Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

BALANÇO HÍDRICO DE UMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA NA MATA ATLÂNTICA: IMPLICAÇÕES PARA O MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS

RODRIGUES, Alisson Lopes – alissonl.rodrigues44@gmail.com
Faculdade de Ciências Biológicas e da Saúde / UNIVIÇOSA

VILLA, Pedro Manuel – pedro.villa@ufv.br
Universidade Federal de Viçosa / UFV

RODRIGUES, Alice Cristina – alice.cristina@ufv.br
Universidade Federal de Viçosa / UFV

MATA, Rafles Anselmo – rafles.mata@hotmail.com
Faculdade de Ciências Biológicas e da Saúde / UNIVIÇOSA

MARTORANO, Lucieta Guerreiro – lucieta.martorano@embrapa.br
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / EMBRAPA Amazônia Oriental

RESUMO: O estudo de bacias e microbacias hidrográficas fornecem importantes indícios dos impactos da ação antrópica sobre as paisagens naturais. Além disso, as bacias hidrográficas geram bens e serviços para a humanidade, os chamados serviços ecossistêmicos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o balanço hídrico em uma microbacia hidrográfica no Município São Miguel do Anta, Minas Gerais, Brasil. Procurou-se apontar os benefícios do balanço hídrico no manejo do solo visando identificar as melhores épocas com estoques de água no solo capazes de manter o potencial produtivo em cultivos agrícolas como garantia de prestação de serviços ecossistêmicos. As estimativas do balanço hídrico na microbacia foram realizadas usando métodos que incluam no modelo variável explicativas de fluxos associados à precipitação pluvial, evaporação, evapotranspiração, vazão, armazenamento de água em reservatórios, e estimação de água usada na irrigação. Observa-se que a maior evapotranspiração da microbacia ocorreu no mês de janeiro com um valor médio de 93,9 mm e as menores taxas evapotranspiratórias ocorreram em junho com 56,5 mm. Esses resultados evidenciam que em janeiro há maior oferta de água no solo, pois os déficits hídricos são reduzidos, atingindo no máximo 94,4 mm. Em março os excessos hídricos atingem valores médios de 149,4 mm, indicando que há alta oferta de água na microbacia para atender a demanda evapotranspiratória das plantas. Os meses de fevereiro, março, novembro e dezembro contabilizaram as maiores cotas pluviais, chegando ao máximo de 230 mm no mês de março. Por outro lado, os meses menos pluviosos foram maio, junho, julho e janeiro, atingindo valores mínimos de 3 mm no mês de junho. O principal fluxo de saída de água da bacia hidrográfica foi devido à evapotranspiração, correspondendo a 80%, reforçando a importância desse serviço ecossistêmico em bombear para atmosfera vapor de água para manter o ciclo hidrológico na microbacia hidrográfica. A variação sazonal da vazão média da microbacia é explicada pela estacionalidade das chuvas que determinam o balanço hídrico e que são influenciadas pelos tipos de cobertura do solo nas diferentes formas de uso da água para atender as atividades antrópicas em microbacias hidrográficas.

PALAVRAS-CHAVE: déficit hídrico, disponibilidade de água, evapotranspiração, relação água-planta-solo, serviços ecossistêmicos.

WATER BALANCE OF A MICROBASIN IN ATLANTIC FOREST: IMPLICATIONS FOR THE WATER RESOURCES MANAGEMENT

ABSTRACT: The study of hydrographic basin and micro basin provides important evidence of the impacts of anthropic action on natural landscapes. In addition,

hydrographic basins generate goods and services for humanity, the so-called ecosystem services. In this context, the objective of this work was to evaluate the water balance in a hydrographic micro basin in São Miguel do Anta, Minas Gerais, Brazil. In addition, we discussed the implications of water balance on the management and maintenance of this ecosystem service. The water balance of the micro basin was estimated from the different associated flows: precipitation, evaporation, flow, storage of water in reservoirs, and estimation of water used in irrigation. The highest evapotranspiration of the micro basin occurred in January with an average value of 93.89 mm, and the lowest was in June with 56.5 mm. The period of greatest water deficit occurred in January reaching a maximum of 94.39 mm. The period of greatest excess water occurred in March reaching the average value of 149.44 mm this month. While, between February, March, November and December have the highest precipitation values, reaching the maximum of 230 mm in March, the lowest rainfall rates were observed in the months between May, June, July and January. less precipitation with 3 mm in June. The main outflow of water from the micro basin was due to evapotranspiration, corresponding to 80%. There was a marked seasonal variation of the average flow of the micro basin, these results demonstrate a marked seasonality of precipitation, which determines the water balance of the micro basin and the types of water use for different human activities.

KEYWORDS: ecosystem services, evapotranspiration, water deficit, water availability, water-soil relationship.

BALANCE HÍDRICO EN UNA MICROCUENCA DE LA MATA ATLANTICA: IMPLICACIONES PARA EL MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS

RESUMEN: El estudio de la cuenca hidrográfica y la microcuenca proporciona evidencias importantes de los impactos de la acción antrópica en los paisajes naturales. Además, las cuencas hidrográficas generan bienes y servicios para la humanidad, los llamados servicios ecosistémicos. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el balance hídrico en una cuenca en São Miguel do Anta, Minas Gerais, Brasil. Además, discutimos las implicaciones del balance hídrico en la gestión y el mantenimiento de este servicio del ecosistema. El balance hídrico de la cuenca se estimó a partir de los diferentes flujos asociados: precipitación, evaporación, flujo, almacenamiento de agua en embalses y estimación del agua utilizada en el riego. La evapotranspiración más alta de la cuenca se produjo en enero con un valor promedio de 93.89 mm, y la más baja fue en junio con 56.5 mm. El período de mayor déficit hídrico ocurrió en enero alcanzando un máximo de 94,39 mm. El período de mayor exceso de agua ocurrió en marzo, alcanzando el valor promedio de 149,44 mm este mes. Mientras que entre febrero, marzo, noviembre y diciembre tienen los valores más altos de precipitación, alcanzando un máximo de 230 mm en marzo, las tasas de precipitación más bajas se observaron en los meses entre mayo, junio, julio y enero. menos precipitaciones con 3 mm en junio. La salida principal de agua de la cuenca se debió a la evapotranspiración, que corresponde al 80%. Hubo una marcada variación estacional del flujo promedio de la cuenca, estos resultados demuestran una marcada estacionalidad de la precipitación, que determina el balance hídrico de la cuenca y los tipos de uso del agua para diferentes actividades humana.

