



Artigo Original

e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v16n22022p78-101

Submetido em: 01 mar. 2021

Aceito em: 26 dez. 2022

.....

Análise de Sólidos Suspensos Totais em duas microbacias como indicador de serviços ecossistêmicos hidrológicos de florestas

Analyzes of Total Suspended Solids in two watersheds as an indicator of hydrologic ecosystem services of forests

Análisis de sólidos en suspensión totales en dos microcuencas como indicador de los servicios ecosistémicos hidrológicos de los bosques

Monique Muniz Monteiro Dias  <https://orcid.org/0000-0002-8227-7681>

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Engenheira Florestal, formada pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Bolsista de Desenvolvimento Tecnológico Industrial do CNPq.

E-mail: munizmonique29@hotmail.com

Claudia Moster  <https://orcid.org/0000-0001-6250-9222>

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Doutorado em Ecologia Aplicada pela USP.

Professora no Departamento de Ciências Ambientais do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Brasil.

E-mail: claudiamoster@ufrj.br

Resumo: O objetivo das análises foi verificar o comportamento da concentração de Sólidos Suspensos Totais (SST) e durante eventos de precipitação, em duas microbacias com monitoramento hidrológico em Lídice, Rio Claro – RJ. A microbacia do Rio Papudos, com mosaico de cobertura com pastagem e floresta em diferentes estágios de desenvolvimento, e a microbacia do Córrego da Cachoeira, considerada uma unidade testemunha, por possuir o predomínio da cobertura com floresta, e em unidades de conservação (Parque Cunhambebe e RPPN Sambaíba). A caracterização do uso e cobertura do solo foi realizada a partir do software ArcGis 10.6 com a imagem do ano de 2019, do satélite Sentinel 2. Os resultados demonstraram que ocorreu diferenças nas respostas hidrológicas para SST entre as duas microbacias. Foi possível verificar um potencial de redução na geração de SST em 94% relacionado à cobertura florestal, o que contribui para a validação de simulações e quantificação da provisão de serviços ecossistêmicos hidrológicos de florestas.

Palavras-chave: Resposta Hidrológica. Qualidade da água. Pico de vazão.

Abstract: The analyzes aimed to verify the concentration of the Total Suspended Solids (SST), in two microbasins with hydrological monitoring in Lidice, Rio Claro – RJ. The Papudos River watershed, with a mosaic of pasture and forest cover at different stages of development, and the Córrego da Cachoeira watershed, considered as a statement unit, with the predominant cover of forest and legal protected areas (Parque Cunhambebe and Sambaíba Natural Heritage Private Reserve). The characterization of land use and land cover was performed using the ArcGis 10.6 with the image from the Sentinel 2 satellite, dated 2019. The results showed that there were differences in the hydrological responses to SST between and it was possible to verify a potential reduction in the sediment

generation by 94% related to forest cover, which contributes to the validation of modelling the provision of hydrological ecosystem services for forests.

Keywords: Hydrological Response. Water quality. Peak flow.

Resumen: El objetivo de los análisis fue verificar el comportamiento de la concentración de Sólidos Totales Suspendedos (SST) y durante eventos de precipitación, en dos microcuencas con monitoreo hidrológico en Lídice, Rio Claro - RJ. La cuenca del río Papudos, con un mosaico de pastos y cobertura forestal en diferentes etapas de desarrollo, y la cuenca del río Córrego da Cachoeira, considerada una unidad de control, ya que tiene predominio de cobertura forestal y áreas protegidas legalmente (Parque Cunhambebe y Reserva Particular del Patrimonio Natural Sambaíba). La caracterización del uso del suelo y la cobertura se realizó utilizando el software ArcGis 10.6 con la imagen del año 2019, del satélite Sentinel 2. Los resultados mostraron diferencias en las respuestas hidrológicas para SST entre las dos cuencas. Se pudo verificar una potencial reducción de 94% en la generación de sólidos relacionada con la cobertura forestal, lo que contribuye a la validación de simulaciones y cuantificación de la provisión de servicios ecosistémicos hidrológicos para los bosques.

Palabras clave: Respuesta hidrológica. Calidad del agua. Flujo máximo.

1 Introdução

A erosão em áreas rurais é um dos processos principais de degradação do solo, responsável pelo transporte de sedimentos e que varia de acordo com o uso e manejo do solo (WEILL, 1999). A erosão pode ocasionar a formação de sulcos e a perda gradual da fertilidade do solo (PEREIRA *et al.*, 2010), o comprometimento da qualidade da água, além de contribuir para o assoreamento da calha dos rios, reduzindo a profundidade do canal e provocando enchentes mais frequentes (FARIAS, 2008).

Chaves e Piau (2008) afirmaram a forte correlação entre o aumento da precipitação e o aumento do escoamento superficial e geração de sedimentos. Segundo os autores, o volume do escoamento superficial e o aporte de sedimento anual, da bacia hidrográfica estudada por eles, apresentaram crescimento exponencial com o aumento da precipitação pluvial anual.

