistência dos resultados da análise de conglomerados através dos métodos estatísticos ANOVA e análise de distribuição de frequência relativa (gráfico de Box ou Whisker ou Box Plot) aplicados sobre o conjunto de dados de cada grupo ou *Cluster* definido pelo critério de Ward.

No caso da ANOVA em particular, por se tratar de teste paramétrico, cuja confiabilidade dos resultados depende de uma pressuposta normalidade na distribuição das amostras (LAPONNI, 2005), foi necessário realizar como etapa prévia um teste de normalidade dos dados, tendo-se optado pelo método de Kolgoromov-Smirnov. Tal teste foi aplicado para o conjunto de dados de todas as UPGRH's estudadas.

O teste de Kolgoromov-Smirnov compreende um teste de aderência. Ele verifica o grau de concordância entre a distribuição de um conjunto de valores (escores observados) e alguma distribuição teórica, ou seja, verifica se os dados seguem a distribuição normal (SCUDINO, 2008). Para se aplicar o teste devem-se ordenar as amostras, construir as distribuições de frequência acumulada nos intervalos de classe definidos, calcular a diferença entre as frequências (da primeira menos a da segunda amostra), escolhendo-se a maior diferença em valor absoluto ($d_{\text{máx}}$) que será comparada com um valor tabelado ($d_{\text{crít}}$) (NADAL; JULIANO; RATTON, 2003).

De acordo com Scudino (2008) as hipóteses do teste são:

H_0 : A amostra provém de uma distribuição teórica específica (neste caso distribuição normal);

H_1 : A amostra não provém de uma distribuição teórica específica.

A análise de variância (ANOVA: um critério) utilizada buscou avaliar se em cada grupo formado através da interpretação do dendrograma, pelo método de Ward, há características semelhantes entre as UPGRH's, consideradas regiões hidrologicamente homogêneas, corroborando ou rejeitando os resultados da análise de *Cluster*.

A ANOVA, introduzida por R. A. Fisher, compara a magnitude das variações de mais de duas amostras, decompondo a variância total em duas partes (AYRES *et al.*, 2007):

- Entre as amostras, constituindo o quadrado médio dos tratamentos;
- Dentre cada tratamento, compondo o denominado quadrado médio do erro experimental.

O teste da análise de variância é a razão entre esses quadrados médios.

As hipóteses adotadas para efeito desta pesquisa, à luz da interpretação dos resultados da ANOVA, foram:

H_0 : As UPGRH's de um mesmo grupo compõem conjuntamente uma região pluviometricamente homogênea;

H_1 : As UPGRH's não compõem uma região pluviometricamente homogênea.

Como nível de significância estatística tanto no teste de Kolgoromov Smirnov quanto ANOVA foi adotado o valor de 5% ($\alpha=0,05$), por ser o mais frequente em inferência estatística.

De forma ainda a complementar esta avaliação da qualidade dos resultados da análise de *Cluster* foi realizada distribuição das frequências das amostras, por meio de gráfico Box Whisker ou Box Plot de cada UPGRH.

O gráfico de Box Plot é muito utilizado para avaliar e comparar a tendência central de dois ou mais conjuntos de dados e avaliar a variabilidade dos dados de uma amostra. Nele são incluídos a mediana (percentil 50%), os quartis inferior (percentil 25%), e superior (percentil 75%) e ainda os valores máximo e mínimo de cada amostra ou grupo de dados (VON SPERLING, 2005).