PALABRAS CLAVE: déficit hídrico, disponibilidad de agua, evapotranspiración, relación agua-suelo, servicios ecosistémicos.

1. INTRODUÇÃO

O estudo dos impactos da ação antrópica sobre as bacias e microbacias hidrográficas fornecem importantes indícios sobre as condições dos recursos hídricos em diferentes tipos de ecossistemas (CHICHARO et al., 2015; WANG et al., 2015). Além disso, as bacias hidrográficas fornecem bens e serviços para a humanidade, os chamados serviços ecossistêmicos (POSTEL & THOMPSON,

2005). É considerado um serviço ecossistêmico das bacias hidrográficas a provisão de recursos hídricos determinantes para diferentes atividades econômicas (ex. agricultura) e bem-estar da sociedade (IPCC 2014). Entre os serviços ecossistêmicos fornecidos pelas bacias hidrográficas, destacam-se os serviços de purificação e filtragem da água, a regulação dos fluxos estacionais, e a preservação e conservação de hábitats naturais, além do abastecimento de água à população (POSTEL & THOMPSON, 2005; CHICHARO et. al., 2015). Neste contexto, os ecossistemas florestais são conhecidos como um dos mais importantes para a provisão de serviços ecossistêmicos, sendo fundamentais para a manutenção das bacias hidrográficas (WANG et. al., 2015). Bacias e microbacias com alta proporção de áreas florestadas possuem uma maior capacidade de atenuação do escoamento superficial, bem como de purificação de recursos hídricos (POSTEL THOMPSON, 2005; WANG et. al., 2015). Portanto, para assegurar o fornecimento e a manutenção dos recursos hídricos em bacias hidrográficas devem-se conservar as áreas com cobertura florestal e estabelecer critérios de manejo sustentável no uso da terra (RODRIGUES et al., 2019).

A Mata Atlântica é um dos biomas mais ameaçados do mundo, devido aos efeitos negativos decorrentes de mudanças históricas e atuais relacionadas ao uso da terra (SCARANO & CEOTTO, 2015). Em decorrência disso, restam hoje apenas cerca de 10% de suas florestas nativas conservadas (RIBEIRO et al. 2009), gerando um conjunto de fragmentos de remanescentes florestais cercadas por matrizes de agricultura, pastagem, plantações de eucalipto ou zonas urbanas (JOLY et al. 2014). Essa floresta nativa remanescente, onde 83,4% dos fragmentos são menores que 50 ha (RIBEIRO et al. 2011), está sofrendo ainda pressões antrópicas, com estimativas de redução de 80% dessa cobertura (SCARANO & CEOTTO, 2015), o que torna a Mata Atlântica altamente vulnerável (SCARANO & CEOTTO, 2015). De acordo com o IPCC (2014), os sistemas vulneráveis, estão sujeitos a impactos negativos sobre meios de subsistência das populações humanas locais, devido à degradação de bacias hidrográficas e mudanças climáticas. Assim, é importante sinalizar que os serviços ecossistêmicos mantidos pela Mata Atlântica para mais de 60% da população brasileira que vivem em seus limites (Scarano & Ceotto, 2015) está fortemente ameaçado pelas mudanças no uso da terra e pelas alterações climáticas.

Apesar disso, esses fragmentos remanescentes da Mata Atlântica são importantes reservatórios de biodiversidade, carbono na biomassa florestal, e outros recursos, entre os principais serviços ecossistêmicos providos (MAGNAGO et. al., 2015). No entanto, a maioria dos estudos sobre serviços ecossistêmicos da Mata Atlântica focam-se principalmente na avaliação da estocagem de carbono na biomassa das árvores (MAGNAGO et. al., 2015; RODRIGUES et. al. 2019a, 2019b), sendo limitadas as pesquisas que avaliem outros serviços ecossistêmicos, como os recursos hídricos nas microbacias dessa região. Por exemplo, pouco se sabe como as mudanças no uso da terra têm alterado os recursos hídricos nas bacias e microbacias hidrográficas da Mata Atlântica. Ressalta-se que compreender a dinâmica desse importante recurso frente às alterações antrópicas e mudanças climáticas subsidia ações capazes de traçar planos de manejo e conservação em bacias e microbacias hidrográficas, não somente na Mata atlântica como também em diversos outros biomas brasileiros, garantindo impactos positivos no âmbito ambiental e socioeconômico.

Neste contexto, alguns estudos tem demostrado que o monitoramento do balanço hídrico em bacias hidrográficas representa um método eficiente para quantificar os excessos e déficits de água ao longo do tempo (CHICHARO et. al., 2015; WANG et. al., 2015). Além disso, as inter-relações entre os diferentes fluxos do balanço hídrico (precipitação, evaporação, evapotranspiração potencial e real, vazão, entre outros) de uma bacia hidrográfica em escala local dependem diretamente do tipo de ecossistema e dos padrões atuais no uso da terra (CHICHARO et. al., 2015; WANG et. al., 2015; RODRIGUES et. al., 2019). As estimativas de balanços hídricos em bacias hidrográficas representam um método fundamental para o planejamento atual e futuro do recurso hídrico desde uma escala local (RODRIGUES et. al., 2019), até uma escala regional (CHICHARO et. al., 2015; WANG et. al., 2015). Neste sentido, mudanças no uso da terra atuais ou futuras podem alterar a dinâmica dos diferentes fluxos do balanço hídrico (WANG et. al., 2015; SMERDON, 2017) e em consequência o nível de vazão das microbacias (RODRIGUES et. al., 2019). Sendo assim, o monitoramento do balanço hídrico nas bacias e microbacias hidrográficas da Mata Atlântica entende-se como sendo de alta prioridade; pois este apresenta-se como um método para a avaliação da degradação de áreas que estão sob alta intensificação no uso da terra.