A vegetação exerce papel fundamental na proteção dos solos e na redução desses processos erosivos, uma vez que as árvores apresentam a função de interceptação da água da chuva, o que influencia na redistribuição da água, afetando o escoamento superficial e favorecendo a infiltração no solo (SHINZATO *et al.*, 2009). Por oferecer maior cobertura do solo, as florestas melhoram a estabilidade e a capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo, assim como, o maior tempo de caminamento da água ao leito do manancial, reduzindo o escoamento superficial (CASTRO; MENDONÇA, 2004; VANZELA; HERNANDEZ; FRANCO, 2010).

Segundo Bartels (2015), em áreas sem cobertura vegetal e com solo exposto, o processo de erosão é intensificado, uma vez que estão susceptíveis ao impacto da gota da chuva e aos ventos, entre outros fatores abióticos. A retirada da cobertura vegetal e o manejo inadequado do solo reduzem a taxa de infiltração de água e o seu estoque subterrâneo, trazendo como consequência, o assoreamento dos rios, a erosão dos solos e a alteração nos padrões de volume e vazão dos cursos d'água (VETORRAZZI, 2006). Tundisi e Tundisi (2010) ressaltaram os impactos sobre os serviços ecossistêmicos de uma bacia hidrográfica, como turismo, pesca e lazer, além do aumento no potencial de eutrofização dos rios.

Nesse contexto, é de importância o desenvolvimento de estudos sobre a hidrossedimentologia, a fim de contribuir para a conservação e a utilização dos solos e dos recursos hídricos, além de fornecer informações que fundamentam a tomada de decisões e incentivam o manejo de uso racional (VESTENA, 2009). Segundo Minella, Merten e Magnago (2011), a produção de sedimentos tem sido utilizada como indicador dos impactos antrópicos sobre os recursos hídricos, através do monitoramento da vazão e da concentração de sólidos em suspensão. A medição da descarga sólida de sedimentos em suspensão em rios é uma informação muito importante, a fim de estimar os fluxos de sedimentos para conhecer a vida útil dos reservatórios e as alterações de uso e ocupação do solo na bacia (MANSUR; GUIMARÃES; KLEMZ, 2013).

O objetivo deste estudo foi verificar o comportamento da concentração de Sólidos Suspensos Totais (SST) de análises mensais e de coletas realizadas durante eventos de precipitação, em duas microbacias pareadas, mas com cobertura do solo distintas, sob monitoramento hidrológico em Lídice, Rio Claro – RJ. A microbacia do Córrego da Cachoeira, na bacia do Rio Coutinhos, foi considerada a área de referência (testemunha), pois apresenta floresta em estágio avançado de sucessão em maior porcentagem da cobertura do solo. A microbacia do Rio Papudos, na bacia do Rio das Pedras, apresenta o uso do solo em mosaico de pastem e floresta, em diferentes estágios de desenvolvimento, incluindo áreas implantadas para restauração florestal em 2010, durante o programa-piloto Produtor de Água e Floresta (PAF).

Assim, espera-se que os resultados obtidos contribuam para o entendimento acerca da relação floresta-água, a fim de incentivar a restauração florestal, e para a quantificação e a valoração dos serviços ecossistêmicos hidrológicos de florestas.

2 Revisão Teórica

2.1 O papel da floresta na geração do escoamento superficial e na produção de sedimentos em bacias hidrográficas

Os processos hidrológicos influenciam na superfície de diferentes formas, em cada circunstância, como na erosão dos solos, no transporte de sedimentos e na qualidade da água (MACHADO, 2002). Como apresentado por Pruski, Rodrigues e Silva (2001) e Menezes (2010), o escoamento superficial está diretamente ligado à ocorrência da erosão hídrica e do carregamento de sedimentos, em razão de parte da água que não infiltrou no solo ocasionar enxurradas das partes mais elevadas do terreno para as partes inferiores (WEILL, 1999; SILVA, 2002; SANTOS, 2009).

A erosão hídrica é a grande responsável pela degradação do solo no Brasil (DECHEN *et al.*, 2015) e pela constante redução da sua produtividade (MARTINS *et al.*, 2003). Isso ocorre em razão do manejo inadequado dos solos e, por consequência, o arraste de partículas pelo escoamento superficial (SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010), que está atrelado a algumas características como a declividade, a presença de vegetação, o tipo de solo, a capacidade de infiltração e a rugosidade superficial (SILVA, 2002; PEREIRA *et al.*, 2003). Palácio *et al.* (2012) ao compararem a produção de sedimentos, em dois anos seguidos,