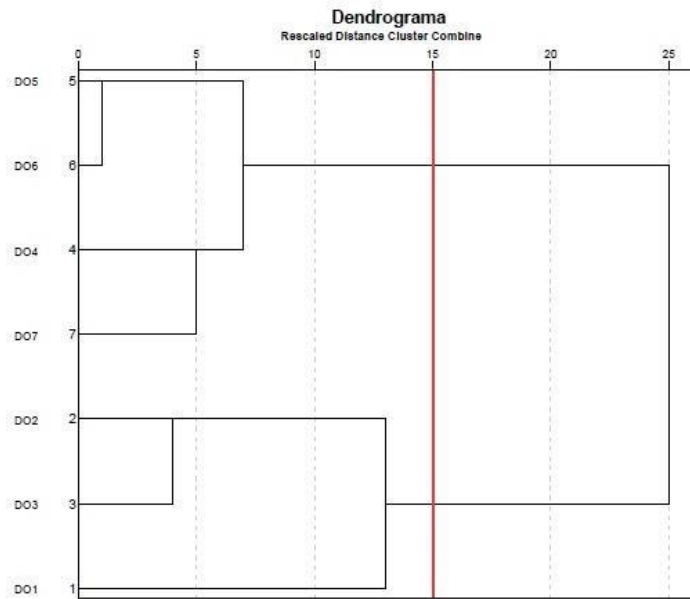
Segundo Reis e Reis (2002) uma das vantagens do Box Plot é a possibilidade de se detectar valores discrepantes (*outliers*), que constituem valores muito diferentes do restante dos conjuntos dos dados. Neste contexto em específico, devido aos *outliers* constituírem anos com precipitação em patamar atípico (anomalia), eles foram desconsiderados na elaboração dos Box Plots, pois poderiam conduzir a estimativas falsas da variabilidade da precipitação total anual média das UPGRH's.

Todo o tratamento estatístico utilizou o software IBM SPSS Statistics 22 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES-IBM, 2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de cluster realizada pelo método de Ward gerou o dendrograma com o padrão (FIGURA 1). A interpretação de agrupamentos formados por métodos hierárquicos está intimamente ligada à decisão quanto ao nível de corte adotado. Tal procedimento frequentemente é realizado a partir do conhecimento das amostras e das variáveis utilizadas no agrupamento e da interpretação dos resultados. Desta forma, a escolha foi pela não definição antecipada do nível de corte nesta pesquisa, mas sim a partir da interpretação do dendrograma gerado. Logo, optou-se pelo corte no nível 15 quanto aos níveis de dissimilaridade observados graficamente.