Com isso, nesta pesquisa avaliou-se o balanço hídrico em uma microbacia hidrográfica no Município São Miguel do Anta, Minas Gerais, Brasil. Foram quantificados os principais fluxos do balanço hídrico (precipitação e evapotranspiração, vazão) para estimar a capacidade de armazenamento e o estado de conservação do recurso hídrico na microbacia. Com estes resultados, espera-se proporcionar critérios para atualizar o plano de manejo e conservação do recurso hídrico da comunidade, favorecendo a manutenção do recurso hídrico fornecidos pela microbacia hidrográfica à população.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida em uma microbacia hidrográfica de 3,2 km^2 localizada na comunidade Fartura, município de São Miguel do Anta (20°44´11,28´´S e 42° 43´ 9,22´´W), Minas Gerais, Brasil (Figura 1; Tabela 1). Segundo a classificação de Koppen o clima é do tipo CwA tropical de altitude, com inverno seco e frio, verão úmido e quente, com os maiores valores de precipitação entre os meses de dezembro a março (média de 1.300 mm). Seguindo as regras da classificação hidrográfica, a bacia é de ordem 2 (< 5 km2), arredondada e tem maior chance de concentração de grandes volumes de enxurradas nos seus cursos de drenagem (VALENTE & GOMES, 2011). Apresentam-se também outras características na microbacia, obtidas através de medições locais (Tabela 1).

O relevo caracteriza-se pela presença de Planalto com domínio predominante dos "Mares de Morros" na Zona da Mata Mineira, essa característica geomorfológica favorece o escoamento superficial (enxurrada) e a erosão. A vegetação predominante na região é caracterizada como Floresta Estacional Semidecidual de acordo com a classificação de VELOSO et. al. (1991).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

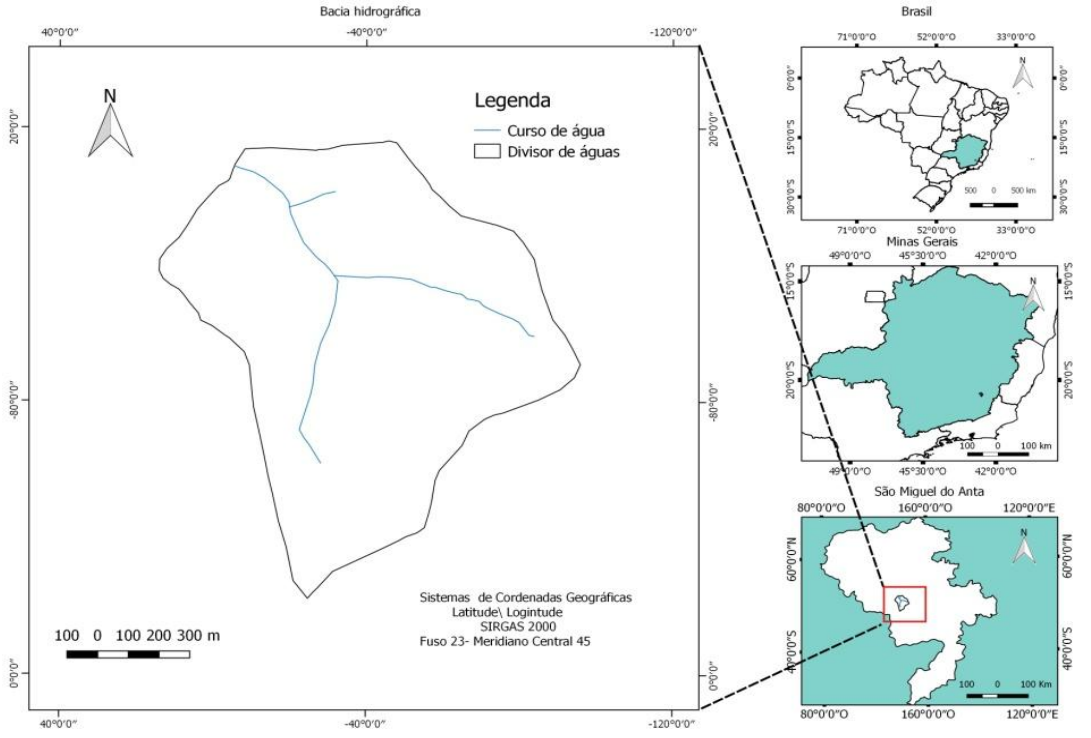

Figura 1 - Localização geográfica da microbacia hidrográfica na comunidade Fartura, município de São Miguel do Anta, Minas Gerais, Brasil. Adaptado de RODRIGUES et al. (2019).

O procedimento utilizado para a delimitação da microbacia consistiu na identificação do limite do divisor topográfico de cotas altimétricas mais elevadas que a circunda, realizado a partir de sua foz. A delimitação foi realizada utilizando a base cartográfica do IBGE, em formato vetorial, na escala de 1:1.000.000 (disponível em https://portaldemapas.ibge.gov.br). A partir do qual, faz-se uso da poligonal que delimita a microbacia. Os procedimentos de vetorização foram realizados a partir métodos baseados em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), utilizando ferramenta de geoprocessamento, QGIS versão 2.14 (Figura 1; Tabela 1).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 1 - Características fisiográficas e aspectos quantitativos dos recursos hídricos da microbacia hidrográfica.

Características	Valor
Área de drenagem	4,68 km
Perímetro	3,2 km^2
Comprimento do leito principal	863m
Elevação média	680m
Declividade equivalente	0,206 m m^{-1}
Fator de forma	1,07
Coeficiente de compacidade	0,62
Densidade de drenagem	0,65 km km^{-1}
Ordem	2
Tempo de concentração	72 minutos
Vazão média anual	5,82 L s^{-1}
Vazão de permanência com 95% de probabilidade	1,76 L s^{-1}
Vazão mínima de 1 mês com período de retorno de 10 anos	1,60 L s^{-1}
Vazão mínima de 7 meses consecutivos com período de retorno (T) de 10 anos	1,35 L s^{-1}

Fonte: IBGE e estação própria do autor.

