

**Universidade de Brasília
Instituto de Geociências**

**IV CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO
AMBIENTAL**

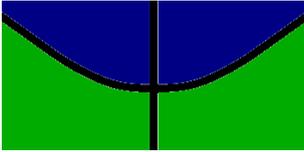
**Análise da correlação entre o relevo e a distribuição da
precipitação pluvial na bacia do rio Doce – MG e ES**

BRISLY FREITAS MESQUITA

Monografia de conclusão de
curso de especialização

ORIENTADOR: Prof. Dr. Edilson de Souza Bias (IG / UnB)

**BRASÍLIA- DF
2016**



**Universidade de Brasília
Instituto de Geociências**

**IV CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO
AMBIENTAL**

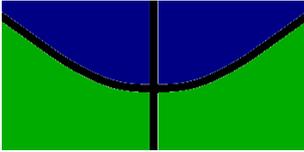
**Análise da correlação entre o relevo e a distribuição da
precipitação pluvial na bacia do rio Doce – MG e ES**

BRISLY FREITAS MESQUITA

Monografia de conclusão de
curso de especialização

ORIENTADOR: Prof. Dr. Edilson de Souza Bias (IG / UnB)

**BRASÍLIA- DF
2016**



**Universidade de Brasília
Instituto de Geociências**

Análise da correlação entre o relevo e a distribuição da precipitação pluvial na bacia do rio Doce – MG e ES

Brisly Freitas Mesquita

Monografia de conclusão de
curso de especialização

ORIENTADOR: Prof. Dr. Edilson de Souza Bias (IG / UnB)

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Paulo Roberto Menezes

Dr. Denilson Pereira Passo

**BRASÍLIA- DF
2016**

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, à Agência Nacional de Águas e à HEX Informática Ltda. À ESRI, pela disponibilização do pacote de ferramentas que compõem a família ArcGis 10.3 por intermédio do contrato n° 2011 MLK 8733, e a IMAGEM pelo apoio e viabilidade da concretização do termo de uso entre o IG e a ESRI, e pelo suporte aos softwares. Ao Prof. Dr. Edilson de Souza Bias pelo apoio e orientação em todas as etapas deste trabalho.

ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE O RELEVO E A DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NA BACIA DO RIO DOCE – MG e ES

Brisly Freitas Mesquita
Universidade de Brasília - UnB
brislyfreitas@gmail.com

Edilson de Souza Bias
Universidade de Brasília – UnB
Instituto de Geociências - IGD
edbias@unb.br

RESUMO

A evolução das ferramentas geotecnológicas possibilitou às ciências ambientais aprofundarem seus estudos acerca da dinâmica da precipitação pluvial nas bacias hidrográficas. A identificação do padrão do comportamento espaço-temporal da precipitação mostra-se relevante para um desenvolvimento aprimorado das atividades agrícolas e agroflorestais, contribuindo para o planejamento e mapeamento da produção, levantamento de áreas de aptidão, alocação de recursos, zoneamento agrícola e o próprio gerenciamento da disponibilidade dos recursos hídricos na bacia. Este trabalho teve como objetivo analisar o grau de correlação entre o relevo e a distribuição espacial da precipitação pluvial na bacia do Rio Doce, em Minas Gerais e Espírito Santo. Foram utilizados dados de precipitação de 54 estações medidoras disponibilizados pela ANA – Agência Nacional de Águas para 4 períodos compreendidos entre 1975 e 2013, além de informações de altitude provenientes de imagem SRTM – Shuttle Radar Topographic Mission. A partir do cálculo do índice de correlação de Pearson para cada período estudado, verificou-se que existe uma correlação moderada entre o relevo e a distribuição espacial das chuvas na área de estudo. Além disso, constatou-se a relevância de outros fatores climáticos sobre a dinâmica da precipitação pluvial na região, como a entrada das massas de ar vindas do Oceano Atlântico e também do Sul do país. Foi possível verificar que a distribuição das chuvas para os quatro períodos analisados apresentou um padrão de ocorrência dos maiores índices pluviométricos em regiões de altitude mais elevadas de maneira geral, com exceções como a região litorânea influenciada pela umidade do Oceano Atlântico.

Palavras-chave: Correlação, relevo, precipitação, Rio Doce.

ABSTRACT

The evolution of the geotechnological tools enabled the environmental sciences deepen their studies on the dynamics of rainfall in the watersheds. The identification of the standard precipitation spatiotemporal behavior is shown to be relevant to a developing improved agricultural and agroforestry activities, contributing to the planning and mapping production, lifting fitness areas, resource allocation, agricultural zoning and self-management the availability of water resources in the basin. This study aimed to analyze the degree of correlation between the relief and the spatial distribution of rainfall in the basin of Rio Doce, Minas Gerais and Espirito Santo. Using 54 metering stations rainfall data provided by ANA for four periods between 1975 and 2013, and altitude information from SRTM image. From the calculation of Pearson's correlation coefficient for each period studied, it was found that there is a moderate correlation enter the relief and the spatial distribution of rainfall in the study area. In addition, there was the relevance of other climatic factors on the dynamics of rainfall in the region, such as the entry of air masses from the Atlantic Ocean as well as the South. It found that the distribution of rainfall for the four periods analyzed showed a pattern of occurrence of the greatest rainfall in higher altitude regions in general, with exceptions such as the coastal region influenced by moisture from the Atlantic Ocean.

Keywords: Correlation, relief, rainfall, Rio Doce.

1. Introdução

A gestão dos recursos hídricos no mundo tem gerado discussões na busca pela manutenção da disponibilidade e da qualidade das águas.

A legislação referente à gestão desses recursos no Brasil passou por modificações relativamente recentes, atualizando a normatização às exigências que estão em voga. Nas últimas décadas, houve implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), além da Lei das Águas, Lei nº 9433/1997, e diversos aparatos legais concernentes à questão dos recursos hídricos.

A preservação dos recursos hídricos é um verdadeiro desafio para os gestores de bacias hidrográficas em relação à implementação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos e das políticas estaduais, considerando o intenso avanço das zonas urbanas sobre as áreas conservadas assim como a expansão das fronteiras agrícolas. (Libos et al, 2003)

Com a previsão legal sobre a adoção da bacia hidrográfica como a unidade territorial de análise da paisagem e de aplicação da PNRH conforme a Lei nº 9433/1997, algumas ferramentas técnicas foram sendo incorporadas como subsídio à implementação efetiva dessa política. É nesse contexto que é revelada a grande contribuição da Modelagem ambiental e hidrológica traz aos estudos em escala de bacia hidrográfica e suas subdivisões.

O espectro de aplicações das ferramentas geotecnológicas tem se mostrado de enorme valor na manipulação, geração e análise de dados, geoespaciais, comportando-se como um efetivo instrumento de gestão e apoio à tomada de decisões.

Os estudos feitos para compreensão dos fenômenos naturais como a precipitação lidam com dificuldades devido à complexidade dos inúmeros fatores que possam compô-los. Uma bacia pode ser analisada por meio de diversas variáveis, como relevo e uso do solo, as quais precisam ser escolhidas conforme o objetivo do trabalho. Uma forma para estudar esses fenômenos é a utilização de modelos, como os hidrológicos e os de elevação do terreno. (Kobiyama et al, 1999)

Uma modelagem é, basicamente, uma representação matemática da realidade, calibrada com os dados das variáveis mais importantes para a análise do fenômeno, que busca construir e analisar diversos cenários, tanto futuros quanto do passado, para um melhor entendimento dos

processos envolvidos, afim de subsidiar as tomadas de decisões durante o planejamento, implementação e gestão das políticas que envolvem elementos dos recursos hídricos, como é o caso da presente pesquisa.

Os custos operacionais das saídas de campo para investigação podem ser muito elevados se comparados aos da aplicação de modelagem (Machado, 2002). Porém, isso não deve funcionar como desestímulo à realização de pesquisas de campo, até porque a calibração dos modelos depende da inserção de dados reais advindos da observação do objeto, como forma de se aproximar o máximo possível a simulação à realidade.

A partir da evolução das ferramentas oferecidas por esse conjunto de técnicas geotecnológicas, foi possível estabelecer uma melhor compreensão dos processos hidrológicos que acontecem na bacia hidrográfica.

Para Câmara et al. (2001), “geoprocessamento” é uma área do conhecimento a qual envolve a utilização de ferramentas baseadas em técnicas matemáticas e computacionais para manipulação de informações geográficas.

Aliado ao Geoprocessamento, os SIG têm sido utilizados nos trabalhos que tratam de processos ambientais variados, por sua capacidade de manipular as informações sobre os fenômenos de forma eficiente, economizando recursos, permitindo a congregação de dados diversos e em diferentes escalas (Machado, 2002). Na presente pesquisa, o termo “Geotecnologias” foi utilizado para descrever o conjunto de ferramentas que envolvem o arcabouço de trabalho envolvido na área de geoprocessamento, como: Sistemas de Informação Geográfica, Sensoriamento Remoto e Geoestatística espacial, excetuando as referências para manter a ideia dos autores citados.

O interesse das ciências do meio ambiente pelos SIG vem crescendo devido à possibilidade de integrar os modelos ambientais a essa tecnologia (Machado, 2002).

Pode-se compreender a aplicabilidade definida por Machado (2002) é bastante extensa, promovendo a combinação de informações temporais e espaciais, não ficando restrita à modelagem, mas também se estende aos trabalhos de monitoramento ambiental, manejo dos recursos florestais, planejamento do uso da terra, identificação de áreas potencialmente degradadas.

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos com a aplicação de SIG na espacialização da precipitação pluvial em bacias hidrográficas, de forma a avaliar a distribuição das chuvas no tempo e espaço e sua relação com as demais variáveis ambientais (Amorim et al, 2008).

A dinâmica climática de cada região, segundo Milanesi (2011), é influenciada pelo relevo, independentemente de seu porte. Esta interação tem resultados como as chuvas orográficas, a bifurcação de ventos e os gradientes de temperatura e pressão.

