

RODOLFO ALVES BARBOSA

**ESTUDOS HIDROLÓGICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO MANHUAÇU, MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2019**

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

B238e
2019 Barbosa, Rodolfo Alves, 1989-
Estudos hidrológicos da bacia hidrográfica do Rio
Manhuaçu-MG / Rodolfo Alves Barbosa. – Viçosa, MG, 2019.
120 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Desenvolvimento recursos hídricos - Manhuaçu, Rio,
Bacia (MG). 2. Bacias hidrográficas - Morfometria.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal.
II. Título.

CDO adapt CDD 22. ed. 634.91163

RODOLFO ALVES BARBOSA

**ESTUDOS HIDROLÓGICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO MANHUAÇU, MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

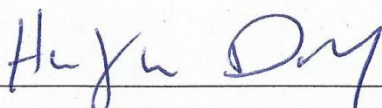
APROVADA: 19 de novembro de 2019.

Assentimento:



Rodolfo Alves Barbosa

Autor



Herly Carlos Teixeira Dias
Orientador

A Deus, Criador do Mundo e Senhor da Vida

Aos meus pais Roberto e Rosa
Ao meu irmão Rafael (*in memoriam*)

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, princípio e fim de todas as coisas.

Aos meus pais Roberto e Rosa, pelo amor incondicional. Ao meu irmão Rafael (*in memoriam*) por tudo que ele representa para mim.

À minha companheira Andreza Santiago, por sempre estar do meu lado, me incentivando em minhas decisões.

Ao professor Hetly Carlos Teixeira Dias, pela orientação, ensinamentos transmitidos e pela grande amizade.

Aos professores José Marinaldo e Alexandre S. Lorenzon, pela atenção e ajuda para a realização deste trabalho e pela formação profissional.

Aos amigos do Laboratório Hidrologia Florestal, pela ajuda no processamento dos dados e, também, pela grande amizade, em especial: Sérgio Barbosa, Aline Spletzer, Lucas Silveira, Geraldo Machado e Edna Mayer.

Aos integrantes do Comitê de Bacias Águas do Rio Manhuaçu pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho, em especial ao Senisi Rocha, Valdir Ferrera, Genilson Tadeu, Flavia Rocha, Maria Aparecida, Isaura Paixão, Paulo Roberto, Marília Emerick, Aureo Adriano, Karone Marllus e Kildaire de Lima.

Ao Sebastião, Roberto, Corjesus e Sandra pelo apoio e auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Gilson Gomes, do Instituto Terra e ao Heliton Bassoto do SAAE Manhuaçu pelo compartilhamento dos dados.

Ao Paulo e ao Jairo, produtores rurais que contribuíram para a coleta dos dados.

A Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal pela excelência no ensino e estrutura de pesquisa e pela dedicação dos professores.

Ao CNPq e FAPEMIG, pelo apoio e fomento à pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao contribuinte brasileiro, pelo financiamento deste trabalho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho meus sinceros agradecimento.

BIOGRAFIA

RODOLFO ALVES BARBOSA, filho de Roberto de Souza Barbosa e Rosa Maria Alves Barbosa, nasceu no município de Manhuaçu, Minas Gerais, em 9 de janeiro de 1989.

Em Fevereiro de 2004, ingressou no Curso Técnico em Agropecuária, na Escola Agrotécnica Federal de Alegre (EAFA-ES), concluindo o curso em dezembro de 2006.

Em março de 2007, ingressou no Curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), graduando-se em novembro de 2012.

Em Janeiro de 2015, concluiu o Curso de Mestrado em Ciência Florestal do Departamento de Engenharia Florestal da UFV, concluindo os requisitos indispensáveis pela obtenção do título de *Magister Scientiae* em Setembro de 2015.

Em março de 2016, ingressou no Curso de Doutorado em Ciência Florestal do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, concluindo os requisitos indispensáveis para obtenção do título de *Doctor Scientiae* em novembro de 2019.

RESUMO

BARBOSA, Rodolfo Alves, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2019. **Estudos Hidrológicos da Bacia do Rio Manhuaçu, MG.** Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias.

O crescimento contínuo da população e das cidades exerce pressão pela substituição da mata nativa por outros usos da terra, onde a ocupação desordenada da terra e variações climáticas colocam cada vez mais pessoas em situação de risco. A bacia do Rio Manhuaçu, MG possui grande importância mitigadora, pois é uma das maiores sub-bacias do Rio Doce, que foi atingido por um dos maiores desastres ambientais da mineração e a adoção de medidas mais eficazes para o manejo de bacias é essencial para a melhor gestão dos recursos hídricos. Dessa forma este trabalho teve por objetivo trabalhar estudos sobre a caracterização de sub-bacias, morfometria, do comportamento hidrológico e da qualidade do Rio Manhuaçu, e através dos resultados obtidos, subsidiar atividades de gestão que favoreçam a disponibilidade de água de boa qualidade para a população e contribuir para a restauração do Rio Doce. O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, sub-bacia do Rio Doce, localizada na região do médio rio Doce. Foram utilizados dados do MDE ASTER/DEM 30m para extração da hidrografia e delimitação das principais sub-bacias, foram utilizados dados de nascentes protegidas e cercadas para impedimento de pisoteio de animais e plantio de espécies arbóreas para a restauração florestal dessas áreas. Visitas a campo foram realizadas para avaliação das mudanças existentes na bacia referentes ao uso do solo e relevo. Na região montante da cidade de Manhuaçu foi realizada a caracterização morfométrica de 23 sub-bacias com ordenamento superior a 3ª ordem e priorização de sub-bacias para manejo considerando as características morfométricas. Foi realizado um estudo da dinâmica da água em 16 sub-bacias por 14 meses e recomendadas técnicas de manejo para as que apresentaram maior variação temporal da vazão. Foi realizada análise de qualidade de água de 6 locais importantes para a população de Manhuaçu e definido quais as prioridades de manejo para aumentar a infiltração de água no solo e proteção, visando aumentar a qualidade de água. A bacia do Rio Manhuaçu possui área de 8.805,33 km², correspondendo a 10,48% da bacia do Rio Doce. A bacia pode ser dividida em 31 sub-bacias hidrográficas acima de 4ª ordem. A maior bacia foi a do Rio José Pedro, com 3.540,23 km. Ocorre um predomínio da cultura cafeeira nas regiões mais elevadas, próximas da cabeceira, ocorrendo mudança para pastagem sentido a foz, em Aimorés-MG. Atividades de proteção de nascentes ocorrem na bacia, sendo registrado 119 nascentes até março de 2019. Existe a necessidade de ampliação e adequação

das técnicas de manejo visando aumentar a produção de água de qualidade e quantidade para a população na bacia do Rio Manhuaçu, MG. A caracterização morfométrica possibilitou avaliar os parâmetros mais representativos e avaliar o efeito destes parâmetros nos riscos de inundação e perda de água na região a montante da sede de Manhuaçu. A bacia do Rio Manhuaçu possui como principais parâmetros: índice de circularidade e razão de alongação, intensidade de drenagem e fator de forma. Dentre as sub-bacias analisadas, podemos destacar as sub-bacias 9, 10 e 23 por apresentarem elevada rede de drenagem e elevada amplitude altimétrica. A avaliação da dinâmica da água possibilitou indicar as sub-bacias do Córrego Manhuaçuquinho, São Sebastião, Palmital, Taquara Preta e o Rio São Luís como os que apresentaram maior variação temporal da vazão, sendo necessária a adoção de técnicas de manejo que favoreçam a infiltração de água no solo. A análise de qualidade de água que chega a sede do município de Manhuaçu é considerada ruim, segundo o IQA, para o mês de fevereiro. A sub-bacia que apresentou os piores parâmetros de qualidade foi o Córrego Bom Jesus. Com os resultados obtidos e continuação de novos estudos será possível à adoção de medidas de manejo pelos gestores da água presentes na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica. Morfometria. Gestão de recursos hídricos.

ABSTRACT

BARBOSA, Rodolfo Alves, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2019. **Hydrological Studies of the Manhuaçu River Basin, MG.** Advisor: Herly Carlos Teixeira Dias.

Continued growth in population and cities puts pressure on the substitution of native forest for other land uses, where disorderly land use and climate change place more and more people at risk. A Manhuaçu River basin, MG, is of great mitigating importance as it is one of the largest sub-basins of the Rio Doce, which has been hit by one of the largest environmental disasters of mining and the adoption of more accurate basin management measures is essential. for better management of water resources. Thus, this work aimed to carry out studies on sub-basin characterization, morphometry, hydrological behavior and quality of the Manhuaçu River, and through results obtained, subsidiary management activities that favor the availability of good quality water for a population and contribute to the restoration of the Rio Doce. The study was conducted in the Manhuaçu River watershed, Doce River sub-basin, located in the Doce River region. Data from MDE ASTER / DEM 30m were used for hydrographic extraction and delimitation of the main sub-basins, data from protected springs and fenced to prevent animal trampling and tree plantations for forest restoration of other areas. Field visits were made to assess existing land use and relief changes in the basin. In the upstream region of the city of Manhuaçu, a morphometric characterization of 23 sub-basins with ranking higher than 3rd order and prioritization of sub-basins for management was performed, considering as morphometric characteristics. A study of water in 16 sub-basins for 14 months and recommended management techniques for the major temporal variation of the leak was performed. Water quality analysis was performed from 6 important sites for the population of Manhuaçu and defined the risks of management to increase soil water infiltration and protection, increasing water quality. The Manhuaçu River basin has an area of 8,805.33 km², corresponding to 10.48% of the Rio Doce basin. A basin can be divided into 31 sub-basins above 4th order. The largest basin was the José Pedro River, with 3,540.23 km. Coffee crop is predominant in the higher regions, near the headland, with a change to pasture towards Foz, in Aimorés-MG. Spring protection activities take place in the basin, with 119 springs registered by March 2019. There is a need for expansion and adaptation of management techniques to increase the production of quality and quantity water for the population in the Manhuaçu River basin, MG. A morphometric characterization made it possible to evaluate the most representative parameters and to evaluate the effect of these

limits on the risks of flooding and water loss in the region with a value of Manhuaçu headquarters. The Manhuaçu River basin has as main parameters: circularity index and elongation ratio, drainage intensity, and form factor. Among the analyzed sub-basins, sub-basins 9, 10 and 23 can be highlighted because of their high drainage rate and high altimetric amplitude. An evaluation of the water capacity allows to indicating as sub-basins of the Manhuaçuzinho, São Sebastião, Palmital, Taquara Preta and São Luís Stream, as the major temporal variation of the leakage, the use of technical management practices that favor the infiltration of the water in the soil. A water quality analysis that reaches the municipality of Manhuaçu is considered bad, according to the IQA, for February. One sub-basin that presented the following quality parameters was the Bom Jesus Stream. With the results obtained and the continuation of new studies, it is possible to adopt management measures by the water managers present in the Manhuaçu River basin.

Keywords: Hydrographic basin. Morphometry. Water resources management.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	12
OBJETIVOS GERAIS	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
CAPÍTULO I	17
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MANHUAÇU:	17
CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	17
1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5. CONCLUSÕES.....	37
CAPÍTULO II	41
CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE SUB-BACIAS DO RIO MANHUAÇU- MG COMO FERRAMENTA DE GESTÃO	41
1. INTRODUÇÃO	43
2. OBJETIVOS.....	44
3. MATERIAS E MÉTODOS.....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5. CONCLUSÃO	61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
CAPÍTULO III	67
VARIAÇÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO E DA VAZÃO DE SUB-BACIAS DO RIO MANHUAÇU, MG	67
1. INTRODUÇÃO	69
2. OBJETIVOS.....	70

3. MATERIAL E MÉTODOS	70
5. CONCLUSÕES.....	91
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
CAPÍTULO IV.....	98
QUALIDADE DE ÁGUA DO RIO MANHUAÇU, MG.....	98
1. INTRODUÇÃO	100
2. OBJETIVOS.....	101
3. MATERIAL E MÉTODOS	101
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	106
5. CONCLUSÕES.....	113
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	120

INTRODUÇÃO GERAL

Mudança de uso e cobertura da terra pode alterar o estoque de carbono (ARANTES et al., 2016), afetar a qualidade da água (GIRARDI et al., 2016; CALIJURI et al., 2015; KÄNDLER et al., 2017; NAMUGIZE et al., 2018) e modificar a fertilidade do solo (VALERA et al., 2016). Além disso, alterações na cobertura da terra podem afetar, drasticamente, os processos hidrológicos (SAJIKUMAR; REMYA, 2015; PAULE-MERCADO et al., 2017; BROWN et al., 2016) e causar alterações no clima local (KHAROL et al., 2013; PAL; ZIAL, 2016).

O aumento da demanda pelos recursos hídricos, associado a eventos climáticos extremos aumentam os conflitos pelo uso da água. Dessa forma, a gestão das águas é necessária para garantir o recurso para a população, garantindo a demanda cada vez maior (ARNEL; GOSLING, 2013; IPCC, 2015; ANA, 2018).

A realização de um diagnóstico físico e ambiental da bacia informa sobre a rede de drenagem, os limites da bacia, detalhes da ocupação da terra na bacia contribuem para o planejamento e desenvolvimento de atividades que contribuam para a conservação de água (PINTO et al., 2014). Estudos relacionados à morfometria de bacias, uso e ocupação da terra, a avaliação temporal dos processos hidrológicos e a avaliação da qualidade de água são necessários para uma gestão mais apropriada em bacias hidrográficas.

A caracterização das bacias é fundamental para iniciar as atividades de gestão e manejo de bacias. Dessa forma, estudos morfométricos são fundamentais para a caracterização de bacias hidrográficas, bem como na determinação de suas limitações e potencialidades quanto ao uso do solo, favorecendo assim o planejamento adequado das atividades desenvolvidas na bacia (SANTOS et al., 2012).

Práticas de ocupação e uso do solo realizadas sem planejamento podem degradar o solo e reduzir a infiltração de água no solo e piorar as características da água superficial de cursos d'água, como o aumento nos níveis toleráveis de oxigênio dissolvido, nitrato, fósforo total dentre outros parâmetros (DING et al., 2016; GUNAWARDHANA et al., 2016).

Algumas atividades antrópicas podem causar grandes impactos ambientais e alterar drasticamente a condição de uma bacia hidrográfica. Em Mariana, o rompimento da barragem de rejeitos de mineração provocou a liberação de 55 a 62 milhões de m³ de lama de rejeitos, causando a degradação de centenas de quilômetros do Rio Doce, um dos mais importantes do

país (FERNANDES et al., 2016). Dessa forma, além de recuperar a área atingida diretamente pelo rompimento da barragem de rejeitos, a conservação das sub-bacias não atingidas é fundamental para o efluxo de água de boa qualidade para o leito do rio, auxiliando na recuperação da biota do rio.

A bacia do Rio Manhuaçu é a terceira maior sub-bacia do Rio Doce, e não foi afetada pelo rompimento da barragem, sendo importante a caracterização e o planejamento da bacia hidrográfica para a gestão das águas, uma vez que as informações adquiridas contribuem para o processo de tomada de decisão. Desta forma, a alocação de recursos financeiros e tecnológicos podem ser distribuídos de forma mais inteligente para cada local.

OBJETIVOS GERAIS

Dessa forma, são objetivos do presente trabalho realizar estudos sobre a caracterização de sub-bacias, do comportamento hidrológico e da qualidade do Rio Manhuaçu, e através dos resultados obtidos, subsidiar atividades de gestão que favoreçam a disponibilidade de água de boa qualidade para a população.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a caracterização ambiental da bacia do Rio Manhuaçu e das principais sub-bacias e propor ações de mentoria com base no diagnóstico realizado.
- Avaliar e definir os parâmetros morfométricos que melhor explicam a variação nas sub-bacias hidrográficas do Rio Manhuaçu, além priorizar sub-bacias para manejo.
- Avaliar a dinâmica da água em sub-bacias do Rio Manhuaçu-MG, bem como definir a necessidade de intervenção técnica que melhore a infiltração de água no solo.
- Avaliar a qualidade da água que chega a cidade de Manhuaçu-MG e determinar a ocupação que mais compromete a qualidade de água considerando parâmetros de qualidade de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA, Agência Nacional das Águas. Conjuntura Brasil (Recurso Hídricos 2017), 100p. 2018.
- ARNELL, N. W.; GOSLING, S. N. The impacts of climate change on river flow regimes at the global scale. **Journal of Hydrology**, v.486, p.351-364, 2013.
- BERTOSSI, A. P. A.; JÚNIOR, P. P. R.; RIBEIRO, P. H.; MENEZES, J. P. C.; CECÍLIO, R. A.; ANDRADE, F. V. Soil cover and chemical and physical attributes in oxisol in the atlantic forest biome. **Revista Árvore**, v.40, n.2, p.219-228, 2016.
- BUCCI, M. M. H. S.; DELGADO, F. E. F.; OLIVEIRA, L. F. C. Water quality and trophic state of a tropical urban reservoir for drinking water supply (Juiz de Fora, Brazil). **Lake and Reservoir Management**, v.31, p.134-144, 2015.
- DING, J.; JIANG, Y.; LIU, Q.; HOU, Z.; LIAO, J.; PENG, Q. Influences of land use pattern on water quality in low-order streams of the Dongjiang River basin, China: A multi-scale analysis. **Science of the Total Environment**, p.205-216, 2016.
- FARIAS, R. N.; PEDROZO, C. S.; MACHADO, N. A. F.; RODRIGUEZ, M. R. Análise morfométrica e de uso do solo da bacia hidrográfica do Arroio Candiota, RS, Brasil. **Pesquisa e Geociências**, v.42, p.159-172, 2015.
- FERNANDES, G. W.; GOULARD, F. F.; RANIERI, B. D.; COELHO, M. S.; DALES, K. BOESHE, N.; BUSTAMONTE, M.; CARVALHO, F. A.; CARVALHO, D. C.; DIRZO, R.; FERNANDES, S.; GALETTI JR, P. M.; MILLAN, V. E. G.; MIELKE, C.; RAMIREZ, J. L.; NEVES, A.; ROGASS, C.; RIBEIRO, S. P.; SCARIOT, A.; SOARES-FILHO, B. Deep into the mud: ecological and social-economic impacts of dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v. 14, p. 35-45, 2016.
- FINKLER, N. R.; MENDES, L. A.; BORTOLIN, T. A.; SCHNEIDER, V. E. Cobrança pelo uso da água no Brasil: uma revisão metodológica. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v.33, p.33-49, 2015.

GOMES, M. A.; PIMENTA, D. F. N.; LANI, J. L.; SOUZA, R. M.; SILVA, R. A.; ALARENGA, A. P. Técnicas de manejo e conservação do solo para revitalização de nascentes. **Informe agropecuário**, v.32, p.68-77, 2011.

GUNAWARDHANA, W. D. T. M.; JAYAWARDHANA, J. M.C. K.; DAYAKUMARA E. P. N. U. Impacts of agricultural practices on water quality in Uma Oya catchment area in Sri Lanka. **Procedia Food Science**, v.6, p.339-334, 2017.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp, 2015.

LUME, 2010. Plano de ação de recursos hídricos da unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos Marnhuaçu. 104p. 2010. Disponível em: http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PARH_Manhuacu.pdf Acesso em 05 de maio de 2018.

MARCHINI, D.; LING, T. C.; ALVES, M. C.; CRESTANA, S.; FILHO, S. N. S.; ARRUDA, O. G. Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.6; p.574-580, 2015.

MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. S.; BELLO, I. P.; FLA, R.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21, n.31, 2016.

NAUBI, I.; ZARDARI, N. H.; SHIRAZI, S. M.; IBRAHIM, N. F. B.; BALOO, L. Effectiveness of water quality index for monitoring Malasian river water quality. **Polish Journal of Environmental Studies**, vol. 25, n.1, 2016.

PEDOLAK, K.; LOWE, E.; WOLNY, S.; NICKEL, B.; KELSEY, R. Informing watershed planning and policy in the Truckee River basin through stakeholder engagement, scenario development, and impact evaluation. **Environment Science & Policy**, v.69, p.124-135, 2017.

PINTO, V. G.; LIMA, R. N. S.; RIBEIRO, C. B. M.; MACHADO, P. J. O. Diagnóstico físico-ambiental como subsídio a identificação de áreas vulneráveis à erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG), Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v.9, n.4, 2014.

REIS, D. R.; PLANGG, R.; TUNDISI, J. G.; QUEVEDO, D. M. Physical characterization of a watershed through GIS: a study in the Schmidt stream, **Brazilian Journal of Biology**. v.75, n.4, São Carlos, 2015.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; NELSON, W. D. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v.7, n.3, 2012.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Integrating ecohydrology, water management, and watershed economy: case studies from Brazil. **Ecohydrology & Hydrobiology**, v.16, n.2, p.83-91, 2016.

CAPÍTULO I

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MANHUAÇU:

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

RESUMO

Alterações na cobertura da terra ocorrem e podem acarretar em degradação da paisagem. Com o crescimento da população foi surgindo os conflitos pelo uso da água, surgindo assim a necessidade de gestão dos recursos hídricos. Os comitês de bacias hidrográficas desempenham uma importante função de gestor dos recursos advindos pela cobrança do uso da água para utilizarem na bacia, cabendo sempre otimizar os custos. Os objetivos deste capítulo são: realizar a caracterização ambiental da bacia do Rio Manhuaçu e das principais sub-bacias. Descrever as atividades de gestão relacionados ao manejo dentro da bacia do Rio Manhuaçu e propor medidas que favoreçam a restauração florestal de APPs de nascentes do Rio Manhuaçu-MG. Foi utilizado um mosaico ASTER/DEM, com 30m de resolução espacial e extraído hidrografia numérica da bacia e posterior delimitação das sub-bacias acima de 4ª ordem. Foi utilizada a localização geográfica das nascentes protegidas até março de 2019. Visitas as principais sub-bacias foram realizadas para melhor caracterização e descrição. A bacia do Rio Manhuaçu possui 8.805,33 km² de área e é uma das principais sub-bacias do Rio Doce e compreende os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, possui 31 sub-bacias acima de 4ª ordem, com a maior, Rio José Pedro, corresponde a 40% da área da bacia. A cultura cafeeira é predominante na região de cabeceira, ocorrendo uma transição para a pecuária leiteira em direção a foz. Uma das principais atividades ocorrentes na bacia com a participação dos comitês é o cercamento de nascentes e o plantio de espécies nativas. Atividades de proteção das nascentes são importantes ações para promoção da melhora na qualidade de água, sendo necessária a ampliação e distribuições das nascentes protegidas no Rio Manhuaçu. A proteção de nascentes deve ser uma ação conjunta com outras práticas que aumentem a infiltração de água no solo. Tais atividades podem ser mais bem conduzidas com o plantio de mudas de qualidade e viveiros próximos ao local de plantio e ampliação das medidas que garantam água em quantidade e qualidade na bacia como forma de manejo integrado.

1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade dos recursos hídricos tornou-se nas últimas décadas uma preocupação crescente. A alteração da qualidade e da quantidade de água disponível vem sendo alterada em função do aumento da poluição, crescimento desordenado de cidades, falta de saneamento básico, uso do solo, erosão do solo e alterações climáticas (SANTOS et al., 2010). Assim, é necessário um adequado planejamento no uso da terra para favorecer a infiltração e reduzir o escoamento superficial (PIRANI; MOUSAVI, 2016).

No Brasil, a gestão das águas ocorre de forma participativa e democrática teve início com a Lei 9433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e, que criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos com o objetivo de gestão integrada de bacias, dos quais os Comitês de Bacias fazem parte (Brasil, 1997). Os membros dos comitês de bacias são escolhidos entre seus pares, sendo representados pelos diversos setores usuários de água, organizações da sociedade civil, e poder público, tendo como suas principais competências a aprovação do Plano de Recursos Hídricos da Bacia, arbitrar conflitos pelo uso da água, e estabelecer mecanismos e sugestão de valores da cobrança pelo uso da água. (ANA, 2014).

Na bacia do Rio Manhuaçu, o Comitê de Bacias Águas do Manhuaçu promove o engajamento para multirões de recomposição florestal e cercamento de nascentes em conjunto com o movimento “Todos Pelo Rio Doce”, protegendo várias nascentes na bacia, porém a caracterização das ações e das sub-bacias atendidas é fundamental para a tomada de medidas que aumentem a eficiência das ações. A recomposição da mata nativa, principalmente em nascentes é fundamental para a manutenção de água em quantidade e qualidade em bacias hidrográficas (BRANDÃO et al., 2012; MATTOS et al., 2018; SONE et al., 2019).

Práticas como a proteção de nascentes com cercamento e plantio de mudas são utilizadas em diversos locais, favorecendo a infiltração de água e a qualidade de água (AGRIZZI et al., 2018; CASASANTA et al., 2018). Com a utilização de ferramentas de sistema de informações geográficas (SIG) para análises espaciais é possível maior refinamento e maior ordenamento das informações, permitindo importantes resultados para facilitar as tomadas de decisão principalmente em bacias hidrográficas (ZURGANI et al., 2018).

2. OBJETIVOS

Os objetivos deste capítulo são: i) Realizar a caracterização ambiental da bacia do Rio Manhuaçu e das principais sub-bacias. ii) Descrever as atividades de gestão relacionados ao manejo dentro da bacia do Rio Manhuaçu. iii) propor ações de mentoria com base no diagnóstico realizado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

1.1. Descrição da bacia

A Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu está localizada na região Sudeste do Brasil, entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. A bacia abrange 29 municípios, totalmente ou parcialmente: Aimorés, Alto Caparaó, Alto Jequitibá Alvarenga, Caratinga, Chalé, Conceição de Ipanema, Conselheiro Pena, Durandé, Ibatiba, Imbé de Minas, Inhapim, Ipanema, Itueta, Iúna, Lajinha, Luisburgo, Manhuaçu, Manhumirim, Martins Soares, Mutum, Piedade de Caratinga, Pocrane, Reduto, Resplendor, Santa Bárbara do Leste, Santa Rita do Itueto, Santana do Manhuaçu, São João do Manhuaçu, São José do Mantimento, Simonésia e Taparuba (Figura 1). A população estimada dos 29 municípios é de 556.845 habitantes (IBGE, 2016).

A bacia do Rio Manhuaçu está situada ao centro leste na bacia do Rio Doce, que possui as formações geológicas: Complexo Juiz de Fora (ortognaisses granulíticos) a sudeste da bacia; Granitóides Pré-Colisionais (granitoides foliados a gnáissicos) presente em toda bacia; Grupo Pocrane (ortognaisses) na região central; Complexo Nova Venécia (biotita e gnaisses paraderivados) e Rio Doce (sedimentação turbídica de mar profundo com mecaxistos e gnaisses bordados) ao norte da bacia (<http://geosgb.cprm.gov.br/>). Na região, é predominante a presença de latossolo vermelho amarelo em toda a bacia, ao sul, o neossolo litólico ocorre em maior frequência e próximo à foz, a presença de argissolo vermelho-amarelo, cambissolo háplico.

Segundo (Köppen, 1900) o clima da região é classificado como Cwb, apresentando clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado nos locais mais elevados. Cwa com verão quente e inverno seco ao centro e noroeste da bacia; e Aw, caracterizado pelo clima tropical e estação seca no inverno, nordeste da bacia, próximo a foz. O município de São João do Manhuaçu, onde se localiza a nascente do rio e Aimorés, município da foz possui considerável diferença na precipitação média anual (Figura 2) (ALVARES *et al.*, 2013).

Figura 1: Localização dos municípios pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu, Sudeste, Brasil.

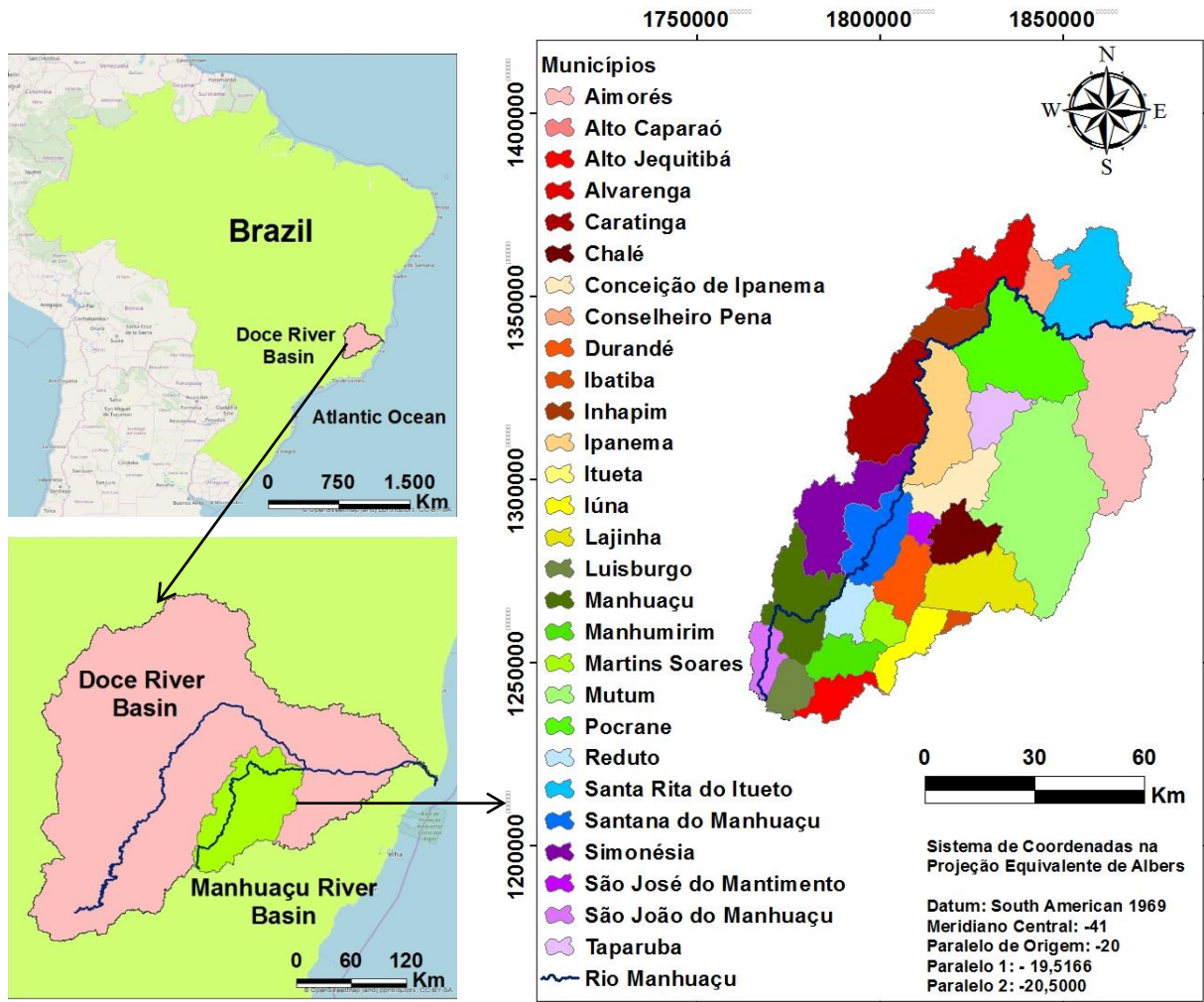
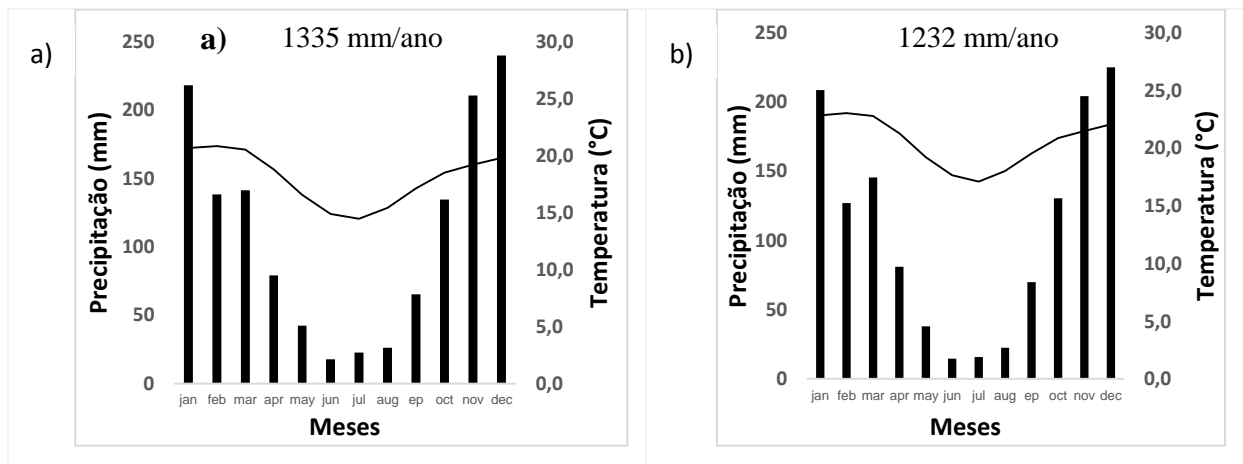


Figura 2: Precipitação (mm), temperatura média (°C) de São João do Manhuaçu (a); e Aimorés (b); municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa, Alvares et al (2013)

Processamento dos dados

Os limites da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu foram de cenas da missão *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* ASTER/DEM, que tem um tamanho de célula de 30m. Foi realizado um conjunto de quatro cenas para criar um mosaico que englobasse toda a bacia criando um Modelo Digital de Elevação (MDE) contínuo. Posteriormente foi feito o processamento dos dados para eliminação de anomalias no modelo, foi realizada a direção e acúmulo de fluxo e assim criada a hidrografia numérica e a divisão das sub-bacias.

Foi utilizado dados de Alvares et al., (2013) para a classificação climática dos municípios da bacia e da precipitação média para a região.

Gestão da bacia

A gestão da bacia do rio Manhuaçu ocorre através do Comitê de Bacias Águas do Rio Manhuaçu, que é um organismo colegiado composto por representantes da sociedade civil e do poder público e dos usuários da água, onde os membros são escolhidos entre seus pares. Na bacia existem 36 membros titulares e 36 membros suplentes que tem como competências a aprovação do Plano de Recursos Hídricos da Bacia, arbitrar conflitos pelo uso da água, e estabelecer mecanismos e sugestões de valores da cobrança pelo uso da água (ANA, 2018; CBH Manhuaçu).

O CBH Manhuaçu através de parceria com o movimento “Todos pelo Rio Doce” mobiliza pessoas para realizar o cercamento e plantio de mudas nativas ao entorno de nascentes do Rio Manhuaçu. É realizado um contrato dos produtores rurais que desejam realizar a proteção das nascentes através do cercamento e plantio de espécies nativas, onde o mesmo se compromete a preservar as nascentes e realizar a manutenção da cerca e preservar as nascentes. O fornecimento de mudas, mourões, arames e transporte são de responsabilidade do movimento.

As nascentes protegidas pelo cercamento foram georreferenciadas com GPS Garmin para o monitoramento. A localização das nascentes protegidas até Março de 2019 foi disponibilizada para a realização deste trabalho pelo Instituto Terra e pelo CBH Manhuaçu.

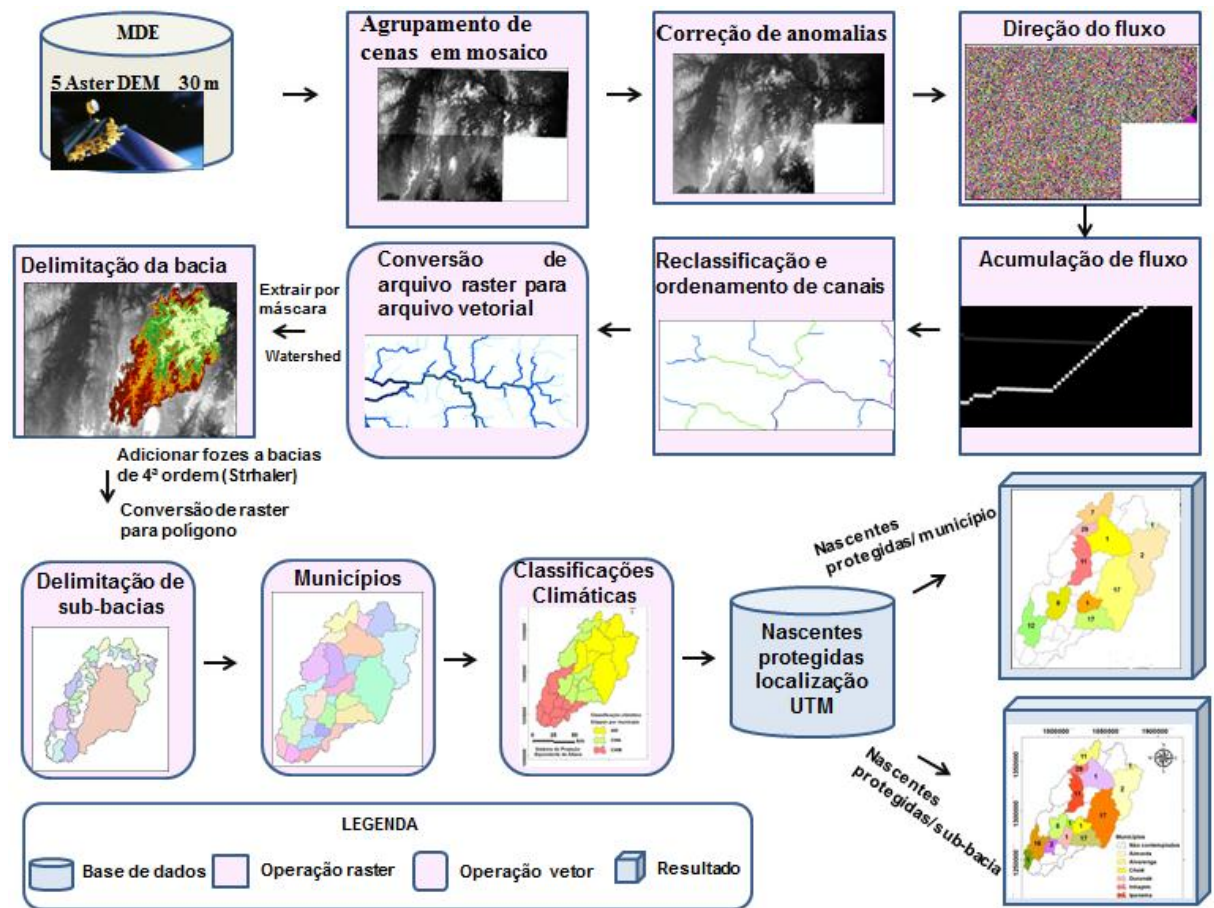
Caracterização da bacia

Foram realizadas cinco expedições a campo para a descrição e caracterização do uso da terra na bacia hidrográfica visualmente com a marcação do local com a utilização do GPS Garmim.

Foram selecionadas 31 sub-bacias acima de 4ª ordem para a caracterização. As sub-bacias foram selecionadas com o propósito de auxiliar as atividades de gestão regional em sub-bacias de maiores dimensões.