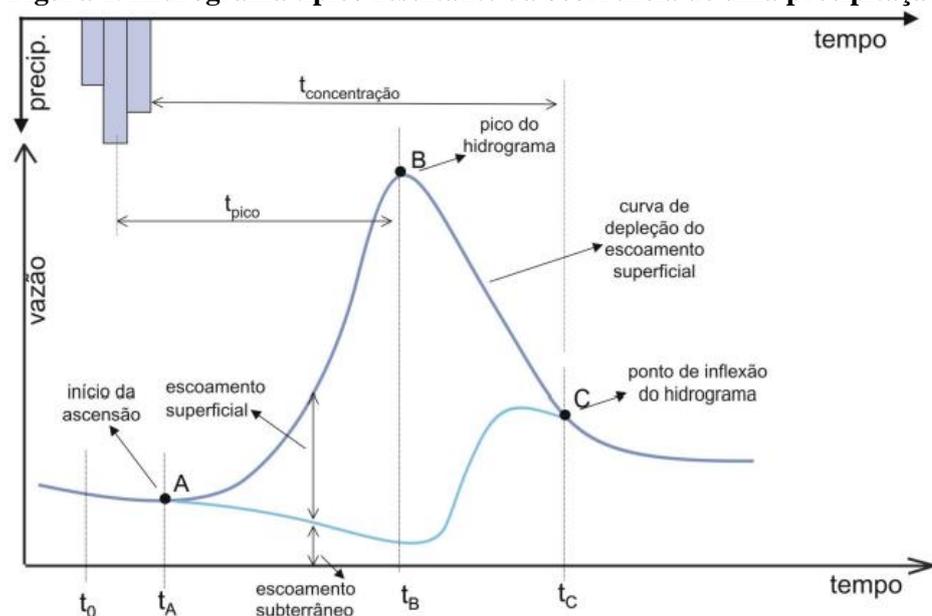
observaram que, para o primeiro ano, área com vegetação nativa, os resultados seguiram uma uniformidade. No ano seguinte, com efeito da retirada da vegetação, a produção de sedimentos teve diferentes picos durante o ano, demonstrando um caráter irregular.

Em estudo apresentado por Gomes *et al.* (2005), notou-se que a retirada da floresta ocasionou um aumento nas vazões máximas, ao mesmo tempo que, sem a cobertura vegetal, o processo de interceptação pelas copas perde eficiência e as taxas de infiltração de água no solo são menores, reduzindo as vazões mínimas e a disponibilidade do recurso em épocas de seca, além de aumentar os riscos de inundações em eventos de chuva. Mineiro e Araújo (2011) verificam que chuvas concentradas provocam altos picos de escoamento superficial e elevados valores de sedimentos em suspensão, como reflexo às práticas agrícolas adotadas na área da bacia, além de analisarem uma relação positiva entre o maior pico de vazão e a maior concentração de sedimentos.

2.2 Análise da resposta hidrológica em microbacias

A resposta hidrológica é considerada a produção de vazão nos canais de drenagem a partir da precipitação. O hidrograma (Figura 1) representa essa “resposta” da bacia hidrográfica à precipitação, consiste em um gráfico que demonstra a evolução da vazão ao longo do tempo em uma seção do rio. O formato do hidrograma vai ser influenciado pelas diferentes características de cada bacia, como, por exemplo, grau de urbanização, tipo de solo e área total (PAZ, 2004).

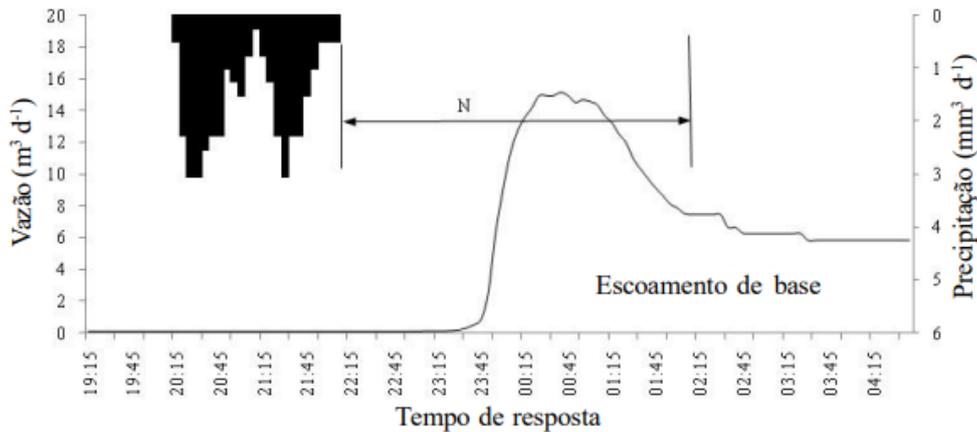
Figura 1. Hidrograma típico resultante da ocorrência de uma precipitação na área contribuinte.



Fonte: Paz (2004).

Em trabalho apresentado por Silva JR. *et al.* (2011) para visualizar a resposta hidrológica da bacia hidrográfica de estudo, foi realizado um hidrograma para um evento de precipitação (Figura 2), em que foi possível avaliar o tempo de concentração e o intervalo do pico de vazão.

Figura 2. Hidrograma do evento ocorrido entre os dias 05/05/2009 e 06/05/2009, com registros a cada 5 min.



Fonte: Silva JR. *et al.* (2011).

As respostas hidrológicas estão intimamente ligadas ao uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas, sendo de extrema importância a vegetação nativa e a cobertura do solo para a redução do escoamento e transporte de sedimentos (PALÁCIO *et al.*, 2012, SOUSA *et al.*, 2016), devido ao processo de interceptação da chuva pelo dossel e pela serrapilheira (ALBUQUERQUE *et al.*, 2002; MARTINS *et al.*, 2003; RODRIGUES, 2009). A velocidade e a forma da resposta à precipitação em florestas e pastagens são diferentes, as pastagens apresentam picos de vazão mais acentuados. Já em áreas com florestas, a resposta ocorre de forma mais lenta, ou seja, a substituição de florestas resulta em um aumento na produção de água pela bacia e no volume de fluxo rápido, mas, conseqüentemente, gera um aumento nos picos de vazão em eventos extremos (CARAM, 2011).