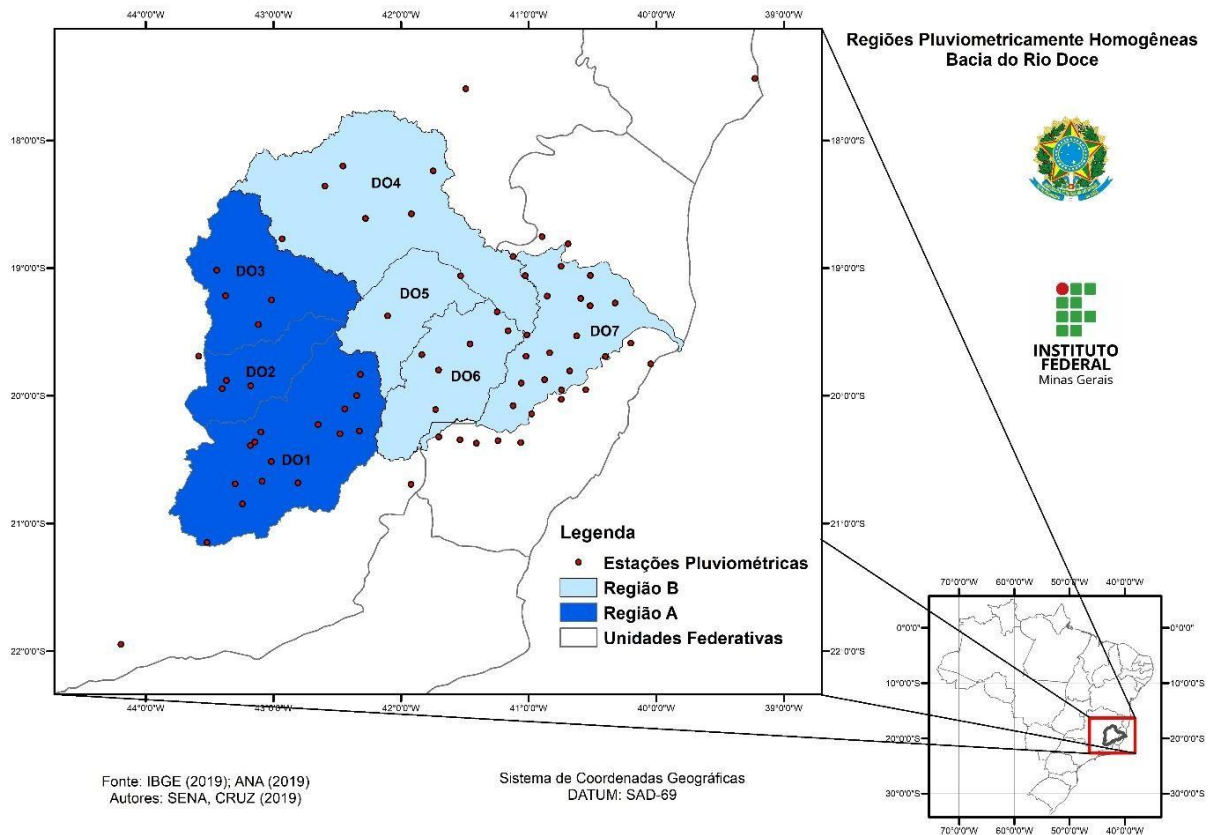
Figura 1 – Dendrograma Ward



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Nota-se, portanto, que foram formados claramente dois grupos bem distintos. Um grupo que representou o conglomerado formado pelas UPGRH's DO1, DO2 e DO3; que se denominou região pluviometricamente homogênea A; e outro formado pelo agrupamento das UPGRH's DO4, DO5, DO6 e DO7; chamada região pluviometricamente homogênea B (MAPA 2), para efeito de zoneamento pluviométrico.

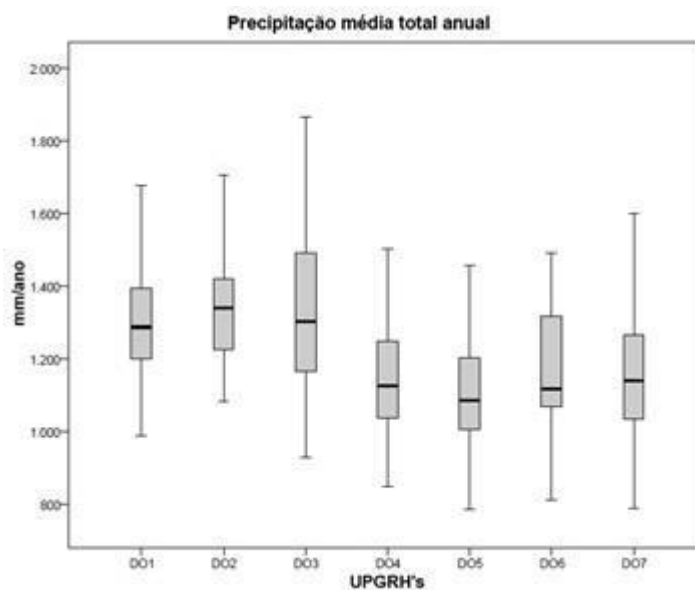
Mapa 2 – RPH's Bacia do Rio Doce



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Ao observar-se a distribuição de frequência das precipitações anuais nas UPGRH's no Gráfico 1, pode-se constatar uma evidente disparidade nos padrões climáticos entre ambas as regiões. A região A espacialmente compreende um conglomerado localizado na porção ocidental da bacia, considerada região de alto curso, englobando as áreas em que estão os rios formadores do Rio Doce. Já a região B é formada por UPGRH's que estão dispostas na porção oriental da bacia, no sentido centro-litoral.

Gráfico 1 – Precipitação total anual / UPGRH's



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Em termos de variação da precipitação total anual, a região A apresenta os maiores índices pluviométricos, compreendendo uma região mais úmida e com maior disponibilidade hídrica na bacia, pois as caixas que representam os percentis inferior, superior e mediano das UPGRH's da região A apresentam patamares similares entre si e níveis mais elevados quando comparados com as UPGRH's da região B, gerando assim melhores condições de atendimento às demandas dos diversos setores usuários presentes na mesma.

A região B, por outro lado, apresenta igualmente similaridade entre o nível dos percentis considerando todas as UPGRH's, portanto, sugerem níveis de precipitação menos pronunciados. Ela não pode ser considerada uma região árida, contudo, apresenta menor aporte de precipitação em termos anuais, limitando assim as vazões naturais decorrentes do escoamento superficial; portanto, nestas áreas a gestão da oferta hídrica deve ser mais cuidadosa.