A descrição da metodologia utilizada pode ser detalhada na figura 3.

Figura 3: Fluxograma da metodologia utilizada para a caracterização da bacia do Rio Manhuaçu, Sudeste, Brasil.

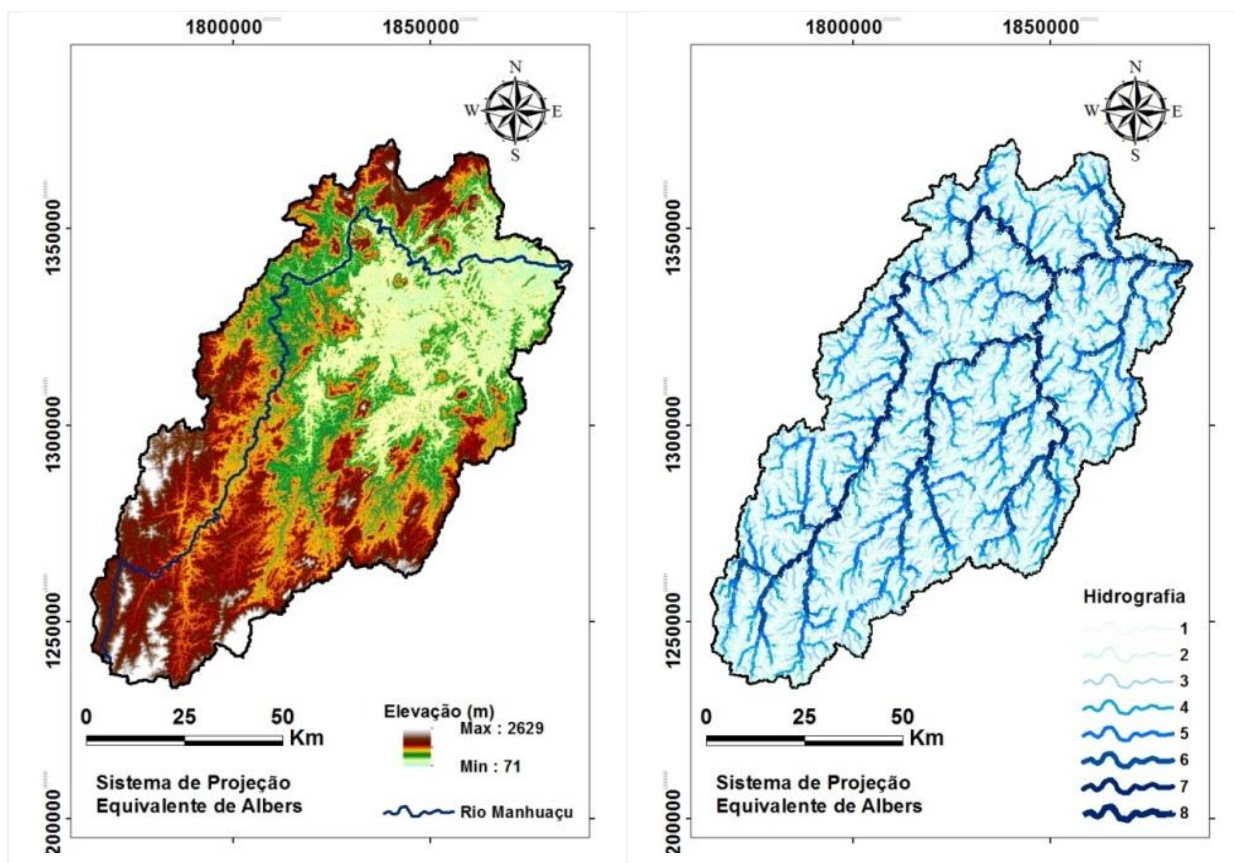


Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia do Rio Manhuaçu possui área de 8.805,33 km², correspondente a 10,48% da bacia do Rio Doce. O Rio Manhuaçu possui 288 km de extensão com nascente em São João do Manhuaçu, MG e foz em Aimorés, MG (Figura 4).

Figura 4: Hipsometria (a) e hidrografia (b) da bacia do Rio Manhuaçu, Sudeste, Brasil.

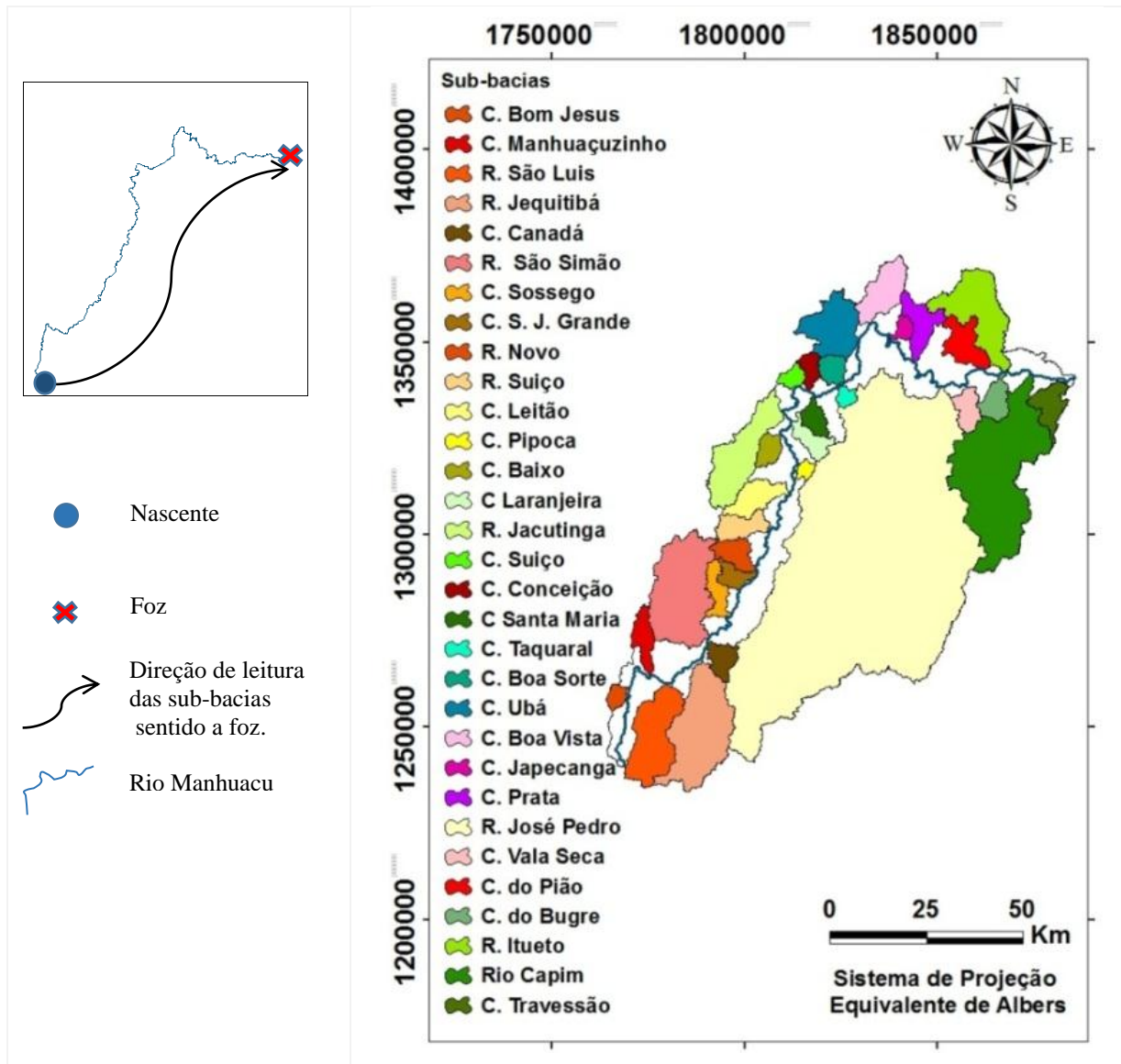


Fonte: Rodolfo Alves Barbosa

A disposição dos canais na bacia é do tipo dendrítico. A bacia possui orientação nordeste, ou seja, é o sentido de percurso do curso d'água principal. A disposição espacial das sub-bacias da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu não possibilita a classificação da bacia com divisões em parte alta, média e baixa. As sub-bacias de cabeceira possuem elevações superiores a 1350 m e classificações fisionômicas: Floresta Estacional Semidecidual Montana e Campos de Altitude na nascente do Rio José Pedro (Lume et al., 2010; Ferreira et al. 2015).

A bacia do Rio Manhuaçu pode ser dividida em 31 sub-bacias hidrográficas acima de 4º ordem (Sthaler 1969) (Figura 5). A maior sub-bacia foi a do Rio José Pedro (24), com área de 3540,23 km² (Tabela 1, Figura 5), correspondendo a mais de 40% da área da bacia.

Figura 5: Sub-bacias com ordenamento de canais superiores a 4º ordem na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, Sudeste, Brasil.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

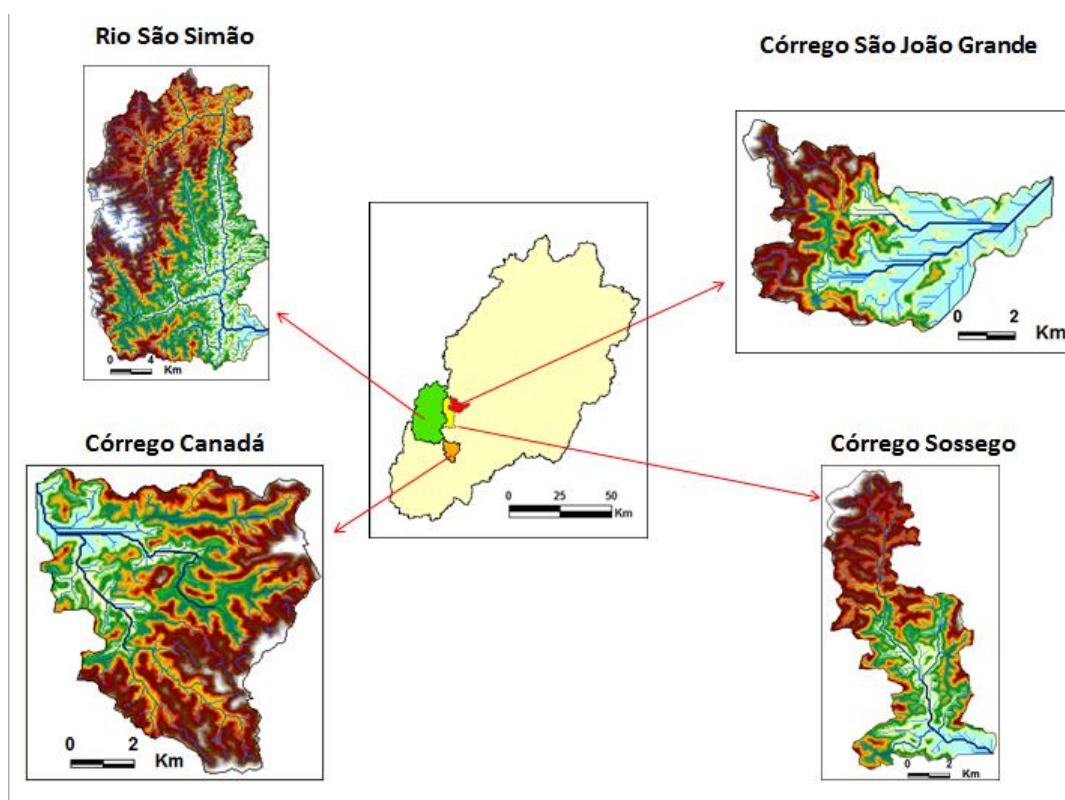
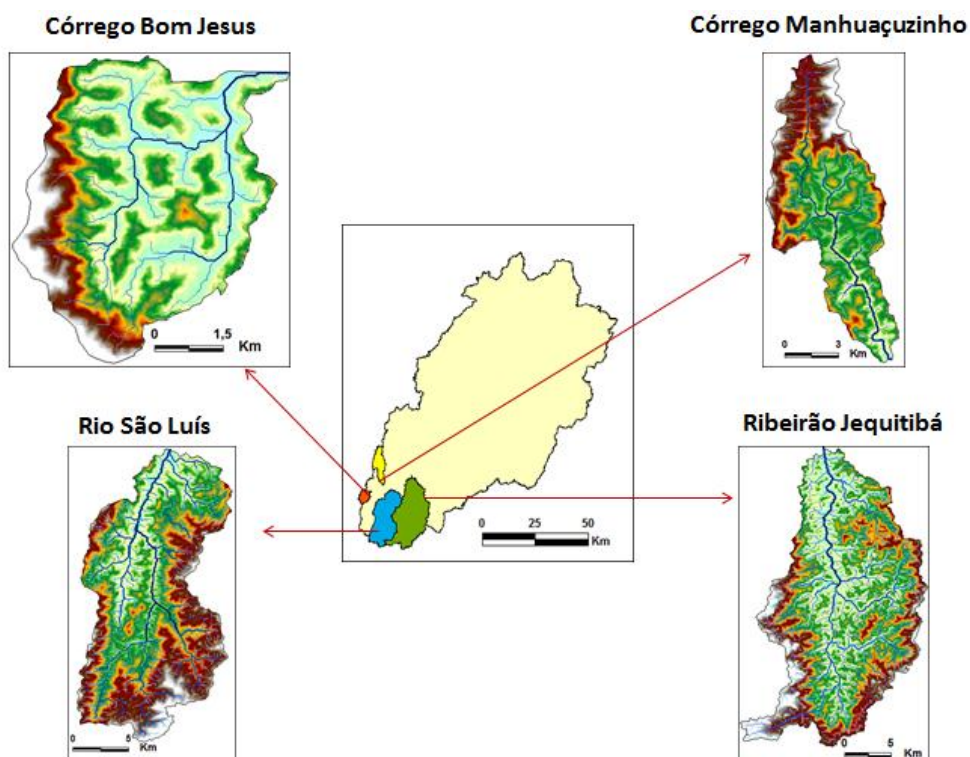
As sub-bacias Ribeirão São Luís, Rio José Pedro e Córrego Boa Vista apresentaram maior amplitude altimétrica, com 2496 m, 1108 m e 1318 m respectivamente (Quadro 1, Figura 6). O Córrego Boa Vista possui uma área de 126,5 km² e possui 5ª ordem na classificação de hierarquia de canais proposta por Strahler (1964), onde as nascentes são canais de primeira ordem, na confluência dos canais de primeira ordem surgem os canais de segunda ordem, e assim sucessivamente, sendo a ordem da bacia hidrográfica correspondente ao valor do canal de maior ordem.

Quadro 1: Características das Sub-bacias do Rio Manhuaçu com ordem superior a 4ª ordem, Sudeste, Brasil.

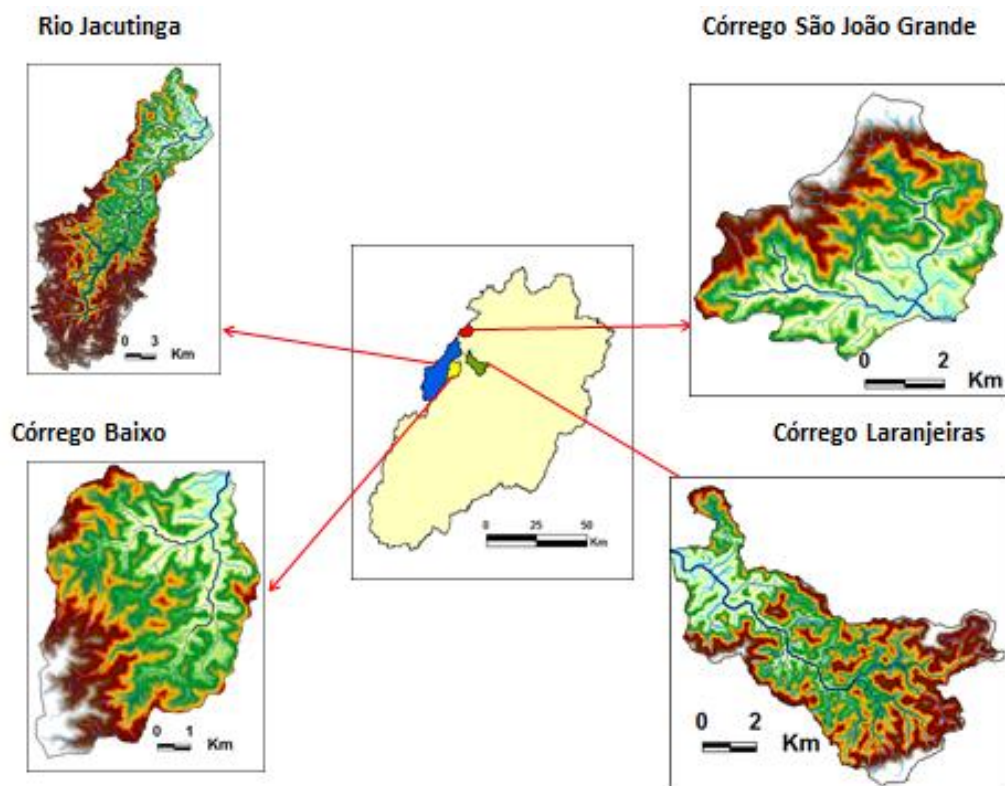
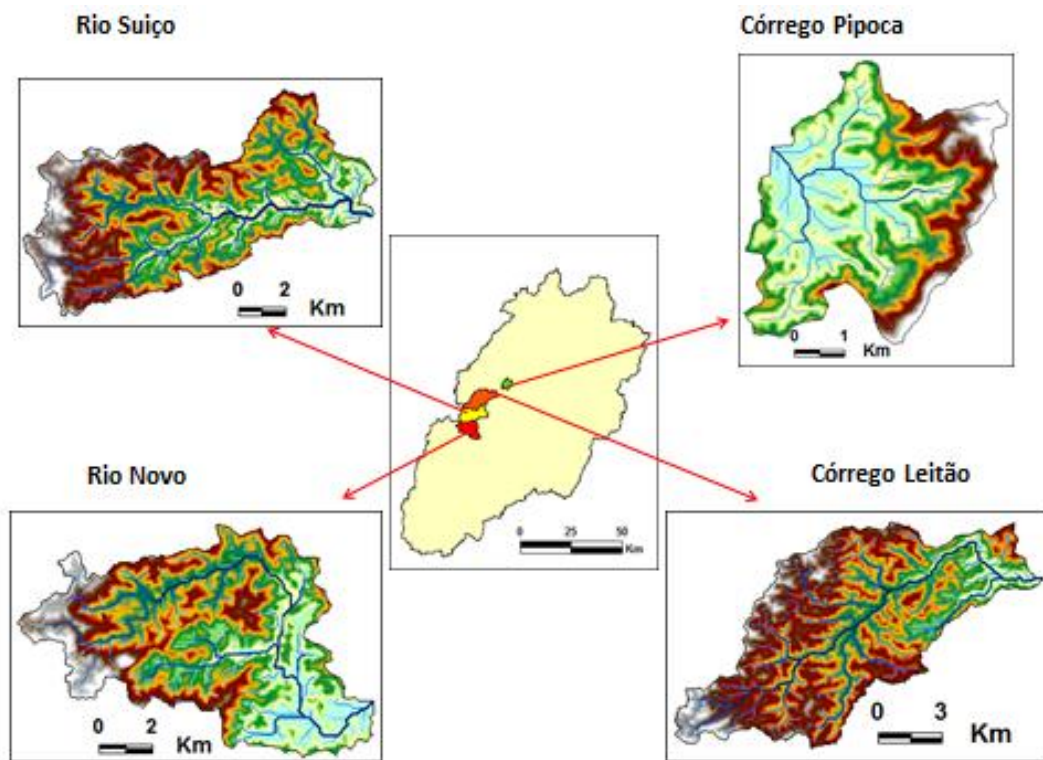
Sub-bacias	Área (Km ²)	Perímetro (Km)	Elevação máxima (m)	Elevação mínima (m)	Amplitude Altimétrica (m)	Ordenamento Strahler (1964)
Corrego Bom Jesus	25,97	23,73	1358	798	560	4
C. Manhuaçuzinho	64,55	49,83	1608	679	929	5
Ribeirão São Luiz	243,35	86,78	1738	630	1108	6
Ribeirão Jequitibá	379,31	118,11	1712	567	1145	6
Córrego Canadá	56,05	39,50	1026	553	473	5
Córrego Sossego	387,89	113,46	1619	553	1066	5
Rio São Simão	59,00	55,75	1338	553	785	6
Córrego S. J. Grande	42,85	40,24	1084	553	531	5
Ribeirão Novo	65,24	48,35	1137	493	644	5
Rio Suíço	74,05	51,42	1139	471	668	5
Córrego do Leitão	92,11	55,47	1084	425	659	5
Córrego Pipoca	18,01	21,74	919	381	538	5
Córrego Baixo	44,47	30,19	1023	329	694	5
Córrego Laranjeira	56,29	48,91	898	329	569	5
Ribeirão Jacutinga	244,27	100,50	1123	329	794	5
Córrego Suíço	29,45	26,23	1002	277	725	5
Córrego Conceição	36,73	31,66	1121	277	844	5
Córrego Santa Maria	45,79	33,78	767	265	502	5
Córrego Taquaral	179,31	23,36	718	265	453	5
Córrego Boa Sorte	126,50	30,65	1057	265	792	5
Córrego do Ubá	24,70	75,75	1324	245	1079	6
Córrego Boa Vista	126,50	58,81	1507	189	1318	5
Córrego Japocanga	24,70	24,49	1027	179	848	5
Córrego da Prata	83,85	62,91	1214	179	1035	5
Rio José Pedro	3540,23	386,12	2629	160	2469	8
Córrego Vala Seca	59,84	41,03	550	160	390	5
Córrego do Pião	99,59	65,96	898	329	569	5
Rio Itueto	253,51	113,71	1158	122	1036	6
Córrego do Bugre	61,42	41,45	477	122	355	5
Rio Capim	692,01	192,23	1070	91	979	6
Córrego Travessão	80,36	62,73	695	78	617	5

Fonte: Rodolfo Alves Barbosa

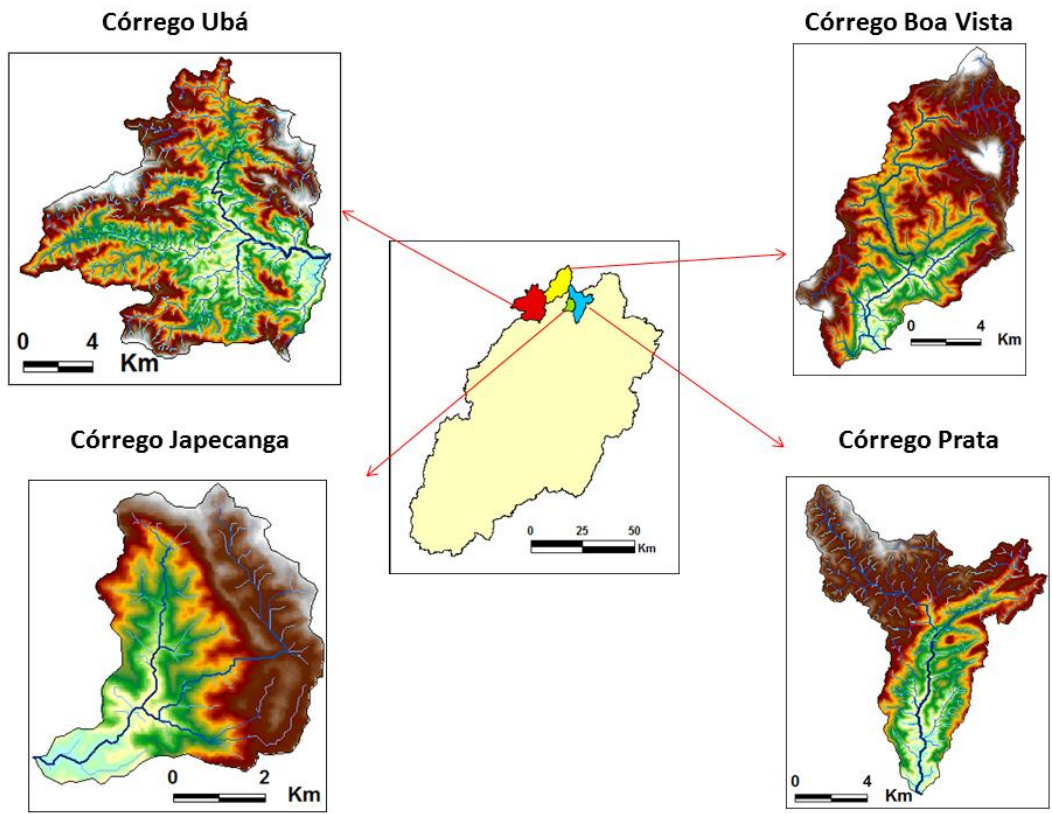
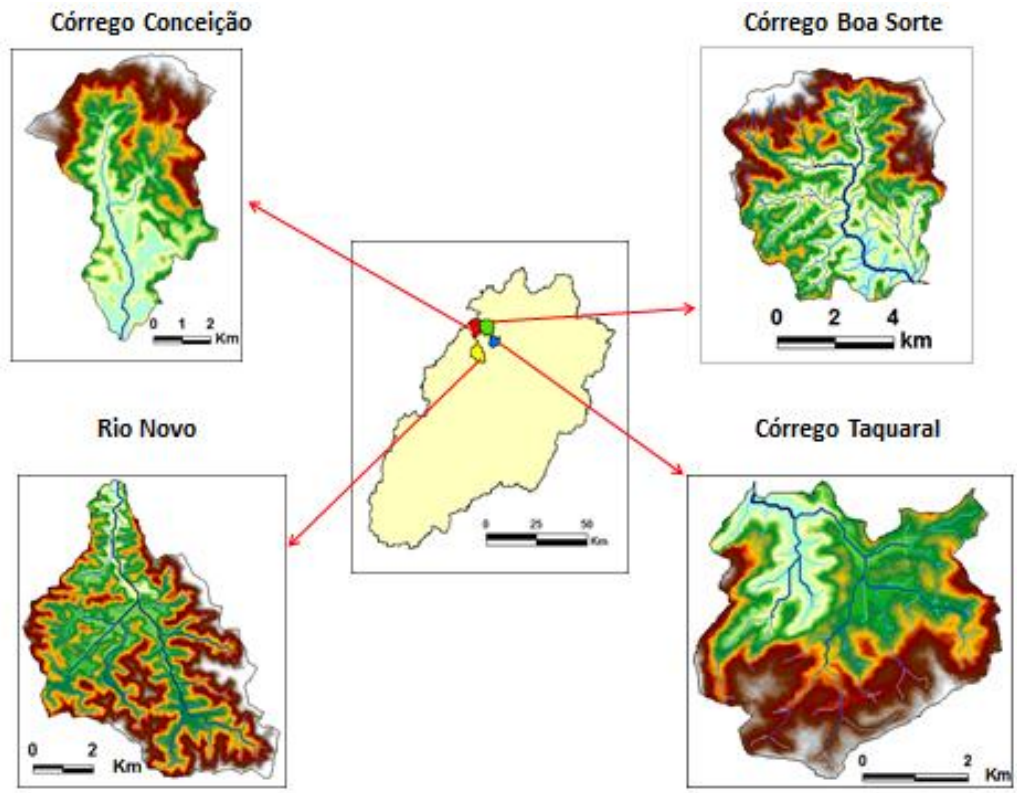
Figura 6: Localização das sub-bacias do Rio Manhuaçu com ordenamento superior a 4ª ordem.



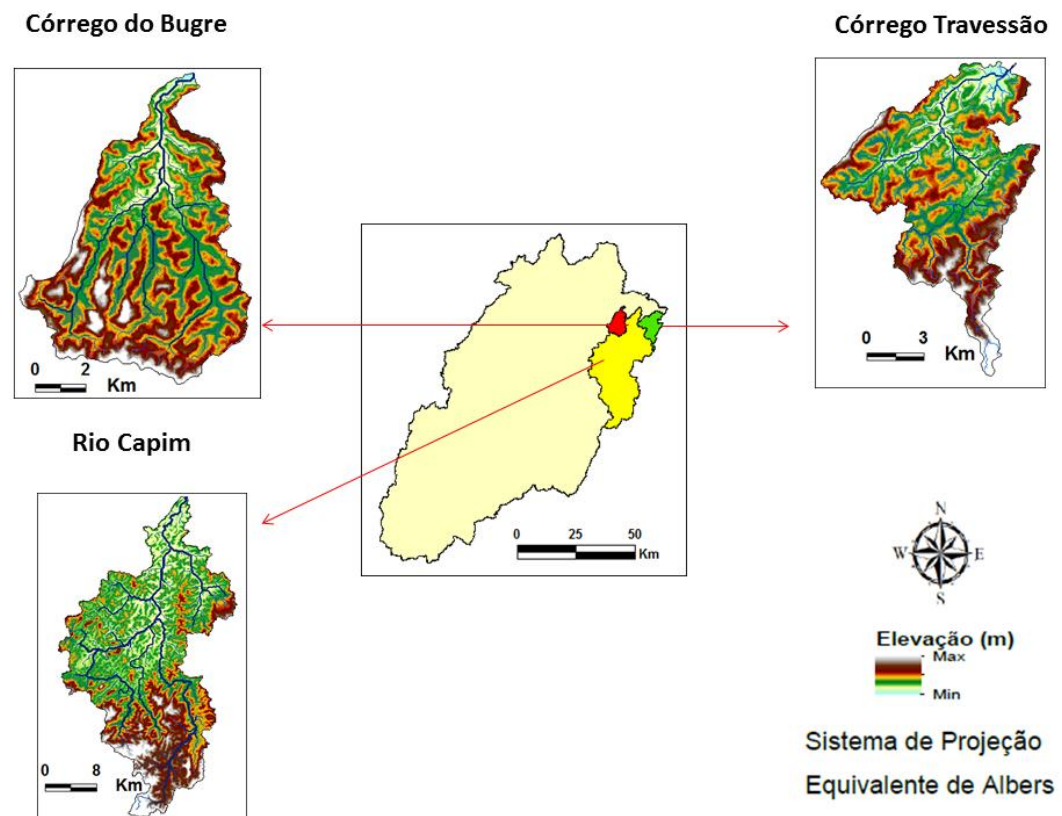
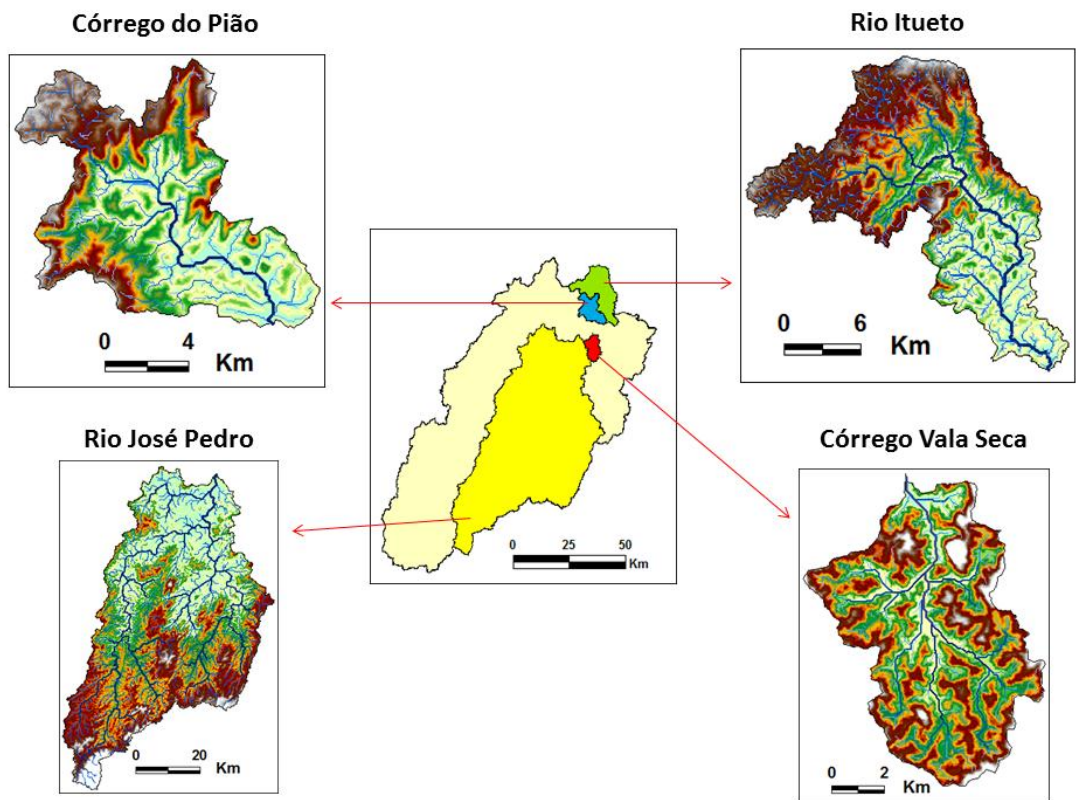
Continua ...



Continua ...



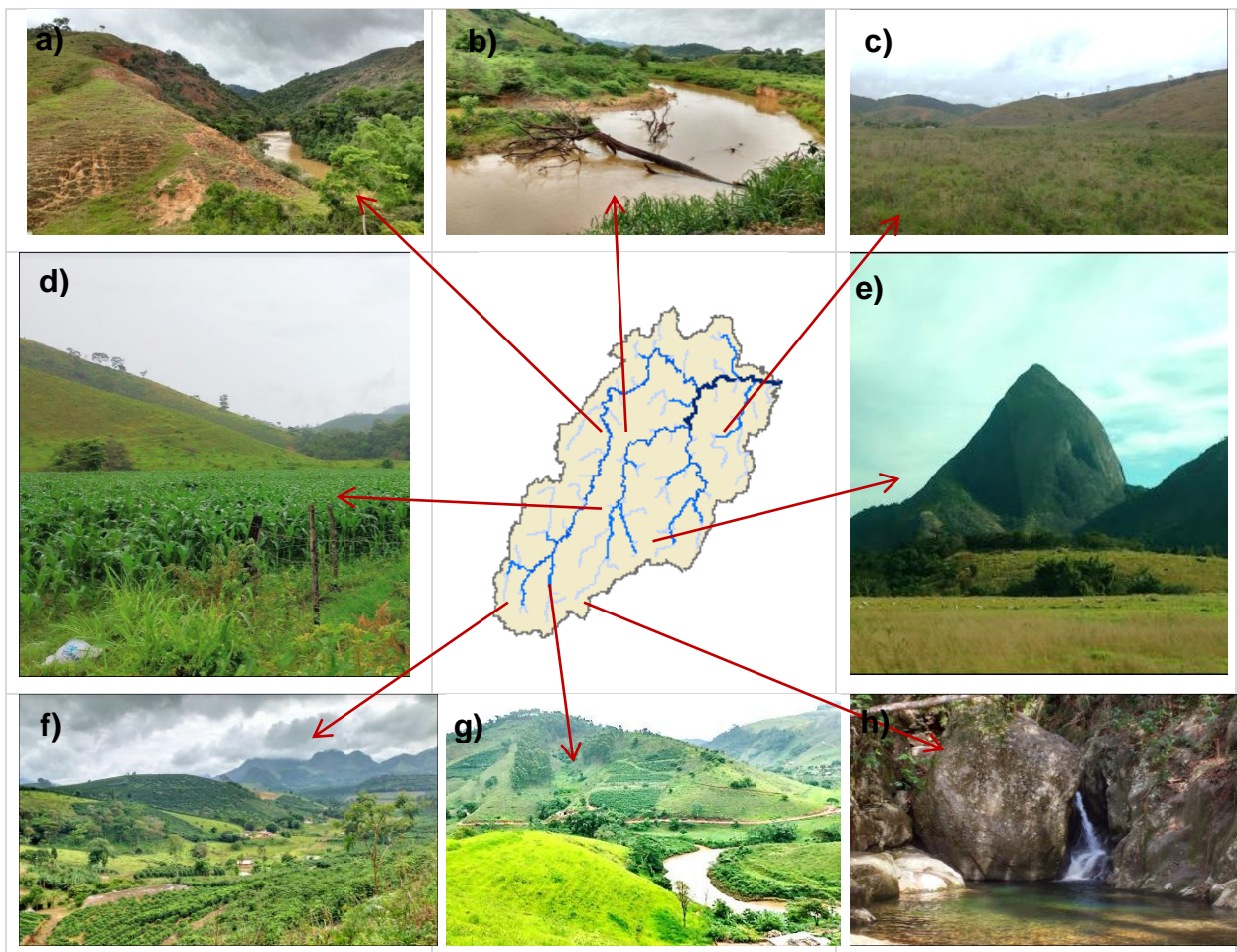
Continua ...



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa, Cartas IBGE.

Na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu predomina a cultura cafeeira nas regiões mais elevadas, próximas da cabeceira; ocorrendo gradual mudança ao longo da bacia para pastagem e cultivo de milho no sentido à foz. A presença de locais com solo erodido também aumenta sentido à foz, principalmente em pastagens degradadas (Figura 7).

Figura 7: Bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, onde: (a) Rio Manhuaçu próximo à hidrelétrica Neblina, Ipanema-MG; (b) Rio José Pedro, Ipanema-MG; (c) Pastagem degradada, Aimorés-MG; (d) Cultivo de milho, Santana do Manhuaçu (e); Pedra Invejada, sub-bacia do Rio José Pedro em Mutum; (f) Cafezais em São João do Manhuaçu, Cabeceira do Rio Manhuaçu, São João do Manhuaçu, (g) Foz do Rio Jequitibá, Reduto, (h) Cabeceira do Rio José Pedro, Alto Jequitibá-MG.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa

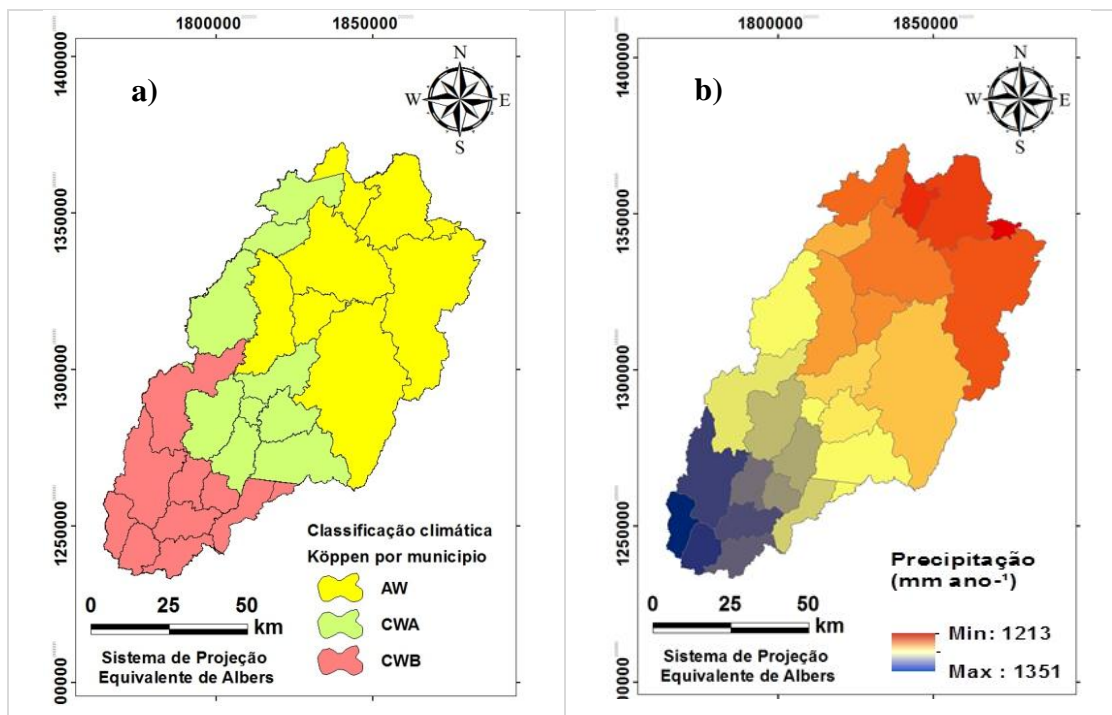
Foi verificada pouca vegetação nativa nos topos de morro na bacia, o que pode acarretar em menor infiltração de água no solo, uma vez que a presença da vegetação reduz o escoamento superficial, favorecendo a recarga dos aquíferos. Mudanças na lei de proteção da

vegetação nativa reduziram a obrigatoriedade de preservação permanente em regiões com relevo montanhoso, uma vez que modificaram a definição de morro, houve uma redução significativa de áreas com obrigação de proteção desta importante área de recarga em bacias (ALMEIDA; PAULA, 2018).

