

ZONEAMENTO CLIMATOLÓGICO DA BACIA DO RIO DOCE: SUBSÍDIO À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Isa Belly Dominguito de Castro Sena. Aluna do 5º período do Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental do IFMG, campus Governador Valadares. isabelly@live.com

Fábio Monteiro Cruz. Professor Mestre do Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental do IFMG, campus Governador Valadares. fabio.cruz@ifmg.edu.br

Fulvio Cupolillo. Professor Doutor do Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental do IFMG, campus Governador Valadares. fulvio.cupolillo@ifmg.edu.br

RESUMO: Recentemente no Brasil tem-se realizado vários exercícios de zoneamento climático, que fornecem elementos concretos que permitem auxiliar as políticas voltadas à gestão da água. No sudeste brasileiro uma bacia de grande destaque quanto às demandas setoriais compreende a bacia do rio Doce. Desta forma, foi realizado um processo de zoneamento climático da bacia do rio Doce, por meio da análise espaço-temporal do comportamento da precipitação. Foram evidenciadas as variações da precipitação média anual na bacia e as respectivas regiões climaticamente homogêneas, cuja determinação pode ser um elemento balizador a mais no gerenciamento de recursos hídricos desta unidade fisiográfica.

PALAVRAS-CHAVE: Clima, recursos hídricos, precipitação.

ABSTRACT

Recently, in Brazil, have been realized several exercises of climatic zoning, which provide concrete elements that allow support policies for water management. In brazilian southeast, an important watershed about sectorial demands is the river Doce watershed. So, was realized a climatic zoning process at rio Doce watershed, analyzing spatial and temporal behavior of rainfall. Were identified the variations of average annual rainfall in the watershed and the respective regions climatically homogeneous, whose determination can be a beaconing new element on management of water resources in this physiographic unit.

KEY-WORDS: Weather, water resources, precipitation.

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) e preservação da fauna e flora; navegação e pesca e geração de energia elétrica.

O principal uso humano da água compreende o abastecimento. Neste caso, ela é essencial e deve possuir alto padrão de qualidade para que não comprometa a saúde pública. Este uso contempla a sua ingestão direta ou utilizada em higiene pessoal e no preparo de alimentos (BRANCO et al., 2006).

No abastecimento industrial, de acordo com Silva e Kulay (2006), a água se encaixa em diversas etapas dos processos industriais, desde a fabricação de produtos até em usos do produto final; podendo ser aplicada como matéria-prima, reagente, solvente, veículo de suspensão de materiais sólidos ou na retenção de materiais.

Outro uso de suma importância da água remete à prática da agricultura irrigada. Neste caso, a irrigação é feita de forma a adicionar suprimentos de nutrientes em períodos que as chuvas não são suficientes para o crescimento ideal das culturas. Em regiões áridas é a irrigação quem gera condições para a prática agrícola (COLLISCHON; DORNELLES, 2013). Adiciona-se, ainda a pecuária a este uso, que implica na dessedentação de animais (TELLES; DOMINGUES, 2006).

Já em usinas hidrelétricas, a água está totalmente relacionada ao potencial de geração de energia. Kelman et al. (2006) explicam que existe uma diferença de energia potencial entre os níveis de água à montante e à jusante. Quando ocorre a queda da água de um nível mais elevado para um de menor elevação, tal energia é transformada em cinética, para que possa acontecer o giro de turbinas e gerador. Assim, à medida que ocorrem os giros, o gerador produz energia elétrica. Em nenhum momento é necessário combustível, já que a água move todas as etapas. A energia elétrica produzida nas hidrelétricas é renovável, graças ao ciclo hidrológico.

Pode-se, portanto, entender o ciclo hidrológico, segundo Silveira (2012) como o fenômeno global onde ocorre o intercâmbio da circulação da água entre superfície da Terra e a atmosfera, devido, principalmente, à interação entre energia solar, gravidade e rotação terrestre. Ele existe quando a água parte de um ponto inicial, percorre o caminho e retorna à sua posição de origem.

Para efeito didático é necessário selecionar um ponto de partida para o ciclo: a *precipitação*. A forma mais comum de precipitação é a chuva, que após atingir o solo pode infiltrar ou escoar superficialmente. Ao *infiltrar*, a água alimenta aquíferos e cria fluxos de água subterrânea, que percolam para os lençóis freáticos e cuja descarga se dá nos rios e oceanos. A infiltração também mantém a umidade do solo, que é aproveitada pelos vegetais e devolvida para a atmosfera através da evapotranspiração (SILVEIRA, 2012).

O escoamento superficial (*Runnof*) ocorre devido à ação da gravidade, que transporta a água para cotas mais baixas, até que se formem os rios. Em certos casos, levando-se em consideração a quantidade de água escoada e a presença de vegetação, o escoamento é dificultado, favorecendo a infiltração durante o percurso. Enquanto escoar, infiltra ou segue alguma outra etapa do processo, a água também *evapora*, tornando-se fonte de vapor para a atmosfera.

Os oceanos são a maior fonte de evaporação da água, porém rios, lagos e a evapotranspiração da vegetação também possuem parcela significativa nesta etapa. O vapor da água é transportado e pode condensar, formando gotículas de água que permanecem suspensas na atmosfera. A união dessas gotículas forma as nuvens. Em determinadas condições meteorológicas, quando essas gotículas se aglutinam à poeira ou gelo e possuem uma presença significativa de umidade, formam gotas com tamanho e peso suficientes para que ocorra a precipitação, fechando o ciclo hidrológico (SILVEIRA, 2012; COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

A fase do ciclo hidrológico que enseja maior interesse humano é a terrestre, que possui como elemento fundamental a bacia hidrográfica (SILVEIRA, 2012; COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). Percebe-se que, com o passar dos anos, várias definições foram criadas sobre bacia hidrográfica, que apresentam grande semelhança entre si (TEODORO et al., 2007).