3 Material e Método

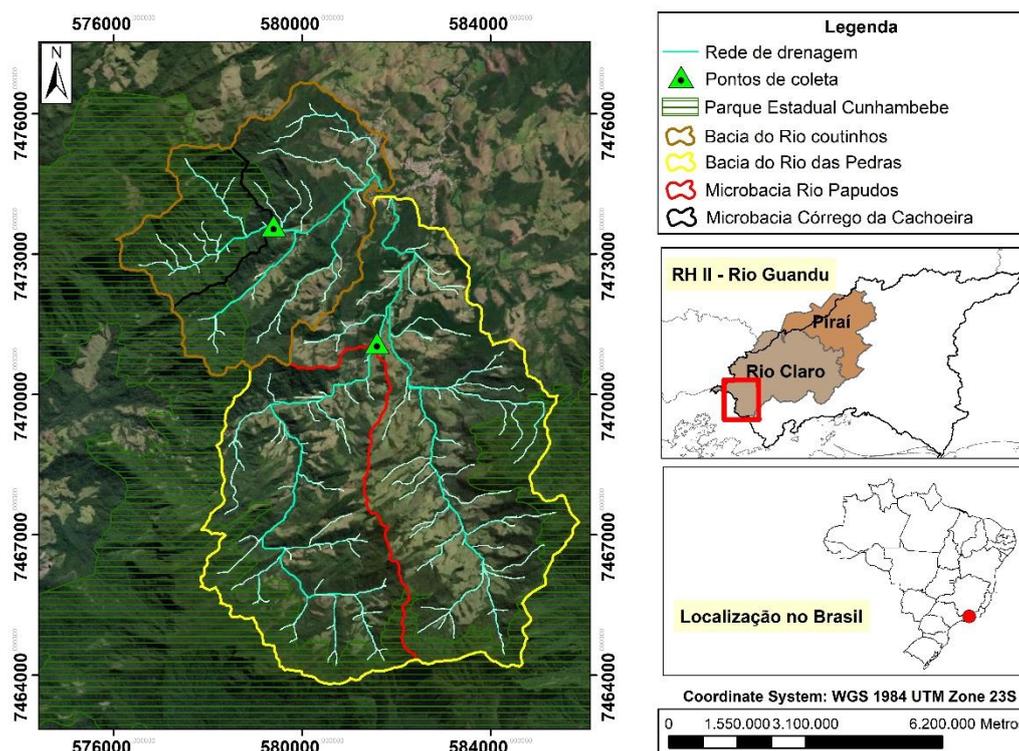
3.1 Caracterização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido no município de Rio Claro-RJ, no distrito de Lídice, pertencente à região administrativa do Comitê de Bacias do Rio Guandu. Na última década, foram realizados investimentos em programas para a melhoria da qualidade e da estabilidade do deflúvio nas bacias contribuintes do Rio Guandu (Rio Pirai e do Ribeirão das Lajes), à montante da represa responsável por grande parte do abastecimento da região metropolitana do Rio de Janeiro (MANSUR; GUIMARÃES; KLEMZ, 2013).

Diante dessa importância, a bacia do Rio das Pedras, situada na cidade de Lídice, foi escolhida como área piloto para o desenvolvimento do projeto Produtores de Água e Floresta (PAF), que em maio de 2009, iniciou a implantação e a conservação de florestas por meio do mecanismo de pagamentos por serviços ambientais (PSA). O objetivo foi garantir, de forma mais efetiva, as características ideais de deflúvio, pelo incentivo financeiro aos proprietários de terra na bacia a realizarem o reflorestamento de áreas prioritárias ao manejo hídrico (MANSUR; GUIMARÃES; KLEMZ, 2013). Desde então, são realizadas atividades de monitoramento em áreas experimentais do projeto.

O estudo, conforme mostra a Figura 3, foi realizado na microbacia do Córrego da Cachoeira, inserida na bacia Rio Coutinhos, apresenta área de 636 ha, com altitude de 1300 m e grande parte com vegetação nativa, por ser sobreposta ao Parque Estadual do Cunhambebe e pela RPPN Sambaíba. E na microbacia do Rio Papudos, com 2.233 ha e 1600 m de altitude, está inserida na bacia do Rio das Pedras, que se encontra em pareamento com a bacia do Rio Coutinhos.

Figura 3: Localização das microbacias analisadas no trabalho e os pontos de coleta das amostras de água, no distrito de Lídice, Rio Claro (RJ).



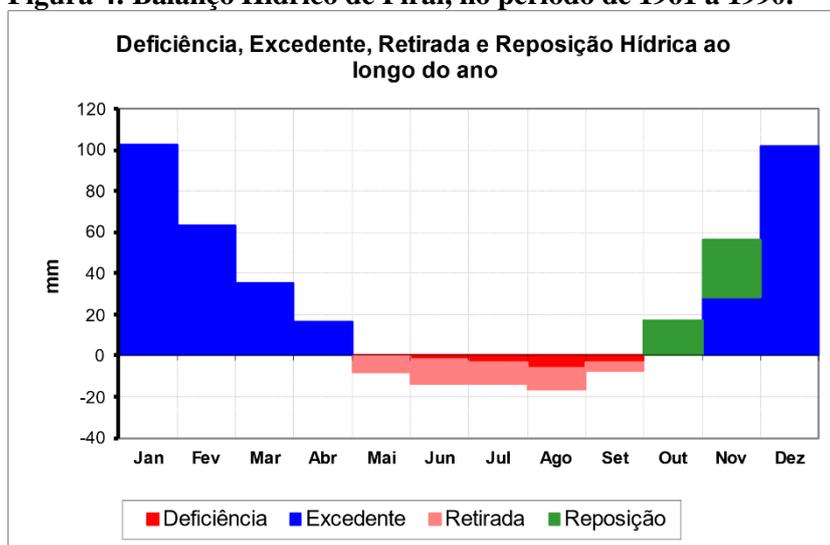
Fonte: Autores (2021).