A bacia do Rio Manhuaçu, devido a sua grande dimensão e amplitude altimétrica, apresenta três distintas classificações climáticas (Figura 8). Simões et al., (2015) avaliaram as condições climáticas para o Estado de Minas Gerais e verificaram que a maior parte do estado está inserido no clima Aw, com precipitações abaixo de 60 mm no inverno, regiões classificadas com Cwa e Cwb possuem invernos secos, mas com temperaturas mais amenas que os locais com clima Aw.

A maior precipitação média anual ocorre na região de cabeceira do rio, em São João do Manhuaçu (1351 mm ano⁻¹) e mínima ao norte da bacia, no município de Itueta (1213 mm ano⁻¹), ao norte da bacia (Figura 8). Lima, (2016) avaliou o índice de severidade de secas na bacia do Rio Doce e observou maior frequência de secas mais severas na sub-bacia do Rio Manhuaçu, com 30.8% de frequência em eventos com índice de anomalia de chuvas. Lousada et al., (2018) avaliaram o balanço hídrico climático para a bacia do Rio Doce, verificando déficit hídrico mais acentuado na região média do Rio Doce, região que a bacia do Rio Manhuaçu está localizada.

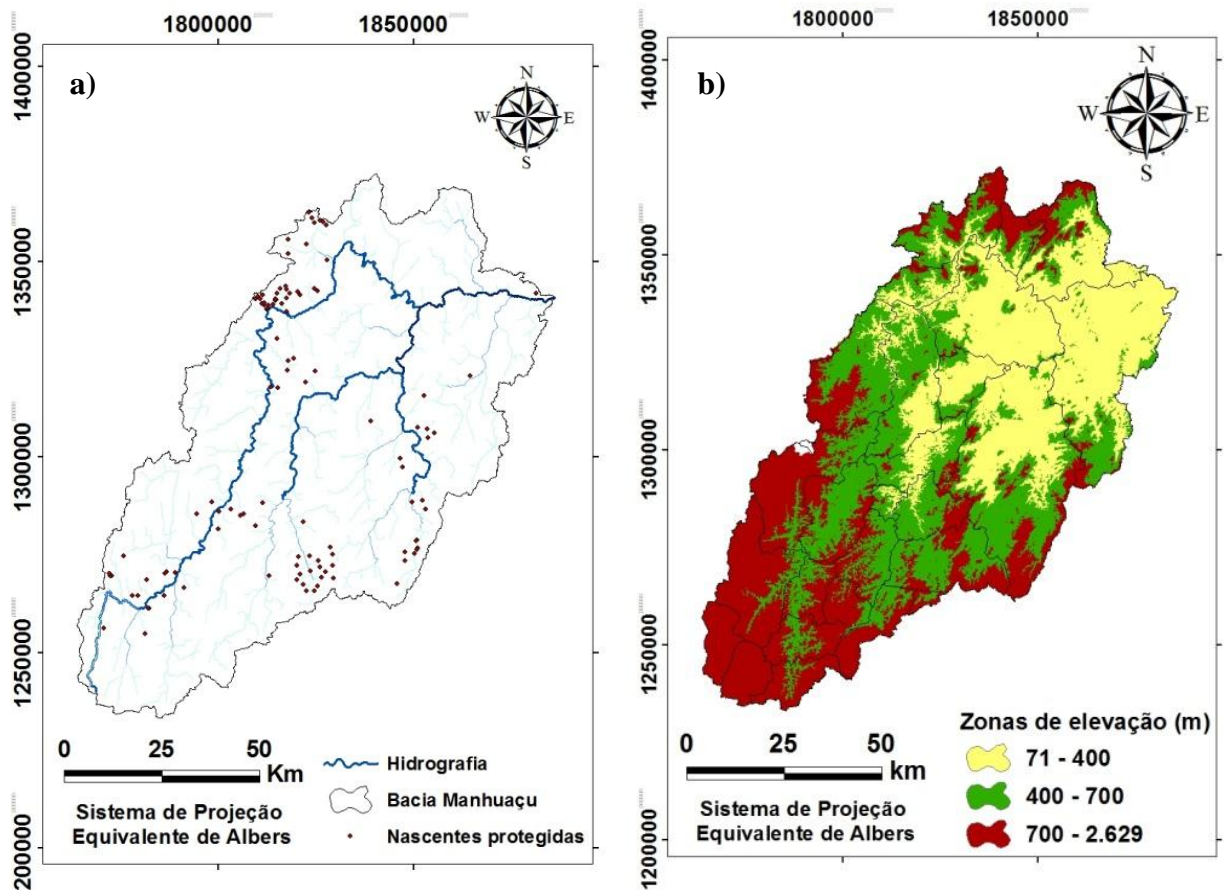
Figura 8: Classificação climática (a), e precipitação média por município (b) na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa; Alvares et al (2013)

O comitê de bacias águas do Rio-Manhuaçu, através da mobilização de multirões e do movimento “Todos pelo Rio Doce” realiza o cercamento e o plantio de espécies nativas no entorno de nascentes de proprietários rurais que demonstrassem interesse na atividade. O cercamento das nascentes visa evitar a entrada de animais e pessoas no local, permitindo a regeneração natural da vegetação nativa em área de preservação permanente. Dentro da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu foram cercadas 119 nascentes até março de 2019 (Figura 9).

Figura 9: Distribuição das propriedades que tiveram as nascentes protegidas na Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu até março de 2019 (a), zonas de elevação na bacia do Rio Manhuaçu.

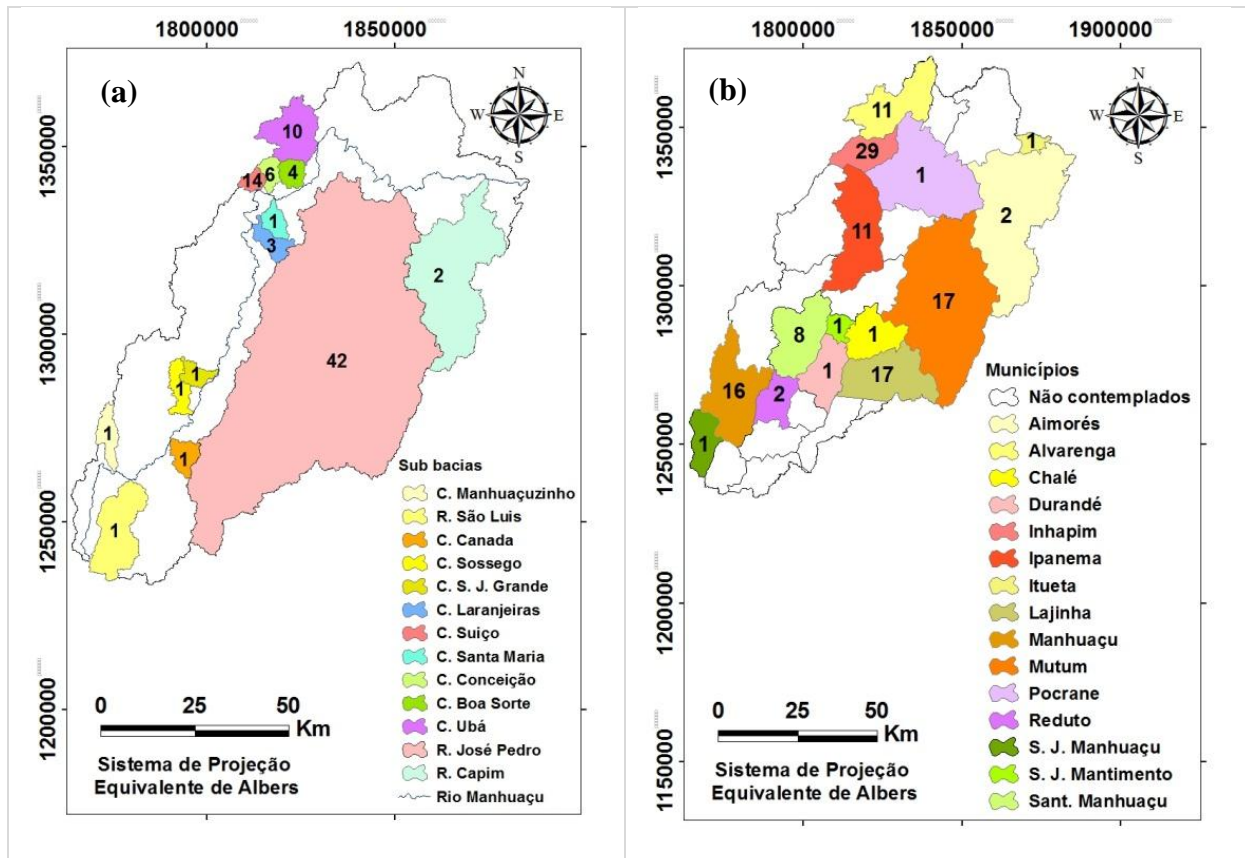


Fonte: Rodolfo Alves Barbosa

A proteção das nascentes com cercamento auxilia na recuperação da vegetação ripária, local que está sobre influência do hidromorfismo (VIEIRA et al., 2017). Treze sub-bacias com canais acima da 4ª ordem apresentaram pelo menos uma nascente protegida, com o total de 87 nascentes protegidas nas sub-bacias caracterizadas. O cercamento de nascentes está

sendo realizado em 119 nascentes na bacia do Rio Manhuaçu, com 26% das nascentes localizadas em sub-bacias de ordem inferior a 3 (Figura 10).

Figura 10: Número de propriedades que tiveram nascentes cercadas para preservação em cada sub-bacia (a), e os municípios beneficiados (b), na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu até Março de 2019.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

A escolha dos locais para proteção de nascentes ocorre após a divulgação e contrato com os produtores rurais interessados. Locais com pastagens são prioritárias para cercamento, visando impedir a entrada de gado na zona ripária (Figura 11). A prática de cercamento de nascentes para aumentar sua proteção e melhorar a qualidade de água foi observada por diversos autores (DIAS et al., 2006; MILLER et al., 2010; GOMES et al., 2011; VIEIRA, 2016; TORRES, 2016; AGRIZZI et al., 2018; CASASANTA et al., 2018).

A vedação de áreas ripárias impede a entrada de gado nestes locais, favorecendo o estabelecimento da vegetação nativa permitindo melhora na qualidade de água (MILLER et al., 2010). Torres, 2016 observou maior degradação em nascentes do córrego Alfenas em locais que não havia o cercamento, onde a entrada de animais impediu a regeneração natural

da vegetação. Agrizzi et al., (2018) observou melhor qualidade de em nascentes cercadas, quando comparadas com uma com livre acesso ao gado.

Figura 11: Cercamento e plantio de mudas no entorno de nascentes na Bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, Sudeste, Brasil.



Fonte: CBH Manhuaçu.

Em atividade conjunta com o cercamento das nascentes, ocorre o plantio de mudas de espécies nativas na área protegida. Devido a grande dimensão da bacia e a variação climática, a utilização de mudas nativas de boa qualidade provenientes de viveiros próximos ao local de plantio aumentam as chances de adaptação e sobrevivência em campo. A utilização de mudas de viveiros próximos do local de plantio reduz os custos de transporte, reduzem danos às mudas durante o transporte e reduz a deficiência hídrica antes do plantio em campo (GOMES; PADUA, 2011; VILAR et al., 2011).

Além da necessidade de mudas advindas de locais próximas ao local de plantio, outras características determinam o sucesso da restauração florestal em nascentes; a seleção de plantas matrizes, a coleta de sementes, o beneficiamento, o armazenamento e o controle de fitossanitário de viveiros florestais e a qualidade das mudas são fundamentais (GOMES,

PAIVA, 2011; CALHEIROS et al., 2014; SILVA et al., 2015). O Córrego Suiço é o que mais possui nascentes protegidas (14), podendo servir de parâmetro para as novas atividades na bacia do Rio Manhuaçu.

Existe uma grande necessidade de reflorestamento das áreas ripária, uma vez que o déficit na bacia é muito elevado, com déficit de vegetação nativa superior a 60% nessas áreas na região da bacia do Rio Manhuaçu, dentro da bacia do Rio Doce (PIRES et al., 2017). Júnior et al., (2019) avaliaram a sobrevivência e o crescimento de diferentes espécies florestais em uma área degradada da mata atlântica, selecionando 12 espécies mais adequadas para a restauração de área degradadas, que teriam um custo de implantação reduzido.

A bacia do Rio Manhuaçu possui 11 unidades de conservação (Lume, 2010). Dentre elas, o Parque Estadual Sete Salões, Parque Nacional do Caparaó, Estação Biológica Mata do Sossego, Parque Ecológico Sagui da Serra, RPPN Feliciano Miguel Abdala e RPPN Fazenda Bulcão possuem trabalhos que abordam a fauna e a flora (BIONA, 2008; SANGLARD et al., 2010; SINISCALCHI et al., 2016; DRUMMOND et al., 2014; FERREIRA et al., 2015; BRANDÃO et al., 2017; MASSARA et al., 2017). Uma avaliação fitossociológica da vegetação pode auxiliar na escolha das principais espécies para propagação e posterior reflorestamento na área no entorno das nascentes (MATOS, 2016).

Assim como as práticas de proteção das nascentes, para a manutenção de água em qualidade e quantidade é necessário a aplicação de outras práticas conservacionistas em conjunto na bacia, sendo a recuperação de áreas degradadas, recuperação da pastagem, práticas conservacionistas na produção de café, manutenção das estradas rurais, construção de caixas de captação e barraginhas uma das principais técnicas utilizadas (SOUZA, PIRES et al., 2006; BRANDÃO et al., 2012).

O Córrego Suiço é o que mais possui nascentes protegidas (14), podendo servir de parâmetro para as novas atividades na bacia do Rio Manhuaçu. O pagamento por serviços ambientais é um modelo que incentiva os produtores rurais investirem em práticas conservacionistas que promovam infiltração de água no solo e vem sendo aplicado em bacias hidrográficas (MATTOS et al., 2018; BÖSCH et al., 2019; SONE et al., 2019; CAMPANHÃO; RANIERI, 2019). O comitê de bacias pode abordar o assunto em assembleia e discutir a implantação na bacia do Rio Manhuaçu.

5. CONCLUSÕES

A caracterização das bacias pode auxiliar as atividades do Comitê de Bacias do Rio Manhuaçu.

As atividades de proteção das nascentes são importantes ações para promoção da melhora na qualidade de água, sendo necessária a ampliação das nascentes protegidas localizadas na bacia do Rio Manhuaçu.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVER, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, 711–728, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). Cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Caderno de Capacitação em Recursos Hídricos, v.7, 2014.

AGRIZZI, D. V.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S.; GARCIA, G. O.; AMARAL, A. A.; FIRMINO, E. F. A.; MENDES, N. G. S. Quality of the water from the spring of the Paraíso settlement. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.23, n.3, 2018.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. Infiltração de água no solo. 120p. v.3, 2012.

BRANDÃO, J. F. C.; MARTINS, S. V.; BRANDÃO, I. J.; LOPES, W. P. ECOLOGICAL RESTAURATION IN AREA DOMINATED BY *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn IN CAPARAÓ NATIONAL PARK, MG. **Revista Árvore**, v.41, p.1-11, 2017.

BÖSCH, M.; ELSASSER, P.; WUNDER, S. Why do payments for watershed services emerge? A cross-country analysis of adoption contexts. **World Development**, v.119, p. 111-119, 2019.

CALHEIROS, R. O.; TABIAI, F. C V.; BOSQUILIA, S. V. CALAMARI, M. Preservação e Recuperação das Nascentes /Piracicaba: Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios PCJ - CTRN, 2004. 53p.

CAMPANHÃO, L. M. B.; RANIERI, V. E. L. Guideline framework for effective targeting of payment for watershed. **Forest Policy and Economics**, v.104 p.93-109, 2019.

CASASANTA, J. J.; SÁ, R. A.; ROSA, L. R.; ALMEIDA, SANTOS, R, D. Relatório técnico de recomposição florestal e cercamento de nascentes. Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, 2018. Disponível em: http://cbhvelhas.org.br/wp-content/uploads/2018/06/Produto-4-Relat%C3%B3rio-de-recomposi%C3%A7%C3%A3o.final_.pdf Acesso dia 11 de junho e 2019.

DIAS, H. C. T.; SILVA, A. P. S.; TONELLO, K. C. ; CARDOSO, C. A.; ALVES, M. R.; OLIVEIRA JUNIOR, J. C. Proteção de Nascentes. Brasília: SENAR, 2006. v. 1. 80p.

DRUMMOND, G. M.; CAIUT, J. A. A. Plano de manejo da RPPN Mata do Sossego. Fundação Biodiversitas. 143p. 2014.

FERREIRA, L. M.; LOPES, W. P.; BEZERRA, E. F.; CATHERINGER, L.; MONTEIRO, A. L. M.; RODRIGUES, T. F. Plano de manejo do Parque Nacional do Caparaó. 537p. Instituto Chico Mendes, 2015.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. Viveiros Florestais – Propagação Sexuada. 116p. Editora UFV, 2011.

GOMES, M. A.; PIMENTA, D. F. N.; LANI, J. L.; SOUZA, R. M.; ALVARENGA, A. P. Técnicas de manejo e conservação do solo para a revitalização de nascentes. Revitalização de nascentes para produção de água. **Informe Agropecuário**, v.32, n.263, p.68-73, 2011.

GRIWBELER, A. M.; ARAÚJO, M. M. **Estratégias para o enriquecimento de áreas ripárias em processos de restauração no extremo sul do bioma Mata Atlântica**. 129p. Dissertação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, 2019.

HIRSCH, A. Brasil: fuso e zonas UTM. Geoprocessamento Aplicado e Sistemas Agroecológicos, 2008.

LOUSADA, F. L. R. O.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. E. M. Climatological water balance with data estimated by tropical rainfall measuring mission for the Doce River basin. **Engenharia Agrícola**, v.38, n.3, p.376-386, 2018.

JÚNIOR, V. T. M. M.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; ALVES, E. B. B. M.; PAIVA, H. N.; CRUZ, R. A.; ZANUNCIO, J. C. Early assessment of tree species with potential for carbono offset plantations in degraded área from the southeastern Brazil. **Ecological Indicators**, v. 98, p.854-860, 2019.

MASSARA, R. L.; PASCHOAL, A. M. O.; BAILEY, L. L.; DOHERTY JR, P. F.; HIRSH, A.; CHIARELLO, A. G. Factors influencing ocelot occupancy in Brazilian Atlantic Forest reserves. **Biotropica**, v.50, n.1, p.125-134, 2018.

MATOS, G. M. A. **Mata ciliar em processo de recuperação no baixo Rio São Francisco: florística e fitossociologia**. Dissertação em Agricultura e Biodiversidade, 88p. Universidade Federal do Sergipe, 2016.

MATTOS, J. B.; SANTOS, D. A.; FILHO, C. A. T. F.; SANTOS, T. J.; SANTOS, M. G.; DE PAULA, F. C. F. Water production in a Brazilian montane rainforest: Implications for water resources management. **Environmental Science & Policy**, v. 84, p.52-59, 2018.

MILLER, J.; CHANASYK, D.; CURTIS, T.; WILLMS, W. Influence of streambank fencing with a cattle crossing on riparian health and water quality of the Lower Little Bow River in Southern Alberta, Canada. **Agricultural Water Management**, v.97, n.9, p.248-258, 2010.

NOCE, C. M.; COSTA, A. G.; PIUZANA, D.; VIEIRA, V. S.; CARVALHO, C. M. Nota explicativa da folha Manhuaçu. **Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais**. 2007.

PIRES, A. P. F.; REZENDE, C. L.; ASSAD, E. D.; LOYOLA, R.; SCARANO, F. R. Forest restoration can increase the Rio Doce watershed resilience. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v.15, n.3, p.187-193, 2017.

RAMOS, R. I. **Alterações do Código Florestal Brasileiro e implicações na conservação de áreas naturais de topos de morros**. 85p. Dissertação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental pela Universidade Federal de São Carlos, 2018.

VIEIRA, P. D. **Análise do estado de conservação de nascentes do ribeirão Dores do Turvo**, MG. 19p. Trabalho Final de Curso, Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016.

VILLAR, M. B.; JACOVINE, L. A. G.; OLIVEIRA, A. C. C.; JACON, A. D.; SANTOS, M. O.; SOUZA, A. L. Incentivo ao manejo de bacias hidrográficas pelo Pagamento de Serviços Ambientais. Revitalização de nascentes para a produção de água. **Informe Agropecuário**, v.32, n.263, p.30-40, 2011.

SANGLARD, H.; OLIVEIRA, A. H.; SILVEIRA, R. Parque Natural Municipal do Sagui. ONG Força Verde. Disponível em: <http://ongforcaverde.blogspot.com/p/mapas-e-roteiros.html>. Acesso dia 18 de junho de 2019, 2010.

SILVA, A. P. M.; MARQUES, H. R.; SANTOS, T. V. N. N.; TEIXEIRA, A. M. C.; LUCIANO, M. S. F. SAMBUICHI, R. H. R. Diagnóstico da Produção de Mudas Florestais Nativas no Brasil (Relatório de Pesquisa). 58p. 2015.

SINISCALCHI, C. M.; LOEUILLE, B. F. P.; PIRANI, J. R. A new species of *Chresta* (Vernonieae, Asteraceae) endemic to Mata Atlântica Domain, Brazil. **Phytotaxa**, v.244, n.1, p80-88, 2016.

SONE, J. S.; GESUALDO, G. G.; ZAMBONI, P. A. P.; VIEIRA, N. O. M.; MATTOS, T. S.; CARVALHO, G. A.; RODRIGUES, D. B. B.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S. Water provisioning improvement through payment for ecosystem services. **Science of the Total Environment**, v.655, p.1197-1206, 2019.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. Práticas mecânicas de conservação do solo e da água. 216p. 2006.

TORRES, F. T. P. Mapeamento e análise de impactos ambientais das nascentes do córrego Alfenas, Ubá (MG). **Revista de Ciências Agroambientais**, v.14, p.45-52, 2016.

CAPÍTULO II

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE SUB-BACIAS DO RIO MANHUAÇU- MG COMO FERRAMENTA DE GESTÃO

RESUMO

Este capítulo tem por objetivo avaliar os parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu e sua influência nos processos erosivos. O estudo foi realizado a montante da cidade de Manhuaçu, onde foi feita a caracterização morfométrica em 23 sub-bacias com a utilização de mapas de relevo e hidrografia mapeada na escala 1:50000 para a formação de um modelo digital de elevação hidrograficamente consistente utilizando Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os parâmetros morfométricos foram submetidos à Análise de Componentes Principais (ACP) para indicar os mais significativos. A integral hipsométrica foi aplicada a todas as sub-bacias para analisar o estágio de desenvolvimento geológico das sub-bacias. Dentre as 23 sub-bacias avaliadas, houve variação de 1,32 km² a 243,94 km² de área da bacia. Os parâmetros morfométricos avaliados que foram mais significativos na ACP foram: intensidade de drenagem, eixo da bacia, perímetro e amplitude altimétrica. Cerca de 70% da bacia apresenta relevo ondulado a fortemente ondulado e mais de 20% da bacia é montanhoso e fortemente montanhoso. As sub-bacia do Rio Manhuaçu possuem grande diferença no valor da integral hipsométrica, variando de 0,23 a 0,78 para as sub-bacias 22 e 17 respectivamente. Dentre as sub-bacias analisadas, podemos destacar as sub-bacias 9, 10 e 23 por apresentarem estágio juvenil, elevada rede de drenagem e amplitude altimétrica. A análise de características morfométricas da bacia Manhuaçu permite subsidiar a escolha de sub-bacias prioritárias para o manejo e eficaz para estudos hidrológicos

1. INTRODUÇÃO

As características físicas da bacia estão relacionadas à infiltração de água no solo e a velocidade de escoamento superficial (ABUD et al., 2015; LEAL; TONELLO, 2016; FENTA et al., 2017). A análise morfométrica é uma ferramenta para a caracterização da bacia hidrográfica, onde estudos pioneiros de Horton (1932, 1945) demonstraram a importância da análise morfométrica quantitativa para compreensão da hidrologia e da geomorfologia em bacias hidrográficas.

Dessa forma, estudos morfométricos são fundamentais na caracterização de bacias hidrográficas, bem como na determinação de suas limitações e potencialidades quanto ao uso do solo, favorecendo assim o planejamento adequado das atividades a serem desenvolvidas (SANTOS et al., 2012; SINGH et al., 2014; FARIAS et al., 2015).

A caracterização morfométrica auxilia no maior entendimento dos processos hidrológicos ocorrentes na bacia hidrográfica, possibilitando uma melhor gestão dos recursos hídricos (FARIAS et al., 2015; LEAL; TONELLO, 2016). A associação das características morfométricas da bacia e a geomorfologia do local foi verificada por diversos autores (SHARMA et al., 2014; ELEWA et al., 2016; AHMED et al., 2017) utilizando métodos para a classificação de bacias prioritárias para manejo.

Além da caracterização morfométrica, o perfil topográfico e proporção da bacia para os processos erosivos são fundamentais nas decisões de manejo (SINGH et al., 2008; DIKPAL et al., 2017; RICHARDSON, et al., 2016). Uma análise utilizada para estes processos é a integral hipsométrica, um estudo da distribuição de área transversal horizontal em relação a elevação (STRAHLER, 1952). DIKPAL et al (2017) observaram a partir das curvas hipsométricas da bacia principal e das sub-bacias estágio maduro de desenvolvimento geomorfológico.

A priorização de sub-bacias considerando a morfometria e geomorfologia local é requerida pela maior eficiência para o manejo e gestão (NIKAM et al., 2014; RAHAMAN et al., 2015; AHAMED et al., 2017; CHANDNIHA; KANSAL 2017; KADAM et al., 2017; MESHAM; SHARMA, 2018). No Brasil, os Comitês de Bacias são responsáveis pelo gerenciamento dos recursos hídricos dentro de uma bacia, sendo fundamental a destinação de recursos para locais prioritários favorecendo a melhor destinação de recursos financeiros (BRASIL, 1997).

2. OBJETIVOS

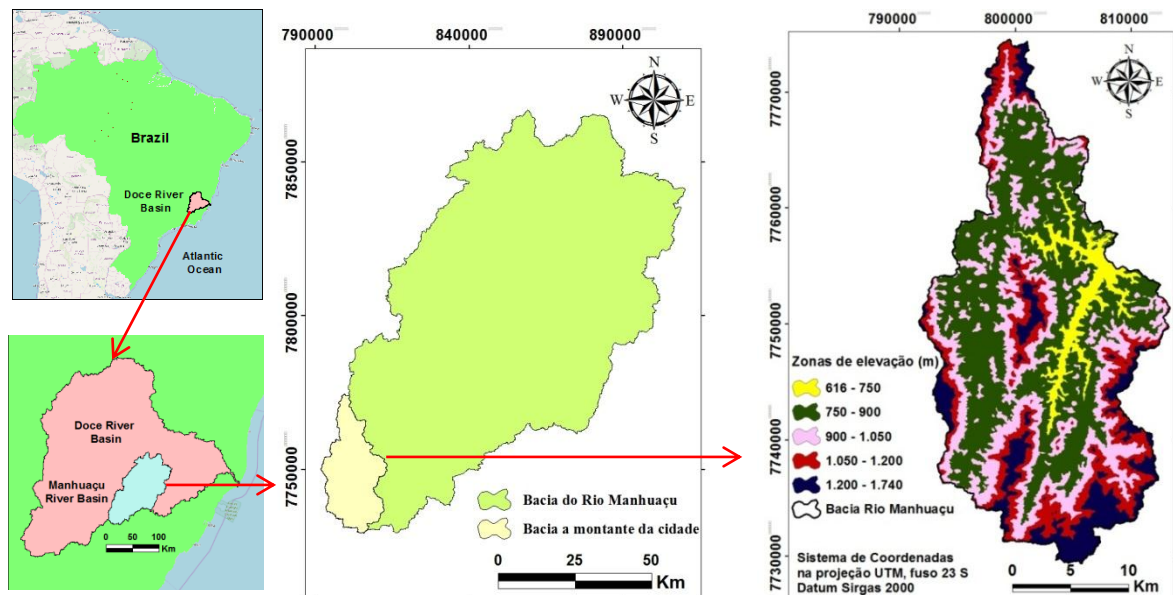
Os objetivos propostos por este trabalho foram: (i) avaliar e definir os parâmetros morfométricos que melhor explicam a variação nas sub-bacias hidrográficas do Rio Manhuaçu; (ii) comparar diferentes integrais hipsométricas quanto ao potencial de produção de sedimentos e o estágio geológico das sub-bacias (iii) priorizar sub-bacias para manejo baseado nos parâmetros morfométricos e nos valores da integral hipsométrica.

3. MATERIAS E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

A bacia do Rio Manhuaçu situa-se ao centro leste na bacia do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. Possui a nascente na Serra da Seritinga, no município de São João do Manhuaçu e sua foz no município de Aimorés no Rio Doce. O local avaliado no presente estudo limitou a foz a montante da sede do município de Manhuaçu, avaliando assim, a parte sudoeste da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu (Figura 1). A região foi escolhida por ser a montante da principal e maior cidade da bacia onde o Rio Manhuaçu passa no perímetro urbano, a ocorrência de enchentes é frequente e causadora de grandes prejuízos e impactos ambientais.

Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu (a); bacia montante a cidade de Manhuaçu (b) e representação tridimensional da bacia (c).



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa

A bacia possui as formações geológicas: Complexo Juiz de Fora, Complexo Mantiqueira e granitoides brasileiros com gnaiss tonalítico de Manhuaçu; estas formações geológicas estão sob o domínio morfoclimáticos mares de morro, que apresentam relevos fortemente acidentados (NOCE et al., 2007).

Na região, a principal atividade agrícola é a cafeicultura, sendo Manhuaçu o principal produtor nacional de café arábica familiar com 2.815 propriedades (IBGE, 2016), acompanhado da pecuária leiteira e silvicultura (OVIEDO-PASTRANA et al., 2014).

Existe a predominância do Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho, Cambissolo Húmico nas maiores elevações ao sul da bacia e Neossolo Litólico. A vegetação típica é floresta estacional semidecidual e campos rupestres em menor significância (DPS 2010). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Cwb, apresentando clima temperado húmido com inverno seco e verão temperado.

A precipitação média é de 1.334 mm ano⁻¹ apresentando 80% do total precipitado no período de outubro a abril (Alvares et al, 2013). De acordo com as normais climatológicas de pluviômetros localizados próximos ao local verificaram variação de 905 a 2.193 mm ano⁻¹ (<http://ruygripp.com.br>). Os municípios de São João do Manhuaçu e Luisburgo estão com toda a área territorial inserida na bacia, e o município de Manhuaçu possui 41,61% de seu território inserido dentro da área considerada pelo estudo.

Processamento dos dados

A delimitação da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu foi através da utilização da base de dados de curvas de nível, pontos cotados (<http://iede.fjp.mg.gov.br/>) e hidrografia mapeada (<http://www.ibge.gov.br/>), ambos na escala 1:50.000. Os dados foram reprojatados e utilizados para a geração de um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC). Um MDEHC caracteriza-se por possuir uma coincidência acentuada entre a hidrografia numérica (raster) com a hidrografia mapeada (vetorial).

Para a geração do MDEHC foi necessário conectar a hidrografia, orientar sentido a foz e unifilar, e corrigir erros das curvas de nível para posterior utilização do interpolador Topo to Raster, específico para a geração de um modelo que acompanha as mudanças bruscas no terreno, como os cursos d'água. Após a geração do modelo, possíveis anomalias são corrigidas para garantir que a água fluirá dos locais mais elevados para os locais mais baixos.

Para gerar a hidrografia, é necessário um método sistemático e organizado para obter resultados precisos, para isso e a direção do fluxo e o fluxo acumulado em cada célula

indicam onde as áreas do canal foram estabelecidas. Portanto, o programa indica o local dos principais canais. A saída desse método é uma base para a criação de vetores de ordem de fluxo que correspondem à hierarquia de rios de acordo com os números de ordem de Strahler (1964). O processamento dos dados e as análises foram realizadas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), software ArcGIS 10.2.2.

A obtenção dos parâmetros geométricos da bacia, da rede de drenagem e do relevo foi utilizando ferramentas de análise espaciais. Foi selecionado apenas bacias com ordenamento de canais superior a 3ª ordem (Strahler, 1964), totalizando 23 sub-bacias. A caracterização de todas as 90 sub-bacias seria de difícil apresentação neste trabalho, justificando a escolha de caracterizar apenas as superiores a ordem 3. Os parâmetros estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1. Parâmetros morfométricos analisados nas sub-bacias do Rio Manhuaçu, MG.

Parâmetros morfométricos	Métodos	Referências
Geometria da Bacia		
Comprimento do eixo (Lb) (Km)		Horton (1945)
Perímetro (P) (Km)	#	#
Área (A) (Km ²)	#	#
Fator de forma (Ff)	$Ff = A / Lb^2$	Horton (1932)
Razão de alongação (Re)	$Re = 1,128 A^{0,5} / Lb$	Schumm (1956)
Índice de circularidade (Rc)	$Rc = 4\pi A / P^2$	Miller (1953)
Coefficiente de compacidade (Cc)	$Cc = P / 2(\pi A)^{0,5}$	Grevelius (1941)
Rede de drenagem		
Ordem dos canais (U)	Ordem hierárquica	Strahler (1964)
Número de canais (Nu)	$Nu = N1 + N2 + \dots + Nn$	Horton (1945)
Comprimento dos canais (Lu) (Km)	$Lu = L1 + L2 + \dots + Ln$	Horton (1945)
Comprimento médio dos canais (Lm) (Km)	$Lm = Lu / Nu$	Strahler (1964)
Razão de bifurcação (Rb)	$Rb = Nu / Nu + 1$	Horton (1945)
Razão de bifurcação média (Rbm)	$Rbm = \sum Rb / n$	Schumm (1956)
Frequência dos canais (Fs)	$Fs = Nu / A$	Horton (1945)
Densidade de drenagem (Dd) (km/km ²)	$Dd = Lu / A$	Horton (1932)
Intensidade de drenagem (Di)	$Di = Fs / Dd$	Faniran (1968)
Características do relevo		
Elevação na foz (emin) (m)	#	#
Elevação máxima (emax) (m)	#	#
Amplitude altimétrica (H)	$H = emax - emin$	Strahler (1952)
Razão de relevo	$Rr = H / Lb$	Melton (1957)
Número de rugosidade	$Rn = H \times Dd$	Strahler (1954)
Orientação	Face de apresentação da foz a uma das direções cardiais	Tonelo (2006)

Fonte: Rodolfo Alves Barbosa

Análise dos componentes principais

A análise de componentes principais (ACP) foi aplicada no conjunto de dados dos parâmetros morfométricos de todas as sub-bacias para verificar as variáveis intercorrelacionadas e resumir as informações, destacando os parâmetros de maior influência ou explicativos desses dados.

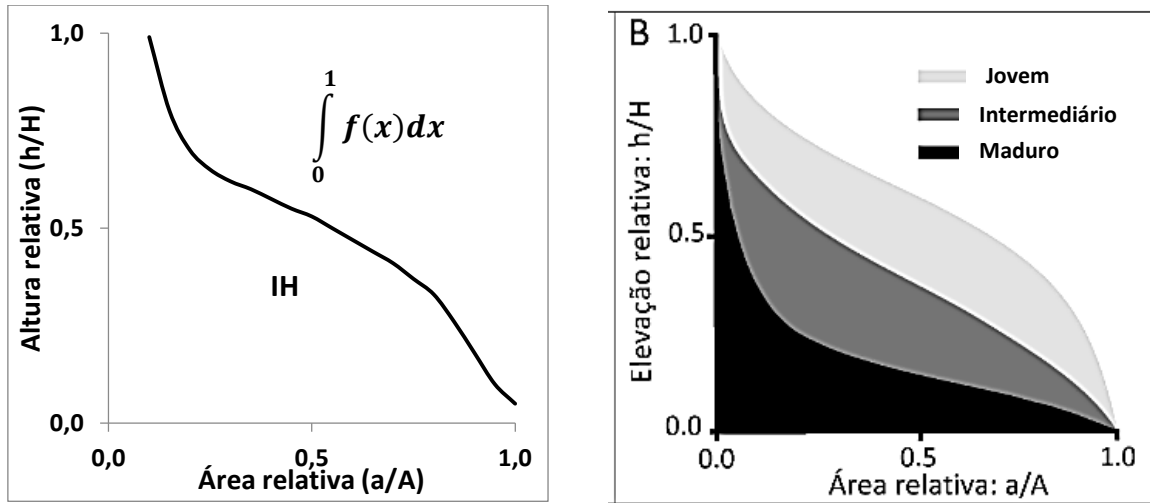
Os dados foram processados no Excel e a análise feita usando o programa R v.3.5 (R CORE TEAM, 2018).

Curva hipsométrica

A curva hipsométrica foi realizada para avaliar a relação entre a área transversal horizontal e elevação, representando o relevo da bacia hidrográfica. Na geração da curva hipsométrica (CH) foi considerado a função relacionada a elevação relativa com a área relativa. A CH pode ser considerada como uma função cumulativa de distribuição de probabilidades de elevações, assim a CH pode ser representada por uma função polinomial contínua com a forma: $f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$, onde: $F(x)$ é a função polinomial da CH por regressão e $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ são os coeficientes. Para representação total da bacia hidrográfica, a área da CH pode ser chamada de Integral Hipsométrica, que representa a fração relativa de superfície terrestre que permanece acima do plano base, calculado pela integral de $F(x)$ entre os limites da área. Esta integral pode ser assim resolvida: $IH = \iint R \, dx \, dy = \int_0^1 f(x) \, dx = \sum_1^{10} \frac{ak}{K+1}$, onde: $F(x)$ é o valor unitário definido pelo eixo área e altitude, R é a representação total da área, e K é o valor médio da cota.