Corroborando com esta constatação Cupolillo (2008), pois se pode notar que em seus mapas decenais de precipitação ao longo da bacia do Rio Doce, as UPGRH's DO1, DO2 e DO3 sempre apresentam maiores níveis acumulados de precipitação quando comparadas às demais regiões da bacia, para todos os períodos analisados pelo autor.

A precipitação total anual varia de 1164,1 mm a 1216 mm em termos de percentil inferior (25%) na região A da bacia; de 1286,7 mm a 1339 mm considerando a mediana

(50%) e de 1397,2 mm a 1501,5 mm quanto ao percentil superior (75%). O percentil inferior das distribuições de precipitação na região B variam de 1001,3 mm a 1060,7 mm, a mediana varia de 1086 mm a 1140,5 mm, enquanto que no percentil superior observa-se variação na região de 1216,1 mm a 1317,9 mm (TABELA 1).

Tabela 1 – Distribuição de frequência da precipitação total anual

RCH	UPGRH	PERCENTIL		
		25	50	75
A	DO1	1194,5	1286,7	1397,3
	DO2	1216,0	1339,0	1424,4
	DO3	1164,1	1303,1	1501,5
B	DO4	1036,4	1126,0	1255,8
	DO5	1001,3	1086,0	1216,1
	DO6	1060,7	1117,4	1317,9
	DO7	1023,6	1140,5	1264,5

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Segundo o CBH-Doce (2019) e Ecoplan-Lume (2010a, b, c, d, e, f, g), de maneira geral nas UPGRH's DO1, DO2 E DO3 (região A) destaca-se como maior setor usuário de água na bacia do Rio Doce o saneamento, por meio dos sistemas de abastecimento humano dos municípios. Logo, apesar de haver, em tese, nessa região maior disponibilidade hídrica, deve-se incentivar aos municípios a racionalização do uso da água pela população, assim como investir em tecnologias que reduzam o desperdício decorrente das perdas dos sistemas de distribuição típicos do Brasil, da ordem de 40% a 60% (REBOUÇAS, 2003), pois há tendência natural ao aumento da demanda pela água para atendimento às populações urbanas que chegarão a 298 m³/s na região sudeste até 2025, segundo estimativa da ANA (2010), o que não compreende um cenário confortável para a gestão da oferta hídrica.

Na região B (UPGHR's DO4, DO5, DO6 e DO7), porém, o setor usuário de água que demanda maior interesse é a irrigação, pois compreende a maior demanda em todas as UPGRH's à exceção da UPGRH DO4 (CBH-Doce, 2019; ECOPLAN-LUME, 2010a, b, c, d, e, f, g). Conforme Rebouças (2003), há um notório desperdício de água nas áreas sob irrigação que chegam a patamares de 60%, sobretudo pela evaporação ou percolação. Desta forma, por ser este o principal setor usuário da água na região, deve-se dar especial atenção às formas e tecnologias que têm sido utilizadas neste processo, pois há uma maior limitação na

disponibilidade hídrica na região, o que pode gerar cenários futuros de desequilíbrio na relação demanda-disponibilidade, com efeito no surgimento de conflito pelo acesso a água.

O teste de normalidade realizado como etapa prévia à análise de variância apresentou os resultados dispostos na Tabela 2:

Tabela 2 – Teste de Kolgoromov-Smirnov para normalidade

	RCH	UPGRH	VALOR-P	VALOR-P EXATO
A		DO1	0,395	0,356
		DO2	0,407	0,367
		DO3	0,494	0,450
B		DO4	0,125	0,107
		DO5	0,474	0,431
		DO6	0,563	0,517
		DO7	0,835	0,795

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Em todas as UPGRH's, que compõem as regiões pluviometricamente homogêneas (RPH's), *valor-P* reportado pelo teste de Kolgoromov Smirnov apresentou magnitude maior que o nível α (0,05). Logo, não se pode refutar a hipótese H_0 , de forma que se pode assumir por exclusão o pressuposto que a distribuição das amostras em todas as UPGRH's atende a distribuição normal, gerando as condições necessárias à validade do teste de hipótese ANOVA: um critério.

O teste ANOVA realizado para cada grupo de UPGRH's que compõe as duas RPH's apresentou os resultados dispostos (TABELA 3 e 4).