O bioma da região é a Mata Atlântica, composta por Floresta Estacional Semidecidual Submontana e a Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 2012), mas com expressiva presença de pastagens (PEREIRA, 2012). O clima da região é quente e temperado, com menor precipitação no inverno. A classificação do clima é Cwa,

clima temperado úmido, com inverno seco e verão quente, de acordo com Köppen e Geiger. A temperatura média anual em Lídice é 19,7°C e a pluviosidade média anual é de 1665 mm (CLIMATE-DATA, 2021).

De acordo com o balanço hídrico regional (Figura 4), realizado pelo método proposto por Thornthwaite & Mather (1955), com o auxílio do programa “BHnorm”, elaborado em planilha por Rolim e Sentelhas (1999), da região de Pirai - RJ, os meses de novembro a abril são considerados meses de excedente hídrico, em que o solo atinge a sua capacidade máxima de retenção de água, aumentando o escoamento superficial. No início do período de estiagem, no mês de maio, verifica-se a retirada de água do solo, época em que começa a ocorrência de deficiência hídrica na região, se estendendo até setembro, sendo este o período de maiores taxas de infiltração de água no solo.

Figura 4: Balanço Hídrico de Pirai, no período de 1961 a 1990.



Fonte: Rolim e Sentelhas (1999).

3.2 Análise física das microbacias

Para delimitar as microbacias de interesse, a rede de drenagem, a declividade e a hipsometria, utilizou-se como dado de entrada o modelo digital de elevação (MDE) do terreno, com resolução de 12,5m, do ano de 2011, disponibilizado pelo satélite ALOS (*The Advanced Land Observing Satellite*) e pelo instrumento PALSAR (*The Phased Array L-band SAR*), lançado em janeiro de 2006 pela Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial.

No software ArcGis 10.6, a partir das ferramentas de hidrologia, foram geradas as linhas de fluxo da rede de drenagem e os limites das microbacias. Considerou-se como exutório os pontos de coleta das amostras de água, para cada microbacia. A partir da ferramenta *Slope (Spatial Analyst Tool)*, foram gerados os intervalos percentuais da declividade do relevo.

O coeficiente de escoamento superficial (C) foi obtido em tabela (GAROTTI; BARBASSA, 2010) para cada classe de cobertura do solo, considerando-se os valores médios dos intervalos propostos na referência

(Floresta = 0,10; Rocha e solo exposto = 0,65; Pastagem = 0,20). Como as microbacias de estudo apresentaram uma ocupação do solo diversificada, utilizou-se o valor ponderado do coeficiente de escoamento superficial, em relação às áreas ocupadas (HOEPFNER, 2007), para a estimativa de um valor C para cada microbacia.

Para a determinação do fator de forma foi calculado, no software ArcGIS 10.6, a partir do *Calculate Geometry*, a área (m²), e o comprimento do eixo principal (m), para aplicação da equação proposta por Horton (1932), apresentada na equação 1.

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (1)$$

Onde: A = área da bacia (m²), L = comprimento do eixo da bacia (m) (da foz ao ponto mais longínquo do espigão).

Para o cálculo do tempo de concentração, foi utilizado como base a fórmula de Kirpich (1940) adaptado por Kibler (1982), presente no trabalho de Silveira (2005) e Almeida *et al.* (2013) de acordo com a equação 2.

$$Tc = 0,0663 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \quad (2)$$

Onde: Tc = tempo de concentração (min), L = comprimento do talvegue (m), S = declividade do talvegue (m/m).

Por fim, a vazão máxima foi determinada de acordo com o método racional, que utiliza a equação 3 (HOEPFNER, 2007; LIMA, 2008).

$$Qp = \frac{C \times i \times A}{360} \quad (3)$$

Onde: Qp = Vazão de pico m³/s; C = coeficiente de escoamento superficial; i = intensidade da chuva para duração igual ao tempo de concentração da microbacia (mm/h); A = área da bacia hidrográfica (ha).

3.3 Caracterização de uso e ocupação do solo

Para a classificação do uso e ocupação do solo, foi utilizada a imagem do ano de 2019, do satélite Sentinel 2, sensor MSI (Instrumento MultiSpectral Sentinel-2), com resolução espacial de 10 m, disponibilizado de forma gratuita pelo portal *Earth Explorer* da *United States Geological Survey* (USGS).

Para a classificação, a partir do processamento da imagem em SIG, utilizou-se o software ArcMap 10.6, que possui uma ferramenta para realização da classificação supervisionada, permitindo interpretar o uso e a ocupação do solo, a partir de amostras de assinaturas espectrais. A classificação supervisionada foi feita a partir da imagem com resolução de 10 m, Datum WGS84 em projeção UTM fuso 23S, utilizando como base, a composição de bandas espectrais de cor verdadeira RGB (“*Red, Green, Blue*”), sendo definidas três classes: pastagem, floresta e, rocha e solo exposto.