A curva é criada plotando a proporção da altura total da bacia ($h / H =$ altura relativa) em relação à proporção da área total da bacia ($a / A =$ área relativa). A forma da curva hipsométrica está relacionada ao estágio de desenvolvimento geomórfico da bacia. As curvas hipsométricas convexas são típicas de um estágio jovem, as curvas em forma de S estão relacionadas a um estágio de maturidade, e as curvas côncavas são indicativas de um estágio elevado de erosão, apresentando montanhas isoladas circundada de região pouco inclinada (Figura 2).

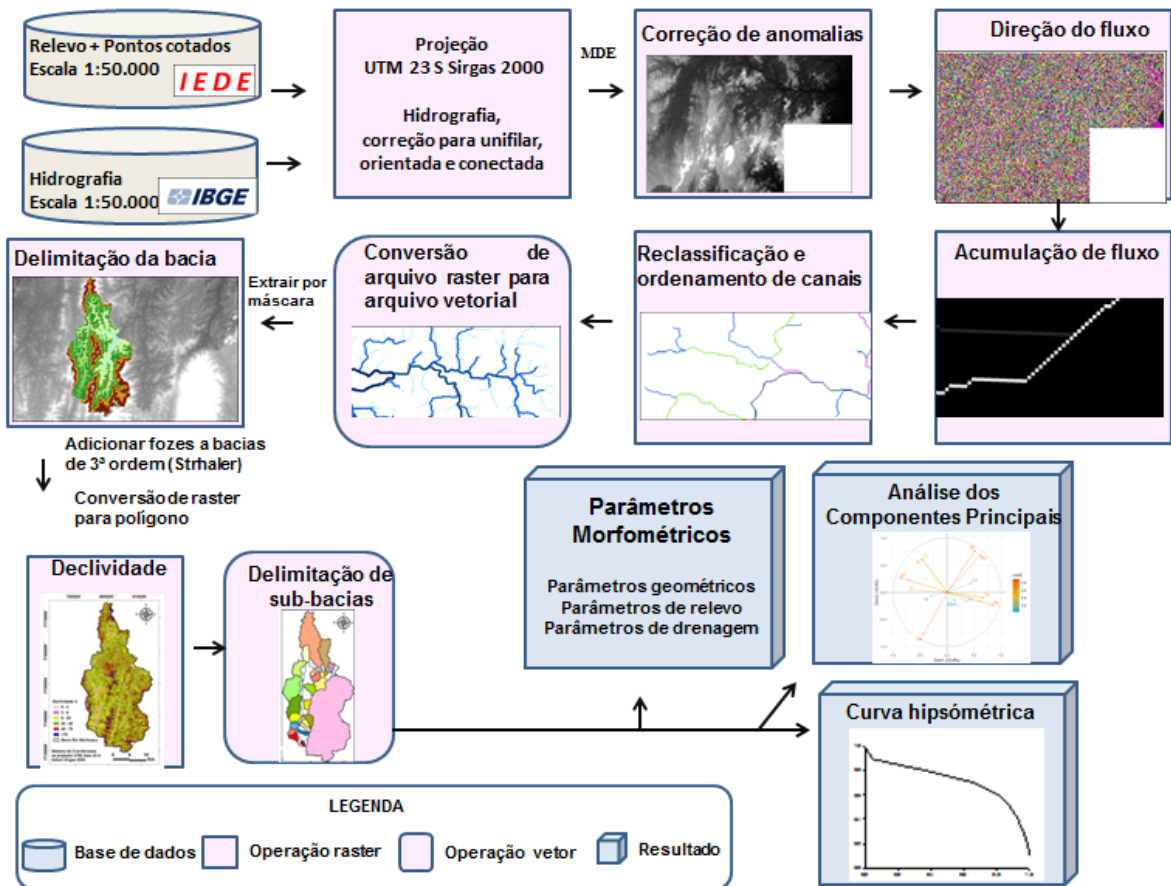
Figura 2. Representação gráfica de curvas hipsométricas de bacias hidrográficas.



Fonte: Stralher, (1957); Adaptado de Filho et al, (2011).

A descrição da metodologia é apresentada na figura 3.

Figura 3. Fluxograma dos comandos utilizados no ArcGIS para extração e análises dos parâmetros da bacia hidrográfica.



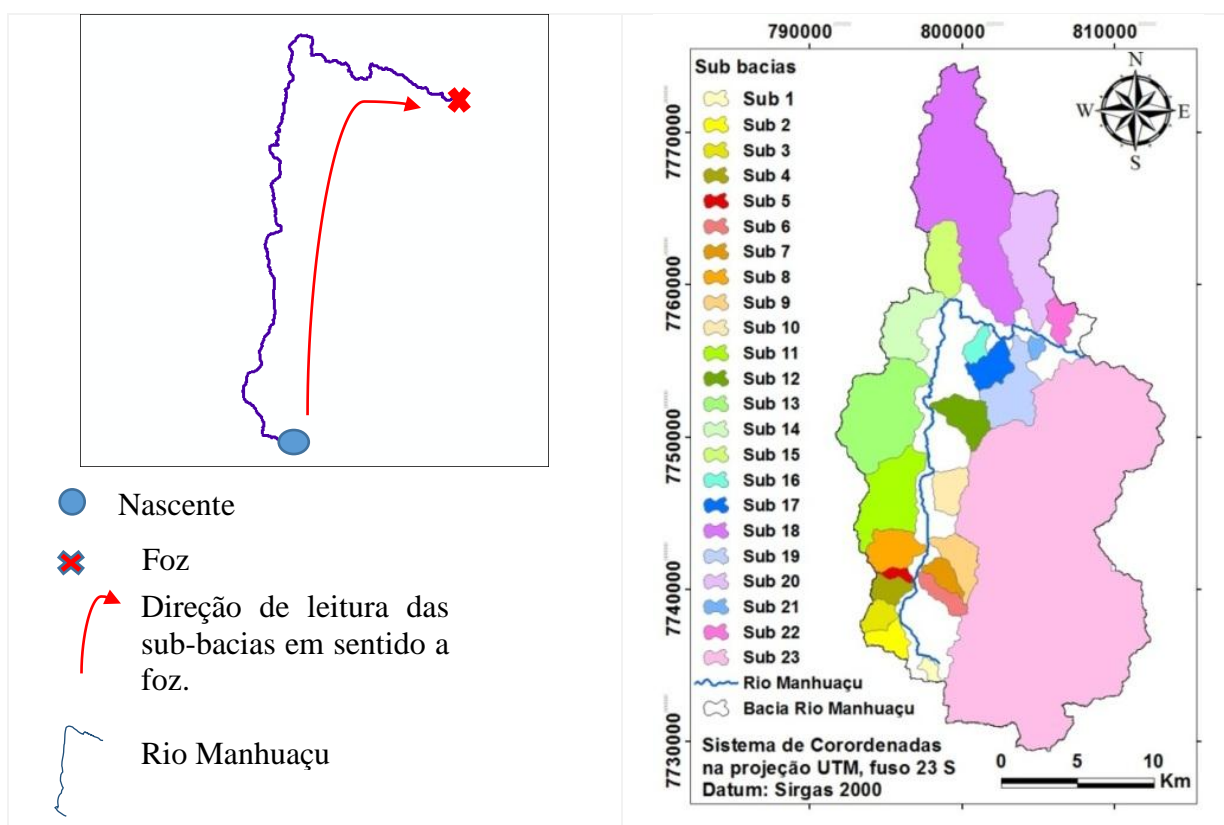
Fonte: Rodolfo Alves Barbosa

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros geométricos

A bacia do Rio Manhuaçu possui área de 550,03 km² e perímetro de 187,47 km até a foz, montante a sede do município de Manhuaçu-MG. Dentre as 23 sub-bacias avaliadas, houve variação de 1,32 km² a 243,94 km² de área da bacia, correspondendo a 86,24% da área total da bacia hidrográfica avaliada (Figura 4, Tabela 2). A área da bacia pode ser definida como a área total projetada sobre um plano horizontal contribuindo para o acúmulo de todos os canais da bacia. A área da bacia possui relação com a potencialidade para produção hídrica, da ordem dos canais em uma bacia e do tempo de concentração da água de vazão (SCHUMM, 1956; DIKPAL et al., 2017). Bacias de maiores dimensões, como a 23 e 18 possuem um potencial maior na produção de água, pois aumenta a possibilidade de área sobreposta por nuvens e distribuição espacial de chuvas.

Figura 4: Sub-bacias do Rio Manhuaçu com ordem superior a 3ª ordem (Strahler, 1964).



. O fator de forma (Ff) é parâmetro definido pela razão entre a área da bacia e a área de um quadrado (Horton 1932), o valor adimensional se aproximando da unidade indica uma bacia de formato mais uniforme e quanto mais distante deste valor indica uma bacia de

formato mais alongado, com menor susceptibilidade de enchentes. Dentre as sub-bacias avaliadas, a 9 e a 10 tiveram os maiores valores do fator de forma 0,60 e 0,55 respectivamente (Tabela 1). Ali et al., (2017) verificaram grandes variações no valor de fator de forma entre as sub-bacias do rio Gilgit, onde a bacia com forma mais próxima de um quadrado apresentou fator de forma 0,84, sendo considerada prioritária para práticas de manejo devido ao menor tempo de concentração da vazão

Tabela 1. Parâmetros de Geometria, Rede de drenagem e Características do relevo da Bacia hidrográfica do rio Manhuaçu, Minas Gerais.

Parâmetros de Geometria							
Sub-bacia	Lb	P	A	Ff	Re	Rc	Cc
1	1,96	5,64	1,35	0,35	0,67	0,53	1,37
2	2,86	10,37	4,24	0,53	0,82	0,50	1,42
3	2,60	8,00	3,64	0,54	0,83	0,71	1,18
4	4,17	8,64	3,72	0,41	0,72	0,63	1,26
5	2,49	6,02	1,33	0,21	0,52	0,46	1,47
6	2,60	10,45	3,67	0,21	0,52	0,42	1,54
7	3,79	8,95	3,45	0,29	0,61	0,54	1,36
8	4,10	12,36	7,84	0,47	0,77	0,64	1,24
9	5,11	13,61	6,94	0,60	0,87	0,47	1,46
10	7,47	9,98	5,62	0,55	0,84	0,71	1,19
11	5,19	22,30	18,21	0,31	0,63	0,46	1,47
12	4,24	12,82	7,60	0,47	0,77	0,58	1,31
13	7,60	24,29	29,42	0,51	0,81	0,63	1,26
14	5,11	17,75	12,13	0,46	0,77	0,48	1,44
15	5,19	13,76	9,59	0,36	0,67	0,64	1,25
16	2,76	7,53	2,59	0,34	0,66	0,57	1,32
17	3,79	11,53	5,86	0,41	0,72	0,55	1,34
18	17,56	49,61	64,63	0,21	0,52	0,33	1,74
19	6,22	20,17	12,73	0,33	0,65	0,39	1,59
20	9,33	25,12	21,82	0,25	0,56	0,43	1,52
21	1,66	4,73	1,31	0,48	0,78	0,74	1,17
22	3,31	9,87	4,02	0,37	0,68	0,52	1,39
23	26,01	86,87	242,94	0,36	0,68	0,40	1,57

Em que: Lb= Comprimento do eixo (Km); P= Perímetro (Km); A= Área (Km²); Ff= Fator de forma; Re= Razão de alongação; Rc= Índice de circularidade; Cc= Coeficiente de compacidade. ; (Km);

A Razão de alongação (Re) é a relação entre o diâmetro de um círculo de área igual da bacia e comprimento do eixo da bacia. Quando a razão tende para unidade (Re = 1,0) indica que a bacia tem tendências ao formato circular, que, por sua vez, favorece as inundações e cheias rápidas (DIKPAL et al., 2017). Dentre as sub-bacias analisadas, os maiores valores para de Re foram 0,87 e 0,84 para as sub-bacias 9 e 10 respectivamente.

O índice de circularidade (R_c) é a relação existente entre a área da bacia e a área de um círculo de igual ao perímetro da bacia. As sub-bacia 5, 6 e 18 apresentaram menor índice de circularidade (0,52), indicando uma bacia mais alongada, com menor risco de elevados picos de vazão, possuindo menor risco de inundação repentina. Santos et al., (2012) observaram baixo risco de inundação para as sub-bacias hidrográficas Córrego Perdizes e Forjo que apresentaram baixos valores de índice de circularidade, 0,27 e 0,29 respectivamente.

O coeficiente de compacidade (C_c) relaciona a forma da bacia com a de um círculo. Os menores valores foram para as sub-bacias 10 e 21 com 1,19 e 1,17, respectivamente, indicando a forma mais concêntrica, aumentando os riscos de inundação. Tonello et al. (2016) verificaram, para a bacia do Córrego Ipaneminha de Baixo, coeficiente de compacidade 1,25, índice de circularidade 0,63 e fator de forma 0,34, onde analisados em conjunto indicam forma oblonga/ovalada.

Os parâmetros geométricos são importantes para verificar variação na vazão em bacias hidrográficas. Arulbalaji; Gurugnanam, (2017) utilizando dados SRTM e ferramentas geoespaciais para a análise morfométrica da bacia de Sarabanga, rio Cauvery, Índia, observaram fator de forma de 0,23 e índice de circularidade de 0,36, indicando um formato alongado, favorecendo um maior tempo de concentração após as precipitações.

Parâmetros da rede de drenagem

A ordem dos cursos d'água (U) representa o grau de ramificação do sistema de drenagem da bacia. Pelo sistema de Strahler (1964), os canais sem tributários são considerados como de primeira ordem; da confluência de dois canais de primeira ordem surgem os canais de segunda ordem, e assim sucessivamente, sendo a ordem da bacia hidrográfica correspondente ao valor do canal de maior ordem. A bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu é uma bacia de sétima ordem. Entre as sub-bacias avaliadas, 69 % são de terceira ordem, 21 % de quarta ordem, e apenas uma sub-bacia de quinta e uma de sexta ordem.

A razão de bifurcação média (R_{bm}) expressa a relação entre o número de canais de uma ordem e o número de canais da ordem imediatamente superior (Strahler, 1964). A sub-bacia 13 apresentou a maior R_{bm} (6,81) indicando algum controle geológico podendo produzir um fluxo de vazão de pico baixo, porém mais prolongado que uma R_{bm} baixa, que tende a apresentar um elevado pico de vazão.

A densidade de drenagem (Dd), proposta por Horton (1932) correlaciona o comprimento total dos canais com a área da bacia hidrográfica, indica a proximidade entre canais. As sub-bacias estudadas apresentam densidade de drenagem, com valores entre 1,81 km.km² (sub-bacia 3) e 2,80 km.km² (sub-bacia 14). A frequência de canais apresentou valores entre 2,60 canais.km² e 6,07 canais.km² nas sub-bacias (Tabela 2). Fraga et al. (2014) verificaram baixa densidade (0,34 km.km²), indicando baixa susceptibilidade a enchente da bacia.

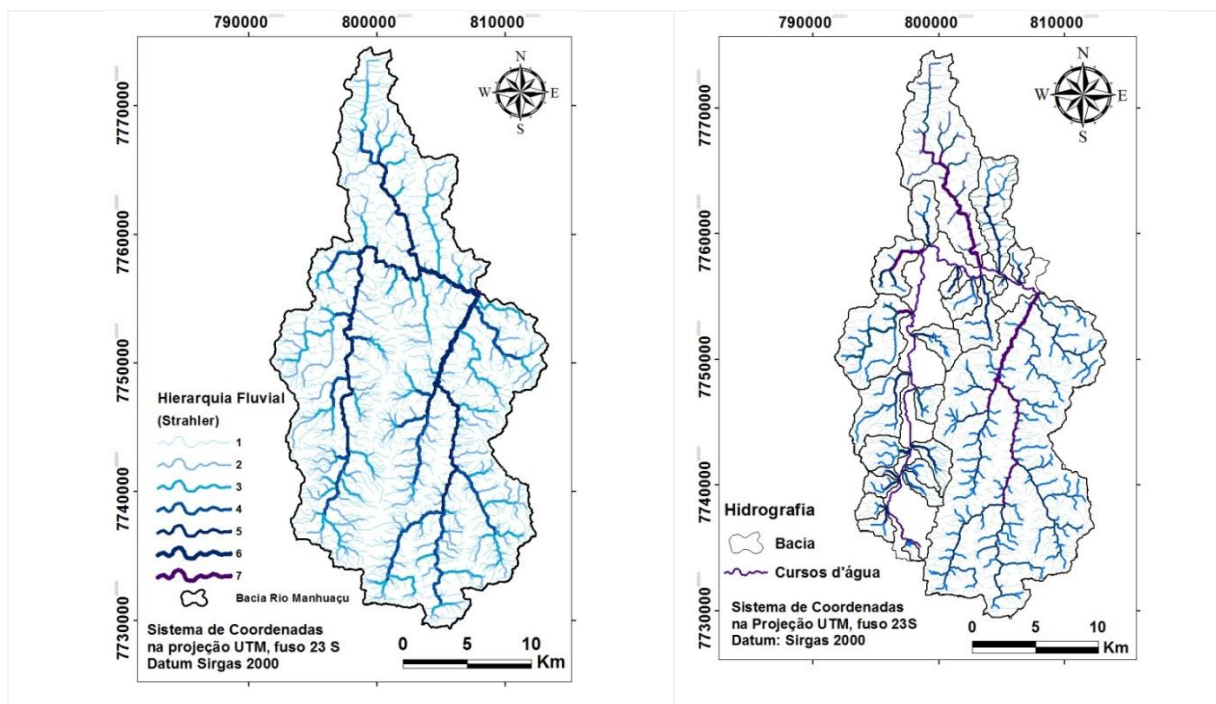
A intensidade de drenagem (Di) indica a razão entre a frequência dos canais e a densidade de drenagem. A sub-bacia 21 apresentou maior intensidade de drenagem entre as sub-bacias avaliadas (2,4) indicando uma bacia com elevada drenagem. Farhan et al. (2016) observaram intensidade de drenagem média 1,1 para 43 sub-bacias acima de 4º ordem do Rio Zerqa, Jordânia.

Tabela 2. Parâmetros da Rede de drenagem Bacia hidrográfica do rio Manhuaçu, Minas Gerais.

Parâmetros da Rede de Drenagem								
Sub-bacia	U	Nu	Lu	Lm	Rbm	Fs	Dd	Di
1	3	7	3,29	0,47	2,00	5,17	2,43	2,12
2	3	15	7,68	0,51	2,20	3,73	1,91	1,95
3	3	11	8,42	0,77	1,75	3,02	2,31	1,31
4	3	17	9,98	0,59	2,25	4,57	2,68	1,70
5	3	7	3,52	0,50	2,00	5,25	2,64	1,99
6	3	13	8,65	0,67	1,70	3,49	2,32	1,50
7	3	9	7,77	0,86	2,33	2,60	2,25	1,16
8	4	25	21,37	0,85	2,43	3,19	2,73	1,17
9	3	27	18,00	0,67	1,71	3,89	2,59	1,50
10	3	31	15,77	0,51	1,64	5,51	2,80	1,97
11	4	56	41,13	0,73	1,78	3,07	2,26	1,36
12	4	31	18,81	0,61	1,89	4,08	2,48	1,65
13	4	99	63,19	0,64	6,81	3,36	2,15	1,57
14	4	47	24,87	0,53	1,67	3,87	2,05	1,89
15	3	29	19,67	0,68	1,57	3,02	2,05	1,47
16	3	13	6,89	0,53	2,00	5,02	2,66	1,89
17	3	19	12,30	0,65	2,46	3,24	2,10	1,54
18	5	181	127,64	0,71	2,12	2,80	1,97	1,42
19	3	41	28,36	0,69	1,74	3,22	2,23	1,45
20	3	59	39,54	0,67	1,54	2,70	1,81	1,49
21	3	8	3,33	0,42	2,25	6,07	2,52	2,40
22	3	15	7,68	0,51	2,20	3,73	1,91	1,95
23	6	1099	584,61	0,53	1,87	4,51	2,40	1,88

Onde: Ordem dos canais; Nu= Número de canais; Lu= Comprimento dos canais (Km); Lm=Comprimento médio dos canais (Km); Rbm= Razão de bifurcação média; Fs= Frequência dos canais; Dd= Densidade de drenagem (km/km²); Di=Intensidade de drenagem.

Figura 5. Hierarquia fluvial (Strahler, 1964) (a); Ordenação dos rios de cada sub-bacia do rio Manhuaçu (b), Minas Gerais.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa

Características do relevo

A amplitude altimétrica (H) foi de 1.124 m na bacia do Rio Manhuaçu, com a variação mínima ocorrendo na sub-bacia 6, com 232 m e as sub-bacias 1, 4 e 5 registraram os maiores valores: 1.119 m, 955 m e 909 m respectivamente (Tabela 3). Em bacias com maiores dimensões a presença de maiores amplitudes altimétricas ocorre com maior frequência (FARIAS et al, 2015).

A relação de relevo (Rr) representa a variação da altitude em uma unidade de área com relação ao nível da base local. Mede a declividade global da bacia hidrográfica e indica a intensidade dos processos de erosão que operam nas encostas das bacias. Por serem mais íngremes, as sub-bacias menores tendem a apresentar maior intensidade dos processos de erosão do curso d'água principal. A sub-bacia 1 e 5 apresentaram os maiores valores de razão de relevo, 0,29 e 0,25 respectivamente, indicando como as mais declivosas, sendo necessária a adoção de técnicas de conservação da água. Arulbalaji; Gurugnanam, (2017) observaram razão de relevo (0,02) para a bacia de Sarabanga, rio Cauvery, Índia, resultando em uma baixa produção de sedimento por unidade de área.

Número de rugosidade (Nr) é o produto da amplitude altimétrica com a densidade de drenagem, este é um índice útil para indicar o potencial de inundação (ARULBALAJI;

GURUGNANAM, 2017). A sub-bacia 14 apresentou o menor valor (0,53) e o maior foi para a sub-bacia 23 (2,68), indicam maior susceptibilidade à erosão na sub-bacia 23 e de apresentar picos de vazão em menor tempo de concentração. Altaf et al., (2015) avaliaram as características morfométricas de sub-bacias do Rio Lidder verificaram para definir e observaram uma variação entre o número de rugosidade variando entre 0,54 e 1,19, aumentando a susceptibilidade de erosão.

Tabela 3. Parâmetros das características do relevo da Bacia hidrográfica do rio Manhuaçu, Minas Gerais.

Características do Relevo						
Sub-bacias	Emin	E_{max}	H	Rr	Nr	Orientação
1	921,35	1499,04	577,69	0,29	1,40	Noroeste
2	830,43	1169,43	339,00	0,12	0,73	Nordeste
3	830,61	1234,78	404,17	0,15	0,93	Nordeste
4	821,78	1437,63	615,85	0,20	1,65	Leste
5	822,41	1433,35	610,94	0,24	1,61	Leste
6	817,85	1623,85	806,00	0,19	1,87	Sudeste
7	817,91	1611,41	793,50	0,23	1,78	Noroeste
8	811,25	1597,23	785,98	0,19	2,14	Leste
9	810,37	1623,85	813,48	0,16	2,10	Noroeste
10	804,54	1340,95	536,41	0,17	1,50	Noroeste
11	802,04	1584,07	782,03	0,10	1,76	Nordeste
12	792,33	1580,38	788,05	0,18	1,95	Noroeste
13	784,35	1401,70	617,35	0,08	1,32	Nordeste
14	758,51	1019,21	260,70	0,05	0,53	Nordeste
15	756,93	1242,94	486,01	0,09	0,99	Sul
16	699,73	1323,82	624,09	0,22	1,66	Nordeste
17	691,60	1498,27	806,67	0,21	1,69	Nordeste
18	673,43	1628,50	955,07	0,05	1,88	Sudeste
19	677,76	1587,67	909,91	0,07	2,03	Nordeste
20	667,23	1239,79	572,56	0,17	1,03	Sul
21	660,62	892,96	232,34	0,14	0,58	Nordeste
22	635,64	1008,45	372,81	0,11	0,71	Sudeste
23	617,89	1737,77	1119,88	0,04	2,68	Norte

Em que: Emin= Elevação na foz (m); emax=Elevação máxima (m); H=Amplitude altimétrica; Rr=Razão de relevo; Nr= Número de rugosidade.

A orientação da bacia interfere na exposição solar, promovendo maior conservação de água em bacias orientadas sentido sul-norte (TONELLO, 2006). Dentre as sub-bacias do presente estudo, 61% possuem orientação nordeste. Leal, Tonelo (2016) verificaram características físicas favoráveis à conservação da água com orientação norte, com 88 m de amplitude altimétrica na microbacia do Córrego Ipaneminha de Baixo.

A bacia está inserida na unidade geomofológica de serra da zona da mata, caracterizado pela presença de relevo fortemente ondulado, serras retilíneas e orientação nordeste (GATTO et al. 1983). Cerca de 70% da bacia apresenta relevo ondulado a fortemente ondulado e mais de 20% da bacia é montanhoso e fortemente montanhoso, o que agrava o risco de erosão e enchentes na região (Tabela 4, Figura 4). A variação espacial dos gradientes de inclinação influencia no escoamento e erosão na sub-bacia do Rio Thamirabarani (KALIRAJ et al., 2015).

A presença de terreno com elevada declividade dificulta as atividades agrícolas na região, principalmente a mecanização. Santinato et al., (2016) verificou menor rendimento com a colheita mecanizada do café em regiões declivosas, demandando 21, 6% a mais de tempo para realizar as operações. A técnica de microterraceamento surge como uma alternativa econômica viável para o trabalho semi-mecanizado para a cafeicultura de montanha, com potencial de reduzir o escoamento superficial e erosão (ALVES et al., 2017).

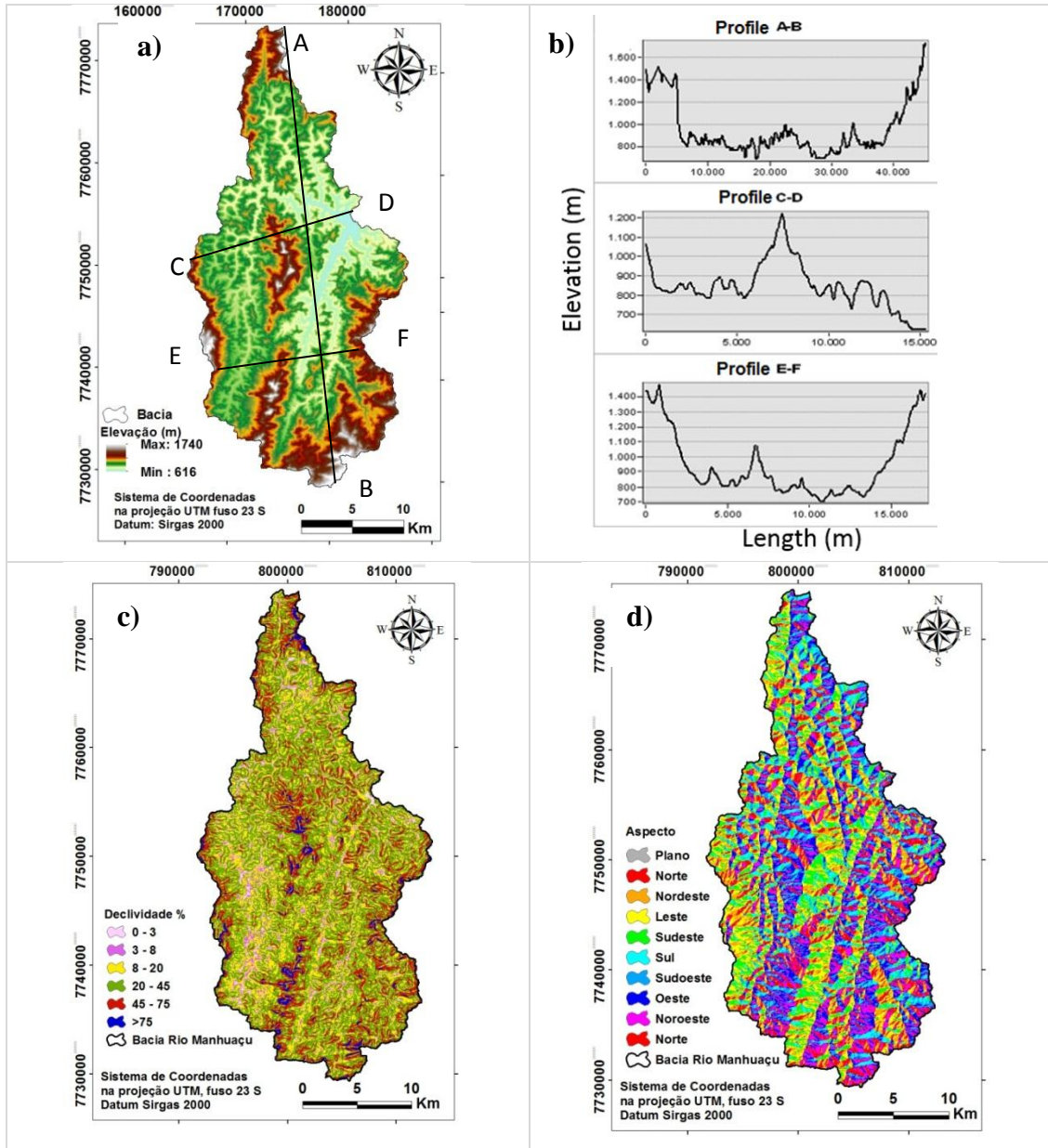
Tabela 4: Classes de Declividade da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, Minas Gerais.

Classificação	Declividade (%)	Área (Km²)	Área (%)
Relevo plano	0 – 3	24,44	4,44
Relevo suavemente ondulado	3 – 8	21,72	3,95
Relevo ondulado	8 – 20	106,29	19,32
Relevo fortemente ondulado	20 – 45	280,22	50,95
Relevo montanhoso	45 – 75	100,74	18,32
Relevo fortemente montanhoso	> 75	16,62	3,02
Total		550,03	

Fonte: Rodolfo Alves Barbosa

O aspecto está relacionado com orientação da encosta das montanhas, este parâmetro permite avaliar a interferência do sol no clima local e na vegetação (SINGH et al., 2014; KUMAR et al., 2017). Na bacia do Rio Manhuaçu, 13,5% das encostas estão com vertentes viradas a leste, ou seja, recebem a radiação solar direta pelo período da manhã, e, na parte da tarde, a radiação deixa de incidir diretamente, passando a ser sombreadas, contribuindo com temperaturas mais amenas nesta face, proporcionando maior teor de umidade e maior potencial na produção de café com elevada qualidade conforme observado por autores na região (SILVEIRA et al., 2016; FERREIRA et al., 2012).

Figura 4. Mapas de elevação (a); gráfico de irregularidade do terreno em diferentes perfis (b); mapa de classes de declividade (c) e mapa de perfil do terreno (d) na bacia do Rio Manhuaçu, Minas Gerais.

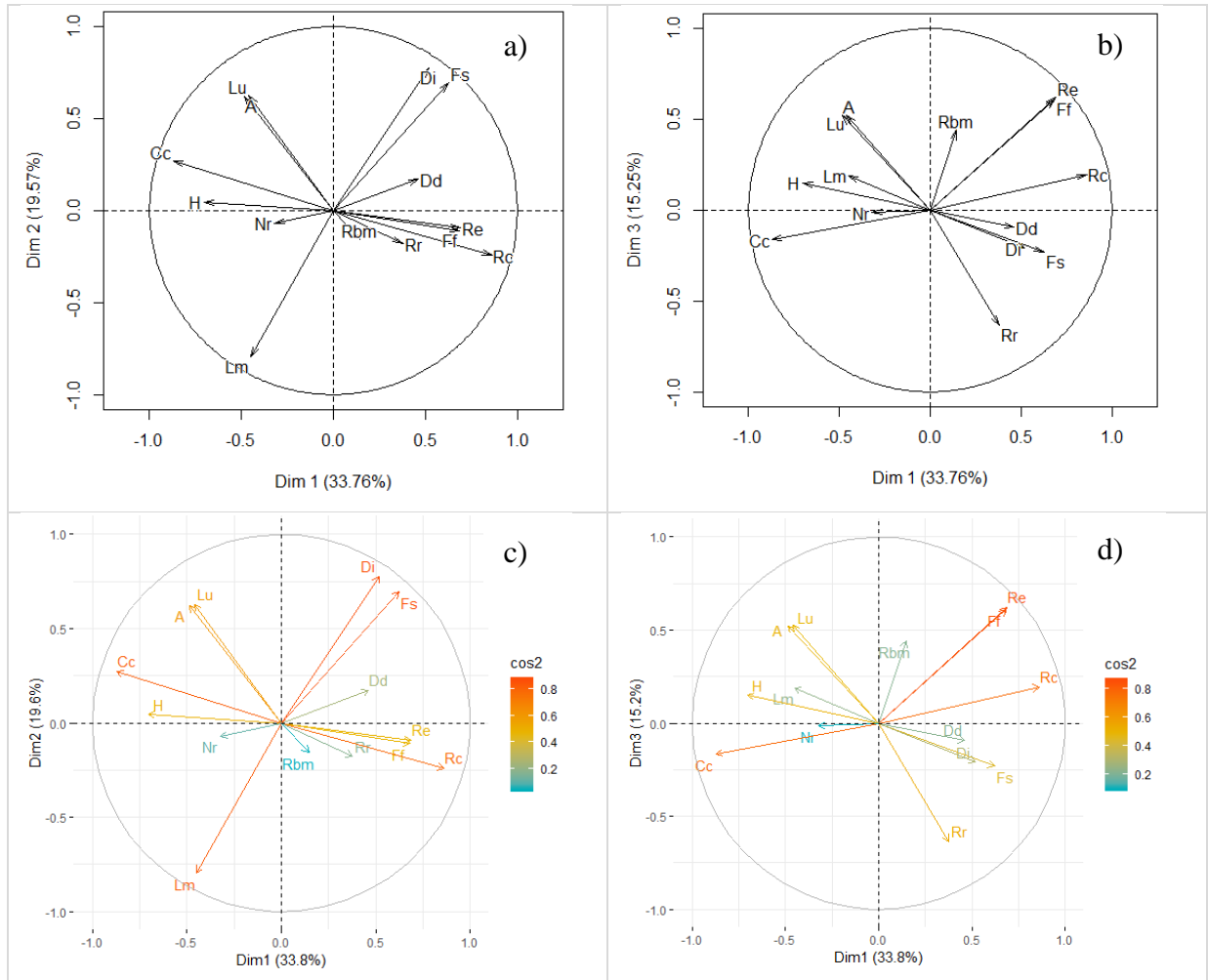


Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

Análise dos Componentes Principais

A análise dos componentes principais identificou quatro componentes para explicar 80,13% da variação total dos parâmetros morfométricos das 23 sub-bacias hidrográficas (Figura 5, Tabela 5).

Figura 5. Análise de Componentes Principais dos parâmetros morfométricas da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, Minas Gerais, onde: PC1 vs. PC2 (a) e PC1 vs. PC3 (b) com os parâmetros morfométricos e Cosseno quadrado dos parâmetros morfométricos para PC1 vs. PC2 (c) e PC1 vs. PC3 (d).



Em que: Lb= A= Área (Km²); Ff= Fator de forma; Re= Razão de alongação; Rc= Índice de circularidade; Cc= Coeficiente de compacidade; Lm=Comprimento médio dos canais (Km); Rbm= Razão de bifurcação média; F= Frequência dos canais; Dd= Densidade de drenagem (km/km²); Di=Intensidade de drenagem; U=Ordem dos canais; Lm=Comprimento médio dos canais (Km); Rbm= Razão de bifurcação média; F= Frequência dos canais; Dd= Densidade de drenagem (km/km²); Di=Intensidade de drenagem; H=Amplitude altimétrica; Rr=Razão de relevo; Nr= Número de rugosidade. Fonte: Rodolfo Alves Barbosa, Aline Gonçalves Spletzer.

A qualidade da representação das variáveis no mapa de fatores é chamada de cos2 (cosseno quadrado, coordenadas ao quadrado), quanto mais próximo da unidade, maior a qualidade de representação da variável (Figura 5).

O primeiro componente (Dim.1) explicou 33,76% da variação total, cujas variáveis com pesos significativos foram Rc, Re, Ff, Fs, Di, Dd, Lm, Lu, A, H e Cc. O segundo componente (Dim.2) representava 19,57% da variação total e teve Di, Fs, Lu, A e Lm com pesos significativos. O terceiro componente (Dim.3) foi carregado, principalmente, por Re,

Ff, Lu, A, Rbm e Rr com 15,25% da variação total. Os parâmetros Dd, H e Rr foram significativos com a o quarto componente principal representando 11,55% da variação dos parâmetros das bacias (Figura 5, Tabela 5).

Tabela 5. Autovalor (eigenvalue), variância total e porcentagem acumulada explicada dos parâmetros morfométricas da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, Minas Gerais.

PCA	eigenvalue	Variância Percentual	Variância percentual acumulada
Dim.1	4,73	33,76	33,76
Dim.2	2,74	19,57	53,33
Dim.3	2,13	15,25	68,58
Dim.4	1,62	11,55	80,13
Dim.5	1,10	7,89	88,02
Dim.6	0,84	5,98	94,00
Dim.7	0,48	3,40	97,40
Dim.8	0,25	1,79	99,20
Dim.9	0,08	0,57	99,77
Dim.10	0,02	0,16	99,93
Dim.11	0,01	0,05	99,98
Dim.12	0,00	0,01	99,99
Dim.13	0,00	0,01	100,00
Dim.14	0,00	0,00	100,00

Fonte: Rodolfo Alves Barbosa, Aline Gonçalves Spletozer.

O índice de circularidade e razão de alongação foram os parâmetros mais representativos para o Componente principal 1 (PC1) com 0,86 e 0,68 de correlação respectivamente (Tabela 6). As características morfométricas e os usos do solo variam espacialmente em bacias hidrográficas sendo que a distribuição de algumas atividades antrópicas está relacionada às características naturais, como relevo e disponibilidade hídrica (Farias et al., 2015).

Usmetsu et al. (2012) verificaram forte controle estrutural da drenagem da bacia hidrográfica do Rio Monte Sinai, MT, onde o uso e cobertura da terra, em sua maioria formada por pastagens e mata ciliar degradada, favorecem os processos erosivos, provocando a perda da fertilidade e aumento no assoreamento dos cursos d'água. A análise morfométrica possibilita maior entendimento dos processos hidrológicos ocorrentes na bacia hidrográfica possibilitando uma melhor gestão dos recursos hídricos (FARIAS et al., 2015; LEAL; TONELO, 2016).