2.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A amostragem dos diferentes fluxos do balanço hídrico (precipitação, evaporação, vazão) dentro da microbacia foi realizada em diferentes escalas temporais (diária e semanal). Todas as medições foram realizadas entre fevereiro 2018 e fevereiro de 2019. Cinco pluviômetros automáticos foram instalados e distribuídos sistematicamente no interior da microbacia hidrográfica. Os pluviômetros estavam conectados a um Datalogger programado para armazenar valores de precipitação a cada 10 minutos. Em cada mês o dispositivo de memória foi extraído para descarregar os dados com o auxílio de um microcomputador para posterior tratamento de dados.

A evapotranspiração de referência (Eto) foi estimada a partir de dados monitorados em um tanque "Classe A" que consistiu em medir diariamente valores da evaporação de tanque metálico padronizado. Os cálculos foram efetuados pela diferença entre duas leituras consecutivas entre medições do volume de água armazenada no tanque. A Eto foi determinada pela equação (E1):

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

$$ETo = Kp\ ECA \qquad (E1)$$

Em que, Kp é o coeficiente de tanque, e ECA é a evaporação do tanque "Classe A", expressada em mm.

A medição da vazão da microbacia foi realizada diariamente com cinco repetições por dia de amostragem. Usou-se um vertedor triangular de parede delgada para medir a vazão mínima, pois seguindo a NBR 13403\95 (que trata sobre medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores) os vertedores triangulares oferecem maior precisão para vazões menores que 30L s^{-1}, sendo uma característica do canal fluvial na jusante da microbacia. Para a vazão máxima optou-se pela técnica do flutuador que oferece maior precisão com uma maior quantidade de água no canal fluvial. As equações utilizadas para determinar a vazão (Q) no vertedor triangular e retangular foi a equação E2:

$$Q=1{,}32\times h^{2,5} \qquad (E2),$$

em que h a carga hidráulica (RAMOS & OLIVEIRA 2003). De forma contrária, o método do flutuador baseia-se no fato de que a vazão pode ser calculada através do produto de uma dada seção do curso d'água pela velocidade do fluxo nessa seção, corrigido por um coeficiente, sendo que esse método aplicado em vazões maiores e com boa profundidade e é calculado pela equação E3:

$$Q=C\times S\times V \qquad (E3)$$

em que S a área da seção; V a velocidade do fluxo; C o coeficiente de correção para valor real (RAMOS & OLIVEIRA 2003).

Na análise da variação temporal dos reservatórios de água da microbacia, monitorou-se o nível de água acumulado. Para tanto, foi necessário estimar as dimensões de área e volume de água de cada reservatório, através de mensurações do perímetro e profundidades em diferentes pontos do reservatório. Estas estimações foram parte da dinâmica do balanço hídrico da microbacia, pelas perdas por evaporação e uso para irrigação (LÉLLIS et. al., 2017). Finalmente, foram diagnosticados diferentes aspectos relacionados com o uso da água para irrigação e uso doméstico em cada propriedade da comunidade Fartura, baseado nos métodos de LÉLLIS et. al. (2017).

O balanço hídrico foi estimado através das variáveis de entrada e saída fluxos de água do sistema ao longo do tempo, de acordo com LIBARDI (2005) com a equação que expressa a variação do armazenamento de água no perfil do solo (E4):

$$\Delta A = P \pm Q - Es - ET \qquad (E4),$$

sendo ΔAi o armazenamento de água no solo no dia i, Pié a precipitação; Ci é a capilaridade a partir da água disponível na profundidade do solo; ET é a evapotranspiração; Q é a percolação; e ES é o escoamento superficial.

3. RESULTADOS

Observou-se que a maior demanda evapotranspirométrica ocorreu no mês de janeiro com um valor médio de 93,89 mm, e a menor foi no mês de junho com 56,5 mm. O período de maior déficit hídrico ocorreu no mês de

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

janeiro chegando ao máximo de 94,39mm. Os maiores valores de excesso hídrico foram contabilizados em março com médias de 149,44mm. Enquanto que entre os meses de fevereiro, março, novembro e dezembro apresentam os maiores valores de precipitação, chegando ao máximo de 230 mm no mês de março. As menores cotas pluviais foram observadas nos meses de maio, junho, julho e janeiro, sendo em junho com apenas 3 mm de chuva, reforçando a redução na oferta pluvial na microbacia hidrográfica (Figura 2; Tabela 2).

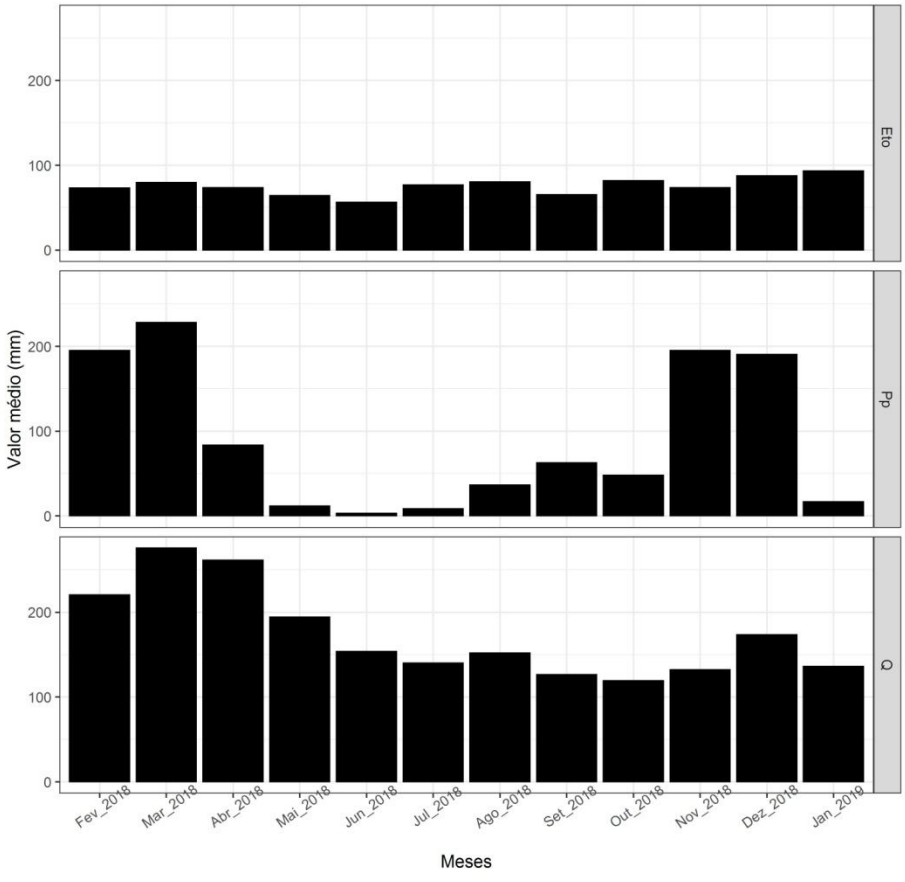

Figura 2 - Distribuição anual da precipitação pluvial normal (Pp), evaporação (Eto), e vazão (Q), na microbacia hidrográfica