3.4 Coleta de dados

As coletas para análise da água foram realizadas nos pontos de monitoramento hidrológico do Rio Papudos e do Córrego da Cachoeira. Foram realizadas coletas pontuais em diferentes meses, com três litros por amostra, em janeiro, setembro e outubro de 2020 e em março, abril e maio de 2021.

Para as coletas da resposta hidrológica de sólidos suspensos totais (SST) foram realizadas várias coletas durante dois eventos de precipitação. O primeiro monitoramento começou às 18:40h do dia 03/02/2020 e foi até às 00:55h do dia 04/02/2020, com coletas de 20 em 20 min. O segundo evento foi monitorado no período de 09 às 15h do dia 07/03/2021, com uma coleta por hora.

3.5 Quantificação dos sólidos suspensos totais (SST)

Segundo Carvalho (2008), o método de filtragem, para quantificação de sólidos em suspensão, é o mais recomendado para amostras de baixas concentrações com pouco volume de água. As amostras foram filtradas com um filtro de fibra de vidro padrão, de 47mm de diâmetro, e com auxílio de uma bomba de sucção à vácuo.

A quantificação de SST foi realizada pela diferença de massa do filtro após filtragem e secagem (uma hora em estufa a 100°C) do material das amostras. Para calcular a quantidade de sólidos suspensos foi utilizada a equação 4:

$$SST = \frac{(P_2 - P_1)}{V_{amostra}} \quad (4)$$

Onde: SST = mg de sólidos suspensos totais/litro; P_1 = peso da placa de petri com a membrana (mg); P_2 = peso da placa de petri com a membrana e o resíduo seco (mg) e $V_{amostra}$ = volume da amostra (L).

3.6 Análise dos resultados

Os resultados de SST foram relacionados com os dados de precipitação encontrados no Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a partir da estação automática de Rio Claro fundada em 2016. Para os eventos de chuva, quando foi realizado mais de uma coleta no período de uma hora, foi obtida a média desses resultados para conseguir um valor de SST (mg/L) médio por hora.

Com o objetivo de obter o potencial máximo de perda de solo, em kg/ha, para cada microbacia, a concentração máxima de SST observada foi relacionada com a vazão máxima calculada pelo método racional.

4 Resultados

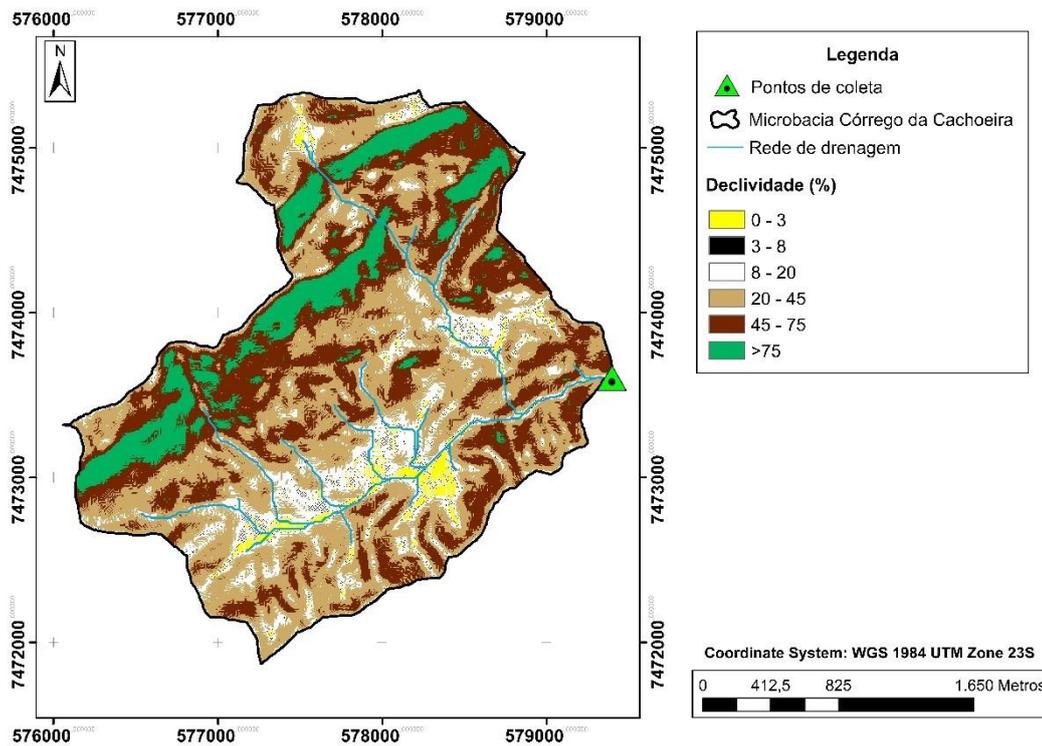
4.1 Análise física das microbacias e caracterização de uso e ocupação do solo

A Figura 5 apresenta a distribuição espacial das classes de declividade na microbacia do Córrego da Cachoeira, que obteve declividade média de 44%, e segundo Embrapa (2018), classifica-se como relevo

fortemente ondulado. De acordo com a Figura 6, com altitudes variando entre 565 e 1300 m, verifica-se que essa microbacia apresenta baixas altitudes na maior parte do seu território.