Segundo Tucci (1997) *apud* Porto e Porto (2008) a bacia hidrográfica é uma área onde ocorre naturalmente a captação de água da precipitação, por infiltração ou escoamento superficial em suas vertentes, que se unem a cursos de água que formam uma rede de drenagem e convergem até resultar em um único leito no ponto de saída, também chamado de exutório.

Barrella (2001) *apud* Teodoro et al. (2007) define que a bacia é formada nos pontos mais altos do relevo, através de divisores de água – que Collischon e Dornelles (2013) identificam como uma linha imaginária traçada a partir do relevo, que divide o escoamento da água das chuvas em várias direções, a partir do ponto mais alto até o mais baixo. A partir dos divisores, a água escoar e forma riachos que se encontram e aumentam o seu volume, tornando-se rios, ou infiltra, formando as nascentes e os lençóis freáticos. Assim, a água percorre seu caminho até encontrar o oceano.

Para Lima (1986) *apud* Moreira et al. (2011) 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. Para Ayoade (2011) e Sant'anna e Zavatini (2003) *apud* Santos e Araújo (2013), é necessária a observação dos principais elementos do clima, como temperatura, umidade e chuvas por um período muito longo, para verificar se as mudanças em seu comportamento são permanentes ou se existem apenas ciclos de variação.

A análise dos dados climáticos, através dos estudos de temperatura e precipitação revela informações importantes e possibilita que se conheçam as perdas de água no solo por evapotranspiração, que podem caracterizar ou não períodos de excesso ou deficiência hídrica (THORNTHWAITE; MATHER, 1955 *apud* SANTOS; ARAUJO, 2013). Ainda, a parte fundamental para a criação de modelos hidrológicos, a previsão hidrológica e a gestão dos recursos hídricos é a identificação de tendências sazonais de precipitação e vazão (JOSEPH et al., 2013 *apud* ULIANA et al., 2015).

Para Pinto et al. (1976) *apud* Buchir (2013), um setor importante que também é influenciado pela variabilidade das chuvas é o de energia hidroelétrica. As mudanças no regime pluviométrico têm como consequência alterações nas vazões, que podem favorecer ou prejudicar a geração hidroelétrica, afetando a sua demanda.

Corroborando para ressaltar a importância da precipitação para as atividades humanas já descritas pelos autores citados Silva, Trinca e Nery (2009), 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. Neste sentido, Running et al (1987) *apud* Phillips, Dolph e Marks (1991) explicam que uma avaliação quantitativa da contagem e distribuição da precipitação é requisito para que se definam suas aplicações na agricultura e no gerenciamento de recursos naturais, que incluem a gestão de recursos hídricos; criação de modelos hidrológicos, de floresta e de umidade do solo e modelos para a produção agrícola. 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.

Segundo Marquínez et al. (2003), Martinez-Cob (1996), Mello et al. (2007) *apud* Mello e Silva (2009), atualmente são desenvolvidos inúmeros estudos sobre a precipitação e seu mapeamento com a aplicação de diversas técnicas, já que a disponibilidade de dados hidrológicos e climáticos é pequena, se comparada às extensões territoriais brasileiras. Além disso, a precipitação apresenta grande variabilidade de espaço e tempo, sendo considerada como um fenômeno

probabilístico e aleatório que está sujeito aos mais diversos modelos de estudos (WU et al., 2006; GOODALE et al., 1998; DALY et al., 1994 *apud* MELLO; SILVA, 2009).

Sendo assim 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.

Corroboram essa assertiva Fachine e Galvêncio (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 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 956mm a 1830mm.

Por fim, outro exemplo a ser citado é o de Lucas et al. (2006), que trata sobre a regionalização da precipitação na Bacia Hidrográfica do Xingu, no Pará, e utilizou 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: O extremo norte recebe a influência da Zona de Convergência Intertropical; o extremo sul, influenciado pela Zona de Convergência do Atlântico Sul, ou Zona de Convergência da América do Sul (Cupolillo, 2015) e a região Central é a transição entre os dois sistemas. Assim, 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 as características climáticas do Estado de Minas Gerais em particular, pode-se destacar que ele possui extensas cadeias montanhosas, facilitando a ocorrência das chuvas orográficas que. De acordo com Villela e Mattos (1971), Pinto et al. (1976), Collischonn e Tassi (2008) *apud* Buchir (2013), estes tipos de precipitação ocorrem em regiões onde a topografia orienta a passagem de ventos quentes e úmidos que sopram do mar, obrigando o ar a ascender e condensar, formando nuvens de chuva e aumentando a pluviosidade da região.

A interferência orográfica nas diferentes condições climáticas do Estado foi constatada estatisticamente. A variação no clima do Estado, em razão da localização, da extensão territorial e da altitude, também reflete no seu comportamento pluvial, produzindo variabilidade importante da quantidade de chuvas latitudinalmente (MELLO et al., 2007; VIOLA, 2006 *apud* MELLO; SILVA, 2009).

Souza et al. (2011) estudaram a variabilidade de precipitação no estado de Minas Gerais e identificaram quais sistemas atmosféricos atuam sobre determinadas regiões. Os métodos utilizados foram de Análise Fatorial em Componentes Principais e Agrupamentos dos dados de precipitação obtidos. Foi identificada 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. Foram identificados, ainda, diferentes sistemas de precipitação com escalas variadas, entre eles os Sistemas Frontais (Frente Fria), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) ou Zona de Convergência da América do Sul (Cupolillo, 2015), Distúrbios Ondulatórios de Leste (Ondas de Leste) e sistemas de meso e micro-escala.