Observou-se uma a marcada variação sazonal da vazão média da microbacia (Figura 2). Estimou-se uma alta demandada de água para produção pecuária seguido de água destinada para a o consumo nas residências dos moradores locais, e finalmente em uma propriedade se usa água para irrigação complementar de culturas anuais durante o período de inverno com média de 4,2 L s^{-1}. A maior parte das culturas permanentes (café, espécies fruteiras, banana) não requer irrigação e dependem da dinâmica do volume de água precipitada ao longo do ano.

Finalmente os reservatórios apresentam um total de 1,09 ha, representado 0,3% do total da área da microbacia. Assim, a taxa de evaporação

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

média estimada foi de aproximadamente 899,46mm ano-1 de fluxo de água para atmosfera, correspondendo aproximadamente um fluxo de 9.701 m3ano^{-1}.

Tabela 2 - Balanço hídrico da microbacia hidrográfica, comunidade Fartura, São Miguel do Anta, Minas Gerais, Brasil.

Meses	Eto(mm)	P(mm)	P-Eto(mm)	Def(mm)	Exc(mm)
Fev	70,24	195,1	124,86	0,0	124,86
Mar	78,66	228,1	149,44	0,0	149,44
Abr	73,86	84,63	10,77	0,0	10,77
Mai	61,06	11,7	-49,36	49,36	0,0
Jun	56,5	3	-53,5	53,5	0,0
Jul	76	8,25	-67,75	67,75	0,0
Ago	80,2	36,25	-43,95	43,95	0,0
Set	67,05	62,5	-4,55	4,55	0,0
Out	82,56	48	-34,56	50,6	0,0
Nov	73,4	195	96,6	0,0	121,6
Dez	86,04	190,5	87,46	0,0	104,46
Jan	93,89	16,5	-77,39	94,39	0
Média	74,75	89,83	11,4	30,73	42,59
Total	899,46	1078,4	137,61	368,87	511,13

Indica-se valores mensais de evapotranspiração (ETo), precipitação (P), déficit (DEF) e excesso hídrico (EXC).

De maneira geral, o balanço hídrico apresentou o mesmo comportamento das chuvas, em que nos meses mais chuvosos o excedente hídrico é maior, sem ocorrência de déficit hídrico, influenciando diretamente na vazão especifica da microbacia hidrográfica, sendo que a menor vazão foi registrada nos meses de outubro com média de 3,82 L s^{-1} e a maior foi registrada nos meses de março com média de 8,88 L s^{-1} (Figura 3).

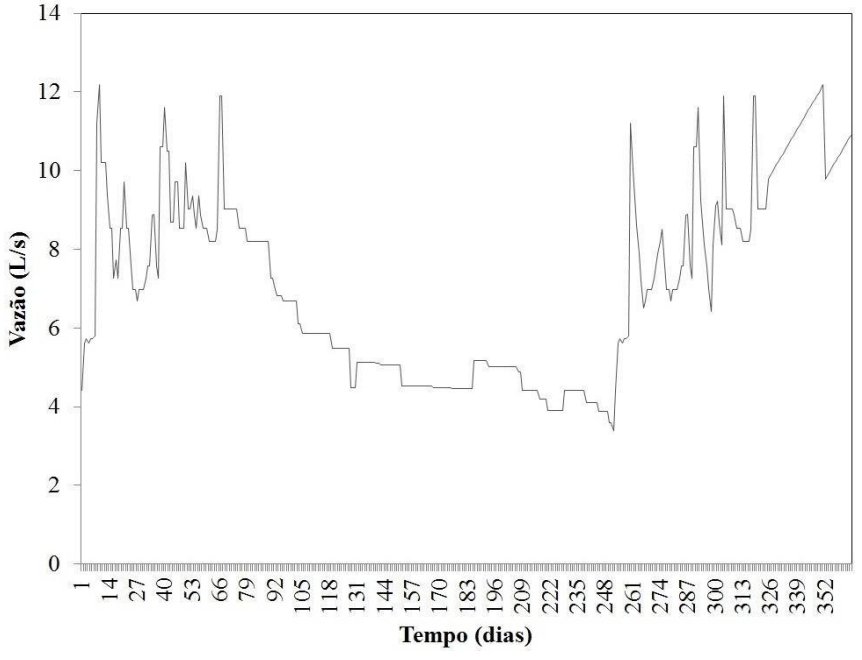

Figura 3 - Dinâmica temporal da vazão média da microbacia hidrográfica, comunidade Fartura, São Miguel do Anta, Minas Gerais, Brasil. Rodrigues et al. (2019).

Tabela 3 - Relação de volume hídrico total anual na microbacia hidrográfica, comunidade Fartura, São Miguel do Anta, Minas Gerais, Brasil.

P(mm)	ETo(mm)	V.T(m^3/ano^{-1})	V.S(m^3/ano^{-1})	V.R(m^3/ano^{-1})
1078,4	899,46	3.449.600	2.759.680	689.920

Indica-se valor anual acumulado de evapotranspiração (ETo), precipitação anual (P), volume total de água recebido (V.T), volume total de saída por ETo (V.S), volume anual total retido (V.R).