Tabela 3 – ANOVA Região A

FONTE DA VARIAÇÃO	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	42360,4	2	21180,2	0,36319	0,6965	3,1013
Dentro dos grupos	5073541	87	58316,6			
Total	5115901	89				

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Nota: SQ: soma dos quadrados, gl: graus de liberdade; MQ: média dos quadrados, F: valor do teste de Fisher.

Tabela 4 – ANOVA Região B

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	46936,5	3	15645,5	0,30717	0,82016	2,68281
Dentro dos grupos	5908454	116	50934,9			
Total	5955390	119				

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Nota: SQ: soma dos quadrados, gl: graus de liberdade; MQ: média dos quadrados, F: valor do teste de Fisher.

Na análise do conjunto de dados de ambas as RPH's, os valores da estatística F apresentaram valores menores que o $F_{crítico}$ calculado, assim como o *valor-P* reportado é mais expressivo que o nível de significância estatística adotado nesta pesquisa ($\alpha=0,05$).

Segundo Cruz (2010), na análise de variância um critério, quando se obtém valor para a estatística F maior que $F_{crítico}$, não há atendimento à condição para rejeição da hipótese nula, logo por exclusão se assume essa hipótese como verdadeira. Pode-se ainda avaliar os resultados da ANOVA: um critério por meio da análise do *valor-P*. Os testes de hipóteses realizados nos pacotes estatísticos usualmente fornecem o nível de significância (probabilidade muitas vezes representada por p) obtido no teste, o qual deverá ser comparado ao nível de significância desejado. Caso o nível de significância obtido seja igual ou inferior ao nível desejado, a hipótese nula pode ser rejeitada, o oposto ocorrendo caso o nível de significância seja maior (VON SPERLING, 2005).

Sendo assim, atendidas as duas condições de análise para a validação da hipótese nula, pode-se assumir que não há diferença estatisticamente significativa entre as UPGRH's que compõem cada um dos dois grupos, logo, ratifica-se *a posteriori* os resultados quanto às regiões pluviometricamente homogêneas formadas por UPGRH's pelo método de Ward, validando assim o zoneamento climático obtido com base na precipitação para a bacia do Rio Doce.

Apesar dos resultados estarem fundamentados em técnicas estatísticas e geoestatísticas consagradas, ainda é necessário cautela, visto a distribuição espacial desigual da rede pluviométrica utilizada. É evidente que a região mais ao norte da bacia possui baixa densidade de estações, quando comparada aos demais setores da bacia, fato este que poderia ter influenciado ou enviesado em algum grau os resultados.

Contudo, a despeito das limitações mencionadas, Pereira *et al.* (2018) ao aplicar técnicas de agrupamento sobre dados de precipitação obtidos por sensoriamento remoto para o estado de Minas Gerais (1981-2017), descrevendo ao final 7 regiões distintas, definiu duas regiões no Estado que coincidem com ambas as regiões determinadas na presente pesquisa. As regiões coincidentes compreendem as regiões 2 e 3, que cobrem as áreas na bacia do Rio Doce correspondentes às regiões B e A, respectivamente, o que de fato corrobora positivamente para a validade dos resultados.

Na região 2, segundo os autores, o fator que mais influenciou os menores índices pluviométricos evidenciados foi a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que tende a deslocar a precipitação para o sul do Estado (PERTUSSATTI, 2013; INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET, 2017 *apud* PEREIRA, 2018). Ainda que esse fator explique à princípio os menores índices de precipitação na região B, não é razoável assumi-lo como o único ou mais determinante no padrão de chuvas da região. Deve-se ainda considerar que o horizonte temporal abordado se estendeu somente até o ano de 1999, o que torna uma extrapolação para a atualidade muito sujeita a incertezas e a erros grosseiros, visto o clima regional poder ter sofrido modulações pela atuação de outros sistemas atmosféricos no passado recente.

5 CONCLUSÃO

A bacia hidrográfica do Rio Doce, para efeito de regionalização pluviométrica pode ser dividida em duas regiões distintas: região A e região B. A região A apresenta maior disponibilidade hídrica enquanto a região B possui *inputs* de precipitação anual menos expressivos. Desta forma, admitir os mesmos critérios de gestão da oferta hídrica em ambas as regiões não é o procedimento ideal.