Segundo Valeriano (2004), a utilização do relevo como variável nos estudos dos sistemas terrestres foi beneficiada pela disponibilização de dados topográficos advindos de sensores remotos, principalmente em áreas onde são feitos mapeamentos sistemáticos para produção de bases topográficas digitais.

De acordo com o mesmo autor, considerando-se a disponibilidade de mapeamentos em escalas muito generalizadas no Brasil, as informações oferecidas pelos dados *Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)* podem ser considerados como uma das melhores fontes de informação topográfica para o país. Oferecidas em resolução de 90 m e mais recentemente 30 m, pode ser considerada um grande avanço na informação até então disponível.

A identificação do padrão do comportamento espaço-temporal da precipitação mostra-se relevante para um desenvolvimento aprimorado das atividades agrícolas e agroflorestais, contribuindo para o planejamento e mapeamento da produção, levantamento de áreas de aptidão, alocação de recursos, zoneamento agrícola e o próprio gerenciamento da disponibilidade dos recursos hídricos na bacia. (Silva et al, 2010; Viola et al, 2010).

O aprimoramento das técnicas de espacialização da precipitação vem aliado ao desenvolvimento de estudos que aplicam diferentes metodologias para a definição daquelas que se mostrem mais adequadas para a região da área estudada. (Alves e Vecchia, 2011).

As técnicas utilizadas para proceder tal espacialização envolvem o uso de interpoladores que, tendo como base dados pontuais conhecidos, produzem novos conjuntos de dados estimando parâmetros para os espaços que não possuem informações disponíveis. Este procedimento considera que os pontos mais próximos possuem maior semelhança que os mais distantes. (Souza et al, 2011).

Lima et al (2015) analisaram a correlação entre o relevo e a distribuição da precipitação na bacia do Rio Mamanguape no estado da Paraíba, baseado nas estimativas pluviométricas fornecidas pelo satélite TRMM e os dados de altimetria do SRTM, utilizando o método de interpolação Inverso do Quadrado da Distância (IQD). Os resultados demonstraram que existia uma discreta correlação, justificada pela presença do planalto da Borborema.

Silva et al (2010) analisaram a variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia do Rio Tapacurá no estado de Pernambuco, utilizando a técnica de Krigagem para especializar os dados de chuvas.

Alves e Vecchia (2011) avaliaram a acurácia dos interpoladores IQD, Krigagem, Mínima curvatura e Triangulação para a espacialização da precipitação no estado de Goiás e, a técnica de validação cruzada para comparar os resultados de cada método, calculando o erro médio quadrático, o desvio das médias, o coeficiente de determinação e o coeficiente de correlação de Pearson. Os métodos que apresentaram os melhores resultados, respectivamente, foram Mínima Curvatura e IQD.

Souza et al. (2011) avaliaram o desempenho de diferentes métodos de interpolação para estimar a precipitação do Território Portal do Sertão, no estado da Bahia. Os métodos que apresentaram melhores resultados foram a Krigagem, Curvatura mínima e Inverso Ponderado da Distância, respectivamente.

Amorim et al. (2008) avaliaram a acurácia de dois métodos de espacialização da precipitação para o estado de Alagoas: IQD e Spline, tendo o primeiro apresentado melhor coeficiente de correlação com dados observados e menor desvio-padrão.

Viola et al. (2010) avaliaram o desempenho de diferentes métodos de interpolação, dentre eles o IQD aplicado no mapeamento da precipitação mensal, anual e período seco, no estado de Minas Gerais. Este interpolador apresentou erro médio de 13,11%.

Em um estudo na mesorregião sul e sudoeste de Minas Gerais, Roldão et al. (2012) analisaram a correlação entre as variáveis climáticas altitude, temperatura e precipitação, afim de caracterizar o clima da área. Não identificaram correlação entre a altitude e a ocorrência de precipitação na área de estudo.

Já Michelotti et al. (2013), em seu estudo sobre a correlação do relevo e precipitação na bacia

hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim verificou existir boa relação entre as variáveis, situada no município de Santa Maria – RS. Utilizou dados das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas para o período de 1943 a 2011.

A contribuição de cada estudo realizado em diferentes áreas nos permite um maior aprimoramento na compreensão das dinâmicas existentes nos mais diversos ambientes que caracterizam nosso país com dimensões continentais.

É necessário que se estabeleça um aporte técnico, científico e ambiental para a formação de um banco de dados sobre cada bacia, além de ferramentas de análise como subsídio ao gerenciamento e manutenção da qualidade dos recursos hídricos componentes de cada sistema hidrológico. (Libos et al, 2003)

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é analisar o grau de correlação entre o relevo e a distribuição espacial da precipitação na bacia do Rio Doce, em Minas Gerais e Espírito Santo, utilizando o método de interpolação IQD sobre dados de chuvas de quatro períodos compreendidos entre 1975 a 2013, com registros de 54 estações medidoras existentes na bacia e as informações de

altimetria do relevo obtidos através de dados SRTM.

2. Material e Métodos

Área de Estudo

Este estudo foi realizado na Bacia do Rio Doce, localizada em sua maior parte no estado de Minas Gerais (86%) e o restante no Espírito Santo (14%), estado onde se encontra sua foz, conforme Figura 1.

Sua nascente encontra-se no município de Ressaquinha, Minas Gerais, tendo como origem a confluência dos rios Pitanga e Carmo. A foz do rio Doce está localizada em Regência, distrito do município de Linhares (Cupolillo, 2008).

A bacia possui 86.715 km² com relevo ondulado, montanhoso e acidentado e vegetação predominante pertencente ao Bioma Mata Atlântica.

A bacia do Rio Doce possui como limites geográficos, segundo Cupolillo et al. (2008), o Oceano Atlântico a leste; Serra Negra e Aimorés ao norte; Serra do Espinhaço ao oeste; Serra da Mantiqueira ao sul e sudoeste; e a Serra do Caparaó a sudeste.

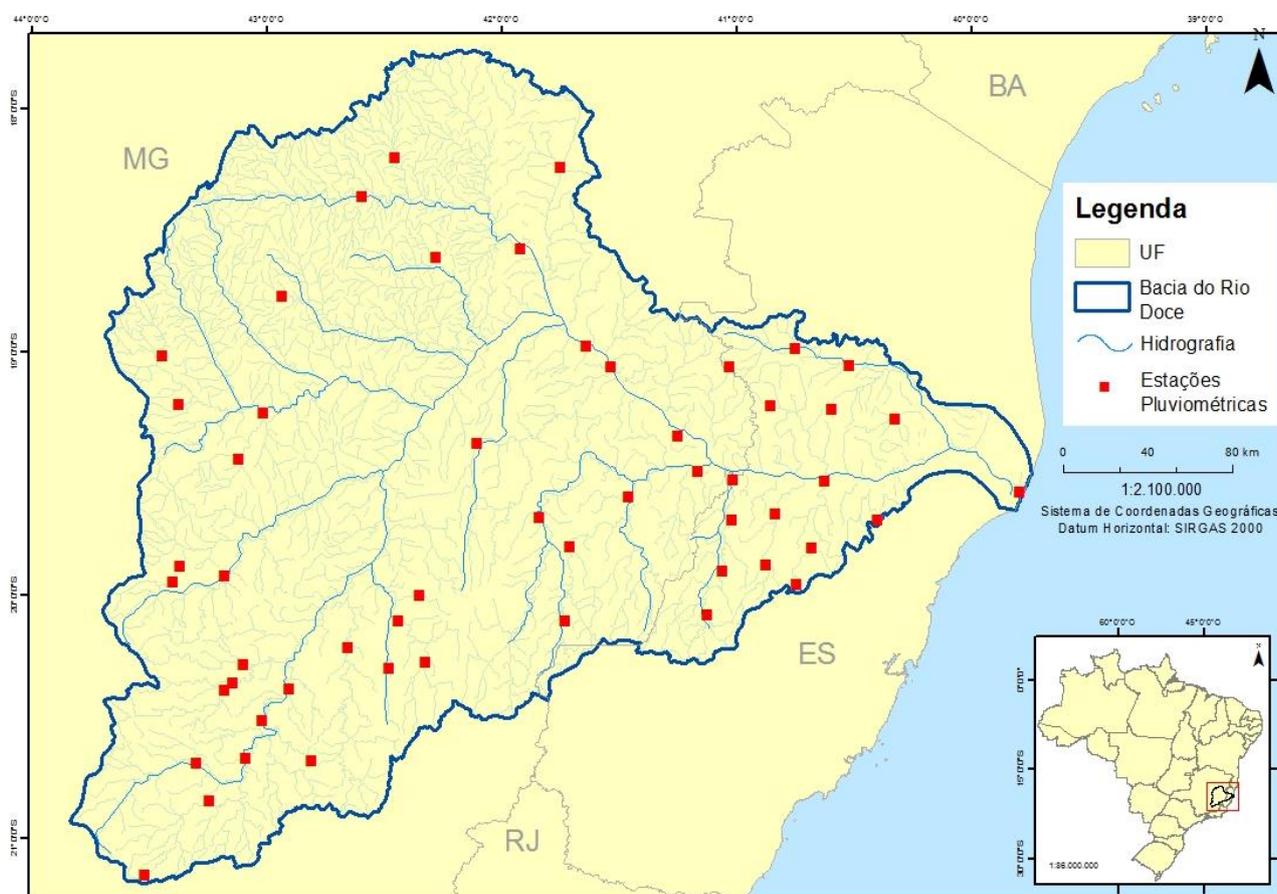


Figura 1. Localização das estações pluviométricas da ANA.

A região se destaca na América Latina por seu complexo siderúrgico, além de outras atividades de destaque como agropecuária, geração de energia elétrica, indústria de laticínios e outros tipos de cultura. (CBH-DOCE, 2014)

O clima da região é classificado como tropical de altitude, tendo variações ao longo da bacia relacionadas as suas características altimétricas. (Cupolillo et al, 2008)

O arquivo vetorial referente ao limite geográfico da bacia do Rio Doce é proveniente das informações de otobacias originárias do extinto Departamento Nacional de Águas e Energia (DNAE).