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados evidenciaram que aproximadamente 899,46 mm ano^{-1} corresponde a fluxos de saída de água para atmosfera, o que seria aproximadamente um fluxo de 9.701 m^3 ano^{-1}, e que corresponde um valor dissipado de 0,30 L s^{-1} na vazão média anual. Apesar de parecer um valor baixo, considerando um consumo médio de 180 L de água por pessoa ao dia para diferentes necessidades (FAO, 2018), esse fluxo de água perdido pela evaporação direta seria capaz de satisfazer as necessidades de consumo de 144 pessoas por dia. A partir do histograma da precipitação pluvial mensal apresentado é possível conhecer a contribuição da chuva para a recarga da bacia hidrográfica para manter a dinâmica hídrica na microbacia, assim como a oferta de recursos hídricos. Como proposto por RODRIGUES et al. (2019), isso consistiria na implementação de sistemas agroflorestais, corredores biológicos, viveiros agroflorestais, caixa seca e terraceamento em nível nas pastagens que compreende 50,7% da área total da microbacia hidrográfica. Essas técnicas podem favorecer a infiltração pontual, diminuindo o escoamento superficial direto, consequentemente reduzindo a perda de água. Além disso, se presume que o conjunto de atividades de mitigação como parte do plano de manejo, permitirá a conservação das nascentes, garantindo desta forma uma vazão superficial regular durante ao longo do tempo.

Assim considerando que 1 mm de chuva corresponde a 1 litro de água por m^2, o volume hídrico recebido pela microbacia com área de 3,2 km^2, considerando uma precipitação uniforme espacialmente, corresponderia aproximadamente 3.449.600 m^3ano^{-1}, com taxa evapotranspiratória de cerca de 80% correspondendo a 2.759.680 m^3ano^{-1}. Portanto, estima-se que a quantidade de água retida é de 689.920 m^3ano^{-1} (Tabela 3). Parte dessa água retida estará disponível para manter o lençol freático e, consequentemente prestará um serviço de recarga das nascentes na bacia hidrográfica, bem como garantia do fluxo hídrico pelo escoamento superficial (LÉLLIS et. al., 2017; SMERDON 2017). Finalmente, recomenda-se avaliar alguns outros fluxos de água do sistema (escoamento superficial e infiltração) com a finalidade de avaliar qual a taxa de água armazenada no solo em cada uso e ocupação das propriedades rurais localizadas na microbacia.

Neste estudo a área total dos reservatórios corresponde a 1,09 ha, representado 0,3% do total da área. Assim, a taxa de evaporação média estimada foi de aproximadamente 899,46 mm ano^{-1}. Esse valor corresponde a um valor dissipado de 0,30 L s^{-1} na vazão média anual, semelhante aos estudos de BURTE (2008) que estimou o valor da área máxima em 18 ha e volume máximo em 9,7. 105 m^3 ano^{-1} . Essa diferença pode ser minimizada por alguns

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

fatores como o clima, relevo, topografia e características da vegetação e tamanho do reservatório. CAMPOS et al. (2002) em uma análise da influência da evaporação em 40 reservatórios no estado do Ceará, comprovaram que os grandes reservatórios apresentam evaporação média de 7% do volume médio anual, enquanto os pequenos apresentam 18%. Assim, o principal fluxo de saída de água do sistema foi devido a evapotranspiração, compreendida na ordem de 80%, (0 a 4,8 mm d^{-1}), valores similares encontrados por SILVA et al. (2018) em um estudo da evapotranspiração potencial no estado de Alagoas estando na ordem de (0 a 5,5 mm d^{-1}).

Neste contexto, CURTARELLI et. al. (2013) encontrou no reservatório da Itumbiara no Rio Paraná, valores de aproximadamente 1.7 bilhões de m3 de água evaporada representado 10% do volume total do reservatório. Estes valores são similares aos observados no reservatório Sobradinho no rio São Francisco, na ordem de 16,2%, e de 10,2% no reservatório de Ilha Solteira (PEREIRA 2004; LIMA & ABREU, 2016). No entanto, não existem estudos que demonstrem perda de água em reservatórios em escala de pequenas bacias hidrográficas. Em uma pesquisa realizada por CAMPOS et. al. (2002) analisando a influência da evaporação em 40 reservatórios no estado do Ceará, os estudos comprovaram que os grandes reservatórios apresentam evaporação média de 7% do volume médio anual, enquanto os pequenos apresentam 18%. Portanto, é necessário que futuras pesquisas avaliem a dinâmica hídrica dos reservatórios, e como estes processos influenciam o balanço hídrico da microbacia.

A mensuração da vazão específica, que é a manifestação do lençol freático, teve início na primeira semana do mês de fevereiro. Portanto, pode se observar a influência da precipitação pluviométrica que é o principal fluxo de entrada de água da bacia hidrográfica. Como a Eto corresponde a 80% do principal fluxo de saída de água do sistema, isso teria implicações diretas sobre a vazão especifica diária, mensal e anual. Assim, após a bacia hidrográfica entrar em déficit hídrico, houve a necessidade de irrigação de aproximadamente 4,2 Ls^{-1} em diferentes propriedades rurais. Apesar do déficit hídrico a vazão base permaneceu, porém, como esperado com variações significativas. As granjas de frango de abate possuem uma alta demanda de água na microbacia. Segundo um relatório da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2018), são necessários cerca de 3.500 litros de água para produzir 1 kg de carne de frango. Neste caso de estudo, a água utilizada é retirada de dois reservatórios um por bombeamento (recalque) e outro por gravidade, aproximando um consumo médio 19.958 L dia^{-1} ou 0,231 L s^{-1}. Já o consumo de água na microbacia pelas moradias rurais é de aproximadamente 7.948 L dia^{-1} ou 0,092L s^{-1}, sendo um dos menores fluxos de saída de água do sistema, o gasto total mensal máximo é observado no mês de dezembro da ordem de 11.723 m^3.