Tabela 6. Contribuição dos parâmetros morfométrica na componente principal (PC) da bacia do Rio Manhuaçu, Minas Gerais.

PC	Parâmetros morfométricos	Sigla	Correlação com PC	p-value
PC1	Índice de circularidade	Rc	0,8609666	1,35E-07
	Razão de alongação	Re	0,687314	0,000291
	Fator de forma	Ff	0,6841719	0,000318
	Frequência dos canais	Fs	0,6236069	0,001476
	Intensidade de drenagem	Di	0,5192553	0,011113
	Densidade de Drenagem	Dd	0,4617916	0,026537
	Comprimento médio dos canais	Lm	-0,4508513	0,03084
	Comprimento dos canais	Lu	-0,460136	0,027155
	Área	A	-0,4863187	0,018623
	Amplitude altimétrica	H	-0,7034843	0,00018
	Coefficiente de compacidade	Cc	-0,8715721	6,15E-08
PC2	Intensidade de drenagem	Di	0,7752405	1,4E-05
	Fator de forma	Fs	0,6949367	0,000233
	Comprimento dos canais	Lu	0,6271537	0,001361
	Área	A	0,6198193	0,001608
	Comprimento médio dos canais	Lm	-0,7959667	5,58E-06
PC3	Razão de alongação	Re	0,6207344	0,001575
	Fator de forma	Ff	0,6090753	0,002038
	Comprimento dos canais	Lu	0,5254229	0,010033
	Área	A	0,5229332	0,010458
	Razão de bifurcação média	Rbm	0,4411161	0,035119
	Razão de relevo	Rr	-0,6359591	0,001108
PC4	Densidade de drenagem	Dd	0,7951212	5,8E-06
	Amplitude altimétrica	H	0,6172855	0,001701
	Razão de relevo	Rr	0,484796	0,019051

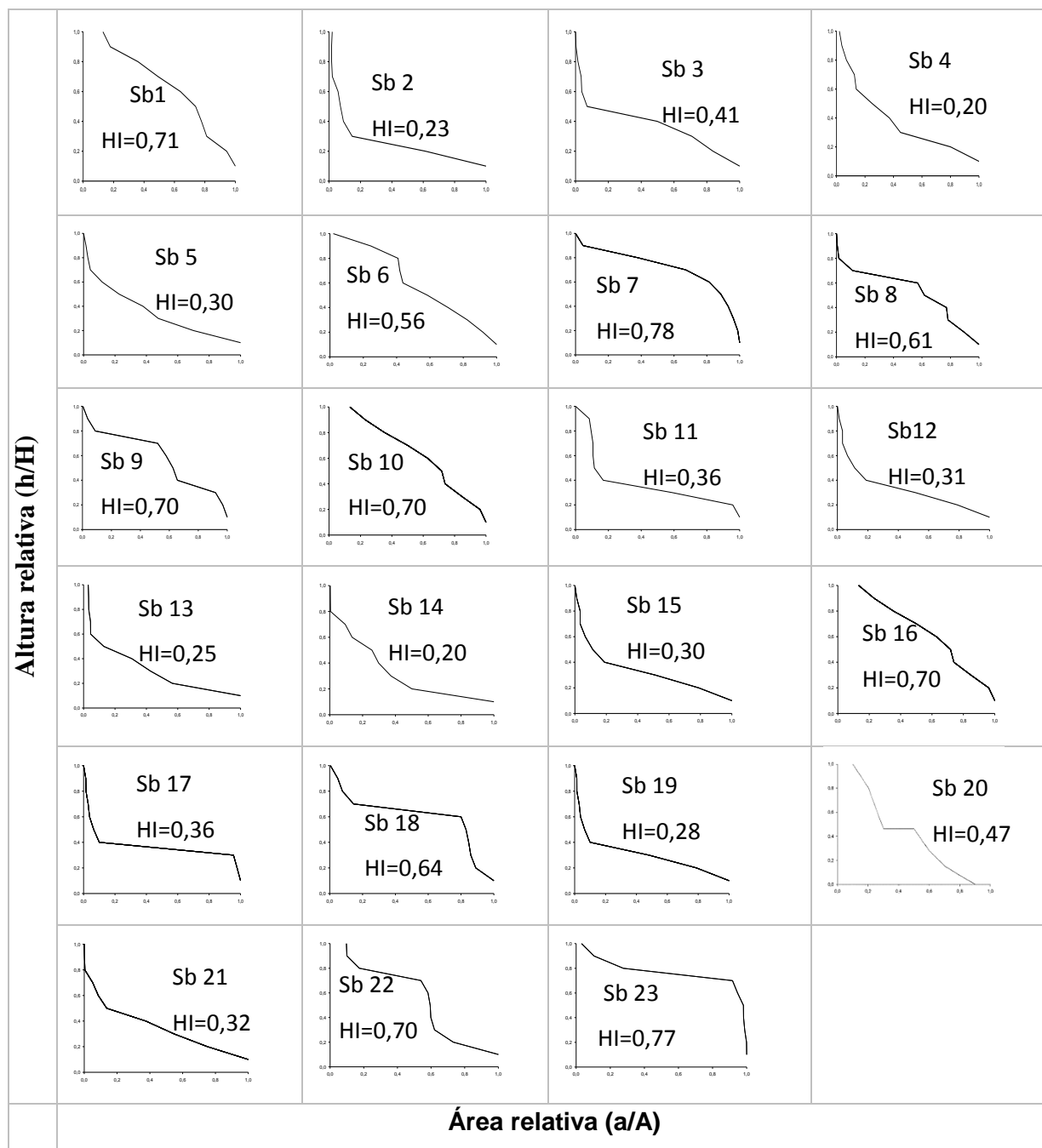
Fonte: Rodolfo Alves Barbosa, Aline Gonçalves Spletzer.

A priorização de sub-bacias para manejo através da análise de componentes principais de característica morfométricas tem sido utilizada por diversos autores (RAHAMAN et al., 2015; KADAM et al., 2017; CHOUDARI et al., 2018; MESHAM, SHARMA, 2018; (FARIAS et al (2005) fizeram uma análise morfométrica e de uso do solo em 26 sub-bacias da bacia do Arroio Candiota-RS e, através da análise dos componentes principais, as características de mais importantes foram evidenciadas, permitindo recomendações mais precisas.

Integral hipsométrica

A bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu possui grande diferença no valor da integral hipsométrica dentre as sub-bacias, variando de 0,20 a 0,78 para as sub-bacias 14 e 7 respectivamente (Figura 6).

Figura 6. Altura mediana e distribuição da área por cota de elevação (a); e curva hipsométrica (b) da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, Minas Gerais.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa

A sub-bacia 23 possui valor de integral hipsométrica elevado (0,77) apresentando forma convexa, indicando uma bacia em estágio juvenil, ou seja, 77% da massa rochosa original ainda estão presentes na bacia (Figura 6). Kaliraj et al., (2015) verificou que a sub-bacia do rio Thamirabani, Índia possui curva hipsométrica convexa, com valor de 0,49, e que possui uma rede de drenagem fortemente influenciada pelas estruturas geológicas e

geomofológicas da área provocando uma perda de solo de 65 t/km²/ano. Fenta et al. (2017) observaram predominância de relevo com formas acidentadas e integral hipsométrica 0,4 na bacia hidrográfica de Agula no semiárido da Etiópia, indicando um estágio maduro de evolução geomofológica.

A rede de drenagem possui relevo escarpado orientado sentido SO-NE, com forte predominância do relevo dissecado, influenciando no pico de vazão dos cursos d'água (NOCE et al., 2007; MACHADO; SILVA 2010). Singh et al (2008) observaram maior produção média de sedimentos em bacia com valor de integral hipsométrica mais elevado.

As análises morfométrica e hipsométrica de bacias auxiliam na determinação de bacias que possuam maior potencial de perda de água e solo, subsidiando a escolha para aplicação de locais prioritários (DIKPAL et al., 2017; BALASUBRAMANIAN et al., 2017; MESHAM et al., 2018).

Dentre as sub-bacias analisadas, podemos destacar as sub-bacias 9, 10 e 23 e por apresentarem estágio juvenil, elevada rede de drenagem e elevada amplitude altimétrica. A análise de sub-bacias prioritárias para manejo permitem ao Comitê de bacias hidrográficas e aos órgãos públicos a destinação adequada dos recursos referentes a atividades de manejo de bacias, como o reflorestamento, proteção de nascentes, construção e manutenção de caixas de captação com a finalidade aumentar a infiltração, reduzindo os riscos de enchentes, recorrentes na região.

5. CONCLUSÃO

Os parâmetros morfométricos de Índice de Circularidade, Razão de Elongação, Fator de Forma, Densidade de Drenagem e Comprimento dos Canais foram os parâmetros morfométricos mais significativos.

Houve grande variação na curva hipsométrica entre as sub-bacias avaliadas, onde as mais juvenis foram as sub-bacias 7, 23 e 1 com valores de 0,78, 0,77 e 0,71 respectivamente, apresentando maior risco de erosão.

As sub-bacias 9, 10 e 23 foram consideradas prioritárias para manejo após a análise conjunta das características morfométricas e da análise dos componentes principais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, R.; SAJJAD, H.; HUSAIN, I. Morphometric parameters-based prioritization of sub-watershed using Fuzzy Analytical Hierarchy Process: A case study of lower Barpani watershed, India. **Natural Resource Research**, 2017.

ALVES, E. L.; PEREIRA, F. A. C.; DALCHIAVON, F. C. Potencial econômico da utilização de micro-terraceamento em lavouras de café: um estudo de caso. **Revista IPecege**, v.3, n.1, 2017.

ARULBALAJI, P.; GURUGNAM, B. Geospatial tool-based morphometric analysis using SRTM data in Sarabanga Watershed, Cauvery River, Salem district, Tamil Nadu, India. **Applied Water Science**, v.7, p.3875-3883, 2017.

ALMEIDA, A. M.; PAULA, E. V. Áreas de preservação permanente de topos: das alterações na legislação brasileira às suas diferentes interpretações. **Confins**, n.37, 2018.

BALASUBRAMANIAN, A.; DURAISAMY, K.; THIRMALAISAMY, S.; KRISHNARAJ, S.; YATHEENDRADASAN, R. K. Prioritization of subwatersheds based on quantitative morphometric analysis in lower Bhavani basin, Tamil Nadu, India using DEM and GIS Techniques. **Arabian Journal of Geosciences**, v.10, p.552, 2017.

Brasil. Lei 9433/1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

CHOUDHARI, P. P.; NIGAM, G. K.; SINGH, . K.; THAKUR, S. Morphometric based prioritization of watershed for groundwater potential of Mula river basin, Maharashtra, India. **Geology, Ecology, and Landscapes**. 2018.

DIAS, L. C. P.; PIMENTA, F. M.; SANTOS, A. B.; COSTA, M. H.; LADLE, R.. J. Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture. **Global Change Biology**, v.22, p.2887-2903, 2016.

DIKPAL, R. L.; PRASAD, T. J. R.; SATISH, K. Evaluation of morphometric parameters derived from Cartosat-1 DEM using remote sensing and GIS techniques for Budigere Amanikere watershed, Dakshina Pinakini Basin, Karnataka, India. **Applied Water Science**, v.7, n.8, p.4399-4414, 2017.

ELEWA, H.; RAMADAM, E. M.; NOSAIR, A. Spatial-based hydro-morphometric watershed modeling for the assessment of flooding potentialities. **Environmental Earth Sciences**, 2017, v.75, n.927.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: Reunião técnica de levantamento de solos, 1979, Rio de Janeiro. Súmula, Rio de Janeiro, 83 p.

FARHAN, Y., ELMAJI, I., KHALIL, O. GIS-Based Morphometric Analysis of Fourth-Order Sub-Basin of the Zerqa River (Northern Jordan) Using Multivariate Statistical. **Natural Resources**, v.7, p.161-480, 2016.

FARIAS, R. N.; PEDROZO, C. S.; MACHADO, N. A. F.; RODRIGUEZ, M. R. Análise morfométrica e de uso do solo da bacia hidrográfica do Arroio Candiota, RS, Brasil. **Pesquisa e Geociências**, v.42, p.159-172, 2015.

FENTA, A. A.; YASUDA, H.; SHIMIZU, K.; HAREGEWEYN, N.; WOLDEAREGAY. Quantitative analysis and implications of drainage morphometry of the Agula watershed in the semi-arid northern Ethiopia. **Apply Water Science**, v.7, p.3825-3840, 2017.

FILHO, C. O. A.; ROSSETTI, D. F.; ZANI, H. Hipsometria derivada de MDE-SRTM aplicada na distinção entre a Formação Barreiras e os Sedimentos Pós-Barreiras na Bacia Paraíba. Anais: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2011.

GATTO, L. C. S. et al. Geomorfologia: folhas SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitória; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. In: _____. **Projeto Radam Brasil**. Rio de Janeiro, 1983. p. 305-384.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. A geografia do café, 156p. 2016.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas de população para 1º de julho de 2016. Disponível em:** <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao>> **Acesso em 19 de Fevereiro de 2017.**

KADAM, A. K.; JAWEED, T. H.; UMRİKAR, B. N.; HUSSAIN, K.; SANKHUA, R. N. Morphometric prioritization of semi-arid watershed for plant growth potential using GIS technique. **Modeling Earth Systems and Environment**, v.3; p.1663-1673, 2017.

KUMAR, B.; VENKATESH, M.; TRIPHATI, A. A GIS-based approach in drainage morphometric analysis of Rihand River Basin, Central India. **Sustainable Water Resources Management**,

KALIRAJ, S.; CHANDRASEKAR, N.; MAGESH, N. S. Morphometric analysis of the River Thamirabarani sub-basin in Kanyakumari District, South west coast of Tamil Nadu, India, using remote sensing and GIS. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 11, p. 7375-7401, 2015.

LEAL, M. S.; TONELLO, K. C. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da microbacia do Córrego Ipaneminha da Baixo, Sorocaba, SP. **Floresta**, v.46, n.4, p.439-446, 2016.

MACHADO, M. F.; SILVA, S. F. Geodiversidade do estado de Minas Gerais. 121p. programa geologia do brasil levantamento da geodiversidade, **Serviço Geológico do Brasil**, 2010.

MATTOS, J. B.; SANTOS, D. A.; FILHO, C. A. T. F.; SANTOS, T. J.; SANTOS, M. G.; PAULA, F. C. F. Water production in a Brazilian montane rainforest: Implications for water resources management. **Environment Science and Policy**, v.84, p.52-59, 2018.

MESHAM, S.G.; SHARMA, S. K. Application of principal component analysis for grouping of morphometric parameter and prioritization of watershed. **Hydrologic Modeling**, v.81, p.447-458, 2018.

NIKAM, S. P.; PUROHIT, R. C.; SHINDE, M. G.; SINGH, P. K.; JAIN, H. K.; DAHIPHALE, P. Principal componente analysis for morphometric modelling for small watershed of Tapi basin in India. **International Journal of Agricultural Engineering**, v.7, p.186-189, 2014.

NOCE, C. M.; COSTA, A. G.; PIUZANA, D.; VIEIRA, V. S.; CARVALHO, C. M. Nota explicativa da folha Manhauçu. **Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais**. 2007.

PINTO, V. G.; LIMA, R. N. S.; RIBEIRO, C. B. M.; MACHADO, P. J. O. Diagnóstico físico-ambiental como subsídio a identificação de áreas vulneráveis à erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG), Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v.9, n.4, 2014.

R Core Team. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, 2018.

RAHAMAN, S. A.; AJEEZ, S. A.; ARUCHAMY, S.; JEGANKUMAR, R. Priorization of sub watershed based on morphometric characteristics using fuzzy analytical hierarchy process and geographical information system – A study of Kallar Watershed Tamil Nadu. **Aquatic Procedia**, v. 4, p.1322-1330, 2015.

RICHARDSON, J. C.; HODGSON, D. M.; WILSON, A.; CARRIVICK, J. L.; LANG, A. Testing the applicability of morphometric characterisation in discordant catchments to ancient landscapes: A case study from southern Africa. **Geomorphology**, v.261, p.162-176, 2016.

SANTINATO, F.; SILVA, R. P.; SILVA, V. A.; SILVA, C. S.; TAVARES, T. O. Mechanical harvesting of coffee in high slope. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.29, n.3, p.685-691, 2016.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; NELSON, W. D. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v.7, n.3, 2012.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at perth amboy, New Jersey. **Bulletin of the Geological Society of America**, v.57, p.597-646, 1956.

SHARMA, S. K.; MESHAM, S. G.; TIGNTH, S. Applicatio of principal component analysis in grouping geomorphic parameters of a watershed for hydrological modeling. **Applied Water Science**, v.5, p.89-96, 2014.

SILVEIRA, A. S.; PINHEIRO, A. C. T.; FERREIRA, W. P. M.; SILVA, L. J.; RUFINO, J. L. S.; SAKIYAMA, N. S. Sensory analysis of specialty coffee from diferente environmental conditions in the region of Matas de Minas, Minas Gerais, Brazil. **Revista Ceres**, v.63, n.4, 2016.

SINGH, P.; GRUPTA, A.; SINGH, M. Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote and GIS tecniques. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sensing**, v.17, p.111-121, 2015.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosion topography. **Bulletin of the Geological Society of America**, v.63, p.117-1142, 1952.

TANAKA, M. O.; SOUZA, A. L. T.; MOSCHINI, L. E.; OLIVEIRA, A. K. Influence of watershed land use and riparian characteristics on biological indicators of stream water quality in southeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.216, p.333-339, 2016.

WILLIAM, P. M. F.; RIBEIRO, M. F.; FILHO, E. I. F.; SOUZA, C. F.; CASTRO, C. C. R. As características térmicas das faces noruega e soalheira como fatores determinantes do clima para a cafeicultura de montanha. **Embrapa Café**. 2012.

CAPÍTULO III

VARIAÇÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO E DA VAZÃO DE SUB-BACIAS DO RIO MANHUAÇU, MG

RESUMO

Alterações na cobertura da terra ocorrem e podem acarretar em degradação da paisagem. Com o crescimento da população foi surgindo os conflitos pelo uso da água, surgindo assim a necessidade de gestão dos recursos hídricos. A variação temporal da precipitação interfere efetivamente na vazão em bacias hidrográficas, sendo necessário avaliar os fatores que prejudicam a infiltração de água do solo. Este trabalho teve por objetivo avaliar a variação temporal de precipitação e vazão de variadas sub-bacias do Rio Manhuaçu-MG e definir quais sub-bacias necessitam de aplicação de técnicas que favoreçam a infiltração de água no solo. O estudo foi realizado a montante da cidade de Manhuaçu, onde foi realizada a caracterização morfométrica em 23 sub-bacias com a utilização de mapas de relevo e hidrografia mapeada na escala 1:50000 para a formação de um modelo digital de elevação hidrograficamente consistido utilizando Sistema de Informações Geográficas (SIG). Para a classificação de uso da terra foi adquirido mosaico LandSat 8 OLI, com 30 metros de resolução espacial e posterior processamento para posterior coleta de amostras para treinamento e realização da classificação supervisionada. Foi utilizado o classificador Maxima verossimilhança para a classificação de cobertura da Terra, sendo a mata nativa, café, eucalipto, pastagem e ocupação urbana as principais na região e os resultados aferidos pelo Índice de Exatidão Global e pelo Índice Kappa. Foi avaliada a vazão de referência de 16 sub-bacias e o monitoramento por um período de 14 meses, iniciando em maio de 2018 a julho de 2019. Foi utilizado quatro pluviômetros locais para avaliar a precipitação ocorrente dentro da bacia durante o período de coleta da vazão de referência. A bacia possui o período de chuvas predominantes entre os meses de outubro a março. A bacia possui predominância de cobertura por café, 31,06%, seguido da mata nativa com 27,03% da área e pastagem com 21,94% de cobertura. Dentre as sub-bacias avaliadas, as que apresentaram maior variação temporal de vazão foram o Córrego Fundo, Córrego Palmital, Córrego Manhuaçuinho e Córrego São Sebastião. Algumas medidas são recomendadas para estes locais, como a restauração florestal da zona ripária e práticas mecânicas de conservação de estradas rurais, como a construção de caixas de captação de água pluvial. A bacia do rio Manhuaçu apresenta grande variação temporal de vazão, ocorrendo acentuada redução da vazão durante o período de inverno e grande elevação durante o período de chuvas intensas, sendo necessário a aplicação de técnicas conservacionistas de solo e água para promover regulação dos cursos d'água, reduzindo a ocorrência de enchentes em Manhuaçu.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, mudanças significativas na distribuição temporal das chuvas têm influenciado na disponibilidade de água. Isso tem causado secas prolongadas e enchentes (ARNEL; GOSLING, 2013; ANA, 2015), deixando a população mais vulnerável aos fatores climáticos (IPCC, 2015).

A quantidade de água retida no solo após a precipitação varia com a cobertura da terra (VENKATESH et al., 2011; WANG et al., 2013; GASHOW et al., 2018), tipo de solo (BEUTLER et al., 2002), exposição solar (GEROY et al., 2011) do desenvolvimento da vegetação (HUANG et al., 2015; SUN et al., 2018) e das práticas de manejo adotadas (CARVALHO, et al., 2009; JUNIOR et al., 2014; GUADAGNIN et al., 2018).

A manutenção de água no solo favorece o desenvolvimento das plantas e contribui para a recarga de aquíferos (SILVA et al., 2015; TÁRNÍK, IGAZ., 2015). Nesse sentido, a adoção de práticas conservacionistas de solo e água são fundamentais para atender a demanda hídrica da população (RICHARDS et al., 2015).

Alterações da cobertura da terra podem alterar a dinâmica da água dentro da bacia hidrográfica, acarretando na degradação dos solos (NYAMADZAWO et al., 2012; BERTOL et al., 2015; SOUZA-FILHO et al., 2016) e redução na capacidade de infiltração (MARCHINI, et al. 2015; LEI, ZHU. 2018).

Na bacia do Rio Manhuaçu-MG, a presença de lavouras cafeeiras e produção de gado são tradicionais das regiões de cabeceira da bacia, sendo fundamental a adoção de práticas adequadas de manejo para promoção da infiltração de água no solo. A adoção de medidas de conservação de solo e água promove a infiltração, o aumento nível de lençóis freáticos e regulação dos cursos d'água (GOMES et al., 2012).

A caracterização e monitoramento de sub-bacias são fundamentais para a adoção de técnicas de conservação mais eficazes. A região de cabeceira do Rio Manhuaçu possui atividades antrópicas em locais de grande declividade, o que favorece o escoamento superficial, promovendo enchentes, causando grandes prejuízos e impactos ambientais. Dessa forma, a priorização de sub-bacias para adoção de medidas conservacionistas de solo e água é necessária para uma melhor gestão dos recursos hídricos.

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo avaliar a dinâmica da água em sub-bacias do Rio Manhuaçu-MG, bem como definir a necessidade de intervenção técnica que melhore a infiltração de água no solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

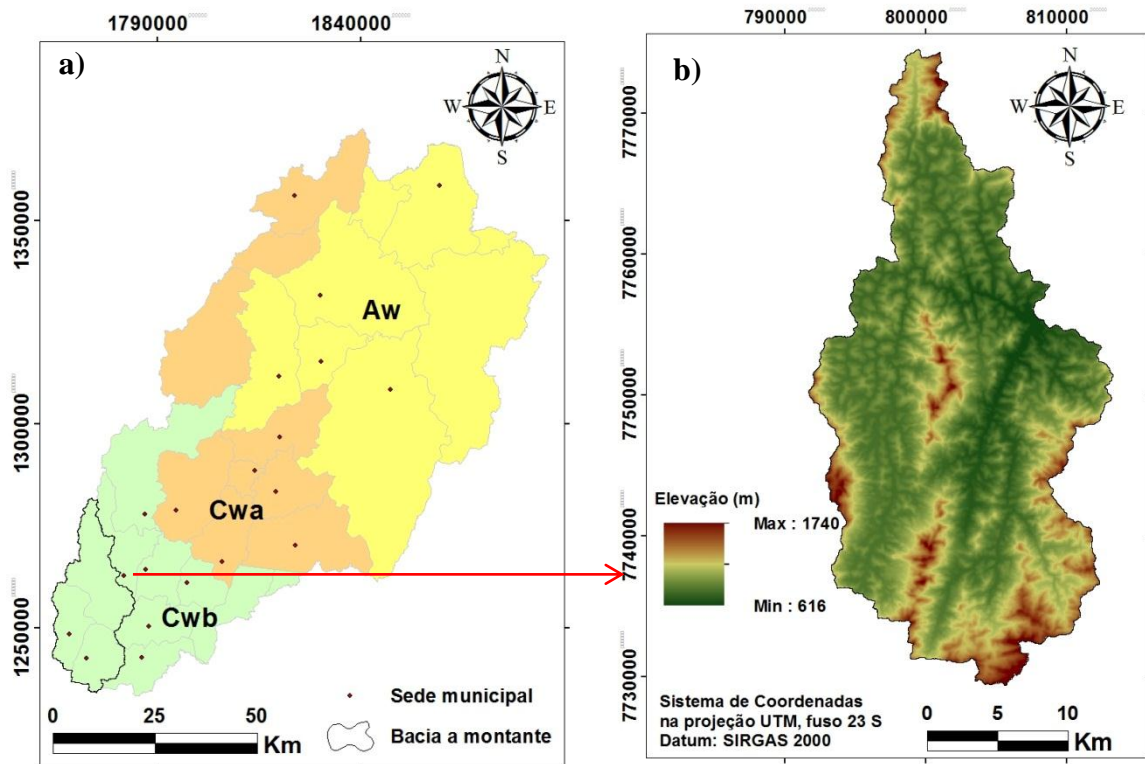
A bacia do Rio Manhuaçu situa-se no centro leste da bacia do Rio Doce, fazendo divisas com o estado do Espírito Santo. O local avaliado neste capítulo limitou-se a foz montante a cidade de Manhuaçu, abrangendo os municípios de São João do Manhuaçu e Luisburgo integralmente e de Manhuaçu parcialmente, com 41,61% de seu território inserido dentro da área considerada pelo estudo.

A região de Manhuaçu foi inicialmente ocupada por índios Tupis, sendo apenas na primeira década do século XIX ocorreu a chegada dos primeiros desbravadores na região a procura de ouro, vindos do Rio de Janeiro e do Espírito Santo, o clima ameno estimulou famílias europeias a produzirem na região, onde em 1849, com a chegada da cultura do café, *Coffea arábica*, cultura ainda predominante na região (Prefeitura Luisburgo, 2018; Prefeitura de São João do Manhuaçu, 2018).

A região é caracteriza por apresentar um grande número de propriedades rurais. Atualmente, o município de Manhuaçu se destaca como o principal produtor de café arábica familiar do país, com 2515 propriedades (IBGE, 2016). A presença de duas estações bem definidas, com verão quente e chuvoso e inverno seco e clima temperado e a maior parte da bacia estar em locais de elevada altitude favorece a produção de cafés de qualidade. Segundo o CAR, a região possui 891 propriedades em Luisburgo, 867 em São João do Manhuaçu e 2727 no município de Manhuaçu.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Cwb, apresentando clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado (Figura 1).

Figura 1: Localização da área de estudo da bacia do Rio Manhuaçu, MG (a), hipsometria da bacia (b).



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa

Processamento dos dados

A delimitação da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu foi através da utilização da base de dados de curvas de nível, pontos cotados (<http://iede.fjp.mg.gov.br/>) e hidrografia mapeada (<http://www.ibge.gov.br/>), ambos na escala 1:50.000. Os dados foram reprojatados e utilizados para a geração de um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC). Um MDEHC caracteriza-se por possuir uma coincidência acentuada entre a hidrografia numérica (raster) com a hidrografia mapeada (vetorial).

Para a geração do MDEHC foi necessário conectar a hidrografia, orientar sentido a foz e unifilar, e corrigir erros das curvas de nível para posterior utilização do interpolador Topo to Raster, específico para a geração de um modelo que acompanha as mudanças bruscas no terreno, como os cursos d'água. Após a geração do modelo, possíveis anomalias são corrigidas para garantir que a água fluirá dos locais mais elevados para os locais mais baixos.

Para gerar a hidrografia, é necessário um método sistemático e organizado para obter resultados precisos, para isso e a direção do fluxo e o fluxo acumulado em cada célula

indicam onde as áreas do canal foram estabelecidas. Portanto, o programa indica o local dos principais canais. A saída desse método é uma base para a criação de vetores de ordem de fluxo que correspondem à hierarquia de rios de acordo com os números de ordem de Strahler (1964). O processamento dos dados e as análises foram realizadas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), software ArcGIS 10.2.2.

Após a delimitação da bacia e da rede de drenagem, foram selecionadas 16 sub-bacias para o monitoramento de vazão e para caracterização ambiental. As bacias foram escolhidas por possuírem facilidade de acesso para o monitoramento e serem representativas para o estudo.

Classificação de imagens

A classificação supervisionada das imagens foi realizada utilizando o algoritmo da Máxima Verossimilhança (maxver) implementado através da interface do software ArcGis 10. De acordo com Liu (2006), o algoritmo da Máxima Verossimilhança é um método de classificação supervisionada amplamente utilizado no processo de identificação de classes temáticas. O algoritmo utiliza a média e a covariância das amostras de treinamento, para computar a probabilidade estatística de um pixel desconhecido pertencer a uma determinada classe. Depois da avaliação probabilística, o pixel é assinalado à categoria de maior probabilidade.

Foi adquirido cenas LandSat 8 OLI de 20 de janeiro de 2018, data da passagem do sensor, com 30 metros de resolução espacial e posterior processamento e coleta de amostras para treinamento para a realização da classificação supervisionada. Foi utilizado o classificador Máxima Verossimilhança (maxver) para a classificação de cobertura da Terra. O classificador utiliza a média e a covariância das amostras de treinamento para processar a probabilidade estatística de um pixel desconhecido pertencer a uma determinada classe, selecionando os pixels por categorias (Oliveira et al., 2015)

A seleção das classes de cobertura da terra foi considerada as observações em campo predominantes na bacia, sendo consideradas cinco classes principais, sendo: mata nativa, cafeicultura, pastagem, eucalipto e ocupação urbana. A eficiência da classificação a validação foi realizada através do índice de exatidão global e o índice kappa.

Coleta de precipitação

A precipitação foi avaliada durante 14 meses. Para isso, foram instalados dois pluviômetros na região da bacia, um no município de Simonésia em Janeiro de 2018 e outro no município de Manhuaçu, distrito Ponte do Silva, em março de 2018. Estes pluviômetros possuem abertura de 172 cm² de diâmetro. A medição foi realizada por meio de uma proveta graduada.

Foi utilizado também dados de uma estação localizada em São João do Manhuaçu, pertencente à COPASA e de dados da estação automática localizada na cidade de Manhuaçu, que fornece os dados para o INMET.

Após a coleta, os dados foram tabulados e interpolados para avaliar a variação de precipitação na bacia.

Para determinar as áreas de influência dos pluviômetros foi usado o Método de Thiessen. Este Método gera uma média ponderada das alturas registradas pelos pluviômetros, que é diretamente proporcional à área de influência da bacia, considera a não uniformidade da distribuição espacial das estações, e não leva em conta o relevo da bacia (THIESSEN, 1911). Foi utilizada ferramenta Thiessen Poligon do software ArcGIS para delimitação destas áreas. A área de influência possui um peso perante a área total, expresso pela Equação 1:

$$Fp = \frac{Ai}{A} \quad \text{equação 1}$$

Em que: Fp = Fator de ponderação; Ai = Área de influência do pluviômetro dentro da bacia; A = área total da bacia.

A precipitação média da bacia pelo método de Thiessen foi:

$$Pt (mm) = \frac{\sum Pi \times Ai}{A} \quad \text{equação 2}$$

Em que: Pt = Precipitação média pelo método de Thiessen; Pi = precipitação registrada no pluviômetro; Ai = Área de influência do pluviômetro dentro da bacia; A = área total da bacia.

Além das estações foi utilizado dados históricos de pluviômetros localizados próximos a bacia, em Alto Jequitibá e Martins Soares como referência para o local (GRIPP, 2019; CEPEC, 2018).

Registro de Vazão de Referência

Foi avaliada a vazão de referência de 16 sub-bacias e o monitoramento por um período de 14 meses, iniciando em maio de 2018 a julho de 2019. Nesse período foram realizadas seis

visitas as sub-bacias: maio/2018, novembro/2018, janeiro/2019, março/2019, maio/2019 e julho/2019. A vazão de referência foi medida pelo método do micromolinete, instrumento utilizado com uma contagem de giros de sua hélice por um determinado período de tempo, o modelo já processa a velocidade instantaneamente, sendo assim registrada pelo operador. Para encontrar a vazão é necessária medir a seção do rio, para isso foi utilizado uma fita métrica e, após encontrar a área, multiplica-se a mesma pela velocidade e obtém-se, aproximadamente, a vazão (equação 3).

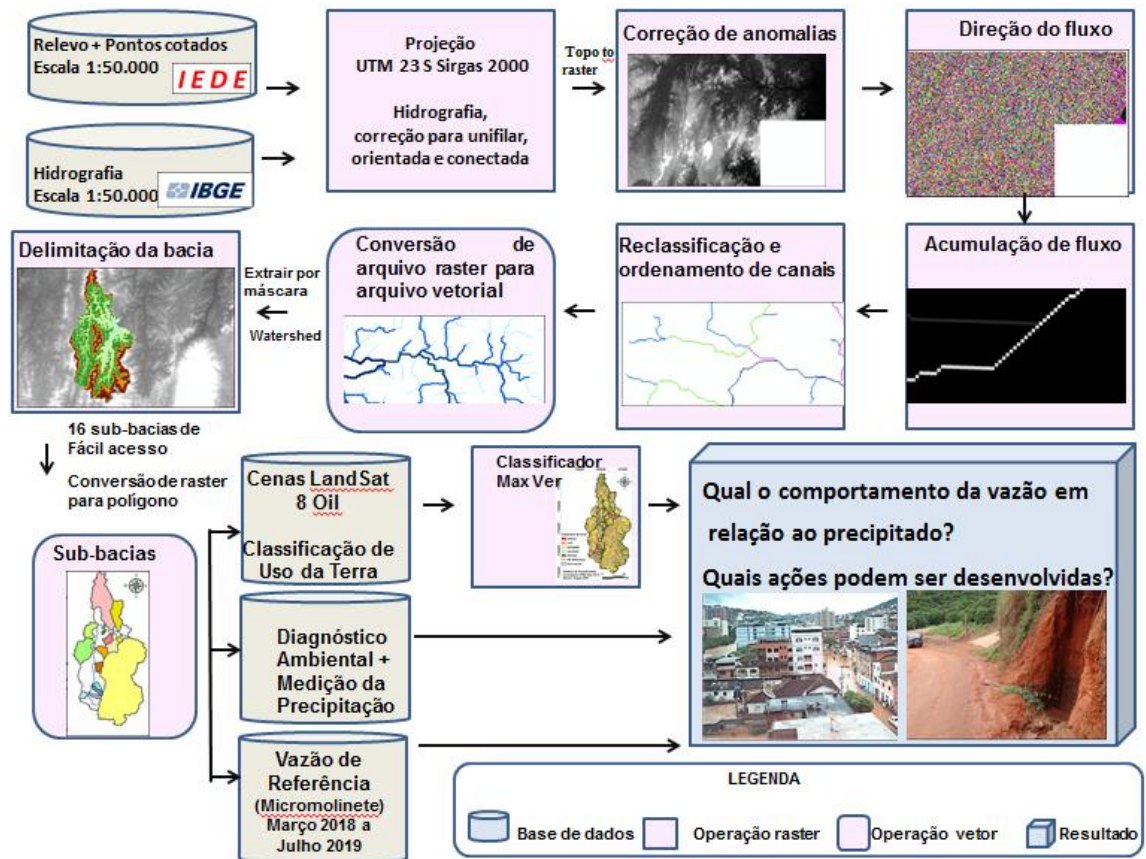
$$Vr = Lxh x v \quad \text{equação 3}$$

Em que: Vr = vazão de referência, m³s⁻¹; L = largura do canal em m; h = profundidade média da seção do canal em m; v = velocidade média do fluxo da água (m/s);

Para melhor compreensão da dinâmica da água na bacia foram utilizados dados de vazão da estação PCH Benjamin Mario Baptista Montante, em Manhuaçu, localizada após 300 m da foz, com 577 km² de área e 589 m de altura. Foram realizadas expedições pela bacia para realização da caracterização ambiental.

A descrição é melhor representada na figura 2.

Figura 2: Fluxograma da metodologia utilizada na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu.

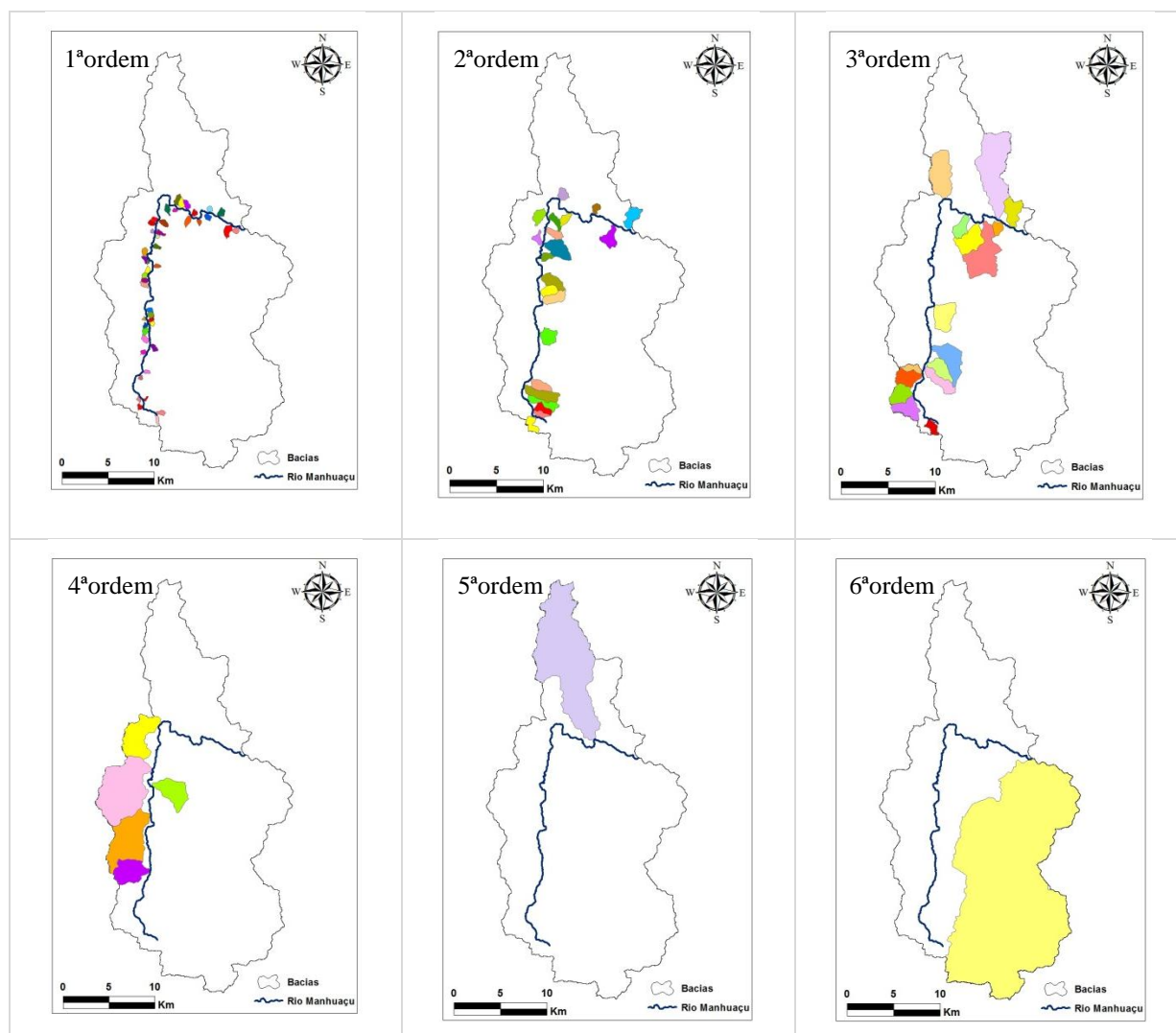


4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia a montante do Rio Manhuaçu possui 89 sub-bacias, sendo 45 de 1ª ordem; 21 de 2ª ordem; 16 de 3ª ordem; 5 de 4ª ordem; 1 de 5ª ordem e 1 de 6ª ordem (Figura 3). As bacias de 1ª e 2ª ordem são também chamadas de região de cabeceira, em alguns casos bacias de 3ª ordem, quando muito bem drenadas (LIMA, ZAKIA, 2006). As 16 sub-bacias que tiveram o monitoramento de referência correspondem a 74% da área de drenagem do Rio Manhuaçu.