Dados Pluviométricos

Inicialmente, para proceder a análise da correlação da distribuição espacial das chuvas com o relevo, foram utilizados os dados de precipitação pluvial de 54 estações medidoras presentes na área da bacia fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), conforme Tabela 1.

Precipitação Total Média (mm) por Período				
ESTAÇÃO	1975 a 1984	1985 a 1994	1995 a 2004	2005 a 2013
ÁGUIA BRANCA	1470	1161	1116	1235
VILA MATIAS - MONTANTE	1284	1025	980	996
CAMPANÁRIO	1124	1048	963	1005
TUMIRITINGA	1011	906	904	1026
SÃO PEDRO DO SUAÇUÍ	1543	864	1091	923
COROACI	1542	1358	1095	1387
GUANHÃES	1309	1233	1325	1231
SANTA MARIA DO SUAÇUÍ	1181	1436	1068	1188
POVOAÇÃO	1753	655	1121	1605
ITARANA	1216	1057	1130	1165
SÃO JOÃO DE PETRÓPOLIS	1165	922	976	1097
CAVALINHO	1534	1305	1171	1447
COLATINA - CORPO DE BOMBEIROS	1094	944	1018	1068
PANCAS	1266	1087	1133	1293
ITAIMBÉ	1192	1086	1048	1119
NOVO BRASIL	1306	1104	1078	1171
BARRA DE SÃO GABRIEL	1300	992	1132	1155
CALDEIRÃO	1327	990	977	1351
RIO BANANAL	1373	1092	1132	1280
IPANEMA	1352	1242	1268	1286
BAIXO GUANDU	1031	697	812	963

RESPLENDOR - JUSANTE	1180	958	962	1037
BARRA DO CUIETÉ - JUSANTE	1035	959	876	928
ASSARAI - MONTANTE	1182	1037	1059	1225
LARANJA DA TERRA	1122	835	1163	1090
IBITUBA	913	917	893	879
SÃO SEBASTIÃO DA ENCRUZILHADA	940	979	980	1027
SANTO ANTÔNIO DO MANHUAÇU	1326	1154	1172	1277
ALTO RIO NOVO	967	632	940	1023
VERMELHO VELHO	1153	1193	1328	1277
DOM CAVATI	1258	964	1172	1250
RIO PIRACICABA	1401	1397	1338	1473
CONCEIÇÃO DO MATO DENTRO	1531	1427	1390	1535
FERROS	1216	1146	1280	1286
SANTA BÁRBARA	1137	1191	1476	1674
SANTA MARIA DO ITABIRA	1335	1103	1366	1195
MORRO DO PILAR	1734	1557	1621	1609
USINA PETI	1604	1403	1515	1410
DORES DO MANHUMIRIM	1365	1044	1229	1243
AFONSO CLÁUDIO - MONTANTE	1143	910	1115	1321
RAUL SOARES - MONTANTE	1121	1179	1279	1290
ABRE CAMPO	1306	1199	1187	1347
RIO CASCA	1355	1683	1383	1223
SÃO MIGUEL DO ANTA	1293	1159	1144	1275
MATIPÓ	1343	1209	1199	1322
PONTE NOVA - JUSANTE	1246	1273	1277	1225
ACAIACA - JUSANTE	1464	1359	1378	1356
PIRANGA	1468	1545	1452	1519
FAZENDA PARAÍSO	1485	1405	1449	1513
PORTO FIRME	1384	1271	1387	1407
USINA DA BRECHA	1504	1325	1275	1396
BRAZ PIRES	1378	1086	1278	1409
FAZENDA OCIDENTE	1479	1152	1537	1364
DESTERRO DO MELO	1654	1674	1538	1743

Tabela 2. Estações Medidoras da ANA e respectivos valores de precipitação total média em milímetros para cada período.

O período estudado se restringiu aos anos entre 1975 e 2013, devido a disponibilidade de dados que contemplassem a maior parte da bacia por pelo menos 30 anos.

A partir dos dados de total de precipitação mensal para cada ano, foram gerados os totais médios anuais e posteriormente divididos em 4 períodos: (1) 1975 a 1984; (2) 1985 a 1994; (3) 1995 a 2004 e (4) 2005 a 2013. Para cada grupo, foi gerada precipitação total média do período.

A estrutura metodológica desenvolvida neste estudo foi baseada nas aplicações de diferentes interpoladores para espacialização de precipitação pluvial e o uso de diferentes fontes de dados

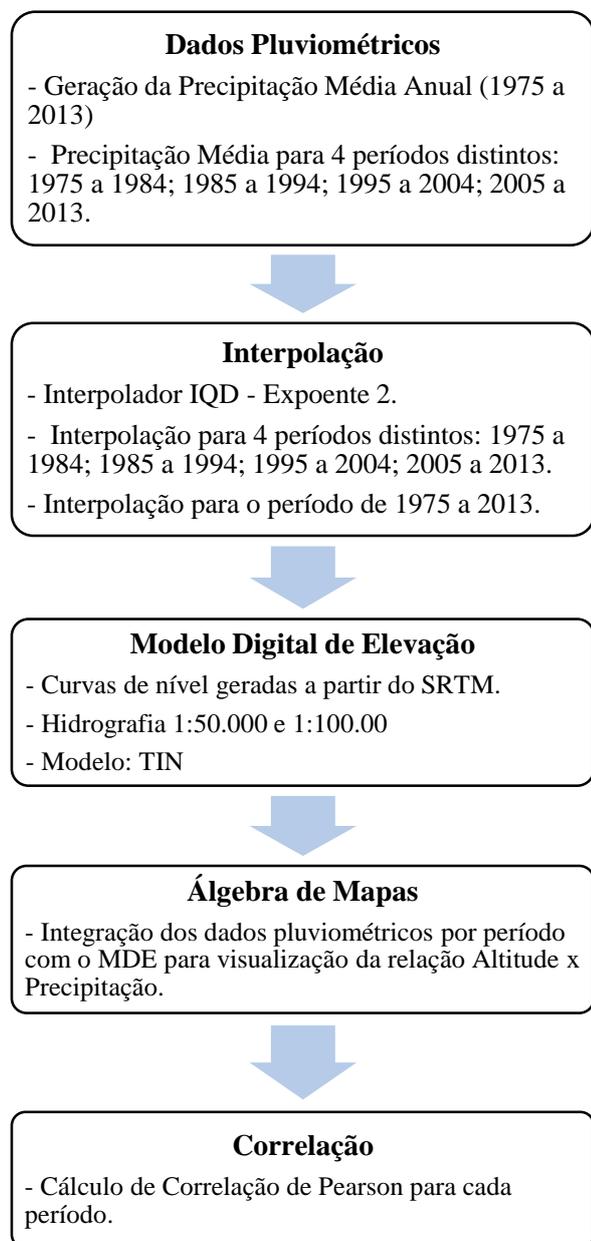


Figura 2. Fluxograma das etapas metodológicas.

altimétricas observadas em Lima et al (2015), Silva et al (2010), Alves e Vecchia (2011), Souza et al. (2011), Amorim et al. (2008), Viola et al. (2010), Roldão et al. (2012) e Michelotti et al. (2013), conforme exposto na introdução deste trabalho, e adaptada em virtude da disponibilidade de dados.

Interpolação

A partir dos valores de precipitação média por período, foi aplicado o interpolador Inverso do Quadrado da Distância (IQD) no software ArcMap 10.1 para se estimar os demais valores de precipitação para toda a extensão da bacia para os 4 períodos.

Conhecido também pelo nome de Inverse Distance Weighted (IDW), este método gera um valor estimado para as áreas onde não existem informações, calculando uma média dos valores amostrados dentro dos limites de uma distância definida. Segundo Souza et al (2011), “o cálculo da média é ponderado pela distância entre o ponto a ser interpolado e seus vizinhos; destaca-se que o peso da distância é ajustado por um expoente”.

No método IDW, à medida que se aumenta o expoente é aumentada a influência dos pontos mais próximos e quando se diminui o valor do expoente, os pontos mais distantes passam a ter maior peso sobre a extensão da malha. O expoente que influi no peso pode ser ajustado conforme o interesse, o que faz a influência da distância variar, como pode ser visualizado na Figura 3.

Modelo Digital de Elevação

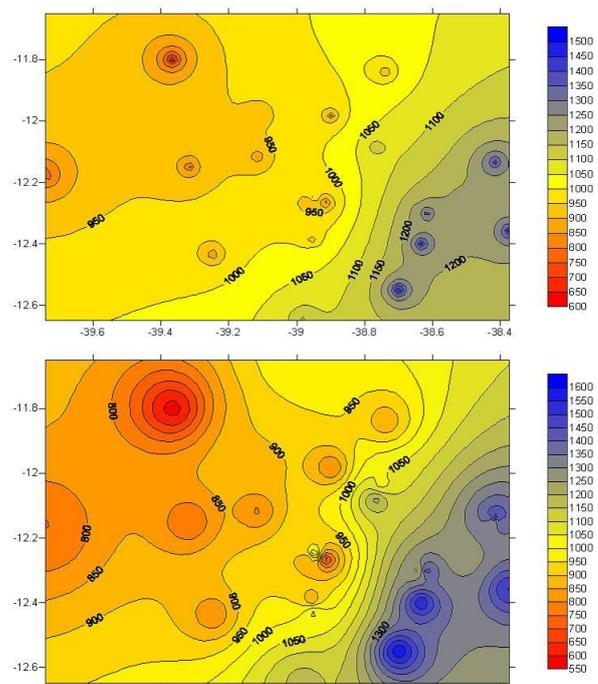


Figura 3. IDW aplicado com expoente 4 e 2 respectivamente. Fonte: Souza et al (2011).

A etapa seguinte, envolveu a criação do Modelo Digital de Elevação (MDE) da bacia.