A dinâmica da ocupação, uso e cobertura da terra têm ocasionado impactos nos sistemas socioeconômicos e ambientais, apresentando tradeoffs significativos para garantir a sustentabilidade, a segurança alimentar, a biodiversidade e a vulnerabilidade da população e dos ecossistemas à mudança global do clima (QUARTAROLI et. al., 2006). Enquanto diferentes tipos de uso da terra fornecem os bens necessários para a satisfação das necessidades humanas, eles comprometem uma série de processos ecológicos e funções ecossistêmicas que ocorrem dentro das bacias e microbacias hidrográficas. As respostas dos ecossistemas frente a essas mudanças de cobertura vegetal

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

dependerão do contexto ecológico em que eles se encontram e da dinâmica de uso da terra, gerando efeitos negativos locais e globais de curto e longo prazo (DEFRIES et. al., 2004). O conhecimento acerca dos processos subjacentes ao balanço hídrico de bacias e microbacias hidrográficas são fundamentais para preservar os recursos hídricos fornecidos à população, bem como para subsidiar o planejamento baseado no manejo sustentável de propriedades rurais para garantir simultaneamente a produção de alimentos e a manutenção desses serviços ecossistêmicos.

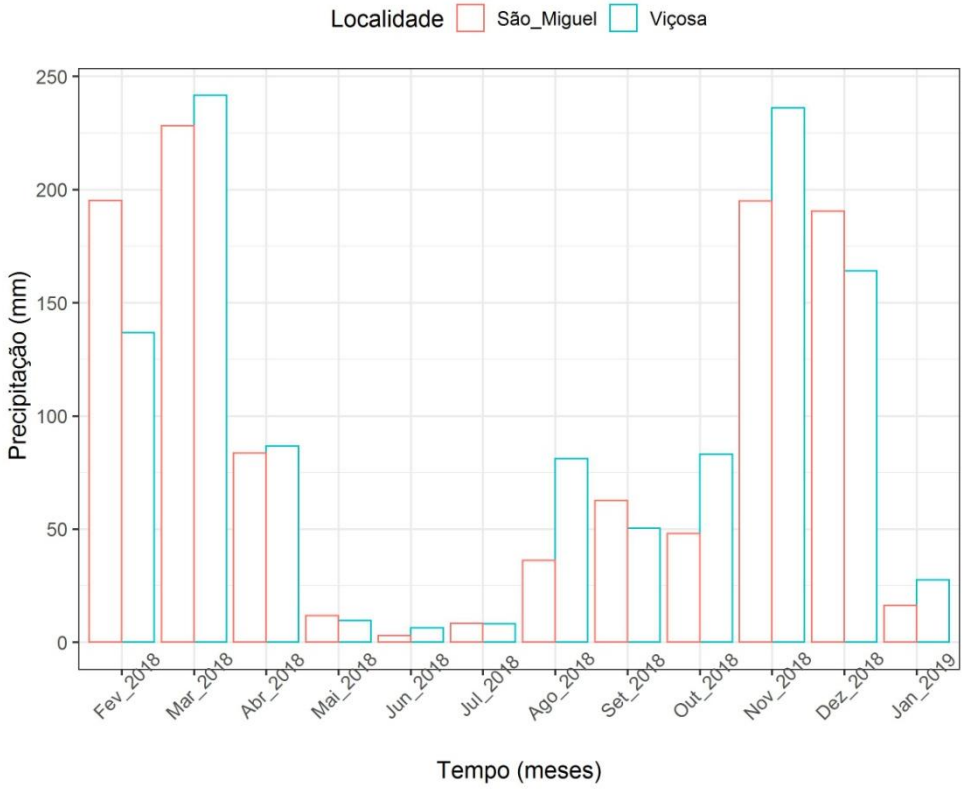

Figura 4 - Comparação do padrão de precipitação entre área de estudo (município de São Miguel do Anta) e Viçosa, munícipio Viçosa, Minas Gerais.

Finalmente comparou-se o padrão de precipitação da área de estudo com a estação meteorológica mais próxima, que corresponde ao Instituto Nacional de Meteorologia, na cidade Viçosa, município de Viçosa (localizado a 23 km da microbacia estudada), Minas Gerais (INMET, 2020). Assim, tanto os valores obtidos na microbacia, quanto os obtidos na estação meteorológica de Viçosa, indicam valores menores e atípicos de precipitação no mês de janeiro. Destacamos que, para avaliar as possíveis causas desse padrão atípico de precipitação nessa região, é recomendado realizar análises de séries temporais no longo prazo para poder gerar conclusões sobre medidas de mitigação ambiental. No entanto, estes resultados permitem inferir que se precisam medidas urgentes para regularizar o manejo do recurso hídrico na microbacia, principalmente nas atividades relacionadas com agricultura. Durante estes períodos de maior déficit hídrico, se recomenda controlar e reduzir o uso da agua para os diferentes tipos de uso, como o consumo da população humana nos diferentes prédios rurais.

5. CONCLUSÃO

Os resultados desta pesquisa mostram um padrão atípico de precipitação, onde o período de déficit hídrico esteve compreendido entre os meses de maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro e tendo o maior déficit no mês de janeiro. Nos meses de fevereiro, março, abril, novembro e dezembro ocorre excessos hídricos, indicando alta oferta dos estoques de água no solo. O mês de abril apresentou o menor excedente hídrico, isso se deve ao fato de a precipitação ocorrida neste mês atender quase estritamente a evapotranspiração nesse mesmo período. O principal fluxo de saída de água da bacia hidrográfica é devido a evapotranspiração, correspondendo a 80%, seguido pelo setor agrícola e produção de carne de frango e por último pelo uso doméstico e a lâmina d'água dissipada sobre a superfície dos reservatórios em forma de evaporação direta. A vazão específica diária na bacia hidrográfica apresenta a menor significância ao comparar com a precipitação e as taxas evapotranspiratórias. O padrão de uso e ocupação da microbacia estudada no sudeste do Brasil aponta a necessidade de um plano de gestão indicando estratégias agrícolas e ambientais para reduzir a evapotranspiração, favorecendo a infiltração de água no solo e, consequentemente a minimização do escoamento superficial. Além disso, há a necessidade de um plano de manejo que permita o uso sustentável dessa microbacia, garantindo bens necessários para a provisão de serviços ecossistêmicos.

AGRADECIMENTOS

A UNIVIÇOSA, pela bolsa de iniciação científica concedida ao primeiro autor como parte do projeto de graduação. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de pós-doutorado ao segundo co-autor e a bolsa de produtividade (CNPq) à ultima co-autora.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 13403 - Medição de Vazão em Efluentes Líquidos e Corpos Receptores Escoamento Livre, 7p, 1995.