O Zoneamento Ecológico e Econômico de Minas Gerais - ZEE-MG (UFLA, 2008), demonstra que, na Regional Leste, de norte a sul e do centro a leste do estado, limitando-se com Espírito Santo e Bahia, ocorre o clima tipo **C1 - Subúmido seco**: possui intervalo do índice de umidade entre -33,3 e 0 e são verificados índices de chuvas acumuladas, em média de 850 mm a 1100 mm por ano. Possui temperaturas médias anuais relativamente mais baixas com relação ao clima semi-árido, compreendendo uma faixa que pode variar de 21°C a 25°C, o que leva a uma demanda de evapotranspiração relativamente menor, a qual, por sua vez, gera índices de umidade pouco maiores. (UFLA, 2008)

Ao centro, em faixa indo do sul ao norte desta regional, e também em áreas isoladas ao norte, leste e sul, predomina o tipo climático **C2 - Subúmido**: o intervalo do índice de umidade é compreendido entre 0 e 20. Quanto ao índice pluviométrico anual, são verificados valores em torno de 1100 mm a 1400 mm e a temperatura média anual gira em torno de 22,0°C, condicionando regiões transitórias entre os climas mais secos para aqueles caracterizados como úmidos. (UFLA, 2008)

À oeste e nordeste, confrontando com a regional Central do Estado e a do Vale do Jequitinhonha, verifica-se a ocorrência do clima caracterizado como **B1 - Úmido**: Esta é a primeira classe com características de clima úmido, cujo intervalo do índice de umidade varia entre 20 e 40. Neste caso, o padrão de chuvas acumuladas durante o ano varia em torno de 1400 mm a 1700 mm, com média aproximada de

1500 mm. A temperatura média anual chega a oscilar de 18°C a 23°C, levando a deficiência hídrica anual em valores bastante variáveis, já que a demanda de evapotranspiração assim a caracteriza. (UFLA, 2008)

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 sócio-econômico, 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 que em última análise garantem a disponibilidade hídrica que sustenta as atividades sócio-econômicas 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. Segundo os autores, existe também o deslocamento no padrão das chuvas no sentido de oeste para leste e a precipitação origina-se na região ocidental, onde predomina o relevo elevado. Além disso, na região serrana, a estação chuvosa possui maiores níveis de precipitação, enquanto as demais regiões apresentam menores totais de chuva. Isso significa que, na região central, existe um enfraquecimento nos mecanismos dinâmicos da precipitação e há a interferência dos oceanos no litoral.

Em relação às vazões, Cupolillo (2008) observa dois padrões bem distintos de comportamento: No primeiro, os subafluentes posicionados nas áreas serranas mais elevadas, à montante da bacia, apresentam vazões pouco expressivas se comparadas com as observadas nos rios que marcam posição em níveis de base, à jusante da bacia.

O segundo apresenta vazões mais expressivas, como as grandes bacias que drenam para o rio Doce. Os rios afluentes e formadores do rio Doce, como o Suaçuí Grande, o Santo Antônio, o Piracicaba e o Piranga apresentam as maiores cotas de vazão durante todo ano. Tal fato deve-se à situação topográfica e hidrogeológica da bacia. A topografia íngreme favorece a formação de intensas vazões nestes afluentes e subafluentes e as nascentes destes rios localizam-se nas regiões serranas da Mantiqueira e Espinhaço, áreas geologicamente formadas por fraturas e falhas e de tipos de rochas que favorecem a formação de aquíferos que freaticamente alimentam estes rios, durante a estação seca ou em períodos de intensos veranicos (CUPOLILLO, 2008).

Desta forma, a presente pesquisa realizou um processo de zoneamento climático da bacia hidrográfica do rio Doce, por meio da análise espaço-temporal do comportamento da precipitação, onde se pôde identificar regiões hidrologicamente ou climaticamente homogêneas (RCH) que permitem, por consequência, auxiliar os tomadores de decisão nas ações relacionadas à otimização da água mais diversos usos, tais como agricultura, indústria e abastecimento público e subsidiar ações de gestão da água específicas observadas às características peculiares de cada região.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é compreendida pela bacia hidrográfica do rio Doce, situada no sudeste do Brasil (figura 01).

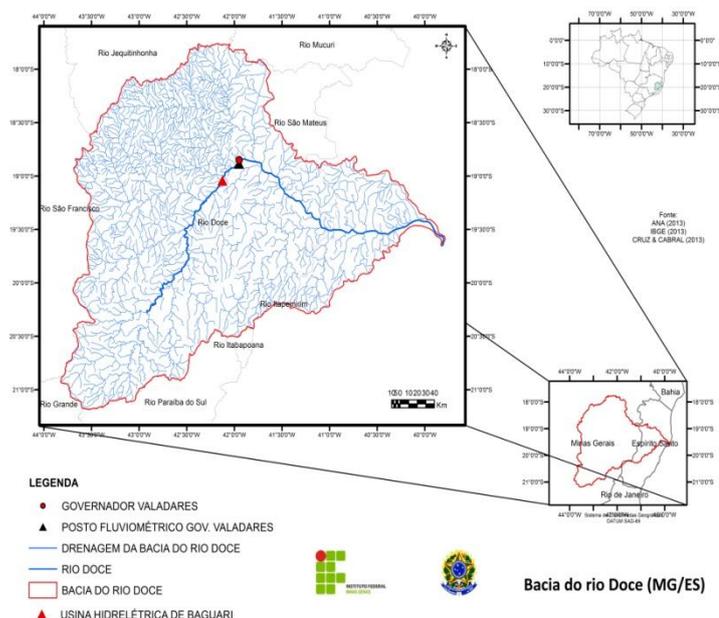


Figura 01: Bacia Hidrográfica do rio Doce

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 (CBH-DOCE, 2016).