Um MDE é uma estrutura matricial com valores dispostos no formato de linhas e colunas regulares que formam as células, nas quais ficam armazenados dados de altitude. (Salgado et al, 2011).

Conforme Chagas et al (2010), não devem ser desconsiderados os erros relacionados a este modelo, “visto que os MDEs são visões simplificadas da realidade, submetidas a um processo de generalização”.

Para tal, foram geradas curvas de nível utilizando a ferramenta Curva de Nível do software ArcMap 10.1, com equidistância de 20 metros entre as curvas, a partir das informações de altimetria do relevo obtidos do *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) com resolução espacial de 30 metros, disponível no site da NASA.

Para geração do MDE, foram consideradas as curvas de nível e os dados da hidrografia da área na escala de 1:50.000 e 1:100.000, disponibilizados pela ANA em seu *site* de metadados. O modelo foi gerado a partir da representação de superfície *Triangular Irregular Networks* (TIN).

O TIN é caracterizado pela construção de arcos entre vértices (pontos) com valores conhecidos para formar uma rede de triângulos que representam a superfície segundo os critérios da triangulação de Delauney, conforme exemplo das Figuras 4 e 5 (ESRI, 2012).

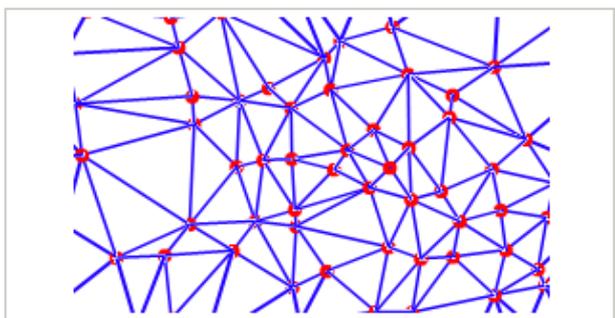


Figura 4. Triangulação gerada no Modelo TIN. Fonte: ESRI (2012)

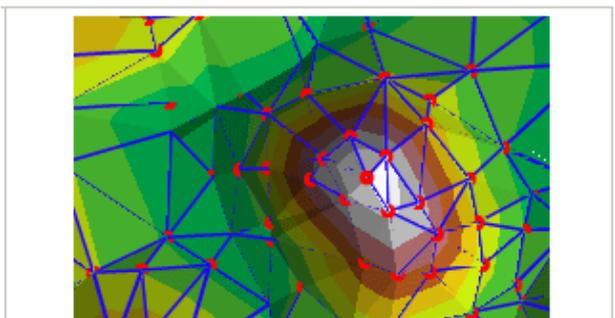


Figura 5. Modelo gerado através do TIN. Fonte: ESRI (2012)

Segundo Meijerink (1994), as vantagens da utilização do TIN são a estrutura de dados eficiente, variação do tamanho e forma dos triângulos conforme as condições da área, além de permitir a adição de linhas de ruptura ao longo dos lados dos triângulos.

Álgebra de Mapas

Afim de agregar ao estudo um método auxiliar na análise visual da variação da precipitação e altitude ao longo da bacia, o MDE e as 4 interpolações de precipitação pluvial foram reclassificados para ficarem com 5 classes cada, e posteriormente foram integrados utilizando o método de álgebra de mapas no software ArcMap 10.1.

Índice de Correlação de Pearson

A partir das informações devidamente processadas, foi aplicado o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson no software Microsoft Excel afim de analisar a correlação entre o relevo o a distribuição espacial da precipitação pluvial.

Por meio deste coeficiente, é possível verificar o grau de relação entre duas ou mais variáveis.

O cálculo é feito segundo a Equação 1:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{var}(X) \cdot \text{var}(Y)}}$$

Onde:

X1, X2, ..., XN são os valores da altitude, a variável condicionante na correlação;

Y1, Y2, ..., YN são os valores da variável precipitação;

\bar{x} e \bar{y} são as médias aritméticas de ambas variáveis.

Conforme Alves e Vecchia (2011), como resultado é indicado se a correlação será positiva ou negativa, sempre apresentando valores entre +1 e -1, também podendo ser classificada como forte ou fraca dependendo da distância dos valores encontrados para os limites mencionados.

A força da correlação pode ser classificada da seguinte forma (Roldão, 2012):

- Maior ou Igual a 0,70 (positivo ou negativo) – Correlação Forte.
- Entre 0,3 a 0,7 (positivo ou negativo) – Correlação Moderada.
- Entre 0 e 0,3 (positivo ou negativo) – Correlação fraca.

3. Resultados e Discussão

Para uma caracterização que permita uma visão geral do comportamento espacial das chuvas na bacia, foi produzido o mapa de precipitação média para a totalidade dos anos trabalhados, conforme a Figura 6.

A precipitação média calculada para a região referente ao período de 1975 a 2013 foi de 1222 mm, apresentando maiores índices pluviométricos à medida que se avança do litoral para o interior da bacia.

A espacialização dos valores de precipitação pluvial processados resultou em quatro mapas onde é possível verificar os padrões de distribuição espacial das chuvas referentes aos períodos estudados (Figura 7).

No mapa A da Figura 7, referente ao período de 1975 a 1984, verifica-se a concentração dos valores mais altos de precipitação pluvial (>1400 mm) na parte oeste da bacia, tendo somente uma

área na região próxima ao litoral também apresentando valores semelhantes.

Na região central da bacia, concentram-se os menores índices pluviométricos, apresentando valores abaixo da média pluviométrica da bacia. A média pluviométrica para este período foi de 1304 mm.

O mapa B representa os valores de precipitação média para os anos de 1985 a 1994. Nele pode-se observar uma redução nos valores dos índices pluviométricos em relação ao período anterior, principalmente no que diz respeito à parte oeste, onde identifica-se uma incidência de chuvas acima de 1600 mm.

A redução aparenta ser geral, visto que a região central obteve índices pluviométricos menores que 1000 mm.

A distribuição espacial das chuvas nesta classe manteve um formato aproximado ao encontrado no período anterior para as classes de menor valor pluviométrico.

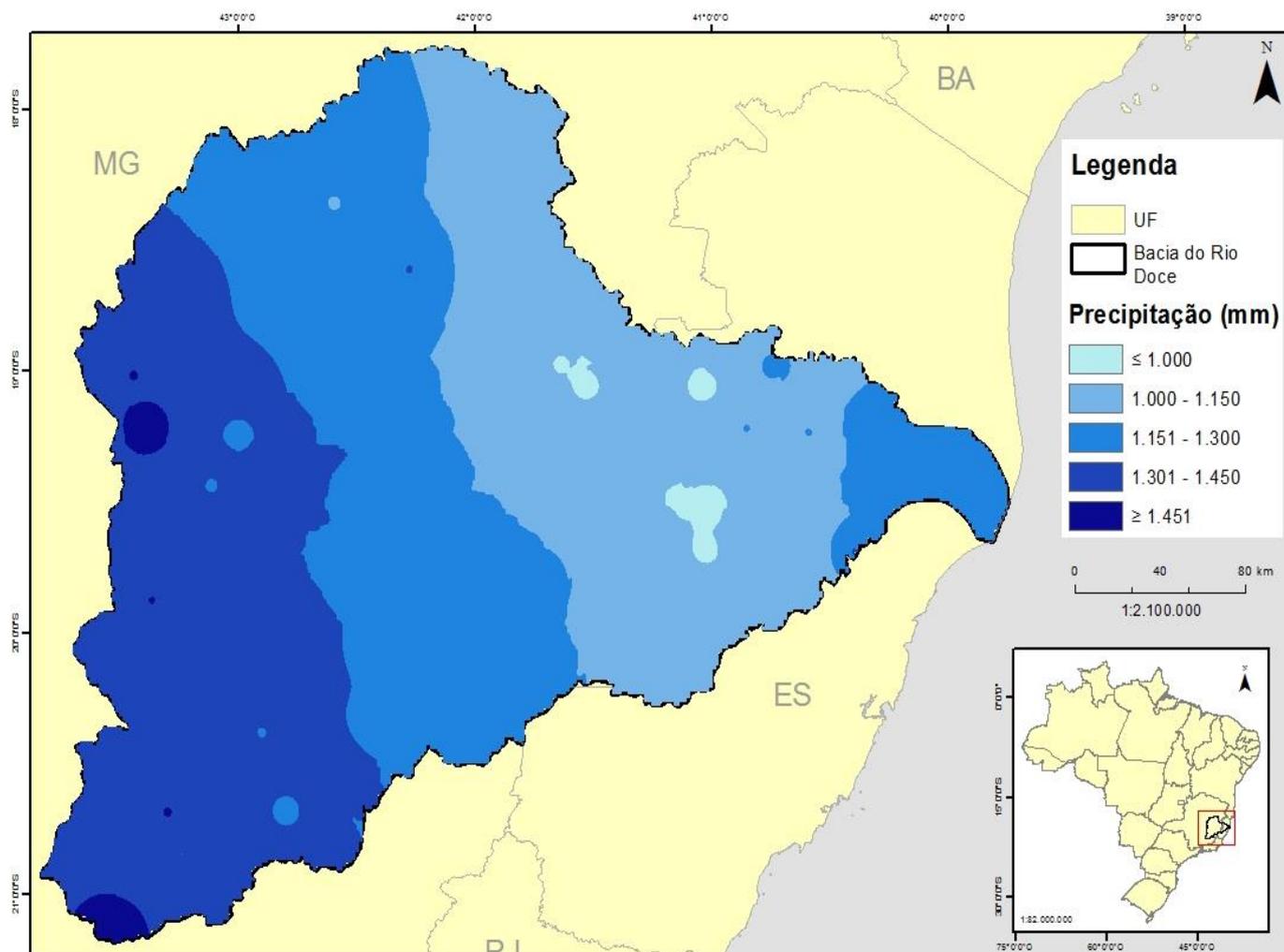
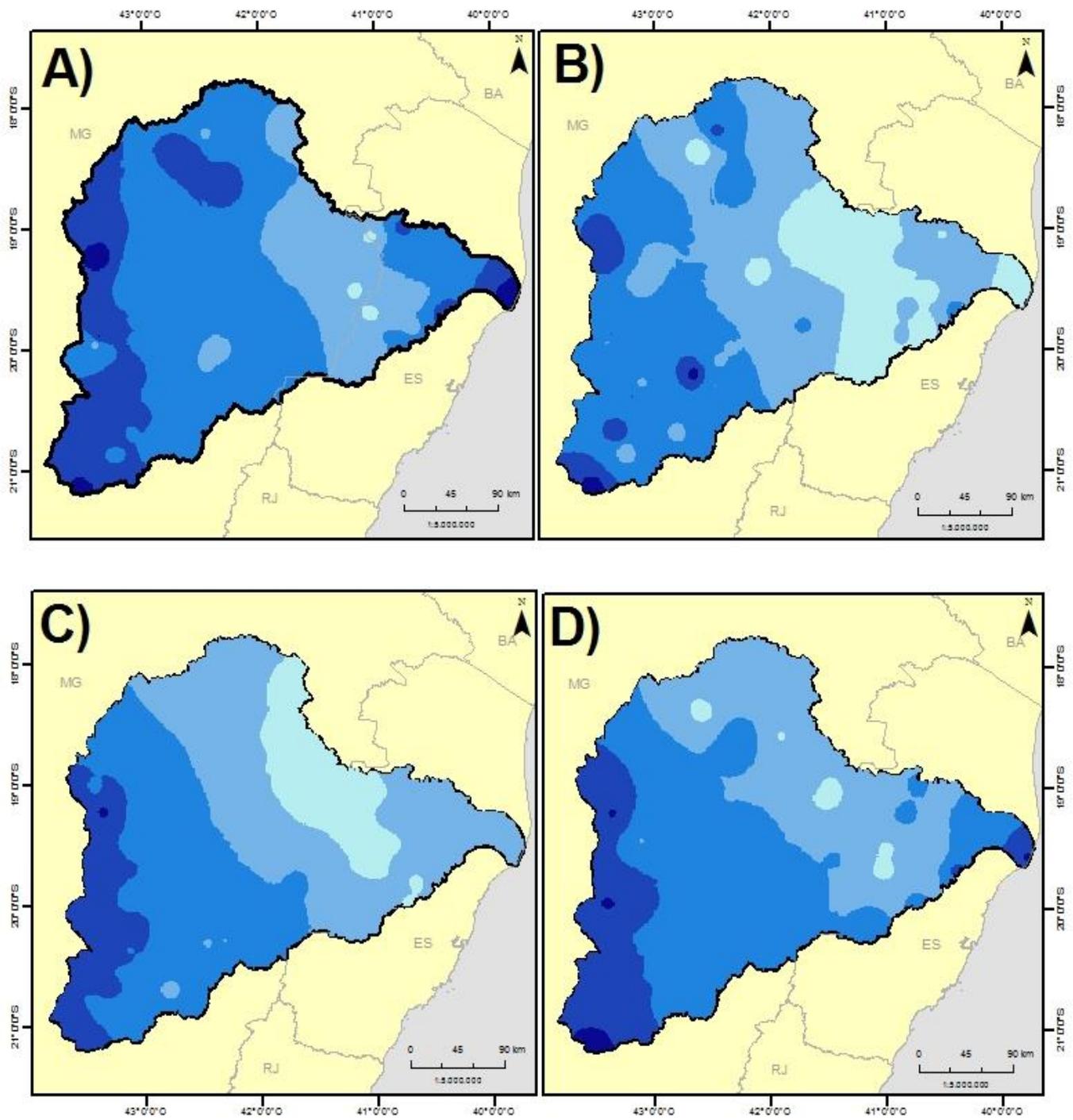