A presença de relevo montanhoso é predominante na bacia do Rio Manhuaçu (Quadro 1), tornando a cidade susceptível a grande variação do volume de água do rio, que, em época chuvosa pode provocar alagamentos, prejudicando a população que reside próxima às margens do rio e aos serviços públicos da sede do município.

Figura 3: Sub-bacias do Rio Manhuaçu representadas pela ordem da bacia (Strhaler 1963).



Quadro 1: Características morfométrica das sub-bacias monitoradas na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu-MG, 2019

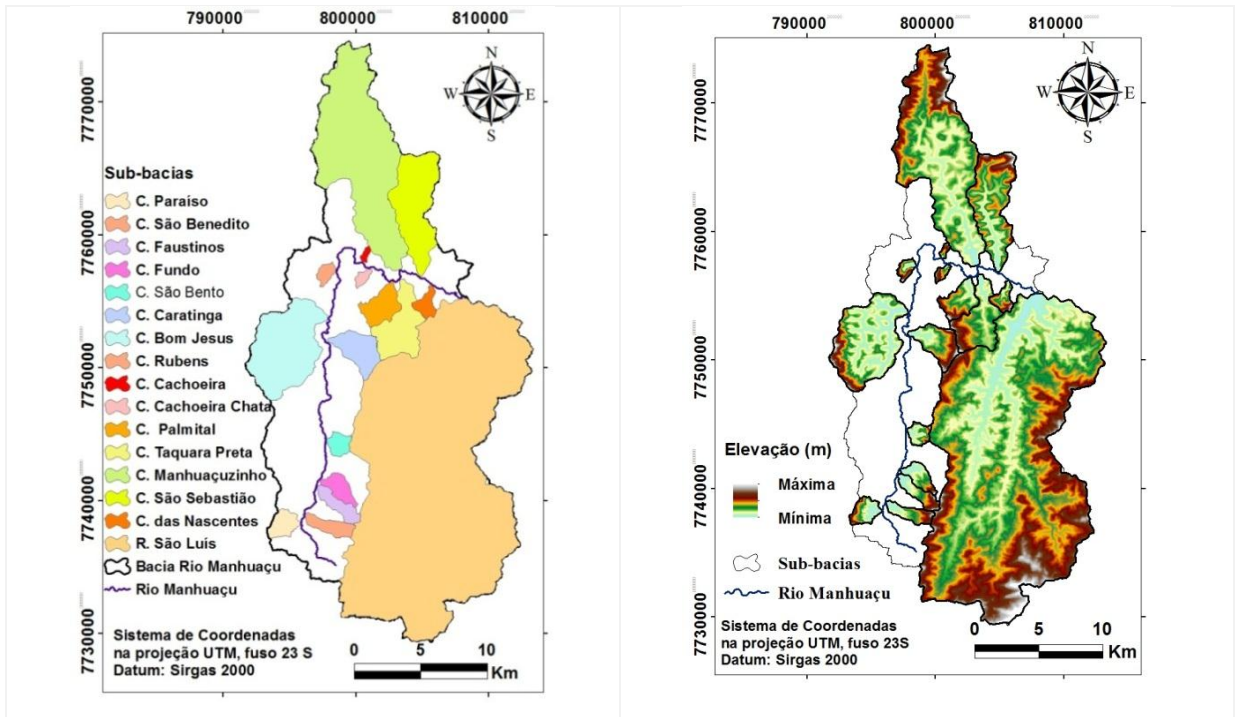
n	Sub-bacia	Área (km ²)	Perímetro (km)	Elevação mínima (m)	Elevação máxima (m)	Ordenamento Canal
1	C. Paraíso	3,64	8,00	830,61	1234,78	3 ^a
2	C.S. Benedito	3,55	9,68	828,95	1526,96	2 ^a
3	C. Faustinos	3,67	10,45	817,85	1623,85	3 ^a
4	C. Fundo	3,45	8,95	817,00	1611,41	3 ^a
5	C. São Bento	2,44	6,53	808,50	1116,10	2 ^a
6	C. Caratinga	7,59	12,81	792,33	1580,38	4 ^a
7	C. Bom Jesus	29,42	24,29	784,35	1401,70	4 ^a
8	C. Rubens	1,60	5,49	767,15	1018,81	2 ^a
9	C. Cachoeira	0,56	3,32	738,74	1062,12	1 ^a
10	C. Cachoeira Chata	0,99	4,50	736,31	1079,31	2 ^a
11	C. Palmital	5,85	11,52	691,60	1498,27	3 ^a
12	C. Taquara Preta	12,73	20,16	677,76	1587,67	3 ^a
13	C. Manhuaçuzinho	64,63	49,61	673,43	1628,50	5 ^a
14	C. São Sebastião	21,82	25,11	667,23	1239,79	3 ^a
15	C. das Nascentes	2,43	7,60	655,56	1048,04	2 ^a
16	R. São Luis	242,93	86,87	617,89	1737,77	6 ^a

Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

O Rio São Luís foi a maior sub-bacia avaliada e a com maior amplitude altimétrica e predominância de relevo montanhoso. A foz está localizada no perímetro urbano da cidade de Manhuaçu, podendo acarretar grande variação de vazão em caso de chuva de grande intensidade na área (Figura 4, 5). A menor sub-bacia avaliada foi o Córrego Cachoeira, que atravessa a BR 262, entre Manhuaçu-Realeza, que possui um pequeno volume de água, mas com uma chuva de grande intensidade já causou a destruição do asfalto no local e deslizamento de rocha.

O rio pode ser dividido em três distintas regiões geomórficas: 1^a região de cabeceira, formada por cursos d'água de ordens 1 a 3, região muito dependente das contribuições terrestres de material orgânico; 2^a considerada região intermediária, composta por cursos d'água da ordem 4 a 6 caracterizada por ser um local de transferência, moderadamente influenciada por sedimentos; 3^a, chamada baixo cursos, formada por canais com ordem superior a 6, muito influenciada pela deposição de sedimentos (CALIJURI, BUBEL, 2006).

Figura 4: Sub-bacias monitoradas (a); e relevo (b); na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu-MG, 2019.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

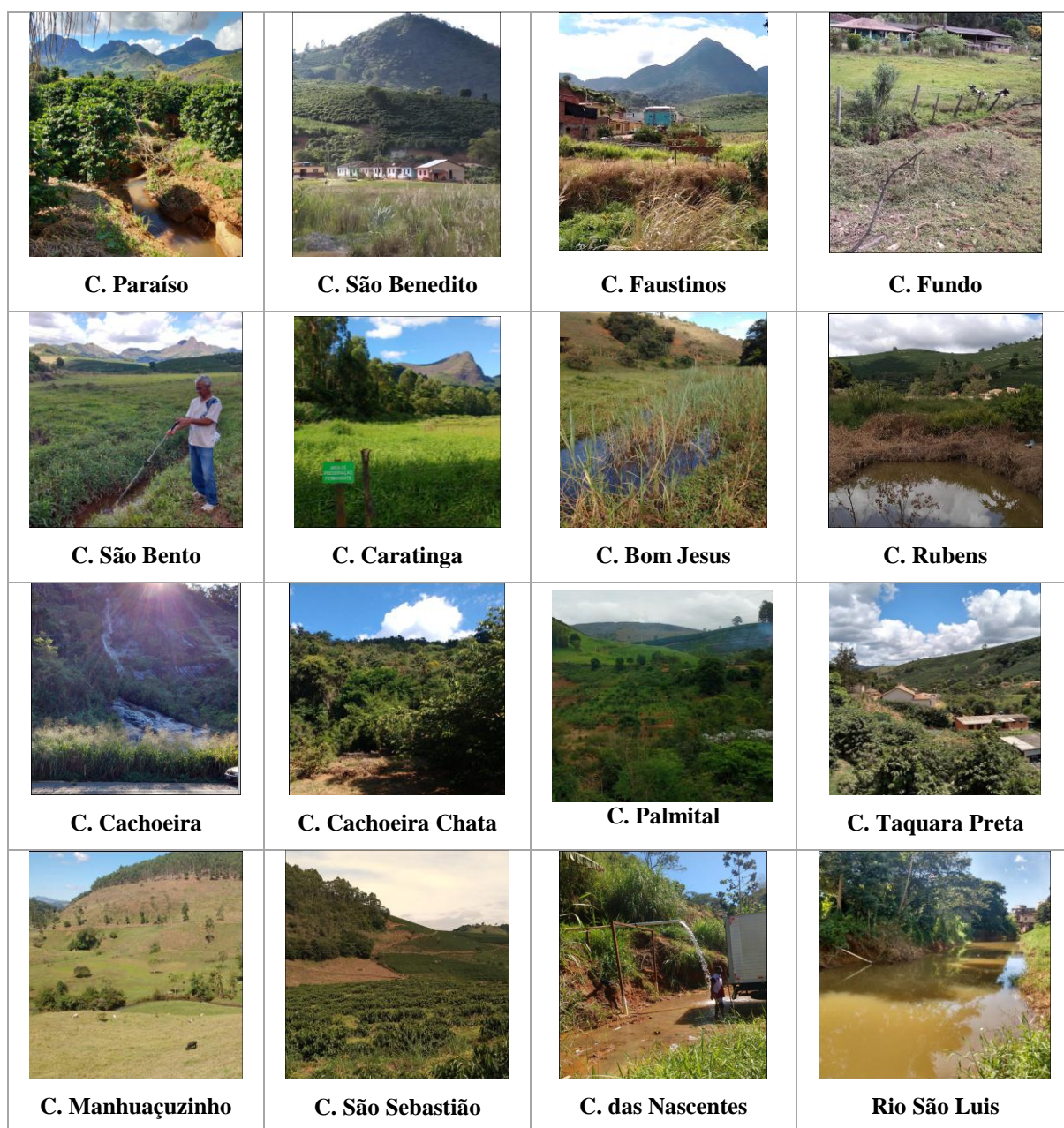
Figura 5: Lavouras cafeeiras na sub-bacia do Rio São Luís, Região de Pedra Dourada, Luisburgo, 2019.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

As sub-bacias avaliadas possuem grande variação de forma e dimensão, onde a presença da cultura cafeeira e pastagem são predominantes em todas elas (Figura 6).

Figura 6: Sub-bacias que foram realizadas medições da vazão de referência na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu-MG, 2019.



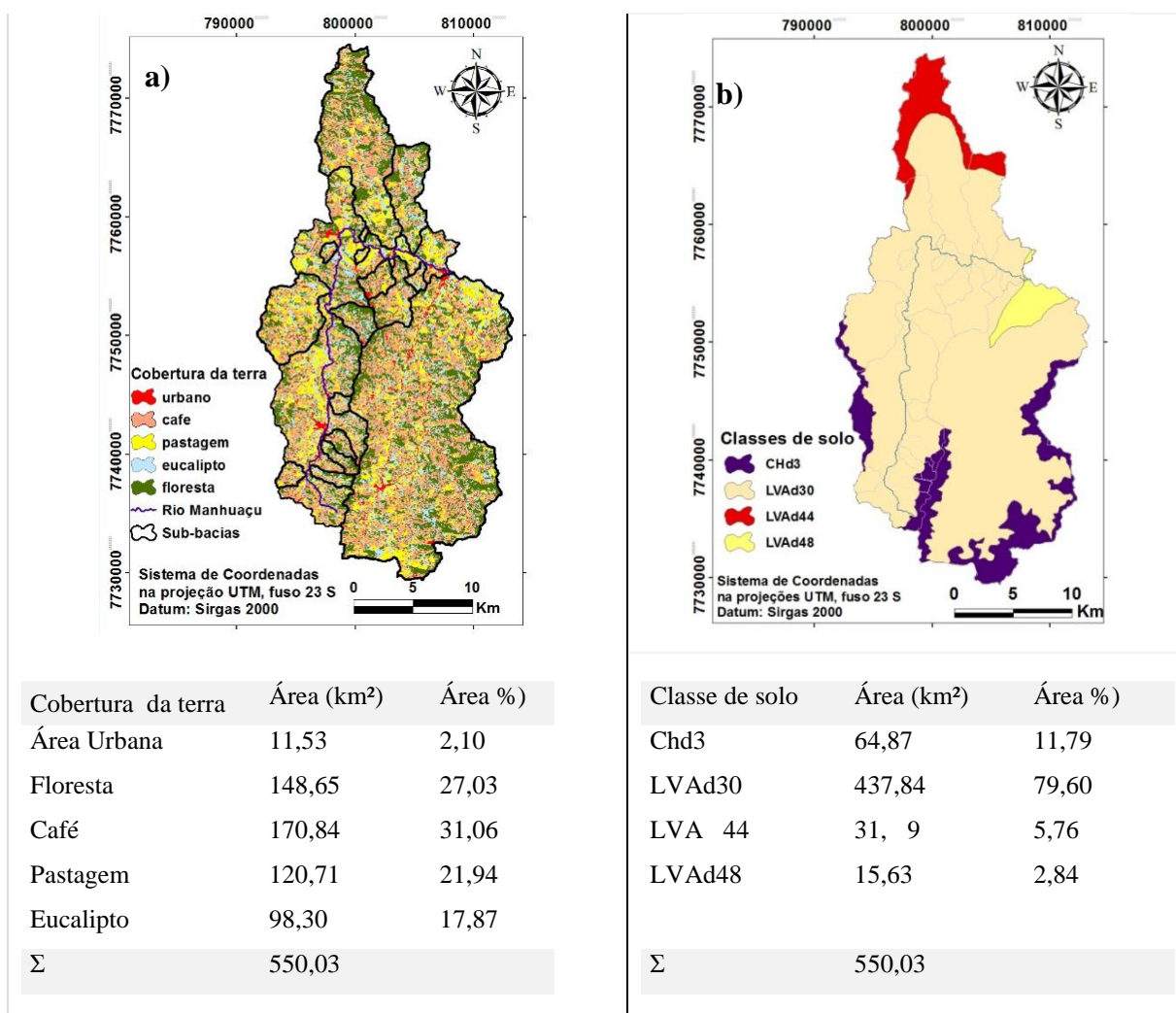
Fonte: Rodolfo Alves Barbosa

Segundo o Mapa de Solos de Minas Gerais (UFV, 2010a,b) escala 1:600000, a classe de solo predominante na bacia é LVAd30 com 79,63% da área, onde o Latossolo vermelho-amarelo distrófico húmico (20%) + latossolo vermelho (20%) + cambissolo húmico distrófico latossólico (30%) + neossolo litólico (15%) + afloramento rochoso (15%) representado por LVAd30; seguido de CHd3, cambissolo húmico distrópicos latossólico, textura muito argilosa (40%)+ latossolo vermelho-amarelo (30%) + neossolo litólico (20%) + afloramento rochoso (10%); LVAd44 latossolo vermelho-amarelo distrófico húmico (50%) +

cambissolo háplico (30%) + gleissolo melânico (20%); LVAd48 latossolo vermelho amarelo distrópico húmico (45%) + latossolo vermelho-amarelo (30%) + cambissolo háplico (25%) (Figura 6).

A classificação de uso da terra teve índice de exatidão global 0,80 e índice Kappa de 0,75. A cobertura do solo predominante são as lavouras de café, com 31,06% da área da bacia, seguido de pastagem para gado leiteiro, com 21,94%, plantios de eucalipto representam 17,87%. A vegetação nativa representa 27,03% da área, com maior presença nas nascentes e topos de morros, pouco evidente na zona ripária, ao longo dos cursos d'água. (Figura 7).

Figura 7: Cobertura da terra (a), e classes de solo (b) na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu-MG, 2019.

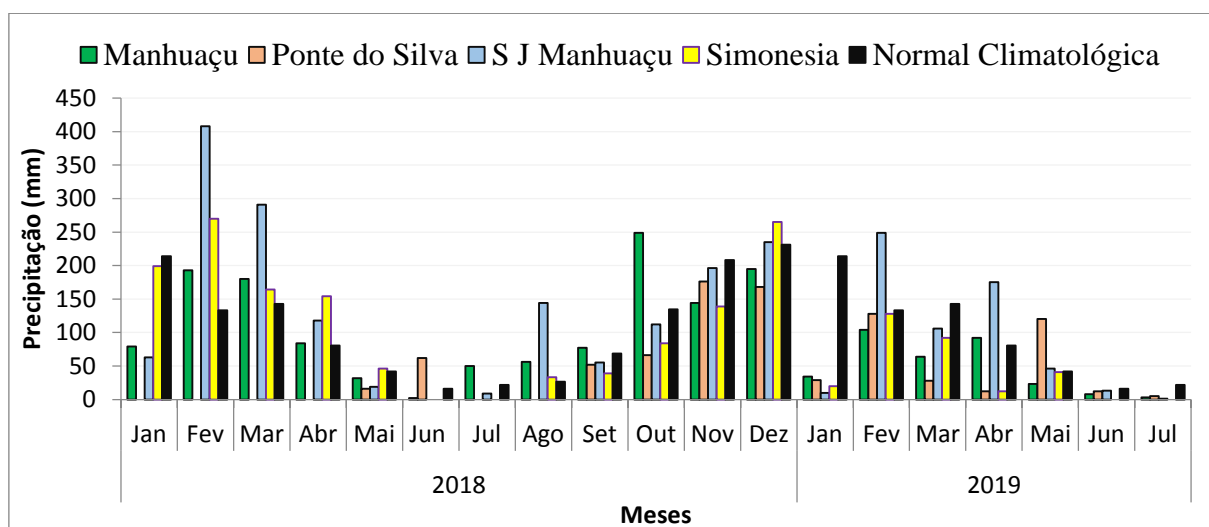


Fonte: Rodolfo Alves Barbosa; UFV, 2010.

A bacia possui o período de chuvas predominantes entre os meses de outubro a março, correspondendo a 80% do total precipitado para a média histórica. Durante o período, houve

variação na precipitação entre as estações pluviométricas, sendo observada esta variação na vazão das sub-bacias. O mês de janeiro apresentou precipitação abaixo da média para o local, resultando em redução da vazão de entre novembro de 2018 e janeiro de 2019. Foi verificado maior precipitação em São João do Manhuaçu (1364 mm) entre maio de 2018 e julho de 2019 (Figura 8, 9). A precipitação média pelo Polígono de Thiessen foi 1095 mm para o período de monitoramento da bacia, entre maio de 2018 e Julho de 2019, 14 meses (Tabela 2), abaixo da normal climatológica de precipitação para Manhuaçu-MG, 1319 mm ano⁻¹ (ALVARES et al., 2013).

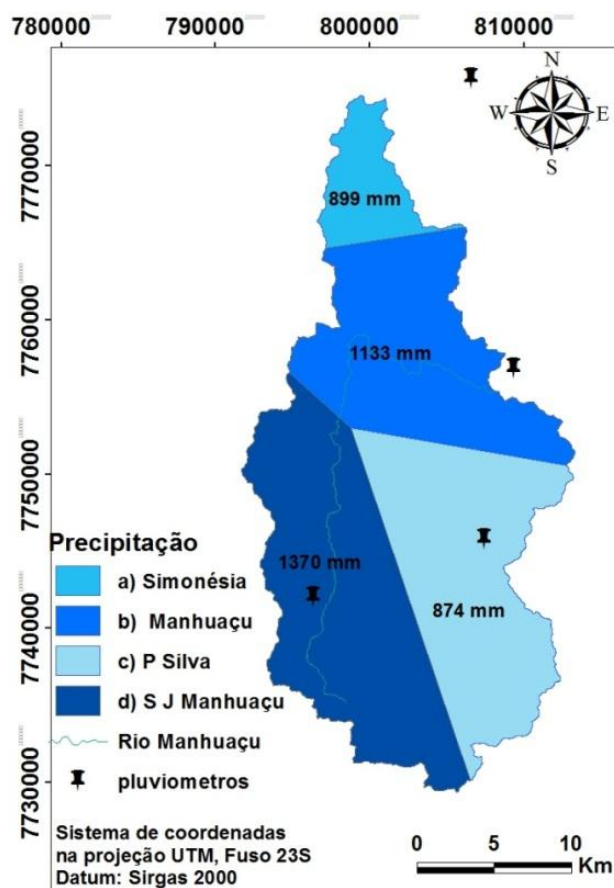
Figura 8: Precipitação registrada em estações localizadas na região da bacia do Rio Manhuaçu e a normal climatológica para a cidade de Manhuaçu-MG.



Fonte: INMET, Rodolfo Alves Barbosa.

A utilização do método do polígono de Thiessen permite a utilização de pluviômetros localizados dentro e próximos da bacia para a estimativa da precipitação média, sendo utilizada por diversos autores (MACÊDO et al., 2013; ABREU, TONELO, 2017; HADI, TOMBUL, 2018; MARCIANO et al., 2019). Macêdo et al (2013) avaliaram os fatores que influenciam o comportamento hidrológico em uma sub-bacia da Amazônia ocidental e verificaram diferenças de 32 mm nos valores encontrados para precipitação pela média aritmética e pelo polígono de Thiessen.

Figura 9: Precipitação total registrada nos pluviômetros entre maio de 2018 e julho de 2019, e a área abrangida pelo método do Polígono de Thiessen na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, MG.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

Quadro 2: Precipitação média da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu com a utilização do método do Polígono de Thiessen durante o período de coleta de vazão, março de 2018 a julho de 2019.

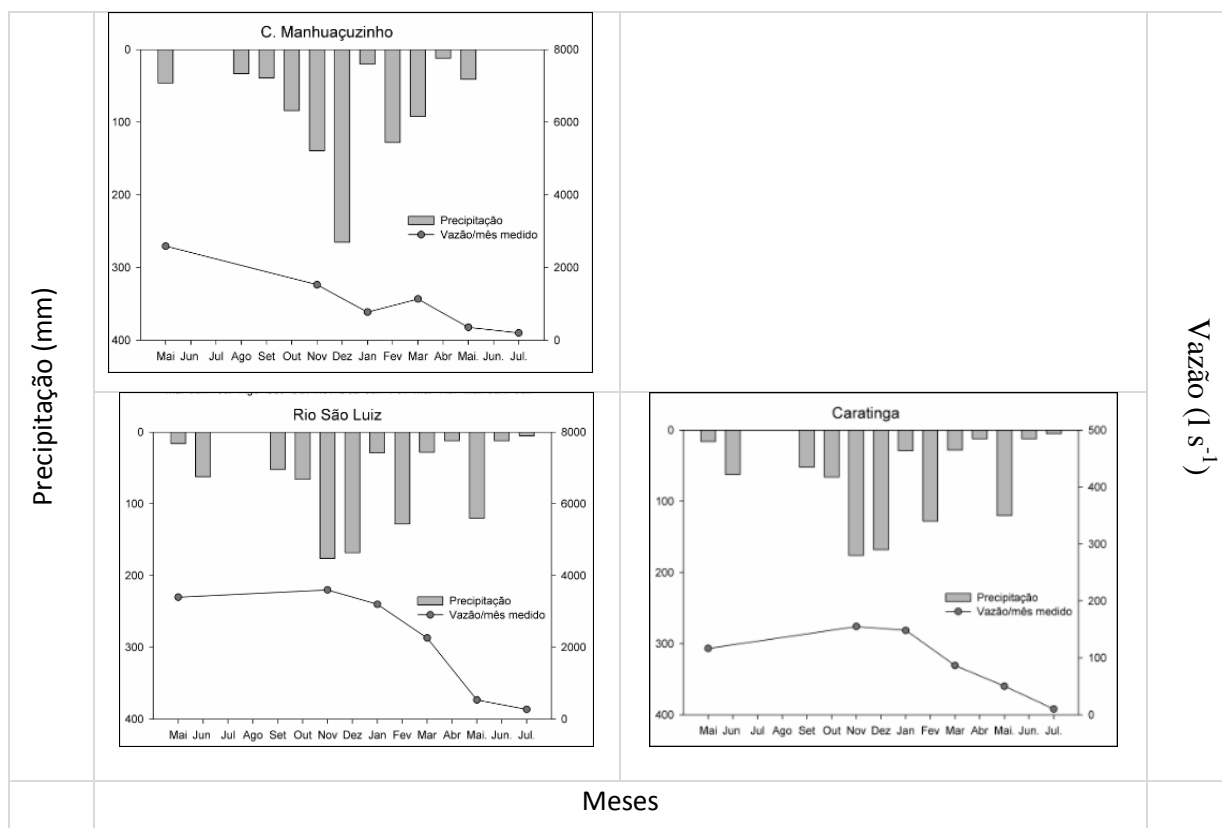
	(a)		(b)	(axb)
Pluviômetro	Precipitação	Área do Polígono	Fator de ponderação	Precipitação ponderada
	(mm)	(Km ²)	(A pol/A bac)	(mm)
Simonésia	899	40,98	0,07	54
Manhuaçu	1133	148,33	0,27	305
Ponte do Silva	874	167,21	0,30	260
S. J. Manhuaçu	1370	193,51	0,35	476
Σ Total		550,03	100 %	1095

Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

Existe um padrão de precipitação na bacia do Rio Doce, com período chuvoso mais prolongado na região oeste, e estações secas mais longas e período chuvoso mais curto na região leste, os mesmos autores também observaram a ocorrência de interrupção na precipitação, chamada de veranico, aumentando a intensidade sentido à região litorânea (CUPOLILLO et al., 2008).

Foi observada uma grande variação de vazão de referência durante o período observado nas sub- bacias. A maior vazão observada foi no Rio São Luís (3603 l s⁻¹), em novembro de 2018 (Figura 9). Na bacia do Córrego Manhuaçuinho, uma das mais importantes para o abastecimento de água da cidade de Manhuaçu, observou-se maior vazão no mês de janeiro comparado a novembro. Além disso nos meses antecedentes a março, foi observado grande precipitação no pluviômetro localizado em Simonésia, o que pode ter contribuindo com abastecimento dos aquíferos (Figura 10).

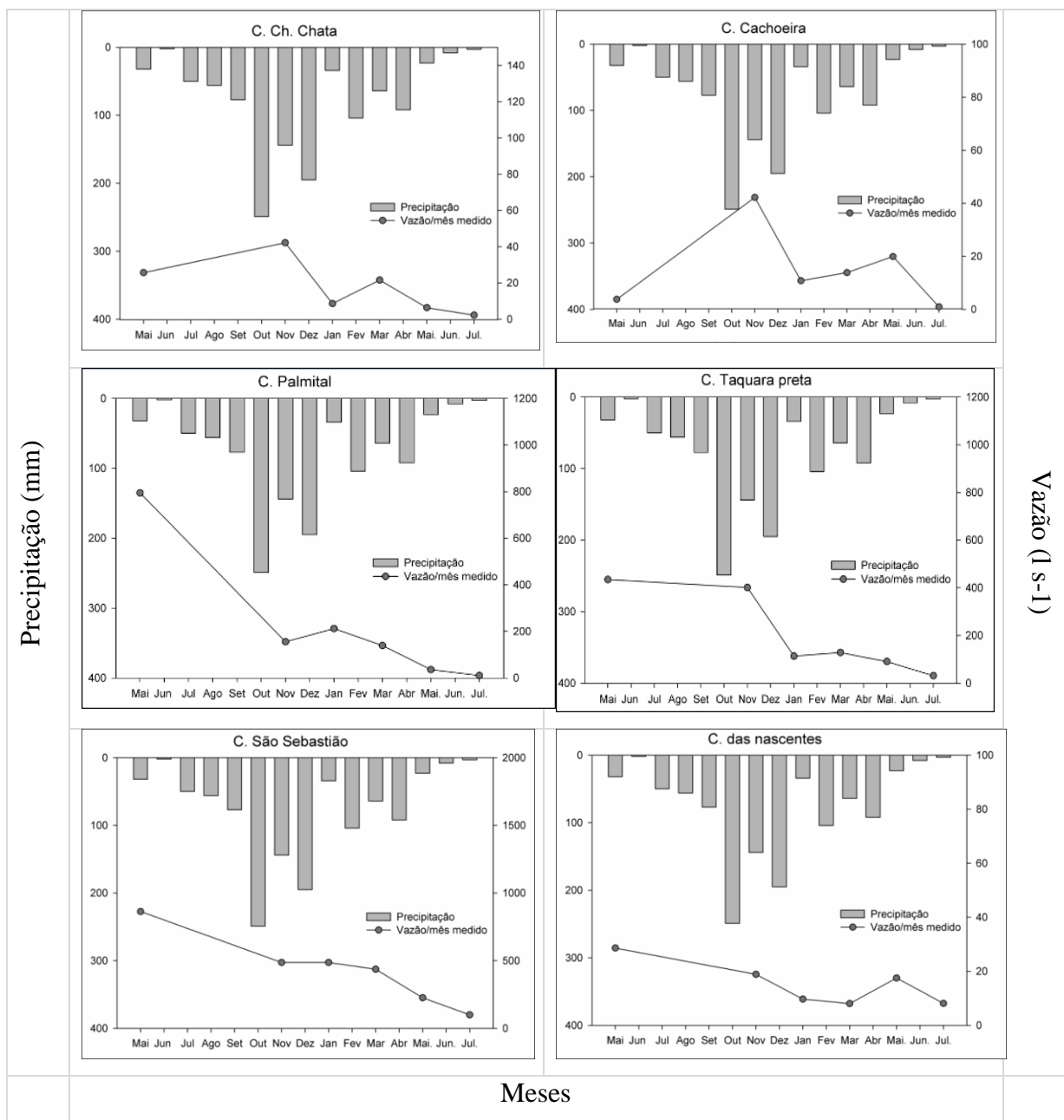
Figura 10: Hidrograma de precipitação e vazão de referência dos locais sob influência do pluviômetro a) em Simonésia e c) em Ponte do Silva, na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu-MG entre maio de 2018 e julho de 2019.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

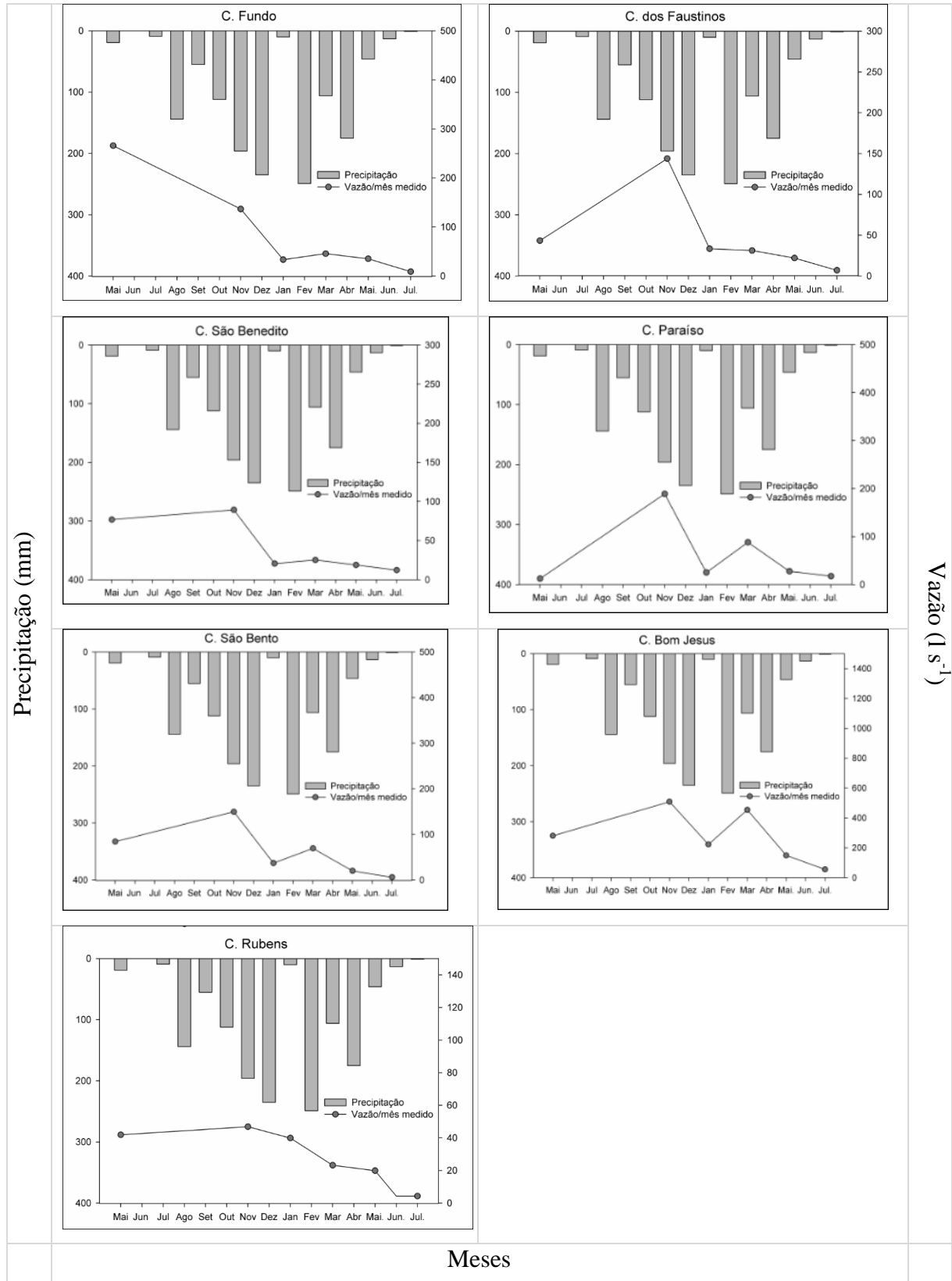
Os córregos mais próximos a cidade de Manhuaçu apresentaram maior vazão em maio e menor no mês de novembro de 2018. Os córregos Cachoeira Chata e Cachoeira são microbacias com grande variação de elevação 323,38 e 343,00 m respectivamente (Figura 11). O Córrego Fundo apresentou pico de vazão em maio de 2018, a forma da bacia, ocupação e classe do solo presente contribuiu para a variação de vazão (Figura 12).

Figura 11: Hidrograma de precipitação e vazão de referência dos locais sob influência do pluviômetro b, em Manhuaçu na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu-MG entre maio de 2018 e julho de 2019.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

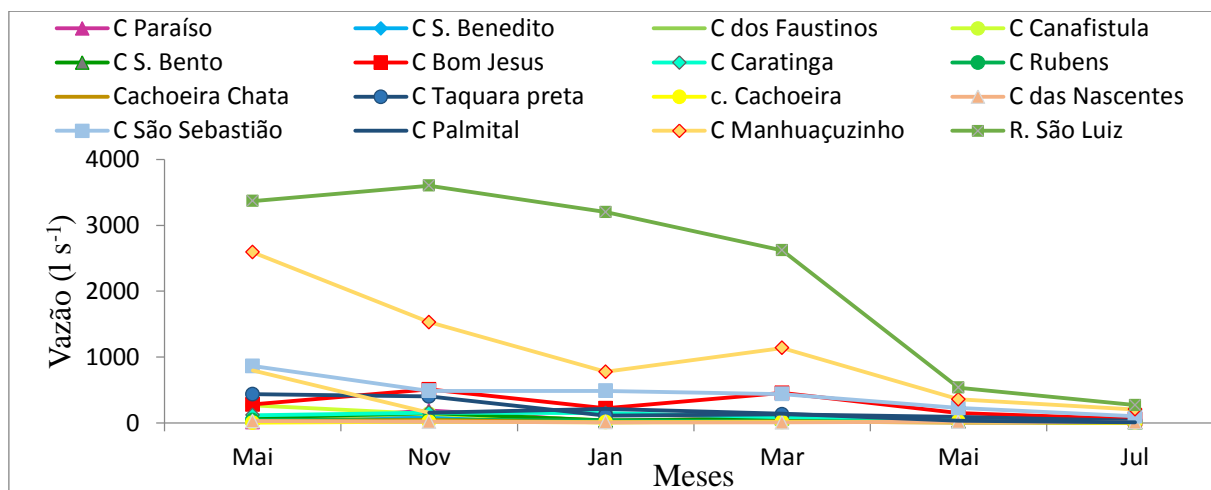
Figura 12: Hidrograma de precipitação e vazão de referência nos locais sob influência do pluviômetro d, em São João do Manhuaçu na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu-MG entre maio de 2018 e julho de 2019.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

A variação de vazão foi mais acentuada para as sub-bacias do Córrego Manhuaçuinho, Córrego dos Faustinos, Córrego Fundo, Córrego Palmital e Córrego São Sebastião (Figura 13).

Figura 13: Vazão de referência em 16 sub-bacias do Rio Manhuaçu em seis datas distintas de monitoramento entre maio de 2018 e julho de 2019.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

Existe uma tendência de aumento na intensidade e frequência de eventos extremos de precipitação, e uma alta correlação, 0,60, entre ocorrência de chuvas fortes com as inundações para a região serrana do Rio De Janeiro (Ávila et al., 2018). Os anos com maiores valores de precipitação na região observada foi em 1979, com 2193 mm, seguido de 2138 mm em 1981, 2083 mm em 1985 e 1984 mm em 1997 e os menores valores foi em 1993, com 902 mm para Alto Jequitibá (RUY GRIPP, 2019).