De acordo com o Instituto de Gestão das Águas de Minas (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), que apresentam identidade caracterizada por aspectos físicos, sócio-culturais, econômicos e políticos de cada região (IGAM, 2016).

No Estado de Minas Gerais, a bacia do rio Doce é dividida em seis UPGRHs, com Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs) 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 CBHs dos Rios Santa Maria do Doce, Guandu e São José (CBH-DOCE, 2016)

O CBH-Doce congrega todos os comitês das sub-bacias do rio Doce e está vinculado ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Sua atuação tornou-se de grande importância em função de seu papel estratégico na preservação e recuperação do rio Doce.

De acordo com o CBH-Doce (2016), as atividades econômicas na área da bacia são diversificadas. Na agropecuária, podem-se destacar, dentre outras, as culturas de café e cana-de-açúcar, criação de gado e suinocultura. Na agroindústria prevalece a produção de açúcar e álcool, porém é possível destacar as indústrias de celulose e laticínios e a geração de energia elétrica.

Estudos realizados pelo comitê estimam que a demanda total de uso da água na bacia é de 29,733 m³/s, sendo as principais: o abastecimento urbano (22% do total; 6,473m³/s), irrigação (51%; 15,143m³/s), abastecimento industrial (17%; 4,927m³/s), dessedentação animal (7%; 1,172 m³/s) e abastecimento rural (4%; 0,150 m³/s) (ECOPLAN-LUME, 2010a).

A determinação de regiões climaticamente 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 que Minas Gerais, ele acaba por não possuir UPGRH's instituídas, apesar de haver comitês das sub-bacias dos rios Santa Maria do Doce, Guandu e São José (CBH-DOCE, 2015). Desta forma, para efeito desta pesquisa 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.

A base de dados desta pesquisa representou as estações de monitoramento pluviométrico operadas e mantidas pela Agência Nacional de Águas (ANA), na região. 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, que faz parte do Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (ANA, 2015), conforme Anexo A.

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 da mesma. Para tanto foi utilizado diagrama de barras

O diagrama de barras foi 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 cada ano de observação pluviométrica. Para aferir a qualidade dos dados, os anos com totais mensais observados ou estimados 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.

Ao final, do total inicial de estações pôde-se selecionar 71 aptas ao uso, assim como se definiu como horizonte ideal de análise aquele limitado ao intervalo temporal de 1970 a 1999, num total de 29 anos de registros temporais de precipitação.

O tratamento então realizado em cada série histórica consistiu em eliminar as observações fora do horizonte de análise e determinar, baseada no registro acumulado mensal, a precipitação total anual para cada ano, tendo-se posteriormente organizado um único documento Microsoft Excel® compilando os dados de precipitação total anual de todas as estações, do que se seguiram as análises espaciais.

Todas as análises espaciais ocorreram em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), a partir do uso do aplicativo ArcGIS 10.3®.

O ArcGis, segundo Santos et al. (2014), é um conjunto de aplicativos de SIGs que fornece as ferramentas necessárias para análise e manipulação espacial de dados e cartografia.

Um sistema de informação geográfica (SIG/GIS) permite gerenciar, analisar e visualizar informações geográficas, que são representadas por uma série de conjuntos de dados, cujo modelo utiliza estruturas de dados genéricos simples (ESRI, 2004). De acordo com Silva (1999) *apud* Santos et al. (2014), os SIGs têm como um dos objetivos agilizar e facilitar a criação e a utilização de mapas, tornando o processo de criação mais barato.

Com base na planilha síntese dos dados de precipitação total anual foi realizado procedimento de importação dos dados climáticos e de vetorização da posição geográfica das estações pluviométricas, utilizando como sistema de referência espacial o sistema GCS SAD-69. Em seguida se procedeu a 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 29 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, 2013).

Havendo mais de um posto pluviométrico na bacia a precipitação média em cada célula no modelo de interpolação é dado pela equação abaixo (COLLISCHONN, 2013):

Equação 01

$$Pm_i = \frac{\sum_{j=1}^{NP} \frac{P_j}{(d_{ij})^b}}{\sum_{j=1}^{NP} \frac{1}{(d_{ij})^b}}$$

Onde:

NP= número de postos com dados pluviométricos

P_{ij}= chuva observada no posto j

b= constante dois adotada no método do quadrado da distância

d_{ij}= distância entre os postos

Cada modelo gerado posteriormente foi fragmentado em sete partes diferentes, correspondentes as próprias UPGRH's, eliminando o excedente espacial do modelo. Para viabilizar este procedimento foi utilizada a ferramenta *Extract by Mask*, do toolbox *Spatial Analyst Tools* do ArcGIS, utilizando com máscara os vetores poligonais das UPGRH's disponibilizados pelo Instituto de Gestão das Águas de Minas (IGAM, 2015).

A precipitação média ocorrida em cada ano em cada UPGRH's estudada ao longo do horizonte temporal da pesquisa foi determinada segundo critério proposto por Collischonn (2013), onde a média é calculada como a média de todas as células que compõem a área de estudo, de acordo com a equação a seguir.

Equação 02

$$Pm = \frac{\sum_{i=1}^{NC} Pm_i}{NC}$$

Onde:

Pm= chuva média da área estudada

NC= número de células que compõe a área estudada

Pm_i= chuva média em cada célula

Como critério de identificação das similaridades no padrão da distribuição espacial da precipitação anual dentre as UPGRH's foi aplicado então 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 ser 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. Neste tipo de análise procede-se o grupamento, 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 o 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 idéia é que os clusters tenham significado e sejam interpretáveis (QUINTAL, 2006).

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).