BASE cartográfica integrada do Brasil ao milionésimo digital 1:1.000.000. Hidrografia. Rio de Janeiro: IBGE 2016. Disponível em https://portaldemapas.ibge.gov.br Acesso: 07/04/2020

BURTE, J. Les petits aquiferes alluviaux dans les zones cristallines semi-arides:fonctionnement et strategies de gestion. Etude de cas dans le nordeste bre´silien.Universite´Montpellier II et Universidade Federal do Ceara´, Montpellier (France)and Fortaleza (Brasil), 2008. 193 p.

CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. C.; MARTINZ, D. D. G.; NASCIMENTO, L. S. V. Contribuições ao debate sobre as eficiências de pequenos e grandes reservatórios. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n. 2, p. 31-38, 2002. http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v8n2.p31-38.

CETESB- Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Defesa do Meio Ambiente (1976). Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água. 2.ed., São Paulo/BNH/ABES/CETESB.

CURTARELLI, M. P.; ALCÂNTARA, E. H.; ARAÚJO, C. A. S.; STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. A. Avaliação da dinâmica temporal da evaporação no reservatório de Itumbiara, GO, utilizando dados obtidos por sensoriamento remoto. Ambi-Água, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 272-289, 2013.

DEFRIES, R.S., FOLEY, J.A., ASNER, G.P. Land-Use choices: balancing human needs and ecosystem function. Frontiers in Ecology and the Environment, v.2, n.5, p. 249-257, 2004.

FAO. Water use of livestock production systems and supply chains – Guidelines for assessment (Draft for public review). Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. FAO, Rome, Italy. 2018.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Dados meteorológicos. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/. Access in: maio de 2020.

IPCC. Summary for policymakers. In: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., et al., (eds) Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Cambridge University Press, 2014.

JOLY, C.; METZGER, J.P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. New Phytol 204:459–473, 2014.

LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: EDUSP, 335p, 2005

LÉLLIS, B. C., CARVALHO, D. F., MARTÍNEZ-ROMERO, A., TARJUELO, J. M., DOMÍNGUEZ, A. Effective management of irrigation water for carrot under constant and optimized regulated deficit irrigation in Brazil. Agricultural Water Management, v.192, p. 294-305, 2017.

LIMA, A. A., ABREU, F., Sobradinho Reservoir: Governance and Stakeholders. In: Increasing Resilience to Climate Variability and Change. Tortajata C (Ed). Springer Science+Business Media Singapore, p. 157-178, 2016.

MAGNAGO, L.F.S., MAGRACH, A., LAURANCE, W.F., MARTINS, S.V., MEIRA-NETO, J.A.A., SIMONELLI, M., EDWARDS, D.P. Would protecting tropical forest fragments provide carbon and biodiversity cobenefits under REDD+? Global Change Biology, v.21, p. 3455–3468, 2015.

POSTEL, S.L, THOMPSON JR., B.H. Watershed protection: capturing the benefits of nature's water supply services. Natural Resources Forum v.29, p. 98-108, 2005.

PEREIRA, S. B. Evaporação no lago de sobradinho e disponibilidade hídrica no rio Sao Francisco. Tese de doutorado em engenharia agrícola e ambiental. UFV, Viçosa-MG, 2004. 105 p.

QUARTAROLI, C.F.; CRISCUOLO, C.; HOTT, M.C.; GUIMARÃES, M. Avaliação e adequação do uso das terras agrícolas no nordeste do Estado de São Paulo em 1988 e 2003. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite (Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 55), 2006. 57 p.

RAMOS, M. M.; OLIVEIRA, R. A. Medição de vazão em pequenos cursos d'água. Senar, Brasília, 2003. 64 p.

RIBEIRO, M.C.; MARTENSEN, A.C.; METZGER, J.P.; TABARELLI, M.; SCARANO, F.R.; FORTIN, M.J. The Brazilian Atlantic Forest: a shrinking biodiversity hotspot.

In: Zachos FE, Habel JC (eds) Biodiversity hotspots. Springer, Heidelberg, pp 405–434, 2011.

RODRIGUES, A.C.; VILLA P.M.; NERI, A.V. Fine-scale topography shape richness, community composition, stem and biomass hyperdominant species in Brazilian Atlantic forest. Ecological Indicators, v.102, p. 208–217, 2019.

RODRIGUES, A.C.; VILLA P.M.; FERREIRA JÚNIOR, W.; NERI, A.V. Fine-scale habitat differentiation shapes the composition, structure and aboveground biomass but not species richness of a tropical Atlantic forest. Journal Forestry Research, 2019. https://doi.org/10.1007/s11676-019-00994-x

RODRIGUES, A.L.; VILLA, P.M., RODRIGUES, A.C., MATA, R.A. Diagnóstico participativo de uma microbacia hidrográfica no sudeste do Brasil: premissas de ordenação ambiental e agrícola. Revista Brasileira de Geografia Física, v.12, n.01, p. 343-354, 2019.

SCARANO FR, CEOTTO P. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. Biodiversity Conservation, v. 24, p. 2319-2331, 2015.

SILVA, F. D. S.; COSTA, R. L.; ANTONIO, M. A. V.; AFONSO, E. O.; SANTOS, D. M.; MATEUS, N. P. A.; ANTONIO, J. F. Tendências observadas da evapotranspiração potencial no estado de Alagoas (1961-2016). Revista Brasileira de Geografia Física, v.11, n.01, p. 028-043, 2018.

SMERDON, B. D. A synopsis of climate change effects on groundwater recharge. Journal of Hydrology, v.555, p. 125-128, 2017.

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. Conservação de nascentes e produção de água em pequenas bacias hidrográficas. Viçosa, MG, Editora Aprenda fácil, 2011. 267p.

VELOSO, H. P., RANGEL-FILHO, A. L. R., LIMA, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro, IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 1991.

WANG, Z. Y., LEE, J. H. W., MELCHING, C. S. River dynamic and integrated River management. Springer Heidelberg Dordrecht London NY, 2015. 855 p