Figura 6. Mapa da distribuição da Precipitação Média para os anos entre 1975 e 2013.



Legenda

Precipitação (mm)

- ≤ 1.000
- 1.001 - 1.200
- 1.201 - 1.400
- 1.401 - 1.600
- ≥ 1.600

- UF
- Bacia do Rio Doce

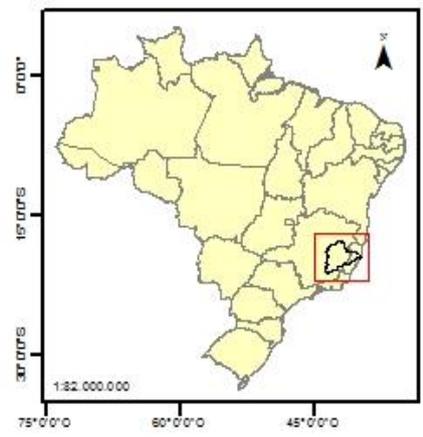


Figura 7. Mapas de distribuição espacial da precipitação para os Períodos de (A) 1975 a 1984; (B) 1985 a 1994; (C) 1995 a 2004, e (D) 2005 a 2013.

A média pluviométrica para o período entre 1985 a 1994 foi de 1139 mm.

O mapa C diz respeito aos valores totais médios de precipitação para o período de 1995 a 2004. A configuração espacial das chuvas apresentou um padrão de aumento dos índices se comparado ao período anterior, porém com visível alteração das regiões com os menores índices de precipitação.

Nos mapas A e B, as médias mais baixas estão localizadas na parte central da bacia. A influência da umidade do oceano parece perder força nesta região. No mapa C, a distribuição espacial das chuvas foi caracterizada por um deslocamento dos menores índices no sentido norte.

Também é possível verificar o aumento em relação ao período anterior da classe de valores maior que 1400 mm. A concentração dos maiores índices pluviométricos na parte oeste da bacia aparece como um padrão observado nos três períodos. A umidade e menores temperaturas das regiões serranas exerce influência na ocorrência de precipitação nessas áreas.

Os valores para os pontos próximos ao litoral são predominantemente da classe de valores entre 1001 mm a 1200 mm. A influência da umidade do Oceano Atlântico na ocorrência de chuvas parece ficar restrita à faixa costeira, já que há o aumento dos índices à medida que se adentra a bacia.

A média pluviométrica para o período abordado no mapa C foi de 1188 mm, valor que se aproxima bastante à média pluviométrica da bacia no período de 39 anos.

No mapa D, cujos valores representam as médias da precipitação pluvial para os anos entre 2005 e 2013, pode-se observar o aumento dos índices pluviométricos na região onde, no período anterior, ocorria uma faixa em sentido norte com valores menores ou iguais a 1000 mm.

A média pluviométrica calculada para o período representado no mapa D foi de 1262 mm, ficando próximo ao valor da média pluviométrica encontrada para os anos de 1975 a 2013.

A região litorânea apresentou índices maiores ou iguais a 1400 mm, com uma área específica com valores acima de 1600 mm. Conforme Cupolillo et al (2008), essa região tem seu regime de chuvas influenciado pela umidade do Oceano Atlântico.

Comparado ao período anterior, os índices pluviométricos entre 1041 mm a 1600 mm mantiveram padrão semelhante em relação à sua

distribuição espacial, ocupando a área central em direção ao oeste da bacia.

Observando os quatro mapas, pode-se verificar a existência de um padrão de concentração dos menores índices pluviométricos na região central da bacia.

Porém, as diferenças na distribuição da precipitação pluvial para cada período são bastante significantes, uma vez que nos mapas A e D as áreas com valores menores ou iguais a 1000 mm parecem se concentrar em pontos isolados. Enquanto que nos mapas B e C, a distribuição espacial dos referidos índices abarcam uma região mais extensa.

Essas áreas dos mapas A e D apresentam formato semelhante, o que pode ser devido à aplicação do interpolador IQD, que tende a gerar essas formas ao redor dos pontos amostrados, já que o cálculo da influência de cada ponto se dá de forma igual para todas as direções ao redor dos valores.

Em seu estudo sobre as características climáticas da bacia do Rio Doce, Cupolillo et al. (2008) faz observações acerca da influência das condições topográficas da região no comportamento das estações chuvosa e seca.

No presente trabalho, foi gerado o Modelo Digital de Elevação (Figura 8) da área da bacia do Rio Doce afim de possibilitar a análise da correlação entre o relevo e a distribuição espacial da precipitação pluvial.

As áreas com valor de altitude menor ou igual a 344 m concentram-se desde a porção litorânea ao centro da bacia com expansão ao norte e os tabuleiros com tendência a elevação ao sul. Segundo Cupolillo et al. (2008), a forma que o relevo está configurado na área não favorece as massas de ar frio do sul que poderiam penetrar.

Segundo Cupolillo et al (2008), em virtude dessa área possuir uma superfície de baixa rugosidade, influencia diretamente na circulação das massas de ar.

As altitudes com relevo caracterizado como domínio de mares de morros dominam praticamente a maior parte da bacia, desde as proximidades da desembocadura do rio até os limites das serras de elevada altitude (Cupolillo et al, 2008).

Conforme a Figura 8, essa parte da bacia compreende altitudes desde 540 m a 760 m, com tendência de elevação para o sentido oeste.