Ainda segundo Vicini (2005), considerando o caso de dois indivíduos i e i', a distância entre eles é dada por:

Equação 03
$$d_{ii'} = \left[\sum_{j=1}^p (X_{ij} - X_{i'j})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

X_{ij} = característica do indivíduo i

$X_{i'j}$ = característica do indivíduo i'

p = número de parcelas da amostra

j = número de indivíduos da amostra

O quadrado da distância euclidiana pode ser definido como o somatório dos quadrados das diferenças entre os valores i e j para todas as variáveis ($v = 1, 2, \dots, p$) de todos os objetos (i e j) (equação 04) (ALBUQUERQUE, 2005).

Equação 04
$$d_{ij}^2 = \sum_{v=1}^p (X_{iv} - X_{jv})^2$$

Onde:

X_{iv} = característica do indivíduo i

X_{jv} = característica do indivíduo j

p = número de parcelas da amostra

n = número de indivíduos da amostra

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 grupamento 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 grupamentos que apresentam menor aumento na soma global de quadrados dentro dos grupamentos (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. Como pacotes estatísticos dessa etapa foram utilizados os aplicativos Microsoft Excel 2007® e SPSS 20.0®.

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 ($d_{máx}$) que será comparada com um valor tabelado (d_{crit}) (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 hidrologicamente homogênea;

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

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

De forma ainda a complementar esta avaliação da qualidade dos resultados da análise de Cluster foi realizada distribuição das freqüências 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.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de cluster realizada pelo método de Ward gerou o dendrograma com o padrão apresentado na figura 02 abaixo.

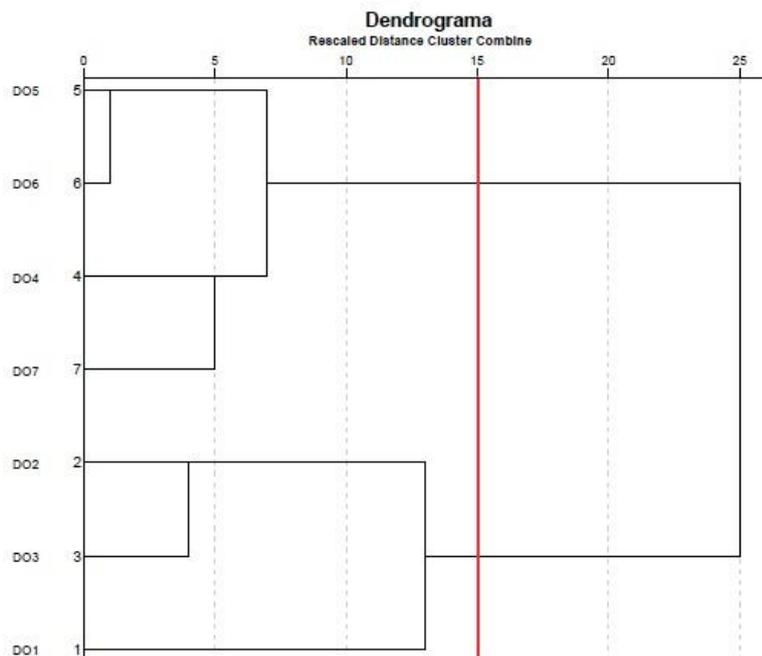


Figura 02: Dendrograma – Ward

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.

Nota-se, portanto, a partir do gráfico, que foram formados claramente dois grupos bem distintos. Um grupo que representou o conglomerado formado pelas UPGRH's DO1, DO2 e DO3; que denominou-se região climaticamente homogênea A; e outro formado pelo agrupamento das UPGRH's DO4, DO5, DO6 e DO7; chamada região climaticamente homogênea B (figura 03), para efeito de zoneamento climático.

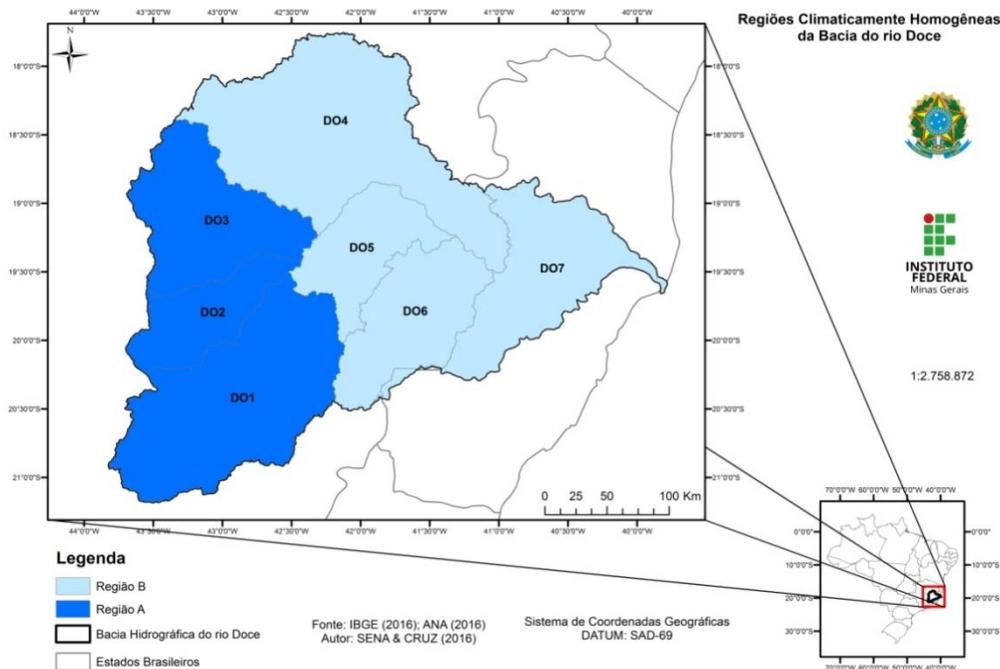


Figura 03: Regiões climaticamente homogêneas da bacia do rio Doce

Ao observar-se a distribuição de frequência das precipitações anuais nas UPGRH's (figura 04), 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.