Ao considerar-se o zoneamento realizado pode-se discutir a implementação futura de critérios de gestão da água distintos, orientados cada um para a realidade hidrológica peculiar das regiões definidas. Logo, otimizando os procedimentos de outorga de recursos hídricos e respeitando as potencialidades e limitações inerentes às duas regiões pluviometricamente homogêneas da bacia.

Visto ainda que, a partir da precipitação os demais processos hidrológicos (recarga, escoamento e evapotranspiração) atuam em proporções diferentes ao longo de uma bacia hidrográfica qualquer, sugere-se um estudo futuro complementar à pesquisa realizada

no sentido de se avaliar como a precipitação contribui para a disponibilidade hídrica superficial e subterrânea regional, podendo assim viabilizar o planejamento de ações futuras que permitam a manutenção e/ou aumento da oferta hídrica em ambas as regiões.

Também é igualmente importante fomentar trabalhos futuros que possam avaliar novamente o comportamento das chuvas na bacia do Rio Doce para o período atual, testando assim mais fortemente a validade da regionalização proposta e investigar os fatores ou fenômenos climáticos que estão na origem do comportamento das chuvas na bacia, a fim de encontrar respostas mais concretas sobre as razões dessa variabilidade espacial em horizontes temporais para além de 1999.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Panorama nacional. *In*: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas Brasil**: abastecimento urbano de água. Brasília: ANA, 2010. v.1.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Hidroweb**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/default.as>. Acesso em: 02 de jan. 2019.

AYRES, M. *et al.* **Bioestat**: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas. Belém, 2007. Manual do usuário.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. *In*: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS; ABRH, 2012.

CABRAL, L. S. L. **Análise estatística do regime de vazões do Rio Doce, no município de Governador Valadares (MG), e sua relação com a UHE Baguari**. 25 f. Monografia (Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental) – Instituto Federal Minas Gerais, Governador Valadares, 2013.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE (CBH-DOCE). **A bacia**. Disponível em: <http://www.cbhdoce.org.br/a-bacia/>. Acesso em: 22 jan. 2019.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano de ação de recursos hídricos da unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos Piranga - PARH Piranga**. Belo Horizonte: Consórcio Ecoplan-Lume, 2010b.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano de ação de recursos hídricos da unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos Piracicaba - PARH Piracicaba**. Belo Horizonte: Consórcio Ecoplan-Lume, 2010c.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano de ação de recursos hídricos da unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos Santo Antônio - PARH Santo Antônio**. Consórcio Ecoplan-Lume, 2010d.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano de ação de recursos hídricos da unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos Suaçuí - PARH Suaçuí**. Belo Horizonte: Consórcio Ecoplan-Lume, 2010e.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano de ação de recursos hídricos da unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos Caratinga - PARH Caratinga**. Belo Horizonte: Consórcio Ecoplan-Lume, 2010f.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano de ação de recursos hídricos da unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos Manhuaçu - PARH Manhuaçu**. Belo Horizonte: Consórcio Ecoplan-Lume, 2010g.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Doce e planos de ações para as unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do Rio Doce**. Belo Horizonte: Consórcio Ecoplan-Lume, 2010a. v.1.

CRUZ, F. M. **Avaliação geoambiental e estatística da bacia do Rio Itacaiunas, PA**. 2010. 183 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Belém. 2010.

CUPOLILLO, F. **Diagnóstico hidroclimatológico da bacia do Rio Doce**. 2008. 153 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2008.

CUPOLILLO, F.; ABREU, M. L. de; VIANELLO, R. L. Climatologia da bacia do Rio Doce e sua relação com a topografia local. **Geografias**, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, p. 45-60, jul./dez. 2008.

FECHINE, J. A. L.; GALVÍNIO, J. D. Análise das precipitações mensais da bacia hidrográfica do Rio Brigida no semi-árido pernambucano, usando o método de wards. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 28, n. 2, p. 75-88, jul./dez. 2008.

HAIR, J. F., *et al.* Análise multivariada de dados. Trad. Adonai S. Sant'Anna e Anselmo C. Neto. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005 *apud* SEIDEL, E. J. *et al.* Comparação entre o método de Ward e o método K-médias no agrupamento de produtores de leite. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 7-15. 2008.