Uma seca de grandes proporções atingiu a região sudeste em 2014, tal fato foi devido a permanência de um sistema de alta pressão atmosférica na região gerando uma intensa instabilidade, que apesar do forte aquecimento continental, a formação de nuvens e o desenvolvimento de nuvens de tempestade foram inibidas devido ao sistema de alta pressão que bloqueou a entrada dos sistemas frontais vindas do sul do continente sul americano, fundamentais para a formação de chuvas na região, considerando uma variação natural do clima, já ocorrentes na década de 30 e 40 (BRAGA, MOLION, 2018). De Souza et al., (2019) avaliaram a recarga subterrânea da Bacia do Rio Doce e observaram que em média 32% da precipitação incidente entre 2007-2009 foi convertida para água subterrânea, sendo mais elevada na região sul e oeste da bacia.

As características da precipitação interferem na erosão hídrica, a intensidade, a frequência, duração e erosividade são as principais responsáveis pela desagregação e arraste das partículas (SANTOS et al., 2010; PIRES, SOUZA, 2013. Carvalho et al., 2010 avaliando o efeito da erosividade da chuva e intensidade de precipitação em diferentes tipos de preparo do solo observaram perdas de água de 62,6% na ocorrência de precipitação com padrão avançado de intensidade em diferentes práticas de manejo e que entre as culturas observadas, o milho plantado morro abaixo apresentou maior perda de solo e água. O Córrego fundo apresentou grande vazão em maio, comparado com as demais coletas, a maior parte da bacia é antropizada com devido a proximidade da cidade e possui grande variação de elevação, o que pode acentuar a variação de vazão.

Na bacia do Rio Manhuaçu, a implantação de técnicas conservacionistas de produção de lavouras cafeeiras permite maior infiltração de água no solo, práticas de produção que envolvia a capina das ruas do café e plantios morro abaixo eram comuns antigamente na região, favorecendo o escoamento superficial sendo menos frequente atualmente na região tais práticas, sendo observada a prática em novos plantios.

A produção de café com adoção de práticas conservacionista possibilita redução significava na perda de água, solo e N em relação ao sistema convencional, a manutenção da cobertura do solo com vegetação contribui para redução das perdas (Guimarães et al., 2015). Júnior et al., (2018) verificaram potencial elevado de perda de solo com ausência de práticas de conservação do solo e água para lavouras de café, milho e feijão na bacia hidrográfica do Córrego da Laje, Alfenas-MG.

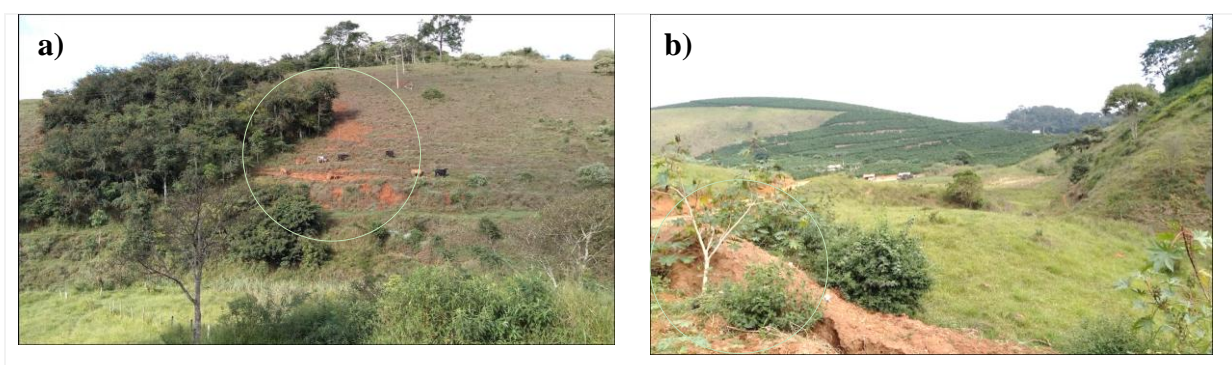
A adoção de práticas vegetativas como a manutenção de vegetação nos carregadores do cafeeiro favorece a retenção de umidade do solo (CASTANHEIRA et al., 2018). As práticas mecânicas como omicro- terraceamento e bacias para contenção de água são recomendadas para regiões montanhosas (ALVES et al., 2017)

A deficiência hídrica e o excesso de água são as variáveis mais importantes na maturação do café, interferindo na qualidade da bebida (Aparecido, 2018). Matiolo (2008) verificou queda na produtividade de lavouras cafeeiras sob déficit hídrico acentuado entre 2006-2007 no leste de Minas Gerais. Souza (2011) observou a dinâmica hídrico-térmica em latossolo sob diferentes coberturas vegetais e verificou redução acentuada da precipitação em janeiro verificando maior perda de água para pastagem, seguida de café, eucalipto e mata nativa para o município de Viçosa no período de março 2009 a fevereiro de 2010.

A pecuária é outra importante atividade econômica na região, apesar de pouco desenvolvida, é praticada por diversos produtores na região, que comercializam o leite e derivados através de cooperativas locais (Oviedo-Pastrana et al., 2014). Silva, (2013) avaliaram a produção de pecuária leiteira em microrregiões próximas a Viçosa e registraram aumento em 5% da produção entre 2002 a 2010 na microrregião de Manhuaçu, condicionada principalmente pelo aumento do número de animais, 24890 para 37808 vacas ordenhadas, não havendo aumento em produtividade. As pastagens observadas apresentam erosão laminar e perda de produtividade. A presença de erosão em pastagens é presente na bacia (Figura 13).

A abertura de condomínios requer o revolvimento do solo para abertura dos lotes e adequação das ruas, tais práticas possuem impactos ambientais negativos, faltando maior eficiência na liberação e na fiscalização deste tipo de empreendimento (BARBOSA et al., 2018). Na área da presente bacia foram localizadas muitas áreas de abertura de chacreamentos e condomínios, exigindo assim a remoção da terra e aterro em locais próximos a manancias, causando assoreamento e degradação dos cursos d' água (Figura 14). O crescimento urbano ocorre de forma desordenada, principalmente na cidade de Manhuaçu, onde as construções a margem do Rio Manhuaçu provocam impactos ambientais como o lançamento de efluentes e assoreamento (OLIVEIRA; BRANDÃO, 2016).

Figura 14: Atividades causadoras de impacto ambiental na bacia do Rio Manhuaçu; (a) Pastagem degradada com solo exposto na sub-bacia do Córrego Bom Jesus; (b) aterro na sub-bacia do Córrego das Nascentes.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

O gênero *Eucalyptus* é a principal cultura florestal existente na região, ocupando 17,87% da área da bacia, a madeira produzida na região é utilizada para manutenção da propriedade rural, para construção de cercas, secagem do café, produção de carvão, atender a construção civil; parte dos plantios observados foi adensada, aumentando a competição por

recursos de crescimento como água e nutrientes. Souza, (2013) observou um redução acentuada da umidade para profundidade de 100 cm para *E. grandis* com espaçamento super adensado, 3x1 m aos cinco anos após o plantio no município de Viçosa-MG. Sun et al., (2018) observaram maior capacidade de retenção de umidade do solo sob o plantio de *E. urophylla* comparado com outras culturas no período de 2008-2013, verificando também que a perda de sedimentos e escoamento superficial foi menor em plantios mais maduros, favorecendo a infiltração de água no solo.

Relatos de enchentes na cidade ocorrem desde 1905. Em 1979, 1997 e 2009 ocorreram enchentes de grandes proporções, e em 2014 e 2015, a precipitação na região foi bem abaixo da média, comprometendo o abastecimento urbano (Figura 15). Registros de vazão no Rio Manhuaçu próximos a foz desde 1936 mostram que existe uma grande variação na vazão dentro da bacia, apresentando médias variando de 3,84 m³ s⁻¹ em 1963 a 104, 93 m³ s⁻¹ em 1983; e máximas de vazão 667, 76 m³ s⁻¹ em 1939 (HidroWeb, 2019).

Figura 15: Registro de eventos extremos em Manhuaçu: (a) enchente registrada em fevereiro de 1979, (b) enchente de 1997, (c, d) enchente de grandes proporções em 2009.



Fonte: Jornal Tribuna do Leste, Ruan Maloni, Rodolfo Alves Barbosa.

A adoção de práticas de manejo e conservação de água e solo favorecem os processos de infiltração, aumentando a vazão mínima de cursos d'água, regularizando a vazão (GOMES

et al., 2012). Existem práticas mecânicas que podem reduzir a erosão e favorecem a infiltração de água no solo, como a construção de bacias de captação e retenção de águas pluviais provenientes de estradas, a construção de barragens para a contenção da água decorrente do escoamento superficial (barraginhas), terraceamento e distribuição racionais de estradas rurais (PIRES, SOUZA, 2013; PRUSKY et al., 2012; PRUSKY, 2013). Foram observadas algumas práticas conservacionistas na bacia que podem servir de modelo para outras aumentarem a infiltração em bacias hidrográficas (Figura 16).

Figura 16: Práticas de conservação de solo e água na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu; (a,b, c) Bacia de captação de água pluvial de estradas; (d) contenção de voçorocas com paliçadas.



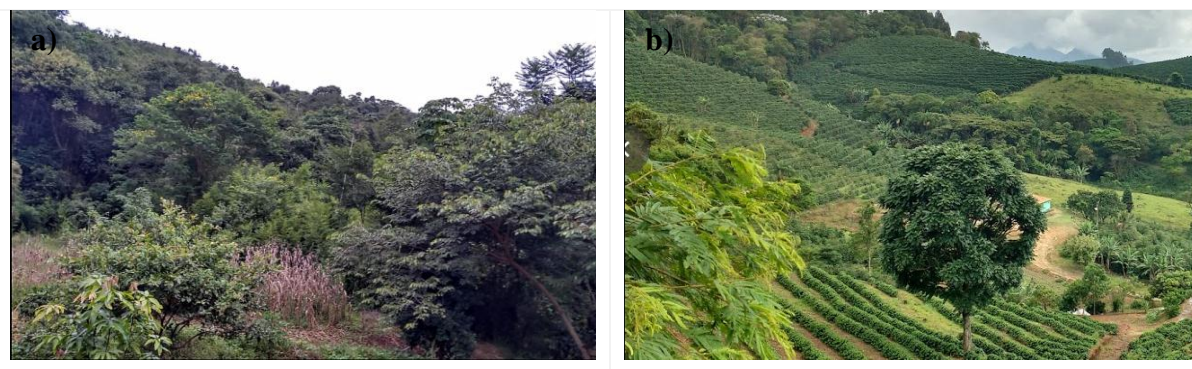
Fonte: Rodolfo Alves Barbosa, Genilson Tadeu.

Assim como práticas mecânicas, as técnicas vegetativas de conservação da água e do solo protegem o solo contra o impacto direto da gota de chuva, responsável pelo início do processo erosivo; dentre elas, as práticas de reflorestamento, restauração florestal, manejo em cafezais, manejo florestal sustentável e sistemas consorciados e manutenção produtiva das pastagens favorecem os processos de infiltração (MARTINS et al., 2012; GUIMARÃES et al., 2015; SILVA et al., 2019). Guimarães et al. (2015) observaram grandes variações na perda de água em diferentes tipos de manejo, onde o manejo conservacionista consorciada com laranja e banana apresentou perdas de 1110 mm ha^{-1} e o manejo convencional composto

apenas por café apresentou maior perda de água, com 5930 mm ha^{-1} . Gomes et al., (2012) observaram que após a implantação de técnicas de manejo e conservação do solos em uma microbacia do Ribeirão São Bartolomeu a vazão mínima aumentou de 80 l min^{-1} em 2002 para 188 l min^{-1} em 2004, comprovando a eficiência da utilização das técnicas para conservação de água no solo

A aplicação de técnicas de restauração florestal é recomendável para as zonas ripárias das bacias, uma vez que essas regiões possuem grande variação de umidade, e a permanência de mata nativa favorece a qualidade da água na bacia (PIRES et al., 2017; FONSECA et al., 2017). Fonseca et al., (2019) observaram que a restauração florestal com plantios de mudas nativas na zona ripária aceleram o processo de regeneração natural em um curto período de tempo (10 anos). A sub-bacia do Córrego Cachoeira Chata foi a que apresentou maior cobertura de floresta nativa na bacia de contribuição, apresentando maior regulação da vazão (Figura 17).

Figura 17: Práticas vegetativas conservacionistas do solo: (a) florestamento e conservação da mata na bacia de cabeceira do Córrego Cachoeira Chata; (b) cafezais com plantios em nível próximo á nascente do Rio Manhuaçu-MG.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

O pagamento por serviços ambientais pode ser uma importante ferramenta para estimular a manutenção e restauração de mata nativa na bacia hidrográfica, pois em região montanhosa no Brasil, a manutenção da floresta produz $4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de água limpa (MATTOS et al., 2018).

Dentre as sub-bacias avaliadas, algumas apresentaram maior variação de vazão, apresentando menor regularidade do curso d'água. Porém, as adoções de técnicas conservacionistas podem acarretar em maior infiltração de água no solo e maior regulação, como as sub-bacias do Córrego Manhuaçuinho e Córrego São Sebastião possuíram grande

redução da vazão durante o período observado, a ocupação do solo é predominante a cultura do café e presença de pastagem, porém a cabeceira é formada por solos mais rasos com maior presença de cambissolos, sendo recomendável a aplicação de técnicas conservacionistas de estradas para estes locais.

As sub-bacias Córrego Fundo, Córregos dos Faustinos e Córrego Palmital apresentam maior presença de ocupação urbana, apresentando maior área impermeabilizada, reduzindo a infiltração de água no solo, aumentando a vazão de forma acentuada nessas bacias, sendo necessária a prática de conservacionista nas estradas rurais, loteamentos que façam contenção de so solo e restauração florestal, principalmente na zona ripária.

5. CONCLUSÕES

As sub-bacias hidrográficas apresentaram grande variação na distribuição temporal de chuvas, influenciando na vazão de referência observado.

A sub-bacia Rio São Luís obteve a maior vazão durante o período avaliado dentre as 16 sub-bacias que tiveram monitoramento.

A produção de Coffea arábica é a principal cobertura da terra, sendo necessária a produção utilizando técnicas conservacionistas.

Técnicas mecânicas e vegetativas de conservação do solo e água são recomendadas para a regularização do curso d'água das sub-bacias hidrográficas, evitando picos de vazão em chuvas de grande intensidade, como já ocorreu no passado.

As sub-bacias Córrego dos Faustinos, Córrego Fundo, Córrego Palmital, Córrego Manhuaçuinho e Córrego São Sebastião apresentaram grande variação temporal da vazão durante o período observado, sendo recomendável o aprimoramento de técnicas conservacionistas de água para proporcionar maior regulação da vazão destas bacias, reduzindo o risco de enchentes na sede do município.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA, AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Rede Hidrometeorológica Nacional. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf
Acesso dia 12 de agosto de 2019.

ALVES, E. L.; PEREIRA, F. A. C.; DALCHIAVON, F. C. Potencial econômico da utilização de micro-terraceamento em lavouras de café: um estudo de caso. **Revista iPecege** 3(1):24-38, 2017.

APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; MORAES, J. R. S. C.; VALERIA, T. T. B.; LENSE, G. H. E. Maturation periods for *Coffea arabica* cultivars and their implications for yield and quality in Brazil. **Journal of Food and Agriculture**. v.98, n.10, 2018.

ARNELL, N. W.; GOSLING, S. N. The impacts of climate change on river flow regimes at the global scale. **Journal of Hydrology**, v.486, p.351-364, 2013.

ÁVILA, A.; JUSTINO, F.; WILSON, A.; BROMWICH, D.; AMORIM, M. Recent precipitation trends, flash floods and landslides in southern Brazil. **Environmental Research Letters**, v.11, n.11, 2016.

BARBOSA, S. G.; SPLETOZER, A. G.; ROQUE, M. P. B.; NETO, J. A. F.; DIAS, H. C. T.; RAMOS, M. P.; BONILLA, M. A. C.; RIBEIRO, W. S.; CRUZ, R. A.; ZANUNCIO, J. C. Geotechnology in the analysis of forest fragments in northern Mato Grosso, Brazil. **Scientific Reports**, v.8, 2018.

BARBOSA, S. G.; SPLETOZER, A. G.; BARBOSA, R. A.; SILVEIRA, L. S.; DIAS, H. C. T. Impactos ambientais causados pela abertura de condomínios: Um estudo de caso no condomínio Vivendas Santa Mônica. **Revista Brasileira de Gestão e Engenharia**, v.2, n.18, p.159-178, 2018.

BERTOL, BARBOSA, F. T.; BERTOL, C.; LUCIANO, R. V. Water infiltration in two cultivated soils in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.573-588, 2015.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de latossolos sob difentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.3, p.829-834, 2002.

BRAGA, H. A.; MOLION, L. C. B. A seca de 2013/2014 na região sudeste do Brasil. **Anuário IGEO**, v. 41 n.1, p. 100-110, 2018.

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.3-9, 2009.

CASTANHEIRA, D. T. **Técnicas agronômicas para mitigação dos efeitos da restrição hídrica no cafeeiro**. Tese de doutorado em Agronomia/fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, 2018.

CAR, Cadastro Ambiental Rural. Serviço Florestal Brasileiro. Disponível em: <http://www.car.gov.br/publico/imoveis/index> . Acesso em 24 de junho de 2018.

CUPOLILLO, F.; ABREU, M. L.; VIANELLO, R. L. Climatologia da Bacia do Rio Doce e sua Relação com a Topografia Local. **Geografias**, v.4, n.1, p.45-60, 2008.

De SOUZA, E.; PONTES, L. M.; FILHO, E. I. F.; SCHAEFER, C. E. G.; SANTOS, E. E. Spatial and temporal groundwater recharge: the case of the Doce River Basin, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v43, 2019.

DIAS, L. C. P.; PIMENTA, F. M.; SANTOS, A. B.; COSTA, M. H.; LADLE, R.. J. Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture. **Global Change Biology**, 2016.

FONSECA, D. A.; BACKES, A. R.; MILENA, F. R.; OVERBECK, G. E.; MÜLLER, S. C. EVALUATION OF THE NATURAL REGENERATION IN A RESTORATION PLANTING AREA AND IN A REFERENCE RIPARIAN FOREST. **Ciência Florestal**, v.27, n.2, p.521-534, 2017.

LEI, C.; ZHU, L. Spatio-temporal variability of land use/land cover change (LULCC) within the Huron River: Effects on stream flows. **Climate Risk Management**, v.19, p.35-47, 2018.

GEROY, I. J.; GRIBB, M. M.; MARSHALL, H. P.; CHANDLER, D. G.; BENNER, S. G.; MCNAMARA, J. P. Aspect influences on soil water retention and storage. **Hydrological Processes**, v.25, p. 3836-3842, 2011.

GUADAGNIN, C. A., SCHÖFFEL, E. R., CASALINHO, H. D., BACIC, I. L. Z., VEIGA, M. Hydro-physical properties of three soils conducted under no-tillage, minimum cultivation and perennial pasture. **Revista Scientia Agraria**, v.19, n.1, p.124-131, 2018.

GUIMARÃES, G. P., ANDRADE, K. C., MENDONÇA. Erosão hídrica e compartimentos de matéria orgânica do solo em sistemas cafeeiros conservacionistas e convencionais. **Coffee Science**, v.10, n.3, p.365-374, 2015.

JUNIOR, G. F. S.; CORÁ, J. E.; LAL, R. The effects of land use and soil management on the physical properties of an Oxisol in Southeast Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.4, 2014.

JÚNIOR, H. M., TAVARES, A. S., SANTOS, W. J. R., SILVA, M. L. N., SANTOS, B. R., MINCATO, R. L. Water erosion in oxisols under coffee cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.43, n.2, 2018.

MACÊDO, M. N. C.; DIAS, H. C. T.; COELHO, F. M. G.; ARAÚJO, E. A.; SOUZA, M. L. H.; SILVA, E. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **Ambiente e Água**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 206-221, 2013.

MARCHINI, D.; LING, T. C.; ALVES, M. C.; CRESTANA, S.; FILHO, S. N. S.; ARRUDA, O. G. Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.6; p.574-580, 2015.

MARCIANO, A. G.; BARBOSA, A. A.; SILVA, A. P. M. Cálculo da precipitação média utilizando método de Thiessen e as linhas de cumeada. **Revista Ambiente & Água**, v.13, n.1, 2019.

MARTINS, S. V. NETO, A. M.; SILVA, K. A.; CORREIA, G. G. S.; CAMPOS, W. H.; CUNHA, J. F. Métodos e técnicas de restauração florestal para adequação ambiental de propriedades rurais. In: Adequação socioeconômica e ambiental de propriedades rurais. **Informe Agropecuário**, v.33, n.271, 2012.

MATIELLO, J. B. O café e a água. Análise. **Coffea**, Revista Brasileira de Tecnologia Cafeeira. v.13, 2008.

MATTOS, J. B.; SANTOS, D. A.; FILHO, C. A. T. F.; SANTOS, T. J.; Dos SANTOS, M. G.; De PAULA, F. C. F. Water production in a Brazilian montane rainforest: Implications for water resources management. **Environmental Science & Policy**, v.84, p.52-59, 2018.

NYAMADZAWO, G.; NYAMUGAFATA, P.; WUTA, M.; NYAMUGAFATA, P.; WUTA, M.; CHIKOWO. Infiltration and runoff losses under fallowing and conservation agriculture practices on contrasting soils, Zimbabwe. **Water SA**, v.38, n.2, 2012.

PIRES, A. P.; REZENDE, C. L.; ASSAD, E. D.; LOYOLA, R.; SCARANO, F. R. Forest restoration can increase the Rio Doce watershed resilience. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 15, n.3, p.187-193, 2017.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.2, p.115-123, 2010.

SILVA, S. A., QUEIROZ, D. M., FERREIRA, W. P. M., CORÊA, P. C., RUFINO, J. L. S. Mapping the potential beverage quality of coffee produced in the Zona da Mata, Minas Gerais, Brazil. **Journal of the Food and Agriculture**, v,96, n,9, 2015.

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; SILVA, E. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; MELO, L. B. B.; NORDON, L. D.; CURI, N. Soil moisture associated with least limiting water range, leaf water potential, initial growth and yield of coffee as affected by soil management system. **Soil & Tillage Research**, v.189, p.36-43, 2019.

SOUZA F. S. **Dinâmica hídrico-térmica e perdas de solo e água: influência do uso e geofoma do solo**. Tese de doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, 2011.

SOUZA-FILHO, P. W. M.; SOUZA, E. B.; JUNIOR, R. O. S.; JUNIOR, W. R. N.; MENDONÇA, B. R. V.; GUIMARÃES, J. T. F.; DALL'AGNOL, R.; SIQUEIRA, J. O. Four decades of land-use, land-cover and hydroclimatology change in the Itacaiúnas River watershed, southeastern Amazon. **Journal of Environmental Management**, v.167, p.175-184, 2016.

SUN, D.; ZHANG, W.; LIN, Y.; LIU, Z.; SHEN, W.; ZHOU, L.; RAO, X.; LIU, S.; CAI, X.; HE, D.; FU, S. Soil erosion and water retention varies with plantation types and age. **Forest Ecology and Management**, v. 422, p.1-10, 2018.

VENKATESH, B.; LAKSHMAN, N.; PURANDARA, B. K.; REDDY, V. B. Analysis of observed soil moisture patterns under different land cover in Western Ghats, India. **Journal of Hydrology**, v.397, p. 281-294, 2011.

RICHARDS, R. C.; REROLLE, J., ARONSON, J.; PEREIRA, P. H.; GONÇALVES, H.; BRANCALION, P. H. S. Governing a pioneer program on payment for watershed services: Stakeholder involvement, legal frameworks and early lesson from the Atlantic forest of Brazil. **Ecosystem Services**, v.16, p.23-32, 2015.

TÁRNIK, A.; IGAZ, DUŠAN, I. Quantification of soil water storage available to plants in the Nitra River Basin. **Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus**, v.14, n.2, 2015.

BRASSEL, K.E., REIF, D. A. procedure to generate Thiessen Poligons. 1979; 11 (3): 289-303.

UFV - Universidade Federal DE Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida. Belo Horizonte: **Fundação Estadual do Meio Ambiente**, 2010. 49p.

UFV - Universidade Federal DE Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. Mapa de solos do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: **Fundação Estadual do Meio Ambiente**, 2010. a.

UFV - Universidade Federal DE Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida. Belo Horizonte: **Fundação Estadual do Meio Ambiente**, 2010 .b.

WANG, C.; ZHAO, C.; XU, Z.; WANG, Y.; PENG, H. Effect of vegetation on soil water retention and storage in a semi-arid alpine forest catchment. **Journal of Arid Land**, v.5, p 207-219, 2013.

CAPÍTULO IV

QUALIDADE DE ÁGUA DO RIO MANHUAÇU, MG

RESUMO

Mudanças na ocupação e uso do solo ocorrem de forma frequente, e para que as alterações no uso não causem impactos negativos ao meio ambiente é necessário o manejo de bacias hidrográficas para a produção de água em quantidade e qualidade para os usuários da bacia é fundamental para a realização de ações efetivas na bacia. O objetivo deste capítulo é realizar a análise da qualidade da água de seis diferentes locais na bacia do Rio Manhuaçu e propor medidas para os locais avaliados. Alterações na cobertura da terra ocorrem e podem acarretar em degradação da paisagem. Foi obtido dados hidrografia fornecidos pelo IBGE e curvas de nível do IEDE na escala de 1:50.000 e realizado um MDEHC no software Arc GIS. Foi realizada coleta em campo de seis locais distintos na bacia do Rio Manhuaçu em fevereiro de 2019. Foram também utilizado análises fornecidas pelo SAAE Manhuaçu. As análises foram avaliadas individualmente e através de um Índice de Qualidade de Água (IQA) para os locais avaliados. As sub-bacias Córrego Bom Jesus, Rio Manhuaçu e Rio São Luis apresentaram baixos valores de oxigênio dissolvido com valores de 0,0; 2,3 e 2,5 mg l⁻¹ respectivamente. O Córrego Bom Jesus apresentou o menor valor de IQA, seguido do Rio Manhuaçu e Rio São Luis com valores de 36,69; 44,92 e 47,84 valores considerados ruins. Não foi detectado níveis elevados de agrotóxicos nas águas superficiais. O prodomínio de cafezais próximos aos cursos d'água e a potencial contaminação por agrotóxicos são preocupantes, sendo necessário aumentar a área protegida na região da zona ripária.

1. INTRODUÇÃO

A substituição da vegetação nativa por atividades antropogênicas como agricultura e expansão urbana pode acarretar redução na quantidade e na qualidade de água disponível para a população (CALIJURI et al., 2015; NAMAGUZI et al., 2018). A interação de fatores naturais e antropogênicos podem alterar a qualidade de água superficial em escala temporal e espacial (RODRIGUES et al., 2017).

A relação entre a qualidade de água e o uso da terra tem sido relatada por diversos estudos (MENEZES et al., 2015; MARMONTEL et al., 2018; MELLO et al., 2018). A cobertura vegetal, as propriedades do solo e intensidade de exploração dos recursos naturais vão resultar no fluxo de vazão, transporte de sedimentos e nutrientes para os locais de captação de água (PONTES et al.; 2012; FERNANDES et al., 2015; NETO et al., 2017).

Calijuri et al. (2015) verificaram grande influência do uso e cobertura da terra na alteração da qualidade de água e na vazão dos cursos d'água na bacia hidrográfica Alto Paraguaçu-Ba. Kändler et al. (2017) observaram baixos níveis de concentração de nutrientes e metais pesados na água em locais com predomínio de florestas (>70%), porém, áreas densamente povoadas reduzem a qualidade da água, mesmo com o predomínio de florestas no local.

Para a implantação de programas de manejo de bacias, o monitoramento da qualidade de água é considerado uma das mais importantes ferramentas para diagnosticar a qualidade da bacia (TUNDISI; TUNDISI, 2016; MATTOS et al., 2018). A proposta de implantação do Índice de Qualidade de Água para o monitoramento de qualidade de água vem sendo adotado no Brasil, uma vez que envolve importantes características físicas e químicas da água em um índice de fácil interpretação (RODRIGUES et al., 2018). O atendimento as normas de qualidade de água exigidas pelo CONAMA 357/2005, que classifica os corpos d'água em cinco classes de qualidade, envolvendo diversos parâmetros de qualidade vem sendo adotadas no Brasil para monitoramento ambiental em bacias (MORRETO et al., 2012; PEREIRA et al., 2016).

O crescimento dos centros urbanos tem causado impactos significativos na qualidade e quantidade de água, impermeabilização provocada pelas construções aumenta a condução da água por galerias pluviais (PAULE-MERCADO, et al., 2014; XU et al., 2017). Pontes et al., (2012) avaliaram a qualidade da água em uma bacia urbanizada, onde constataram baixa qualidade na estação seca com redução no nível de oxigênio dissolvido e elevada

concentração de matéria orgânica e nutriente, devido ao lançamento de efluentes por indústrias e esgoto doméstico, com melhora na qualidade na estação chuvosa.

Na bacia do Rio Manhuaçu, a expansão dos chacreamentos e a manutenção das lavouras cafeeiras com a utilização de agrotóxicos e fertilizantes podem acarretar perdas na qualidade de água disponível para a população.

2. OBJETIVOS

Este capítulo teve os seguintes objetivos: i) Avaliar a qualidade da água que chega à cidade de Manhuaçu-MG; ii) Elencar a sub-bacia que mais compromete a qualidade de água; iii) Descrever os parâmetros que tiveram os piores resultados; iv) Determinar a ocupação da terra ou práticas agrícolas que mais compromete a qualidade da água.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

O local avaliado pelo presente estudo concentra-se à montante da sede do município de Manhuaçu-MG, região de cabeceira do Rio Manhuaçu.

A cefeicultura é a principal atividade agrícola da região, acompanhado da pecuária e da silvicultura (OVIEDO-PASTRANA et al., 2014, IBGE, 2016).

A bacia possui as formações geológicas: Complexo Juiz de Fora, Complexo Mantiqueira e granitoides brasileiros com gnaisse tonalítico de Manhuaçu; estas formações geológicas estão sob o domínio morfoclimáticos mares de morro, que apresentam relevos fortemente acidentados (NOCE et al., 2007).

Existe a predominância do Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho, Cambissolo Húmico nas maiores elevações ao sul da bacia e Neossolo Litólico. A vegetação típica é floresta estacional semidecidual e campos rupestres em menor significância (DPS 2010). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Cwb, apresentando clima temperado húmido com inverno seco e verão temperado. A precipitação média é de 1.334 mm ano⁻¹ apresentando 80% do total precipitado no período de outubro a abril (Alvares et al, 2013).

De acordo com as normais climatológicas de pluviômetros localizados próximos ao local verificaram variação de 905 a 2.193 mm ano⁻¹ (<http://ruygripp.com.br>). Os municípios de São João do Manhuaçu e Luisburgo estão com toda a área territorial inserida na bacia, e o

município de Manhuaçu possui 41,61% de seu território inserido dentro da área considerada pelo estudo.

Processamento dos dados

A delimitação da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu foi através da utilização da base de dados de curvas de nível, pontos cotados (<http://iede.fjp.mg.gov.br/>) e hidrografia mapeada (<http://www.ibge.gov.br/>), ambos na escala 1:50.000. Os dados foram reprojatados e utilizados para a geração de um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC). Um MDEHC caracteriza-se por possuir uma coincidência acentuada entre a hidrografia numérica (raster) com a hidrografia mapeada (vetorial).

Para a geração do MDEHC foi necessário conectar a hidrografia, orientar sentido a foz e unifilar, e corrigir erros das curvas de nível para posterior utilização do interpolador Topo to Raster, específico para a geração de um modelo que acompanha as mudanças bruscas no terreno, como os cursos d'água. Após a geração do modelo, possíveis anomalias são corrigidas para garantir que a água fluirá dos locais mais elevados para os locais mais baixos.

Para gerar a hidrografia, é necessário um método sistemático e organizado para obter resultados precisos, para isso a direção do fluxo e o fluxo acumulado em cada célula indicam onde as áreas do canal foram estabelecidas. Portanto, o programa indica o local dos principais canais. A saída desse método é uma base para a criação de vetores de ordem de fluxo que correspondem à hierarquia de rios de acordo com os números de ordem de Strahler (1964). O processamento dos dados e as análises foram realizadas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), software ArcGIS 10.2.2.

Coleta das amostras de água

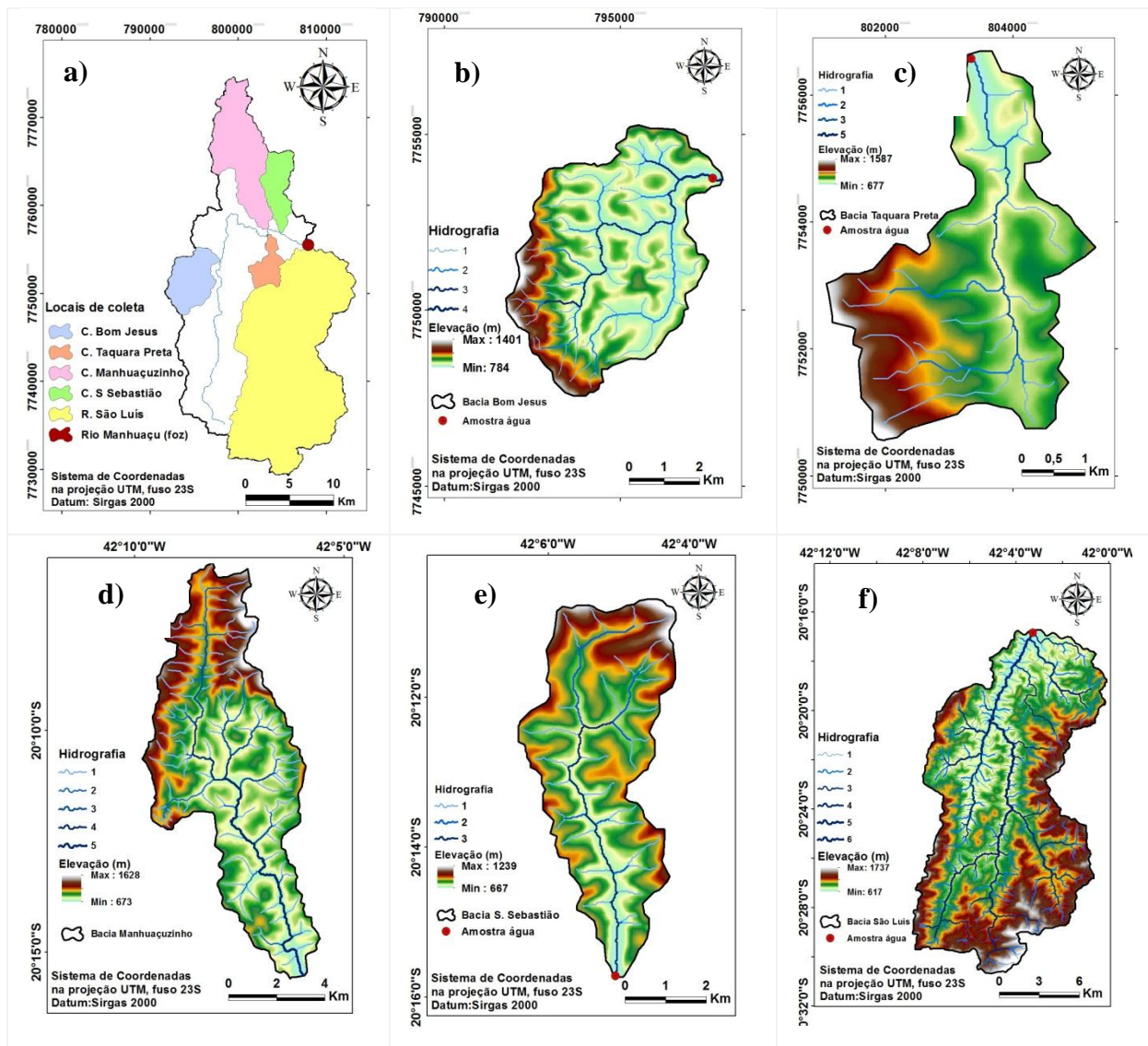
A coleta para avaliação da qualidade da água foi realizada em seis locais distintos no dia 14 de fevereiro de 2019 durante o tempo nublado, segundo exigências do IGAM. Foram analisados dez parâmetros de qualidade de água. Oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, sólidos totais e condutividade (Figura 1, 2).

A coleta de água superficial foi realizada com o uso de bolsas coletoras de 100 ml para as amostras, seguindo as instruções de uso e com as mãos higienizadas com álcool 70% evitar contaminação do material, armazenadas e refrigeradas em caixas térmicas e levadas para análise laboratorial dos parâmetros: coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrogênio total e sólidos totais. Os parâmetros de Oxigênio

dissolvido, pH, turbidez e condutividade foram analisadas *in situ* com equipamentos da marca Digimed[®], a temperatura da água também foi medida no local.

Após a coleta da água, foi realizado ensaios de acordo com metodologias preconizadas em Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23^a edição (APHA, 2017), Water Analysis Handbook, 6^a edição (Hach Company, 2011) e EPA (Environmental Protection Agency), além de metodologias nacionais como ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e Farmacopéia Brasileira.

Figura 1: Locais de coleta da água para análise de qualidade e relevo de sub-bacias hidrográficas do Rio Manhuaçu-MG (a), Córrego Bom Jesus (b), Córrego Manhuaçuinho (c), Córrego Taquara Preta (d), Córrego São Sebastião (e), Rio São Luís (f).



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

Figura 2: Sub-bacias avaliadas no Rio Manhuaçu, (a) Córrego Bom Jesus; (b) Córrego Manhuçuzinho; (c) Córrego Taquara Preta; (d) Córrego São Sebastião; (e) Ribeirão São Luís; (f) Rio Manhuaçu em Manhuaçu.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

Índice de qualidade de água

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) trata-se de um indicador que permite aferir a qualidade das águas em um determinado percurso do corpo d'água, especialmente a contaminação causada pelo lançamento de esgoto doméstico.

O cálculo do IQA é feito por meio do produtório ponderado dos nove parâmetros, sendo atribuídos pesos para cada um desses parâmetros de acordo com sua relevância:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

onde:

IQA = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100;

q_i = qualidade do i -ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Onde n o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

Quadro 1: Pesos correspondentes de cada parâmetro utilizado no IQA na Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu-MG.





Parâmetros	Peso (w)
Oxigênio_dissolvido	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
Potencial hidrogeniônico - pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO _{5,20}	0,10
Temperatura da água	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo total	0,08

Fonte: ANA

Os valores adotados seguem o padrão pelo estado de Minas Gerais. O resultado dessa expressão permite fazer a classificação dos trechos de rio em faixas de qualidade ótima (91-100), boa (71-90), razoável (51-70), ruim (26-50) e péssima (0-25). A avaliação da qualidade da água obtida pelo IQA apresenta limitações, já que este índice não analisa vários parâmetros importantes para o abastecimento público, tais como substâncias tóxicas (ex: metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos), protozoários patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água.

As amostras também foram analisadas padrões ambientais mínimos de qualidade de água foram seguidas a recomendações da Resolução CONAMA 357/2005. A mesma resolução classifica as águas doces segundo seu uso (Quadro 2).