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 mediana 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, do que ocorre que nestas áreas a gestão da oferta hídrica deve ser mais cuidadosa.

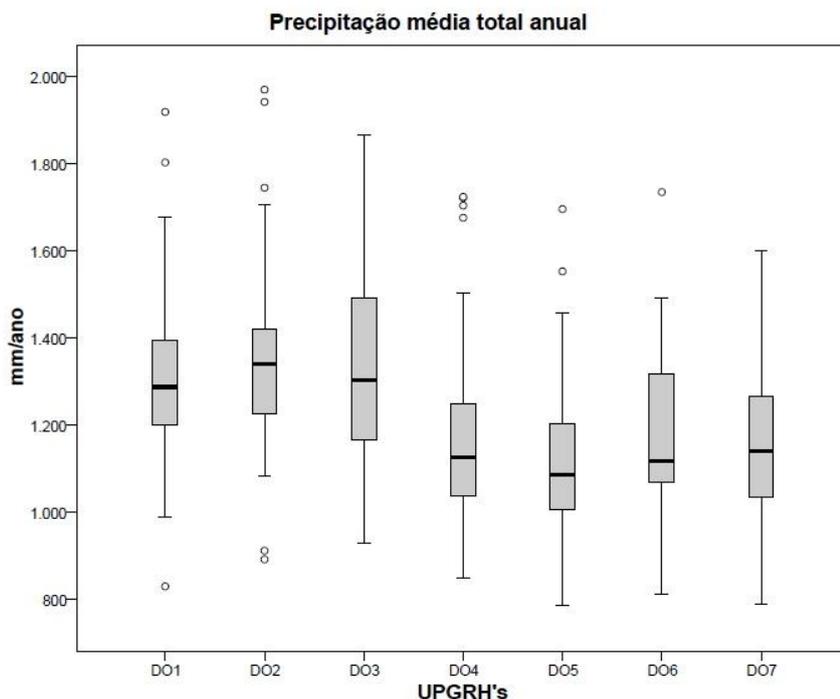


Figura 04: Box Plot – Precipitação total anual – UPGRH's

Corroborando com esta constatação Cupolillo (2008), pois pode-se 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 as demais regiões da bacia, para todos os períodos analisados pelo autor.

A precipitação total anual varia de 1164,1 a 1216mm em termos de percentil inferior (25%) na região A da bacia; de 1286,7 a 1339mm considerando a mediana (50%) e 1397,2 a 1501,5mm quanto ao percentil superior (75%). O percentil inferior das distribuições de precipitação na região B variam de 1001,3 a 1060,7mm, a mediana varia de 1086mm a 1126mm, enquanto que no percentil superior observa-se variação na região de 1216,1 a 1317,9mm (tabela 01).

Tabela 01: Distribuição de freqüência – 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
	DO4	1036,4	1126,0	1255,8
B	DO5	1001,3	1086,0	1216,1
	DO6	1060,7	1117,4	1317,9
	DO7	1023,6	1140,5	1264,5

Segundo o CBH-Doce (CBH-Doce, 2015) 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 sudestes até 2025, segundo estimativa da Agência Nacional de Águas (ANA, 2010), o que não compreende um cenário confortável para a gestão da oferta hídrica.

Na região B (UPGHRs 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, de acordo com o CBH-Doce (2015) e Ecoplan-Lume (2010a, b, c, d, e, f, g). De acordo com 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 ser o principal setor usuário da água na região, deve-se dar especial atenção as 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 02.

Tabela 02: Teste de Kolgoromov- Smirnov – normalidade

RCH	UPGRH	ESTATÍSTICA DO TESTE	P-VALUE	P-VALUE EXATO
A	DO1	0,898	0,395	0,356
	DO2	0,890	0,407	0,367
	DO3	0,831	0,494	0,450
B	DO4	1,178	0,125	0,107
	DO5	0,844	0,474	0,431
	DO6	0,788	0,563	0,517
	DO7	0,621	0,835	0,795

Em todas as UPGRH's, que compõem as RCH's, o *p-value* 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 (LOPES; BRANCO; SOARES, 2013), gerando as condições necessárias a validade do teste de hipótese ANOVA: um critério.

O teste ANOVA realizado para cada grupo de UPGRH's que compõe as duas RHC's apresentou os resultados dispostos nas tabelas 03 e 04 a seguir.

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 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				

Na análise do conjunto de dados de ambas as RCH's, os valores da estatística F apresentaram valores menores que o $F_{crítico}$ calculado, assim como o p -value 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 p -value. 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 climaticamente 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.

CONCLUSÃO

A bacia hidrográfica do rio Doce, para efeito de zoneamento climático baseado apenas na variabilidade espaço-temporal anual da precipitação, pode ser dividida em duas regiões distintas: região A e região B. A região A apresenta a maior disponibilidade hídrica por apresentar os maiores índices pluviométricos anuais e os principais aquíferos (Cupolillo, 2008), enquanto a região B possui aportes de precipitação anual menos pronunciados.

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 as duas regiões climaticamente 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, se sugere um estudo futuro complementar a 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.

Sugere-se, num futuro próximo, trabalhar os dados pluviométricos, em tempo menor e com dados decendiais, a fim de que se possa discretizar com maior precisão a variabilidade da precipitação ao longo da bacia, podendo assim identificar regiões climaticamente homogêneas com maior precisão e em menores níveis de contrastes.