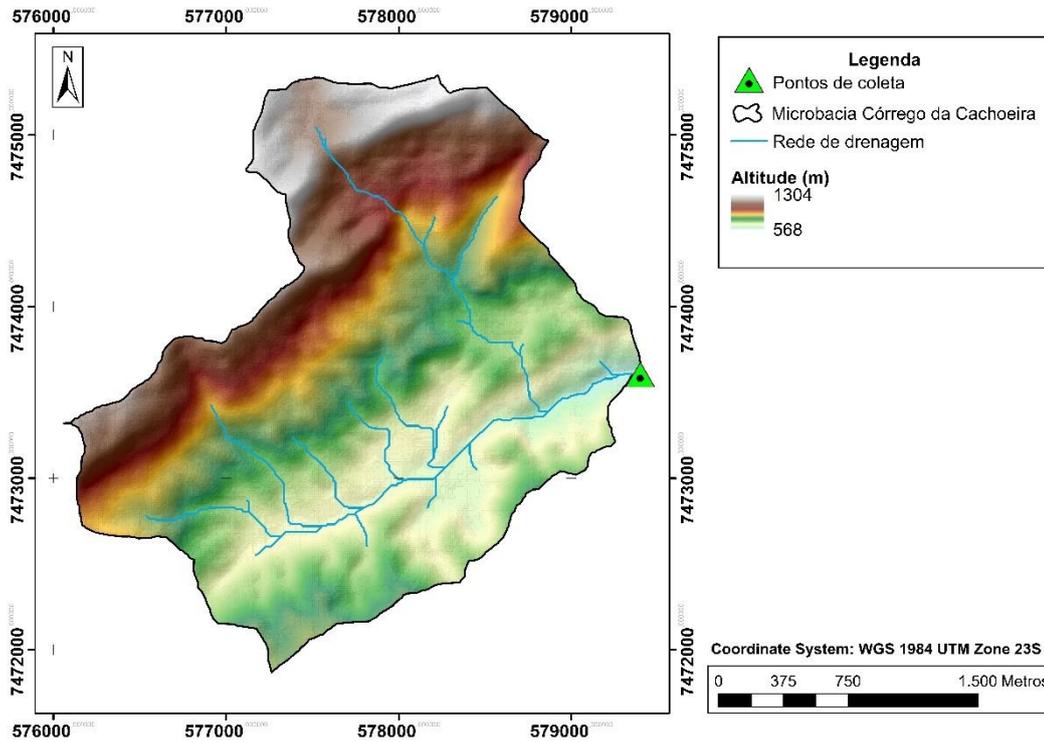
Para a microbacia do Rio Papudos, a distribuição espacial das classes de declividade está apresentada na Figura 7, com a declividade média de 40%, e segundo Embrapa (2018), segue a mesma definição de relevo fortemente ondulado. Na Figura 8, com altitudes variando de 550 a 1600 m, podemos analisar elevadas altitudes predominando na microbacia.

Figura 5: Mapa de declividade para a microbacia Córrego da Cachoeira.



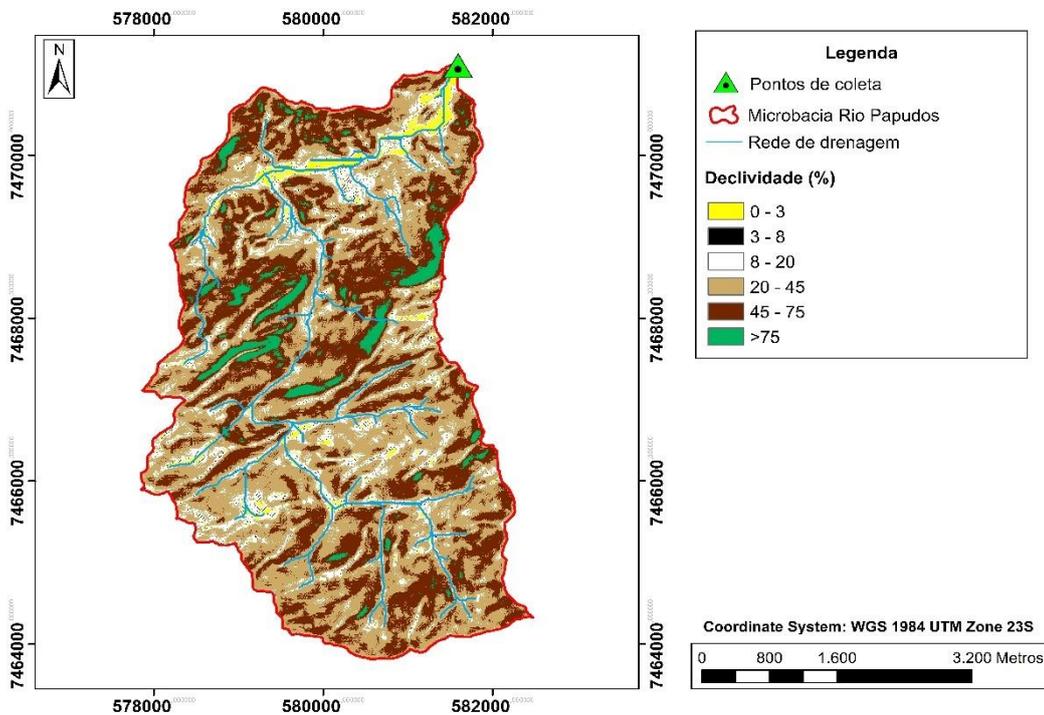
Fonte: Autores (2021). Elaborado a partir do MDE Alos Palsar. Resolução 12,5m.