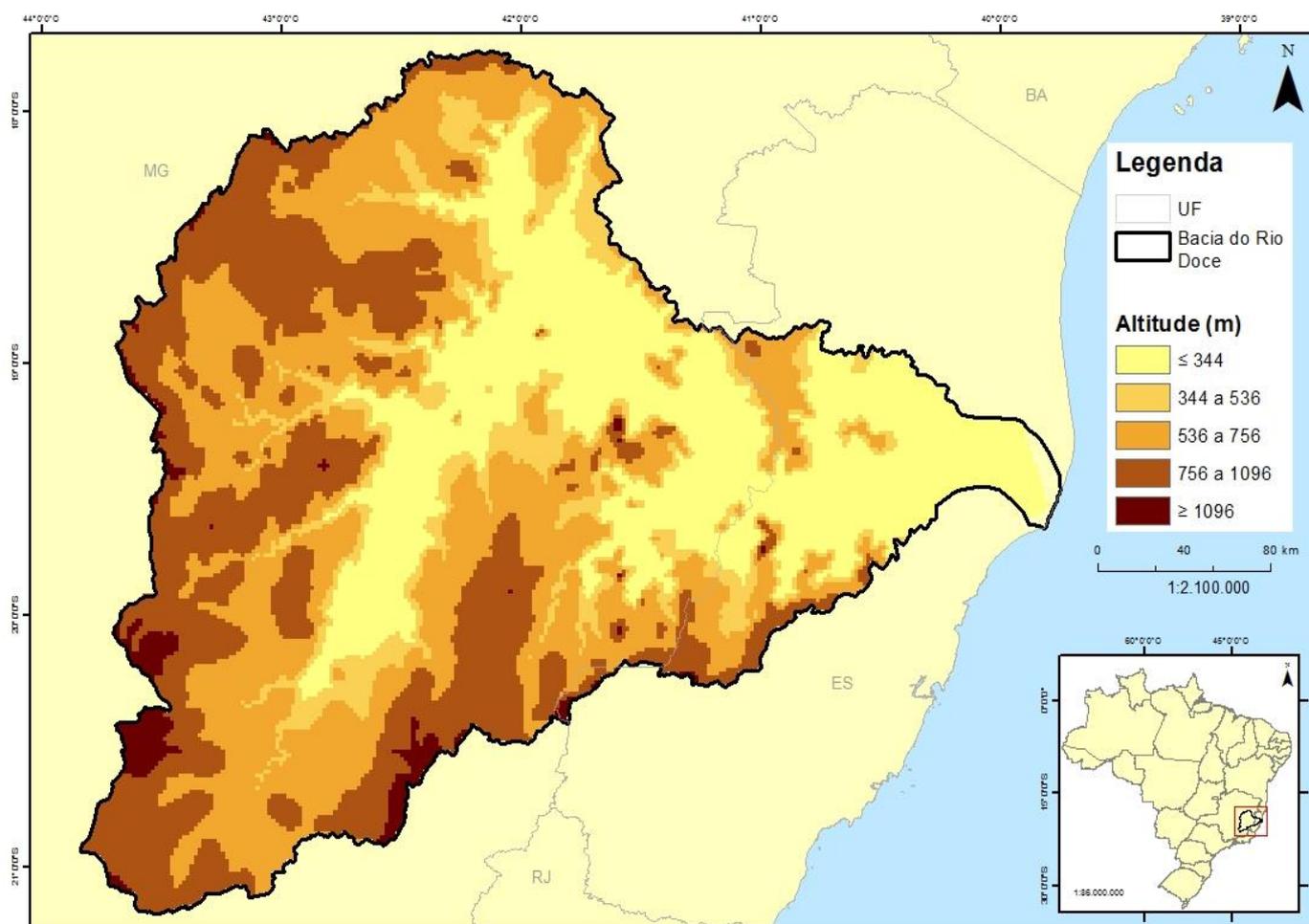


Figura 8. Mapa Digital de Elevação da bacia do Rio Doce - MG e ES.

A parte mais ao oeste da bacia é caracterizada pela presença de planaltos, com altitudes superiores a 700 m, na divisa de Minas Gerais com o Espírito Santo, com serras como Mantiqueira e Espinhaço (Cupolillo et al., 2008) como pode ser visualizado no mapa das unidades geomorfológicas da bacia do rio Doce na Figura 9.

Para possibilitar uma visualização da relação especial entre precipitação pluvial e o relevo, foram gerados mapas (Figura 10) resultantes da integração dos mapas da distribuição espacial das chuvas (Figura 7 A, B, C e D) com o MDE.

As cinco classes dos dados pluviométricos e as cinco de altitudes foram integradas, resultando em valores que variaram entre 2 e 10, tendo sido estes divididos entre cinco grupos que expressam a relação entre a altitude e precipitação: Altitude Muito Baixa/Precipitação Muito Baixa; Altitude Baixa/Precipitação Baixa; Altitude Intermediária/Precipitação Intermediária; Altitude Alta/Precipitação Alta e Altitude Muito Alta/Precipitação Muito Alta.

No mapa A da Figura 10, representando o período de 1975 a 1984, verifica-se a concentração

dos índices pluviométricos mais baixos na parte central da bacia, área de menores altitudes, atingindo no máximo 300 metros.

Observando a abrangência desta classe mais baixa da relação entre altitude e precipitação nos quatro períodos, é possível verificar uma modificação no padrão da distribuição das chuvas.

Passando de uma área concentrada no centro da bacia, ela se estendeu para o noroeste e para o litoral nos mapas B e C e reduziu novamente no mapa D, onde podemos verificar que a região litorânea contou com uma suave elevação em seus índices pluviométricos.

Essa região, segundo Cupolillo et al. (2008), é influenciada pela umidade do Oceano Atlântico na definição de seu regime de chuvas.

A região central da bacia é caracterizada por encontrar-se sob a influência de mecanismos atmosféricos como o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, que interage com o relevo mais baixo induzindo a subsidência do ar (Cupolillo et al., 2008).

Mesmo a região central possuindo índices pluviométricos baixos, segundo Cupolillo et al. (2008), existe uma grande quantidade de evaporação devido à temperatura.

Segundo o mesmo autor, as chuvas dessa parte da bacia têm como característica a origem convectiva, sendo que as partes que possuem maior altitude atuam como zonas de condensação, assim obtendo maiores índices pluviométricos.

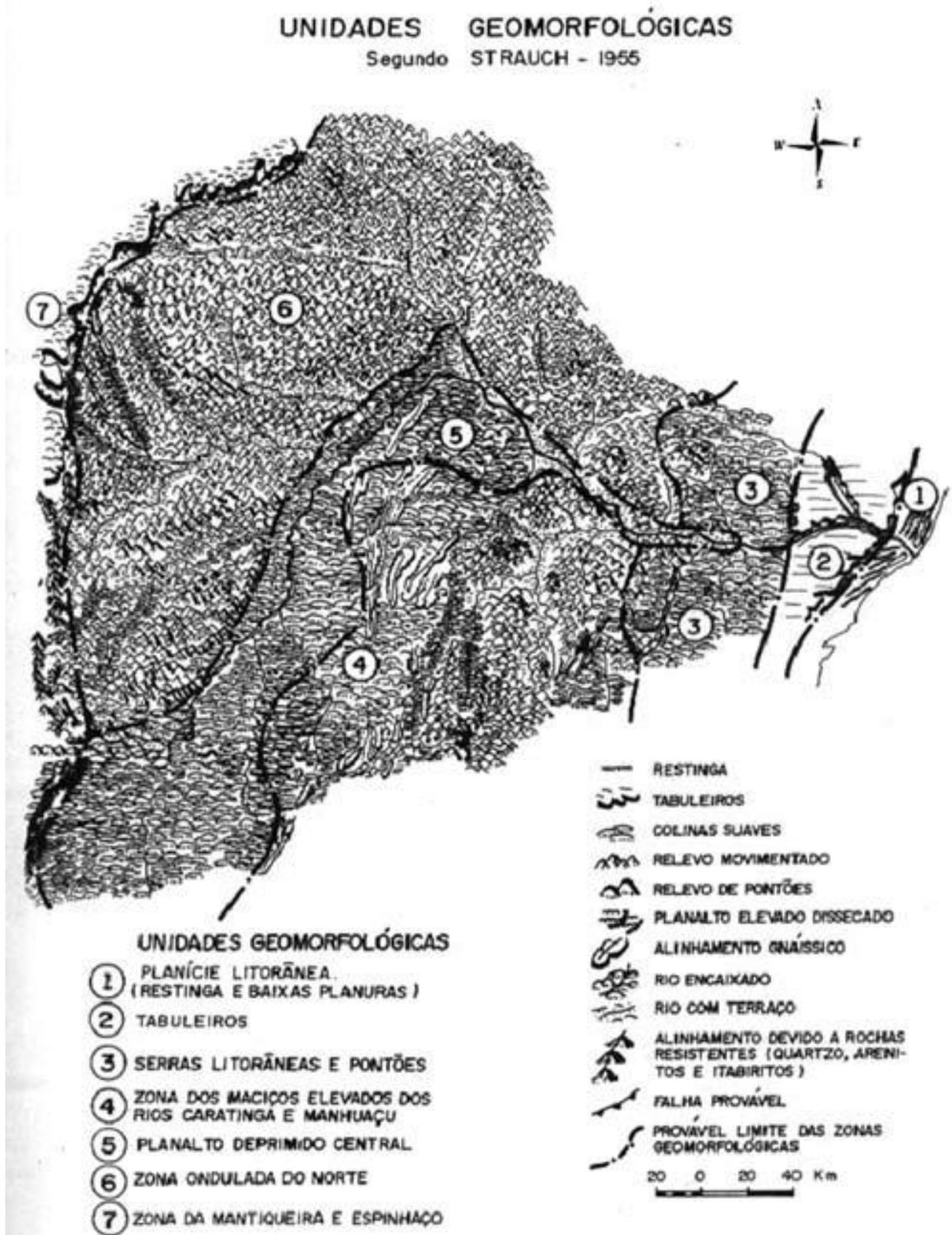
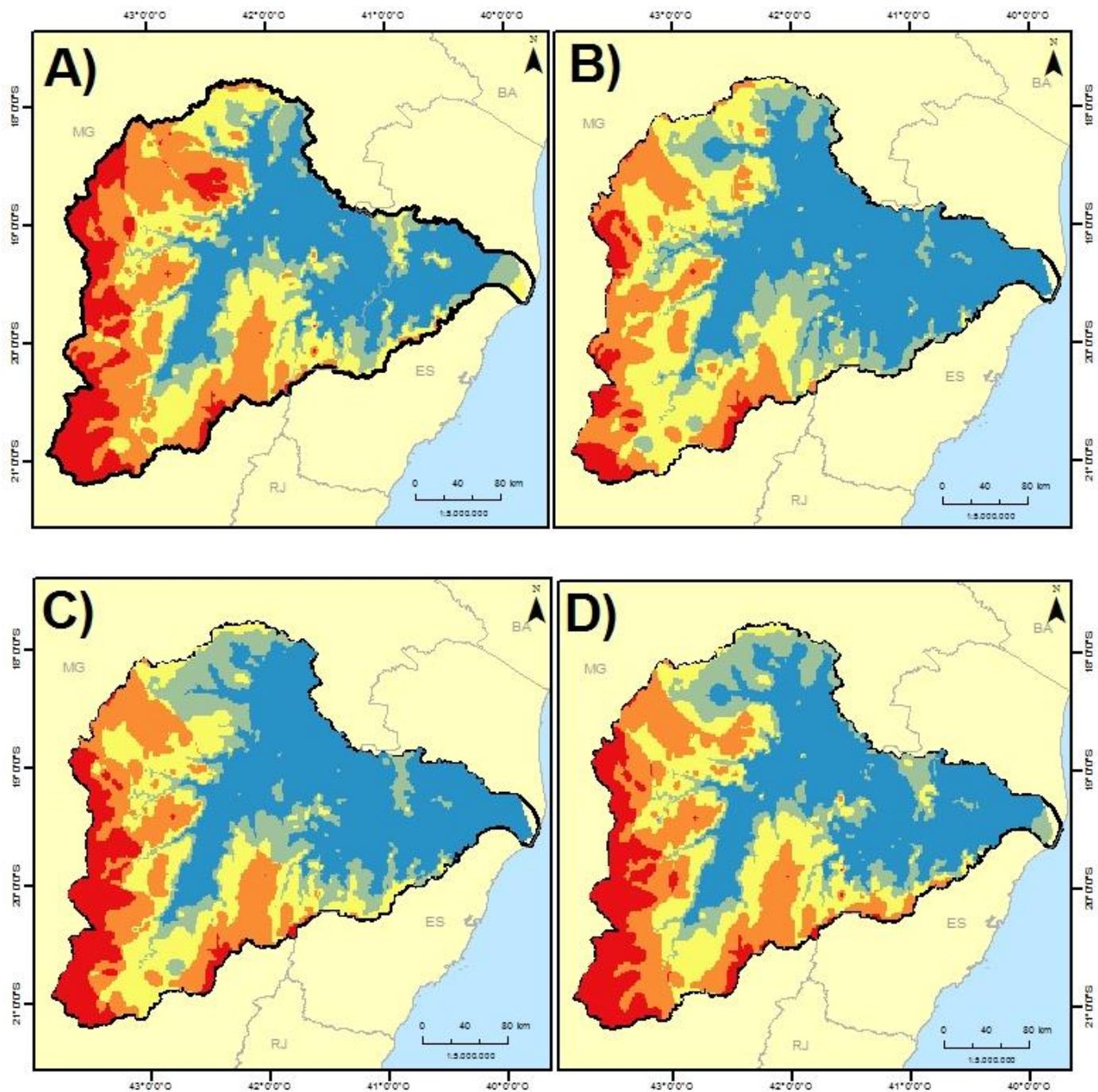