Também é igualmente interessante que se possa, a partir dos resultados desta pesquisa, investigar quais são os mecanismos atmosféricos responsáveis pela disparidade nos padrões de precipitação entre as duas regiões, como também o uso e ocupação do solo a fim de se elucidar a origem destes cenários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Atlas Brasil: abastecimento urbano de água – panorama nacional. Brasília: ANA. vol. 02. 2010. 72 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Hidroweb. Disponível em:< <http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>>. Acessado em 02 de Março de 2015.

ALBUQUERQUE, M. A. de. **Estabilidade em análise de grupamento.** 2005. 64 f. Dissertação (Mestrado em Biometria) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2005.

AYRES, M., AYRES JUNIOR, M., AYRES, D. L., SANTOS, A. de A. S. dos. **Bioestat: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas.** Manual do usuário. Belém, 2007. 380 p.

BUCHIR, L. M. S. T. **Análise da influência de mudanças climáticas nas precipitações.** 2013. 219 f. Dissertação (mestrado) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

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.** 2013. 25 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Instituto Federal Minas Gerais, Governador Valadares. 2013.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais.** 1. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013. v. 1, 336 p.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE (CBH-DOCE). A bacia. Disponível em:< <http://www.cbhdoce.org.br/a-bacia/>>. Acessado em 22 de Julho de 2015.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano de ação de recursos hídricos da unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos Piranga - PARH Piranga.** Contrato Nº 002/2007 – IGAM, mai. 2010b. 127 p.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano de ação de recursos hídricos da unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos Piracicaba - PARH Piracicaba.** Contrato Nº 002/2007 – IGAM, mai. 2010c. 100 p.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano de ação de recursos hídricos da unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos Santo Antônio - PARH Santo Antônio.** Contrato Nº 002/2007 – IGAM, mai. 2010d. 99 p.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano de ação de recursos hídricos da unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos Suaçuí - PARH Suaçuí.** Contrato Nº 002/2007 – IGAM, mai. 2010e. 114 p.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano de ação de recursos hídricos da unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos Caratinga - PARH Caratinga.** Contrato Nº 002/2007 – IGAM, mai. 2010f. 105 p.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano de ação de recursos hídricos da unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos Manhauçu - PARH Manhauçu.** Contrato Nº 002/2007 – IGAM, mai. 2010g. 104 p.

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.** Contrato Nº 043/2008 – IGAM, v.1, jun. 2010a. 472 p.

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.

CUPOLILLO, F.; GEMIACKI, L.; CRUZ, F. M.; OLIVEIRA, J.; AGUIAR, G. **Análise do Intenso Verânico na estação chuvosa 2013/2014, na Bacia do Rio Doce, nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 18., 2014, Recife. **Anais....** Recife: SBMET, 2014. p. 1-16.

ESRI. **ArcGIS 9: What is ArcGis?.** Manual do Usuário. United States of America, 2004. 124p.

FECHINE, J. A. L.; GALVÍNCIO, 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.

INSTITUTO DE GESTÃO DAS ÁGUAS DE MINAS (IGAM). InfoHIDRO: Informações sobre recursos hídricos. Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/downloads/3222-mapoteca>>. Acessado em 07 de Julho de 2015.

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 de nov. 2015.

LAPPONI, J. C. **Estatística usando Excel**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 7ª reimpressão. 476 p.

LOPES, M. de M.; CASTELO-BRANCO, V. T. F.; SOARES, J. B. Utilização dos testes estatísticos de Kolgoromov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. **Transportes**, vol. 21, p. 01, 2013. p. 59-66. 2013.

LUCAS, E. W. M.; SOUSA, F. de A. S.; MENEZES, R. H. N. de; COSTA, R. F. da; OLIVEIRA, L. L. de. Regionalização da precipitação na bacia hidrográfica do Xingu, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais....** Florianópolis: SBMET, 2006. p. 1-6.

MARENCO, 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.

MIRANDA, R. A. C. de; OLIVEIRA, M. V. S. de; SILVA, D. F. da. **Ciclo Hidrológico Planetário**: abordagens e conceitos. *Geo UERJ*, Rio de Janeiro, v.1, n. 21, p. 109-119, jul. 2010.

MOREIRA, A. A. C.; COSTA, C. T. F. da; TAVARES, P. R. L.; MENDONÇA, L. A. R. Caracterização morfometria e hidrológia da bacia hidrográfica do rio Salamanca, Barbalha, CE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais....** Maceió: ABRH, 2011. p. 1-15.

NADAL, C. A., JULIANO, K. A., RATTON, E. Testes estatísticos utilizados para a validação de regressões múltiplas aplicadas na validação de imóveis urbanos. **Bol. Ciênc. Geod.**, vol. 9, n. 2, p. 243-262, jul/dez, 2003.

PHILLIPS, D.L.; DOLPH, J; MARKS, D. A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 58, p. 119-141, 1992.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, jun. 2008.

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.

REBOUCAS, A. C. ; BRAGA, B. ; TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. 748 p.

REBOUÇAS, A. da C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia: análise de dados**, vol. 13, n. especial, 2003. p. 341-345. 2003.

REIS, E. A., REIS, I. A. **Análise descritiva de dados: síntese numérica**. Relatório Técnico – RTP-02/2002. 1ª Ed. Belo Horizonte: Departamento de Estatística, Universidade Federal de Minas Gerais, 2002. 36 p.

SANTOS, A. R. dos; EUGENIO, F. C.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; MOREIRA, M. A.; SANTOS, G. M. A. D. A. dos. **ArcGIS 10.2.2 passo a passo: Elaborando meu primeiro mapeamento**. Alegre: CAUFES, 2014. 55 p.