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES - IBM. **IBM SPSS Statistics**. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/products/spss-statistics>. Acesso em: 20 jan. 2020.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Comitês e unidades de planejamento**. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/component/content/83?task=view>. Acesso em: 27 jan. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). Nota técnica 004/17 – Estação chuvosa em Minas Gerais. 2018 *apud* PEREIRA, G. *et al.* Análise da variabilidade da precipitação para o Estado de Minas Gerais (1981-2017). **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 8642, p. 213-229, 2018.

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E. D.; REZENDE LIMA, P. R. S. de. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 311-322, 2005.

LAPPONI, J. C. **Estatística usando Excel**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

LIMA, W. de P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2008.

LAGE, M. R.; CUPOLILLO, F.; ABREU, M. L. Aspectos climáticos da Bacia do Rio Doce. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11, 2005, São Paulo, Anais [...]. São Paulo, 2005 *apud* CUPOLILLO, F.; ABREU, M. L. de; VIANELLO, R. L. Climatologia da bacia do Rio Doce e sua relação com a topografia local. **Geografias**, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, p. 45-60, jul./dez. 2008.

LYRA, G. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; ZERI, M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**, Oxford, v. 34, n. 13, p. 3546-3558, 2014.

LUCAS, E. W. M. *et al.* Regionalização da precipitação na bacia hidrográfica do Xingu, Pará. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 14., 2006, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2006. p. 1-6.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 83-96, jul. 2008.

MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. da. Modelagem estatística da precipitação mensal e anual e no período seco para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 68-74, 2009.

NADAL, C. A., JULIANO, K. A., RATTON, E. Testes estatísticos utilizados para a validação de regressões múltiplas aplicadas na validação de imóveis urbanos. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 243-262, 2003.

PEREIRA, G. *et al.* Análise da variabilidade da precipitação para o Estado de Minas Gerais (1981-2017). **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 8642, p. 213-229, 2018.

PERTUSSATTI, C. A. Veranicos no estado do Mato Grosso: análise da variabilidade espaço-temporal e modelagem estatística. 2013. 117f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília/DF. 2013 *apud* PEREIRA, G. *et al.* Análise da variabilidade da precipitação para o Estado de Minas Gerais (1981-2017). **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 8642, p. 213-229, 2018.

QUINTAL, G. M. da C. C. **Análise de Cluster aplicada ao sucesso/insucesso em Matemática**. 2006. 171 f. Dissertação (Mestrado em Matemática) – Departamento de Matemática e Engenharias, Universidade da Madeira, Funchal. 2006.

REBOUÇAS, A. da C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 13, n. esp., p. 341-345. 2003.

REIS, E. A., REIS, I. A. **Análise descritiva de dados: síntese numérica**. Belo Horizonte: Departamento de Estatística, Universidade Federal de Minas Gerais, 2002. Relatório Técnico – RTP-02/2002.

SANTOS, W. A. dos; ARAÚJO, H. M. de. Clima e condições meteorológicas da sub-bacia hidrográfica do Rio Cotinguiba-SE, **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 41-52, jan./abr. 2013.

SCUDINO, P. A. **A utilização de alguns testes estatísticos para a análise da variabilidade do preço do mel nos municípios de Angra dos Reis e Mangaratiba, Estado do Rio de Janeiro**. 2008. 51 f. Monografia (Licenciatura e Bacharelado em Matemática) – Departamento de Matemática, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica. 2008.

SEIDEL, E. J. *et al.* Comparação entre o método de Ward e o método K-médias no agrupamento de produtores de leite. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 7-15. 2008.

SILVA, E. S.; TRINCA, L. A.; NERY, J. T. Áreas espacialmente homogêneas de precipitação nas regiões sudeste e sul do Brasil. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 24, n. 3, p. 34-59, 2009.

SOUZA, L. R. de *et al.* Determinação de padrões espaço-temporal e regiões homogêneas de precipitação pluvial no estado de Minas Gerais. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 2, p. 265-280, abr./jun. 2011.

VICINI, L. **Análise multivariada**: da teoria à prática. 2005. 215 f. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade da água e ao tratamento de águas residuárias**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.