Figura 9. Mapa das Unidade Geomorfológicas da Bacia do Rio Doce. Fonte: Strauch, 1955, organizado por Carla Juscélia de Oliveira Souza, 1995. Apud Cupolillo et al. (2008)



Legenda

- UF
- Bacia do Rio Doce

Relação Altitude x Precipitação

- Alt. Muito Baixa / Precip. Muito Baixa
- Alt. Baixa / Precip. Baixa
- Alt. Intermediária / Precip. Intermediária
- Alt. Alta / Precip. Alta
- Alt. Muito Alta / Precip. Muito Alta



Figura 10. Soma das interpolações dos períodos ao Modelo Digital de Elevação.

É possível verificar que à medida que ocorre um deslocamento das regiões de menores altitudes em direção às áreas de serras, a distribuição da precipitação acompanha esse aumento de altitude.

Segundo Cupolillo et al. (2008), essa região é caracterizada por planaltos onde ainda é possível haver influência da umidade do Oceano Atlântico e ainda conta com a entrada de ventos frios do sul em menor grau.

Localizada da parte sul da bacia, a região do Caparaó possui elevadas altitudes, com pontos acima de 1700 metros de altitudes, conta como forte influência na condensação da umidade e baixas temperaturas, o que eleva os índices de precipitação da área.

Observa-se em todos os mapas da Figura 10 que existe uma concentração dos maiores índices pluviométricos nas regiões mais elevadas do relevo, principalmente na parte oeste e sudoeste da bacia.

As regiões compostas pelo conjunto das Serras da Mantiqueira e do Espinhaço, segundo Cupolillo et al. (2008), forma uma borda que atua como obstáculo para massas de ar vindas do oceano. Esta é caracterizada como uma área de nascentes de importantes afluentes do Rio Doce, sendo de tamanha importância para o regime de distribuição das chuvas, que são identificadas como limites climáticos no estado de Minas Gerais e também na transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica.

Estudos de Cupolillo et al. (2008), corroboram com os resultados obtidos na presente pesquisa, relativamente à distribuição espacial da precipitação pluvial e a sua relação com o relevo da região, conforme pode-se identificar nos mapas apresentados na Figura 5.

As classes intermediária a muito alta em todos os mapas demonstram a concentração dos maiores índices de precipitação nas áreas de altitudes acima de 600 m. Assim, como as áreas de baixa altitude concentram os menores índices pluviométricos da bacia.

Para verificarmos o grau dessa aparente correlação entre o relevo e a distribuição espacial da precipitação na área de estudo, foi utilizado o cálculo de correlação de Pearson, gerando um índice que nos possibilita analisar a força da correlação, conforme Tabela 2.

Os resultados para cada período demonstraram uma correlação positiva, indicando uma relação de quanto maior a altitude maior a precipitação na área.

CORRELAÇÃO

ALTITUDE X PRECIPITAÇÃO

1975 a 1984	1985 a 1994	1995 a 2004	2005 a 2013
0,38	0,51	0,64	0,58

Tabela 2. Índice de Correlação de Pearson considerando as variáveis Altitude e Precipitação para cada período estudado.

A força da correlação das variáveis apresentou diferenças consideráveis entre os períodos estudados.

Para o período entre 1975 a 1984, foi encontrado o índice de aproximadamente 0,38, o que segundo Roldão et al. (2012) representa uma correlação moderada.

De acordo com Gráfico 1, a distribuição da massa de pontos segue uma tendência linear, porém existe um ponto que se afasta dos demais, correspondente à estação Povoação, com média de precipitação total de 1753 mm numa altitude praticamente ao nível do mar, o que pode ter influenciado de maneira considerável o valor do índice calculado, já que um alto valor de precipitação média foi medido na estação de menor altitude na bacia.

Os intervalos considerados pelo mesmo autor são classificados em grau de correlação fraca (0 a 0,3 negativo ou positivo), moderada (0,3 a 0,7 positivo ou negativo) e forte (< 0,7 positivo ou negativo).

Este período apresentou índices pluviométricos maiores que 1200 mm na maior parte da área da bacia, inclusive nas regiões de baixas altitudes.

O período de 1985 a 1994 obteve um índice de correlação com valor próximo a 0,51. Assim como o anterior, este índice também é considerado como indicador de uma correlação moderada.

Conforme o Gráfico 2, os pontos que apresentaram maior desvio da reta de tendência padrão foram as estações Rio Casca com índice pluviométrico de 1683 mm a 395 metros de altitude, e Alto Rio Novo com 632 mm a 577 metros de altitude.

O índice de correlação calculado para o período de 1995 a 2004 foi de 0,64, indicando a existência de uma relação positiva entre as variáveis com força moderada.

Observa-se no Gráfico 3 que não ocorrem desvios expressivos como nos primeiros dois períodos, porém ainda se observa ocorrências como a estação Caldeirão com altitude superior a 800 metros, porém apresenta índice de precipitação de 977 mm.

O Gráfico 4, referente ao período de 2005 a 2013, apresentou a distribuição de pontos mais próxima à reta de tendência dentre todos os períodos. O desvio mais destacado em relação a esse padrão foi a estação Povoação com índice pluviométrico de 1605 mm ao nível do mar.

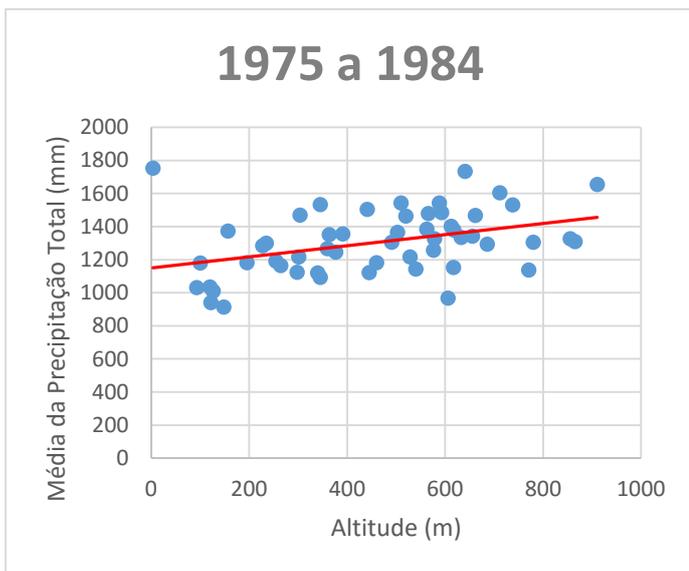


Gráfico 1. Gráfico de dispersão dos pontos amostrados com as variáveis precipitação e altitude para os anos entre 1975 a 1984.