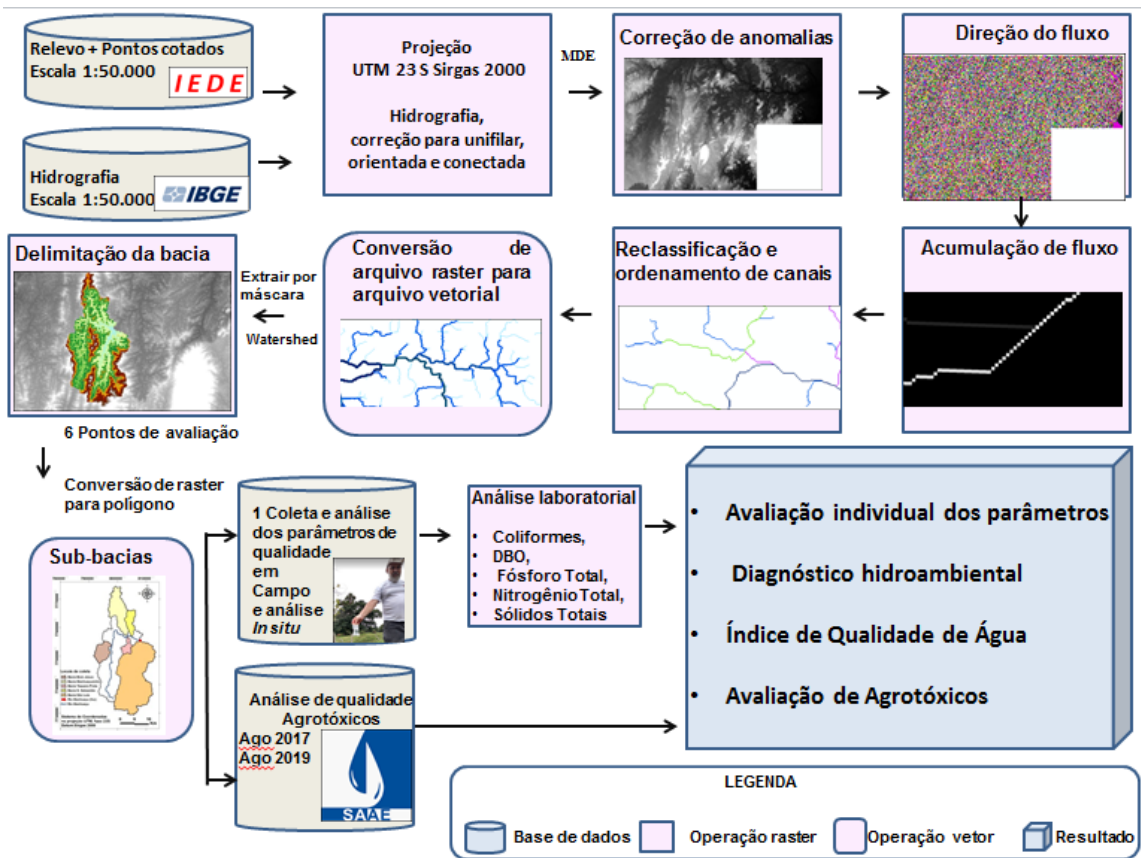
Quadro 2: Classificação de corpos de água doce de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 e representação para análise dos parâmetros de qualidade de água avaliados.

CONAMA 357/2005	Representação
Classe especial: Águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção. Essa classe não está presente na área de estudo.	
Classe 1 - Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado, proteção das comunidades aquáticas, recreação, irrigação de hortaliças e frutas consumidas cruas.	
Classe 2 - Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, proteção das comunidades aquáticas, recreação, irrigação, aquicultura e a atividade de pesca.	
Classe 3 - Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado, irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, pesca amadora, recreação de contato secundário, dessedentação de animais.	

Fonte: Rodolfo Alves Barbosa

Foi utilizada análise de qualidade de água de locais de captação para a cidade de Manhuaçu realizadas pelo SAAE-Manhuaçu nos meses de agosto de 2017 e 2019 (Figura 3).

Figura 3: Organograma das análises de qualidade da água na bacia do Rio Manhuaçu, MG.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área de contribuição das sub-bacias avaliadas corresponde a 65,69% da área da bacia a montante da cidade de Manhuaçu. O município de Manhuaçu realiza a captação de água no córrego Manhuaçu e no Rio Manhuaçu abastecendo 21.738 domicílios, a sub-bacia do Córrego São Sebastião e próximo ao ponto de foz do rio Manhuaçu também são usados para captação para a população da cidade (CBH-Manhuaçu, 2017).

O Córrego Bom Jesus não apresentou oxigênio dissolvido na água no local de coleta, a presença de um local mais plano provoca a redução da velocidade da água, reduzindo a troca gasosa com a atmosfera, a sub-bacia possui residências que não destinam adequadamente o esgoto doméstico e foi verificado lixo dentro do córrego. O Oxigênio Dissolvido é de grande importância para a sobrevivência de vários organismos aquáticos, e baixos valores indicam

locais eutrofizados. Silva, (2007) observou baixa quantidade de oxigênio dissolvido, $1,90 \text{ mg l}^{-1}$ no mesmo local de coleta do presente estudo durante o período chuvoso em novembro de 2016.

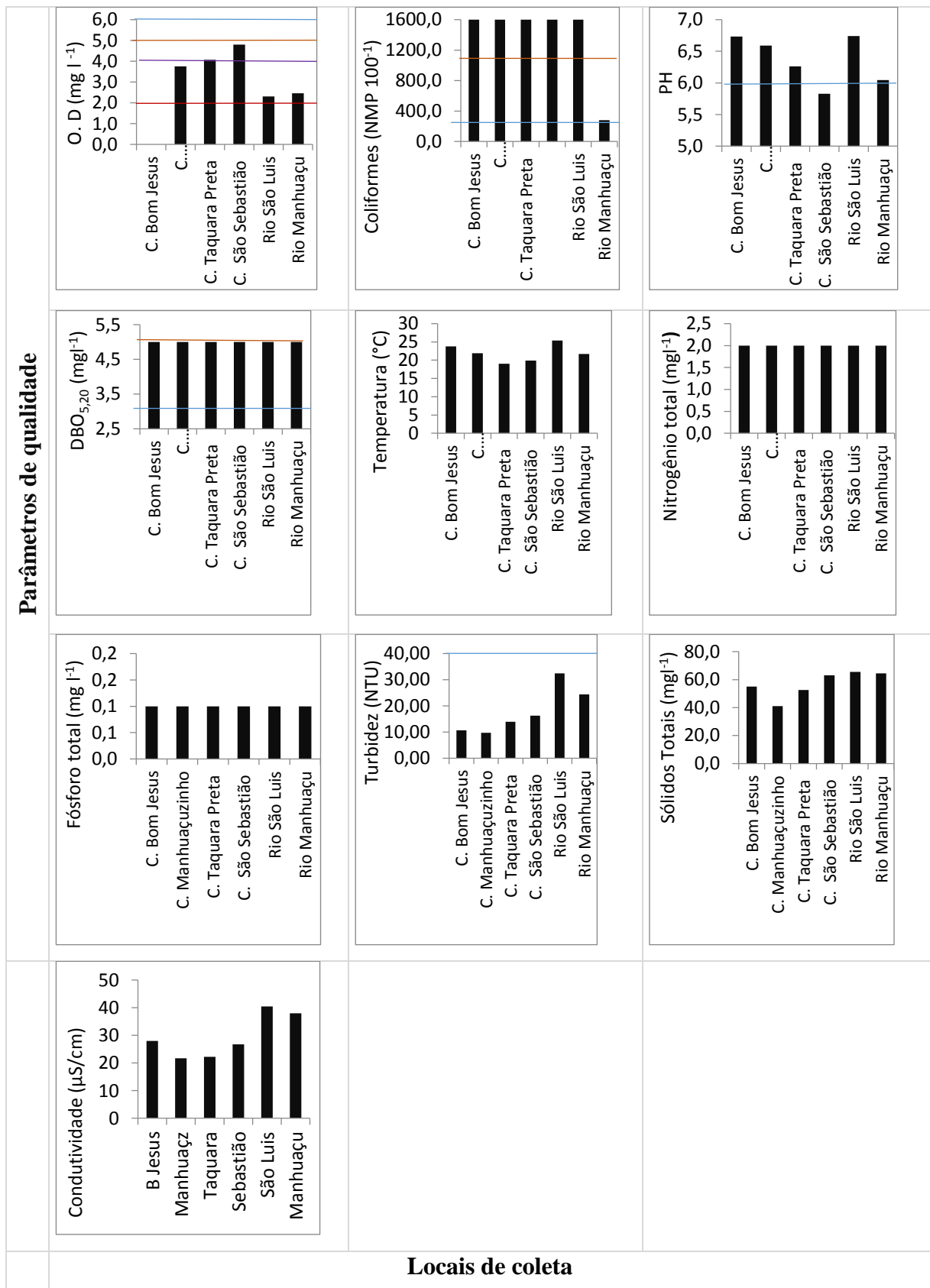
A presença de coliformes termotolerantes foi menor no Rio Manhuaçu $480 \text{ NMT } 100^{-1}$ no local de coleta da amostra, local distinto da captação de água pelo SAAE, que fica a jusante, onde o lançamento de esgoto doméstico é maior recebendo lançamento de esgoto doméstico. Os coliformes termotolerantes são indicadores de poluição por esgoto doméstico e também um indicativo que animais estejam fazendo a dessedentação animal nos cursos d'água (BORTOLI et al., 2017; MELLO et al., 2018). Em época de estiagem, o Rio Manhuaçu dentro da cidade já apresentou mortalidade de peixes com o lançamento de esgoto doméstico acarretou a elevação da concentração de coliformes, consumindo o oxigênio da água (PORTAL CAPARAÓ, 2015).

O pH afeta o metabolismo de organismos aquáticos. A sub-bacia do Córrego São Sebastião teve o menor pH entre os locais amostrados, 5,8, abaixo do que estabelece a resolução do Conama 357/2005 que para a proteção da vida aquática deve estar entre 6 e 7. Andrietti et al (2016) observaram baixo valor de pH para a bacia do Rio Caibi, MT, sendo atribuído à condição natural da bacia, que possui solos antigos com bases lixiviadas.

O parâmetro de $\text{DBO}_{5,20}$ foi de 5 mg l^{-1} para todos os locais amostrados, enquadrados na classe 2 CONAMA 357/2005; este parâmetro indica a quantidade de oxigênio consumido durante 5 dias a 20°C de temperatura (Figura 4). O parâmetro indica a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica existente na água. Amorim et al., (2019) observaram uma maior concentração $\text{DBO}_{5,20}$ no período chuvoso, $8,3 \text{ mg l}^{-1}$, em maio, classificada na Classe III, CONAMA 357/2005 e no período de estiagem, em agosto de 2011, $2,1 \text{ mg l}^{-1}$ no Igarapé Precuá, Maranhão. Silva et al., (2017). Comportamento semelhante também foi observado no Ribeirão Paraíso, GO, onde os locais de coleta apresentaram maior DBO durante o período chuvoso, com média de $4,05 \text{ mg l}^{-1}$ (BATISTA et al., 2017)

A temperatura da água afeta a atividade dos organismos aquáticos, alterando nas características físicas e na taxa de reações químicas e biológicas. A temperatura da água foi maior no Rio São Luis, $25,4^\circ\text{C}$ e a mais baixa para os córregos Taquara Preta e São Sebastião, com 19°C e $19,9^\circ\text{C}$ respectivamente, sendo estes locais mais propícios para a criação de peixes, devido a menor solubilidade da água, permitindo maior oxigenação.

Figura 4: Parâmetros de qualidade de água avaliados em diferentes locais na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, MG.



As atividades agrícolas necessitam de insumos para a produção, a adubação química é amplamente utilizada nas sub-bacias, o que altera a concentração de fósforo e nitrogênio na água. A concentração de nitrogênio total foi 2 mg l^{-1} para todos os pontos de coleta na bacia e $0,1 \text{ mg l}^{-1}$ para fósforo total em todos os locais de coleta. Simedo et al., (2018) observou mudança significativa na concentração de nitrogênio total nas sub-bacias entre o período chuvoso, $0,72 \text{ mg l}^{-1}$ e o período seco $0,57 \text{ mg l}^{-1}$, o mesmo não foi observado para fósforo total, que não apresentou mudanças significativas, com $0,03 \text{ mg l}^{-1}$.

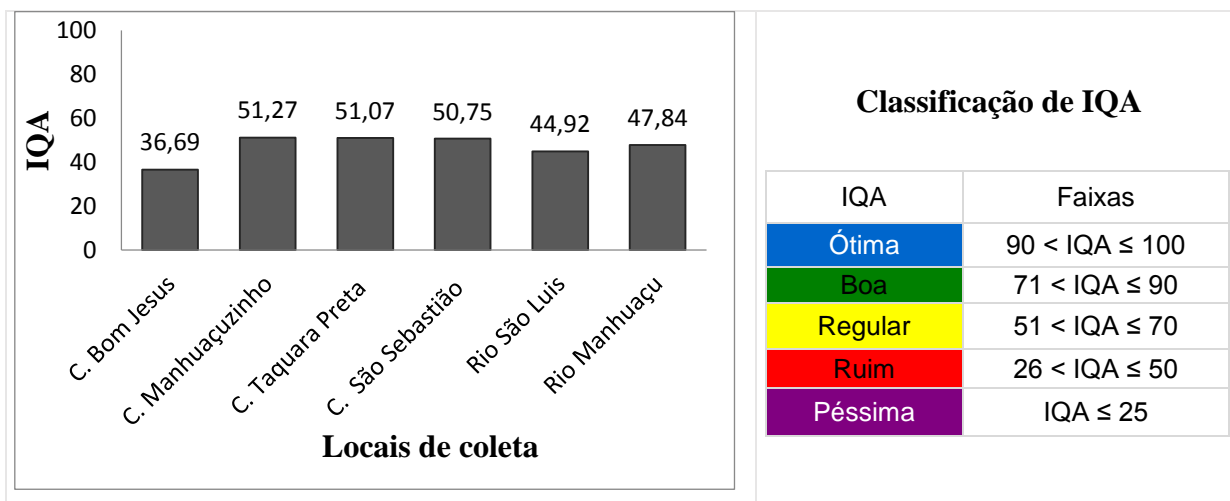
O Rio São Luis apresentou maior turbidez, 32,4 NTU, e maior concentração de sólidos totais na água, $65,5 \text{ mg l}^{-1}$ entre os locais amostrados, o crescimento urbano e concentrado as margens do rio acarretam no aumento da concentração, pois com a preparação do terreno para loteamentos e criação de condomínios expõem o solo desestruturado ao salpicamento das partículas do solo e o transporte dos sedimentos para o leito dos cursos d'água. Andrietti et al., (2016) avaliaram a qualidade de água superficial do rio Caiabi e observaram diferenças nos parâmetros de qualidade, com redução dos sólidos totais de 86 mg l^{-1} na estação chuvosa para 35 mg l^{-1} para a estação seca. Oliveira, Quaresma (2017) observaram que 94% dos sólidos suspensos carregados para o Rio Doce ocorrem no período chuvoso e eventos hidrológicos extremos são os principais responsáveis pelo maior carregamento de material, sendo atribuída a interferência antrópica o aumento desses eventos.

A condutividade elétrica foi mais elevada para o Rio São Luís, $40,40 \text{ } \mu\text{S/cm}$, seguido do Rio Manhuaçu com $37,96 \text{ } \mu\text{S/cm}$. A condutividade elétrica é um parâmetro que mede a concentração de sais dissolvidos na água. Silva et al., (2007) verificou condutividade de 40,03; 27,07; 49,83 e 47,32 para o Córrego Bom Jesus, Córrego Manhuaçu, Rio São Luís e Rio Manhuaçu respectivamente para o período chuvoso em novembro de 2016.

Uma forma de divulgação e interpretação dos parâmetros de qualidade de água é através do IQA, que expressa através de um valor a qualidade da água no local da amostra, sendo utilizado por diversos autores (ANDRIETTI et al., 2016; GLORIA et al., 2017; PIRATOBA et al., 2017; BARROS et al.; 2018) O IQA é obtido a partir do produto ponderado de nove parâmetros de qualidade de água (coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, resíduo total e oxigênio dissolvido) e foi proposto inicialmente por Horton (1965). O menor valor de IQA registrado no presente estudo foi na sub-bacia do Córrego Bom Jesus, 36,69, seguido do Rio São Luís com 44,92, e Rio Manhuaçu com sendo classificados como ruim (Figura 5).

O IQA é uma ferramenta utilizada por diferentes órgãos governamentais por ser de fácil percepção (IGAM, 2019; CETESB, 2019). Menezes et al., (2016) avaliaram a qualidade de água temporal e espacial sob diferentes padrões de uso do solo e observaram redução no IQA para todos os locais amostrados no período seco comparados com o período chuvoso, atribuindo ao lançamento de esgoto doméstico a redução na qualidade. Ramos et al., (2016) avaliaram a qualidade de água para a bacia do Rio Atibaia e Jaguarai para os locais coletados IQA média de 30,2 e 60,4 no período chuvoso e valores de 19,6 e 48,8 no período seco para os Rios Atibaia e Jaguarai respectivamente.

Figura 5: Índice de Qualidade e da Água (IQA) de seis locais na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, MG.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa, IGAM, ANA.

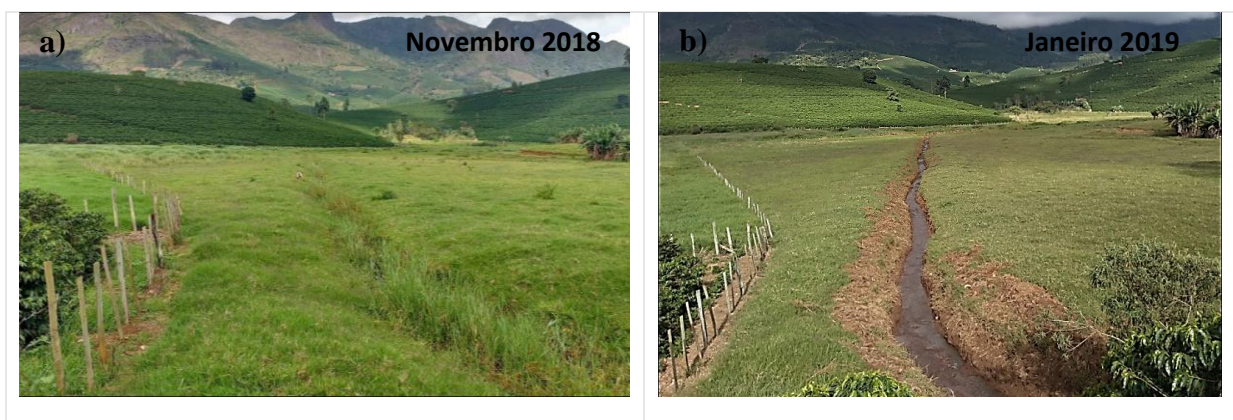
Lobato et al., (2015) propôs a utilização do IQA como uma ferramenta complementar para avaliar a qualidade de água, indicando os locais de influência antrópica no reservatório da hidroelétrica de Tucuruí-AM. De Barros et al., (2018) observaram na bacia do córrego Guanandy-MS que a maioria dos locais que tiveram IQA muito ruim em janeiro de 2017 e ruim para janeiro de 2018, atribuindo ao aumento da precipitação durante que permitiram maior diluição da concentração de nutriente.

Uma das limitações da utilização do IQA é a necessidade de realizar outras análises para maior detalhamento da qualidade da água, como agrotóxicos e também a variação que existe entre o índice utilizado em outros países (RUBIO-ARIAS et al., 2013; RAMOS et al., 2016; WU et al., 2017). Foi observado na sub-bacia dos Faustinos a possível aplicação de herbicidas na vegetação ripária localizada próxima a captação de água para São João do Manhuaçu (Figura 6).

A produção de café é a principal atividade econômica da região. Faria et al., (2002) relatou aumento na área plantada no município de Manhuaçu para a microrregião de Manhuaçu de 77.939 ha em 1985 para 87.175 ha em 1996. Soares et al., (2017) verificou os impactos ambientais e o destino de agrotóxicos aplicados ao café em uma sub-bacia no município de Manhuaçu no período de 2007 a 2010 e constaram maior vulnerabilidade de contaminação do solo no ambiente, mas durante o período chuvoso, o carreamento do solo para o leito do curso d'água tem causado contaminação da água no período chuvoso, aumentando a concentração, principalmente Terbufós, considerado altamente tóxico para a vida aquática.

A utilização de agrotóxicos nas lavouras cafeeiras pode contaminar águas superficiais, a presença de agrotóxicos organoclorados, organofosforados, piretróides, carbamatos e triazóis foram detectadas em amostras coletadas em uma sub-bacia de Dom Corrêa, distrito de Manhuaçu (SOARES et al., 2013).

Figura 6: Zona ripária de cursos d'água desprotegida no Córrego dos Faustinos onde houve aplicação de herbicida no canal entre novembro de 2018 e janeiro de 2019.



Fonte: Rodolfo Alves Barbosa.

Análises de qualidade de água foram realizadas pelo SAAE Manhuaçu em três pontos similares ao do presente estudo, Rio Manhuaçu em Manhuaçu, próximo à captação de água para o município, no Córrego Manhuaçuinho e no Córrego São Sebastião e os níveis detectados de agrotóxicos estão abaixo do limite determinado pelo Conama 357/2005 (Quadro 3). De Queiroz (2018) avaliaram o potencial de lixiviação de agrotóxicos em lavouras cafeeiras na bacia do Rio Itapemirim-ES e verificaram que 50% dos ingredientes ativos podem contaminar águas superficiais e 19,6% de contaminar águas subterrâneas indicando evitar a aplicação próxima aos cursos d'água.

Na bacia, o herbicida mais utilizado é o glifosato. Fernandes et al., (2019) avaliaram a concentração de glifosato na sub-bacia do Rio Capingui, e detectaram concentrações entre 10 no período seco a 309 $\mu\text{g kg}^{-1}$ no período chuvoso, apresentando maior concentração no ponto próximo do perímetro urbano, indicando uso indiscriminado do herbicida.

Caldas et al., (2019) avaliaram a qualidade de águas superficiais e potável coletada no sul do Brasil por quatro anos e foram detectados 22 agrotóxicos, sendo a atrazina a mais frequentemente detectada, com concentrações variando de 5 a 49 ng L^{-1} . De Souza et al., (2019) avaliaram a presença de agrotóxicos em mananciais para abastecimento público em Londrina, Paraná e verificaram a presença de atrazina em 85 e 79% das amostras de água em mananciais e nas amostras de água para abastecimento público, porém as concentrações foram abaixo do máximo exigido pela portaria CONAMA 357/2005.

Quadro 3: Análise de qualidade da água para três diferentes locais de coleta em agosto de 2017 e agosto de 2019 na bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu-MG.

Análise		Período	Pontos de Coleta			Conama 357/2005 (Valor máximo)
			Manhuaçuzinho	S Sebastião	Manhuaçu	
Atrazina $\mu\text{g L}^{-1}$	Herbicida	2018	<0,1	<0,1	<0,1	2
		2019	<0,1	<0,1		
Endrin $\mu\text{g L}^{-1}$	Inseticida	2018	<0,001	<0,001	<0,001	0,004
		2019	<0,001	<0,001		
2,4 D $\mu\text{g L}^{-1}$	Herbicida	2018	<0,1	<0,1	<0,1	4
		2019	<0,1	<0,1		
Glifosato $\mu\text{g L}^{-1}$	Herbicida	2018	<0,1	<0,1	<0,1	65
		2019	<0,1	<0,1		

Fonte: SAAE- Manhuaçu

A preservação e a recuperação da mata nativa em zonas ripárias são fundamentais para a retenção de resíduos e aproximação de animais de criação. A zona ripária encontrada nas áreas de preservação permanente (APPs) e desempenha importante papel na quantidade e qualidade dos recursos hídricos, possuindo estreita ligação com o curso d'água e o lençol freático (ANDRADE, DIAS, 2010; ATTANASIO et al., 2012).

As zonas ripárias em nascentes são os locais sob influência da umidade proveniente do curso d'água e são fundamentais para a preservação da bacia a manutenção da vegetação

nativa (DIAS et al., 2014; BOURGEOIS et al., 2016; LEAL et al., 2016). O gradiente de umidade na zona ripária faz destes locais ambientes distintos quanto ao solo, à vegetação, fauna, topografia local e etc., em virtude da influência com o lençol freático.

Bacias hidrográficas que mantêm maior cobertura vegetal nativa na zona ripária de nascentes apresentam melhor qualidade de água e condições favoráveis à vida aquática, uma vez que são ambientes sensíveis a mudanças de uso do solo (MARMONTEL et al., 2019). Corrêa et al., (2016) avaliaram a qualidade hidroambiental de nascentes para aplicação do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), na microbacia do Pirajibu-Mirim observando que 30,7% estão sem vegetação nativa nas áreas de APP. Paulo-Mercado et al., (2017) verificaram um aumento no volume escoado, nitrogênio total, fósforo total e sólidos suspensos totais com a expansão da terra nua e da cobertura impermeável, os locais onde apresentaram um programa de desenvolvimento sustentável reduziram os impactos negativos de uso da terra.

A gestão integrada de bacias hidrográficas, onde contemple as práticas de manejo como formas de gerenciamento dos recursos hídricos favorecendo a recarga de águas subterrâneas e qualidade da água (MISRA, PACHOURI, 2015). A restauração florestal em zona ripária pode reduzir os sólidos suspensos, nitrogênio total e fósforo total (MELLO et al., 2017). Análises fitossociológicas associadas a técnicas de restauração florestal e o monitoramento estão sendo utilizadas de forma cada vez mais eficiente possibilitando uma diversidade de espécies em menor período de tempo (BALESTRIN et al., 2019; NOBRE et al., 2019).

5. CONCLUSÕES

A qualidade da água que chega à sede do município de Manhuaçu é considerada ruim pelo IQA.

As sub-bacias Córrego Bom Jesus e Rio São Luis apresentaram IQA considerado ruim, comprometendo a qualidade de água do Rio Manhuaçu.

Dentre os parâmetros avaliados, o oxigênio dissolvido e a presença de coliformes termotolerantes foram os parâmetros que mais influenciaram na qualidade de água das sub-bacias.

A ocupação urbana e a presença de animais domésticos na zona ripária dos cursos d'água contribuem com a piora da qualidade da água nas sub-bacias. Os níveis detectados de

agrotóxicos foram abaixo do máximo permitido. Porém, análises durante o período chuvoso são necessárias também.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, D. G, CAVALCANTE, P. R. S, SOARES, L.S, AMORIM, P.E.C. Enquadramento e avaliação do índice de qualidade da água dos igarapés Rabo de Porco e Precuá, localizados na área da Refinaria Premium I, município de Bacabeira (MA). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, n.2, p.251-259, 2017.

ANDRADE, T. M.; DIAS, H. C. T. Water table monitoring in a mined riparian. **Ambiente & Água**, v. 5, n.1, p.29-42, 2010.

ANDRIETTI, G.; FREIRE, R.; AMARAL, A.; ALMEIDA, F. T.; BONGIOVANI, M. C.; SCHNEIDER, R. M. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.11, n.1, 2016.

ATTANAZIO, C. M., GANDOLFI, S.; ZAKIA, M. J. B.; JUNIOR, J. C. T. V. A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas. **Bragantia**, v. 71, n.4, p.493-501, 2012.

BARROS, A.; GUIMARÃES, V.; SANTANA, W. S. C. Water quality index application in two stretches (urban and rural) of Guanandy stream basin, Aquidauana – MS. **Caderno de Geografia**, v.28, n.54, 2018.

BALESTRIN, D.; MARTINS, S.V.; SCHOORL, J. M.; LOPES.; ANDRADE, C. F. Phytosociological study to define restoration measures in a mined area in Minas Gerais. **Ecological Engineering**, v.135, p.8-16, setembro, 2019.

BOURGEOIS, B.; VANASSE, A.; POULIN, M. Effects of competition, shade and soil conditions on the recolonization of the three forest in the planted riparian zones. **Applied Vegetation Science**, v.19, n.4, p.679-688, 2016.

CALDAS, S. S.; ARIAS, J. L. O.; ROMBALDI, C.; MELLO, L. L.; CERQUEIRA, M. B.; MARTINS, A. F.; PRIMEL, E. G. Occurrence of Pesticides and PPCPs in Surface and Drinking Water in Southern Brazil: Data on 4-Year Monitoring. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.30, n.1, p.71-80, 2019.

CALIJURI, M. C.; BUBEL, A. P. M. Conceituação de Microbacias. In: As Florestas Plantadas e a água- implementado o conceito e microbacias hidrográficas como unidade de planejamento, 2006, São Carlos, RiMa, 226p.

CBH-MANHUAÇU. Plano municipal de saneamento básico Manhuaçu – MG. Relatório Final, 491.p, 2017.

De BARROS, A.; GUIMARÃES, W.; SANTANA, W. S. C. Water quality index application in two stretches (urban and rural) of Guanandy stream basin, Aquidauana – MS. **Cadereno de Geografia**, v.28, n.54, 2018.

DE QUEIROZ, V. T.; AZEVEDO, M. M.; QUADROS, I. P. S.; COSTA, A. V.; AMARAL, A. A.; DOS SANTOS, G. M. A. D. A.; JUVANHOL, R. S.; TELLES, L. A. A.; DOS SANTOS, A. R. Environment risk assessment for sustainable pesticides use in coffee production. **Journal of Contaminant Hidrology**, v. 219, p.18-27, 2018.

DE SOUZA, L. F. C. B.; MONTAGNER, C. C.; ALMEIDA, M. B.; KURIDA, E. K.; FREIRE, R. L. Determination of pesticides in the source and drinking waters in Londrina, Paraná, Brazil. Semina: **Ciências Agrárias**, v.40, n.3, p.1153-1164, maio, 2019.

DIAS, R. M.; SALVADOR, N. B.; BRANCO, M. B. C. Identificação do Nível de Degradação de Matas Ripárias com Uso de SIG. **Floresta & Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 150-161, 2014.

FARIA, R. A.; JÚNIOR, J. C. F. M.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, C. A. S.; SANTOS, A. A. Regionalização do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e mudança da composição agrícola na região Zona da Mata, MG. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, n.2, p353-362, 2002.

FERNANDES, G.; APARICIO, V.C.; BASTOS, M.C.; DE GERÓNIMO, E.; Jérôme Labanowski, J.; PRESTES, O. D.; ZANELLA, R.; DOS SANTOS, D. R. Indiscriminate use of glyphosate impregnates river epilithic biofilms in southern Brazil. **Science of the Total Environment**, v.651, p.1377–1387, 2019.

GLORIA, L. P.; HORN, B. C.; HILGEMANN, M. Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta do Índice de Qualidade da Água – IQA. **Revista Caderno Pedagógico**, Lajeado, v. 14, n.1, 2017.

HORTON, R. K. An index number system for rating water quality. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v.37, n. 3, p.300-306, 1965.

LEAL, M. S.; TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; MINGOTI, R. Caracterização hidroambiental de nascentes. **Ambiente & Água**, v. 1, n. 1, p. 146-155, 2017.

MARMONTEL, C. V. F.; LUCAS-BORJA, M. E.; RODRIGUES, V. A.; ZEMA, D. A. Effects of land use and sampling distance on water quality in tropical headwater springs (Pimenta creek, São Paulo State, Brazil). **Science of the Total Environment**, v. 622-623, p.690-701, maio, 2018.

MATTOS, J. B.; SANTOS, D. A.; FILHO, C. A. F.; SANTOS, T. J.; SANTOS, M. G.; De PAULA. Water production in Brazilian montane rainforest: Implications for water resources management. **Environmental Science and Policy**, v.84, p.52-59, 2018.

MELLO, K.; RANDHIR, T. O.; VALENTE, R. A.; VETTORAZZI, C. A. Riparian restoration for protecting water quality in tropical agricultural watersheds. **Ecological Engineering**, 2017.

MELLO, K.; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; VETTORAZZI, C. A. Impacts of tropical forest cover on water quality in agricultural watersheds in southeastern Brazil. **Ecological Indicators**, v.93, p.1293-1301, outubro, 2018.

MELLO, K.; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; SANTOS, A. C. A.; VETTORAZZI, C. A. Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: Watershed versus riparian zone. **Catena**, v.167, p.130-138, 2018.

MENEZES, B. M.; REIS, R.; VALE, M. J.; SARAIVA, R. Land use and land cover change in Zêzere watershed (Portugal)—Water quality implications. **Science of the Total Environment**, v.527-528, p.439-447, 2015.

MISRA, A. K.; PACHOURI, A. Watershed Management Structures and Decision Making Frameworks. **Water Resources Management**, v.29, p.4849-4861, 2015.

MORETTO, D. L.; PANTA, R. E.; COSTA, A. B.; LOBO, E. A. Calibration of water quality index (WQI) based on Resolution n° 357/2005 of the Environment National Council (CONAMA). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v.24, n.1, jan/mar, 2012.

NOBRE, S. R.; BORGES, J. G.; DIAZ-BALTEIRO, L.; RODRIGUEZ, L. C. E.; GLEHN, H. G. V.; ZAKIA, M. J. A generalizable monitoring model to implement policies to promote forest restoration – A case study in São Paulo – Brazil. **Forest Policy and Economics**, v.103, p.123-135, junho, 2019.

OLIVEIRA, S. S.; QUARESMA, V. S. Temporal variability in the suspended sediment load and streamflow of the Doce River. **Journal of South American Earth Sciences**, v.78, p.101-115, 2017.

PEREIRA, B. W. F.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA F. A.; ALVES, A. M. S.; RIBEIRO, A. M.; FERREIRA, B. M.; RIBEIRO, E. G. P. Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. **Ambiente & Água**, v.11, n.2, abril/junho, 2016.

PIRATOBA, A. R. RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GONÇALVES, W. G. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v.12, n.3 Taubaté, Maio, 2017

PORTAL CAPARAÓ. Site de notícias de Manhuaçu e região. Disponível em: <https://www.portalcaparao.com.br/noticias/visualizar/15332/mau-cheiro-peixes-mortos-o-rio-manhuacu-agoniza>. Acesso em 07 de setembro de 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE LUISBURGO. História da cidade. Disponível em: <http://luisburgo.mg.gov.br/historia-da-cidade> Acesso no dia 28 de junho de 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MANHUAÇU. História da cidade. Disponível em: <http://www.manhuacu.mg.gov.br/detalhe-da-materia/info/historia/6498>. Acesso no dia 28 de junho de 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOÃO DO MANHUAÇU. História da cidade. Disponível em: <http://www.saojoaodomanhuacu.mg.gov.br/a-cidade/historia-do-municipio> Acesso no dia 28 de junho de 2018

RAMOS, M A .G.; OLIVEIRA, E. S. B.; PIÃO, A. C. S. LEITE, A. N. O.; ANGELIS, D. F. Water Quality Index (WQI) of Jaguarai and Atibaia Rivers in the region of Paulínia, São Paulo, Brazil. **Environment Monitotoring and Assessment**, p.188:263, 2016.

RODRIGUES, V.; ESTRANY, J.; RANZINO, M.; CICCIO, V.; MARTÍN-BENITO, M. T.; HEDO, J.; LUCAS-BORJA, M. E. Effects of land use and seasonality on stream water quality in a small tropical catchment: The headwater of Córrego Água Limpa, São Paulo (Brazil). **Science of The Total Environment**, v.622-623, n.1, p.1553-1561, maio, 2018.

RODRIGUES, I. R.; GERALDES, M. C.; FERREIRA, A. A.; SALOMÃO. M. S.; ANVERSA, S. V. Analysis od the water quality index of the Negro and Rezende Rivers in Duas Barras District, Rio de Janeiro (Brazil). **Journal of Sedimentary Environments**, v.3, n.2, p.121-130, Abril-Junho, 2018.

RUBIO-ARIAS.; H.; OCHOA-RIVERO.; QUINTANA, R. M.; SAUCEDO-TERAN, R.; ORTIZ-DELGADO, R. C.; REY-BURCIEGA, N. I.; ESPINOZA-PRIETO, J. R. Development of a Water Quality Index (WQI) of na artificial aquatic ecosystem in Mexico. **Journal of Environmental Protection**, v.4, p.1296-1306, 2013.

SERPA, D.; NUNES, J. P.; ABRANTES, N. Impacts of climate and land use changes on the water quality of a small Mediterranean catchment with intensive viticulture. **Environmental Pollution** , v.224, p.454-465, fevereiro, 2017.

SIMEDO, M. B. L.; MARTINS, A. L. M.; PISSARRA, T. C. T.; LOPES, M. C.; COSTA, R. C. A.; VALLE-JUNIOR, R. F.; CAMPANELI, L. C.; ROJAS, N. E. T.; FINOTO, E. L. Effect of watershed land use on water quality: a case study in Córrego da Olaria Basin, São Paulo State, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v.78, n.4, p.625-635, 2018.

SOARES, A. F. S.; LEÃO, M. M. D.; FARIA, V. H. F.; COSTA, M. C. M.; MOURA, A. C. M.; RAMOS, V. D. V.; VIANNA NETO, M. R.; COSTA, E. P. Occurrence of pesticides from coffee crops in surface water. **Ambiente & Agua**, v.8, n.1, p. 62-72, 2013.

SOARES, A. F. S.; LEÃO, M. D.; NETO, M. R. V. Environmental fate of pesticide applied on coffee crops in southeast of Brazil. **African Journal of Environmental Science and Technology**, v.11, p.103-112,2017.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Integrating ecohydrology, water management, and watershed economy: case studies from Brazil. **Ecohydrology & Hydrobiology**, 2016.

WU, Z.; ZHANG, D.; CAI, Y.; WANG, X.; ZHANG, L.; CHEN, Y. Water quality assessment based on the water quality index method in Lake Poyang: The largest freshwater lake in China. **Scientific Reports**, v.7, 2017.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu possui grande dimensão e variadas atividades agrícolas e econômicas nos municípios que a compõe, sendo importante a continuação de pesquisas e trabalhos na bacia.

O Comitê de Bacias Águas do Rio Manhuaçu, como órgão gestor das águas, pode através da influência que exerce sobre os gestores municipais adotarem medidas que aumentem a proteção dos cursos d'água e aumentem a produtividade dos produtores da região, promovendo assim a quantidade de água infiltrada no solo, reduzindo picos de vazão.

A manutenção de vegetação nativa em áreas ripárias é fundamental para a melhoria na qualidade de água em sub-bacias, sendo aconselhável a proteção e restauração destes locais.

Atividades que favoreçam a recarga e qualidade de água dos cursos hídricos são aconselháveis por toda a bacia. A cooperação social pode estimular a iniciativa dos moradores da bacia a desenvolverem técnicas conservacionistas de solo e água. Nesse sentido o manejo de bacias hidrográficas é sem dúvida a ferramenta indicada para a sustentabilidade do Rio Manhuaçu.