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., MOREIRA-JUNIOR, F. de J., ANSUJ, A. P., NOAL, M. R. C. Comparação entre o método de Ward e o método K-médias no agrupamento de produtores de leite. **Ciência e Natureza**, Santa Maria, vol. 30, n. 01, p. 07-15. 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; AMANAJÁS, J. C.; SILVA, A. P. N. da; BRAGA, C. C.; CORREIA, M. De F. 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.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O Conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, Araraquara, n. 20, p. 137-156, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. 5^o reimp. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA). **Zoneamento Ecológico - Econômico do Estado de Minas Gerais**: Componentes geofísico e Biótico. Lavras: UFLA, 2008. 161 p.

ULIANA, E. M.; SILVA, D. D. da; ULIANA, E. M.; RODRIGUES, B. S.; CORRÊDO, L. de P. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n. 1, p. 82-88, jan./mar. 2015.

VICINI, L. **Análise multivariada: da teoria à prática**. 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^a Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

ANEXOS

ANEXO A – Estações de monitoramento pluviométrico

ID	NOME	LAT	LONG
2144001	BOM JARDIM DE MINAS	-21,947200	-44,193900
2143003	DESTERRO DO MELO	-21,149200	-43,520000
2043026	BRAZ PIRES	-20,847500	-43,241900
2041005	CAIANA	-20,693900	-41,921900
2043010	PIRANGA	-20,690600	-43,299400
2042016	SAO MIGUEL DO ANTA	-20,682500	-42,806700
2043014	PORTO FIRME	-20,670300	-43,088100
2043025	USINA DA BRECHA	-20,516700	-43,016700
2043011	FAZENDA PARAISO	-20,390000	-43,180300
2041018	USINA FORTALEZA	-20,371400	-41,408900
2041020	ARACE DNOS	-20,366700	-41,061100
2043009	ACAIIACA JUSANTE	-20,362500	-43,143900
2041011	CONCEICAO DO CASTELO DNOS	-20,352200	-41,239400
2041013	IUNA	-20,345800	-41,537500
2041017	SANTA CRUZ CAPARAO	-20,322800	-41,704200
2042010	ABRE CAMPO	-20,298900	-42,478100
2043027	FAZENDA OCIDENTE	-20,285600	-43,098900
2042017	MATIPO	-20,277200	-42,325600
2042011	RIO CASCA	-20,226100	-42,650000
2040008	GARRAFAO DNOS	-20,143300	-40,975300
2041008	DORES DO MANHUMIRIM	-20,108100	-41,728300
2042008	RAUL SOARES MONTANTE	-20,103600	-42,440000
2041023	AFONSO CLAUDIO MONTANTE	-20,078600	-41,121400
2040007	SANTA MARIA DO JETIBA	-20,028300	-40,743300
1942006	VERMELHO VELHO	-19,998900	-42,347500
1940020	CALDEIRAO	-19,955000	-40,741700
1940010	VALSUGANA VELHA MONTANTE	-19,953300	-40,552500
1943007	SANTA BARBARA	-19,945300	-43,401100
1943001	RIO PIRACICABA	-19,922800	-43,177800
1941008	LARANJA DA TERRA	-19,901100	-41,058100
1943027	USINA PETI	-19,880800	-43,367500
1940000	ITARANA	-19,874400	-40,874400
1942002	BOM JESUS DO GALHO	-19,833600	-42,317800
1940001	SAO JOAO DE PETROPOLIS	-19,805300	-40,678900
1941000	IPANEMA	-19,798900	-41,706100
1940003	RIACHO	-19,749700	-40,043100
1940005	CAVALINHO	-19,692200	-40,398100
1941009	IBITUBA	-19,691100	-41,020000

1943024	JOSEDE MELO	-19,689700	-43,585600
1941011	SANTO ANTONIO DO MANHUACU	-19,678300	-41,836100
1940012	ITAIMBE	-19,663600	-40,835300
1941006	ASSARAI MONTANTE	-19,594700	-41,458100
1940022	JACUPEMBA	-19,588600	-40,198100
1940006	COLATINA CORPO DE BOMBEIRO	-19,530800	-40,623100
1941003	BAIXO GUANDU	-19,523600	-41,014200
1941010	SAO SEBASTIAO DA ENCRUZILHADA	-19,492500	-41,161700
1943008	SANTA MARIA DO ITABIRA	-19,441900	-43,117800
1942008	DOM CAVATI	-19,373600	-42,105000
1941004	RESPLENDOR JUSANTE	-19,343100	-41,246100
1940025	SERRARIA ALTO DO MOACIR	-19,295300	-40,517500
1940023	RIO BANANAL	-19,274200	-40,320800
1943003	FERROS	-19,250300	-43,014400
1940013	NOVO BRASIL	-19,237500	-40,591400
1940009	PANCAS	-19,220300	-40,853300
1943025	MORRO DO PILAR	-19,217500	-43,374200
1941005	BARRA DO CUIETE JUSANTE	-19,061700	-41,532800
1941012	ALTO RIO NOVO	-19,059200	-41,027500
1940016	BARRA DE SAO GABRIEL	-19,057800	-40,516400
1943002	CONCEICAO DO MATO DENTRO	-19,016700	-43,444200
1840000	AGUIA BRANCA	-18,985600	-40,746100
1841009	MANTENOPOLIS	-18,908900	-41,121700
1840010	CEDROLANDIA	-18,809700	-40,690600
1842007	GUANHAES	-18,772200	-42,931100
1840004	BARRA DE SAO FRANCISCO	-18,753600	-40,893600
1842005	COROACI	-18,611900	-42,278600
1841001	VILA MATIAS MONTANTE	-18,574700	-41,917800
1842004	SAO PEDRO DO SUACUI	-18,358300	-42,595600
1841003	CAMPANARIO	-18,238600	-41,748600
1842008	SANTA MARIA DO SUACUI	-18,201100	-42,455300
1741001	MUCURI	-17,595000	-41,492800
1739010	ALCOBACA	-17,515600	-39,227500