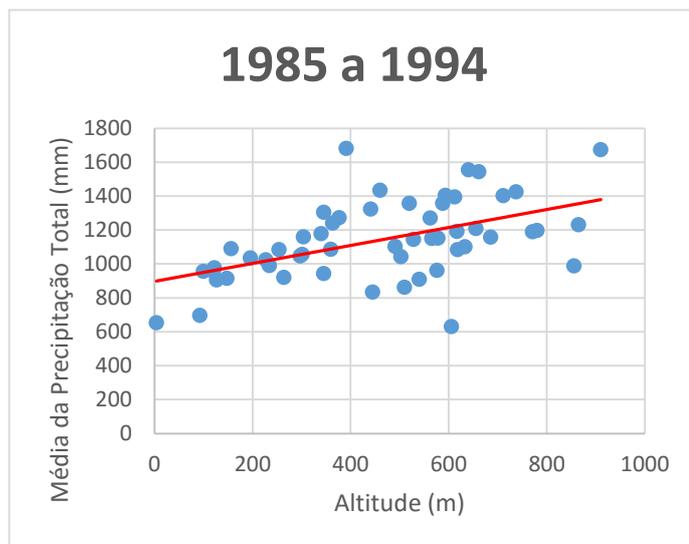


Gráfico 2. Gráfico de dispersão dos pontos amostrados com as variáveis precipitação e altitude para os anos entre 1985 a 1994.

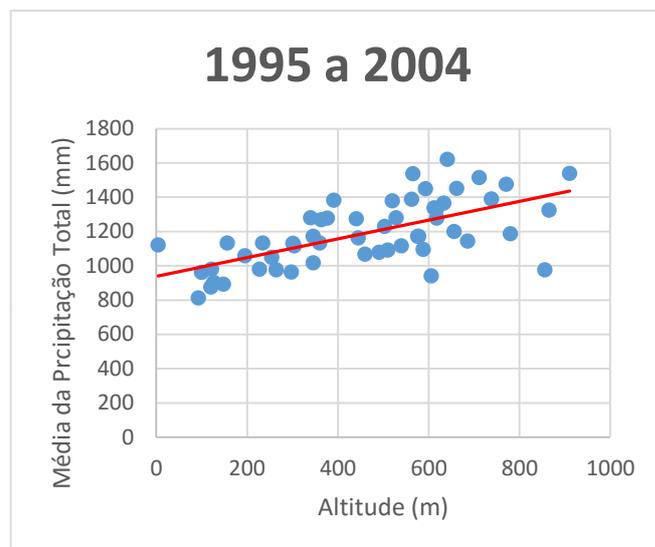


Gráfico 3. Gráfico de dispersão dos pontos amostrados com as variáveis precipitação e altitude para os anos entre 1995 a 2004.

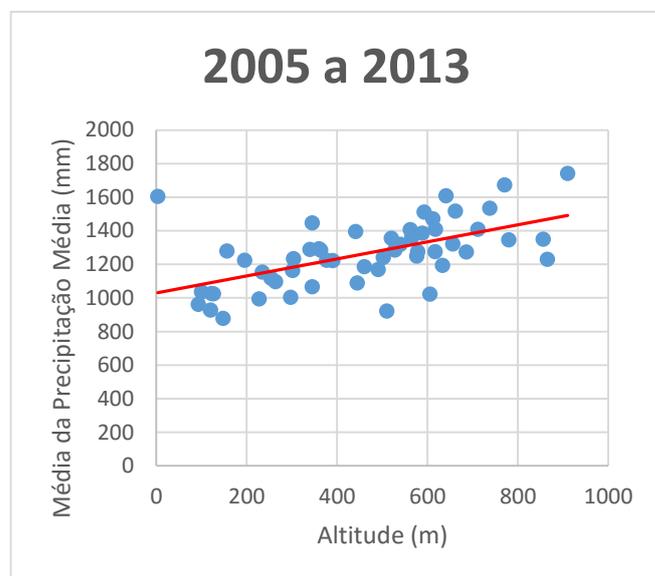


Gráfico 4. Gráfico de dispersão dos pontos amostrados com as variáveis precipitação e altitude para os anos entre 2005 a 2013.

Para obter uma correlação melhor, seria indicada a utilização de dados para a geração do modelo digital de elevação numa escala mais detalhada. Além disso, uma distribuição espacial mais homogênea das estações pluviométricas na bacia poderia fornecer dados mais consistentes a respeito da ocorrência da precipitação pluvial.

Os variados interpoladores disponíveis para a espacialização dos dados da precipitação também fornecem a possibilidade de obtenção de diferentes resultados, e se tratando do IDW especificamente, a variação nos expoentes aplicados também fornece produtos distintos.

4. Conclusão

A partir do cálculo do índice de correlação de Pearson para cada período estudado, verificou-se que existe uma correlação moderada entre o relevo e a distribuição espacial das chuvas na área da bacia do Rio Doce.

Além disso, constatou-se a relevância de outros fatores climáticos sobre a dinâmica da precipitação pluvial na região, como a entrada das massas de ar vindas do Oceano Atlântico e também do Sul do país.

Foi possível verificar que a distribuição das chuvas para os quatro períodos analisados apresentou um padrão de ocorrência dos maiores índices pluviométricos em regiões de altitude mais elevadas de maneira geral, com exceções como a região litorânea influenciada pela umidade do Oceano Atlântico.

Na região central da bacia, onde predominam as áreas mais rebaixadas, a ocorrência de chuvas do tipo convectiva são as mais características; enquanto que nas áreas serranas, pode-se verificar a existência de padrões convectivos em decorrência da grande umidade e baixas temperaturas, e também as chuvas orográficas em virtude de seu porte topográfico.

Foi identificada a média de precipitação anual de 1222 mm para a bacia, com concentração dos maiores índices pluviométricos na região oeste.

Por ter sido caracterizada como moderada a correlação entre o relevo e a precipitação, e evidenciado a preponderância de outros fatores na distribuição desta, sugerimos como temas para serem abordados em outros trabalhos sua correlação com o uso e ocupação do solo, com ausência ou presença de vegetação, como forma de se averiguar quão importante esta pode ser na definição dos padrões climatológicos locais e regionais.

5. Agradecimentos

Ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília e à Agência Nacional de Águas.

6. Referências Bibliográficas

LIBOS, M.; FILHO, O. C. R. ZEIHOFFER. P. **Modelagem da Poluição Não Pontual na Bacia do Rio Cuiabá Baseada em Geoprocessamento.** In_ Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 8. n.4. Out/dez. 2003. p 115-135.

KOBIYAMA, M.; MANFROI, O. J. **Importância da modelagem e monitoramento em bacias hidrográficas.** XXIX Semana de estudos do Curso de Engenharia Florestal. UFPR, 04-08 de outubro de 1999.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** Tese de Doutorado. Piracicaba, São Paulo, Brasil, 2002.

AMORIM, R. C. F.; RIBEIRO, A.; LEITE, C. C.; LEAL, B. G.; SILVA, J. B. G. **Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas.** Acta Scientiarum. Technology, v. 30, n. 1, p. 87-91, 2008.

COMITÊ DA BACIA DO RIO DOCE. <http://www.cbhdoce.org.br/a-bacia/> (Acessado em 25/11/2015)

MILANESI, M. A.; GALVANI, E. **Efeito Orográfico na Ilha de São Sebastião (Ilhabela/SP).** Revista Brasileira de Climatologia, n. 9, p. 68-79, jul/dez, 2011.

SILVA, R. M.; SILVA, L. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, C. A. G. **Análise da variabilidade espaço-temporal e identificação do padrão da precipitação na Bacia do Rio Tapacurá.** Pernambuco. Sociedade & Natureza, Uberlândia, vol. 22 n. 2, p. 357-372, ago. 2010.

VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; PINTO, D. B. F.; MELLO, J. M.; ÁVILA, L. F. **Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 9, p. 970-978, 2010.

ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S. **Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás.** Revista Acta Scientiarum. Human and Social Sciences, Maringá, v. 33, n. 2, p. 193-197, 2011.

SOUZA, J. L. L. L.; GOMES, T. S.; DIAS, R. S.; OLIVEIRA, G. M. A.; SANTOS, R. L. **Avaliação de métodos de interpolação aplicados à espacialização das chuvas no território identidade Portal do Sertão / Bahia.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4295

LIMA, P. P. S.; SILVA, I. C.; MACEDO, M. A. **Análise da correlação entre o relevo e a distribuição da precipitação na bacia do Rio Mamanguape/PB através de dados orbitais e**

geoprocessamento. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

AMORIM, R. C. F; RIBEIRO, A; LEITE, C. C; LEAL, B. G; SILVA, B. G. **Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas.** Revista Acta Sci.

MICHELOTTI, D; SOUZA, M. M; BELING, F. A; PAIVA, J. B. D. **Correlação entre a precipitação pluviométrica média anual e altitude na bacia hidrográfica Vacacaí-Mirim no município de Santa Maria – RS.** Anais XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves – RS, 17 a 22 de novembro de 2013, ABRH.

CUPOLILLO, F; ABREU, M. L; VLANELLO, R. L. **Climatologia da Bacia do Rio Doce e sua relação com a topografia local.** Revista Geografias. Belo Horizonte 04(1) 45-60 julho-dezembro de 2008.

SALGADO, M. P. G; FORMAGGIO, A. R; RUDORFF, B. F. T. **Comparação entre métodos para geração de modelos digitais de elevação a partir de dados cartográficos.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.8880.

CHAGAS, C. S; FILHO, E. I. F; ROCHA, M. F; JÚNIOR, W. C; NETO, N. C. S. **Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.2, p.218–226, 2010.

ROLDÃO, A. F; SANTOS, J. G; OLIVEIRA, L. A. **Correlação entre variáveis climáticas (altitude, temperatura e precipitação) na mesorregião sul e sudoeste de Minas Gerais – MG.** Revista Geonorte, Edição Especial 2, V.1, N.5, p.515 – 525, 2012.

ESRI. **ArcGis Desktop Help.** 1995-2012.

MEIJERINK, A. M. J; BROUWER, H. A. M; MANNAERTS, C. M; VALENZUELA, C. **Introduction to the use of geographic information systems for practical hydrology.** International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), vol. 23, p. 150-151, 1994.

CÂMARA, G; DAVIS, C; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação.** INPE, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>