Figura 6: Modelo Digital de Elevação (MDE) para microbacia Córrego da Cachoeira.



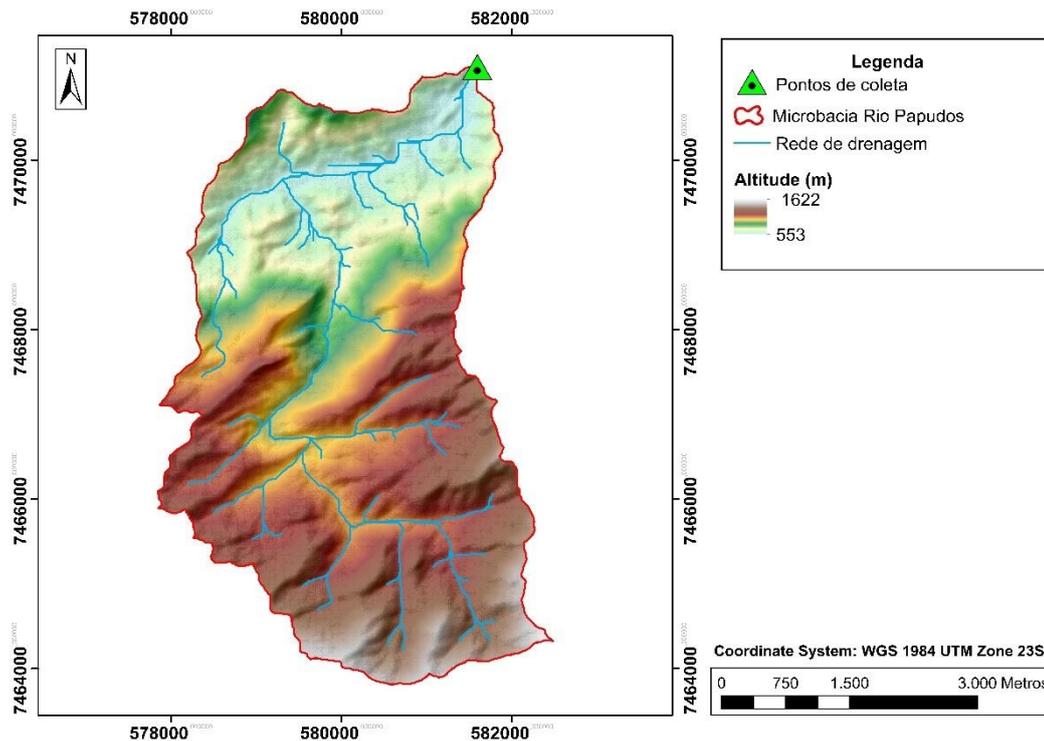
Fonte: Autores (2021). Elaborado a partir de Alos Palsar. Resolução 12,5m.

Figura 7: Mapa de declividade para a microbacia Rio Papudos.



Fonte: Autores (2021). Elaborado a partir do MDE Alos Palsar. Resolução 12,5m.

Figura 8: Modelo Digital de Elevação (MDE) para microbacia Rio Papudos.



Fonte: Autores (2021). Elaborado a partir de Alos Palsar. Resolução 12,5m.

O coeficiente de escoamento superficial é o resultado da razão entre o volume de água escoado pela superfície e o volume de água precipitado, sendo um valor adimensional que quantifica o grau de absorção de água pela superfície (FRANCO, 2004; TARQUI *et al.*, 2019). Com valores variando de 0 a 100%, quanto mais próximo de zero, maior é a infiltração de água no solo. Valores próximos a 100% apresentam maior tendência à geração de escoamento superficial.

Neste trabalho, considerou-se que as microbacias apresentam a ocupação do solo de maneira diversificada com sub-áreas homogêneas, adotando-se os valores de $C = 0,10$ para floresta, $C = 0,65$ para rocha e solo exposto e, $C = 0,20$ para pastagem. Assim, o valor do coeficiente de escoamento superficial foi determinado a partir da ponderação dos valores de C , referente à área ocupada para cada classe de uso do solo, resultando em 13,09% e 3,66% para o Córrego da Cachoeira e Rio Papudos, respectivamente. Na Tabela 1 apresenta-se os resultados da análise física das microbacias.

Tabela 1: Características físicas da microbacia do Rio Papudos e do Córrego da Cachoeira.

Características Físicas	Resultados	
	Rio Papudos	Córrego da Cachoeira
Área (ha)	2233,436	636,577
Declividade média (%)	39,500	43,500
Altitude média (m)	1007,000	852,000
Coeficiente de escoamento superficial	0,131	0,037
Tempo de concentração (min)	257,310	55,608
Vazão máxima (m ³ /s)	34,846	7,999
Fator de forma	0,173	0,821

Fonte: Autores (2021).

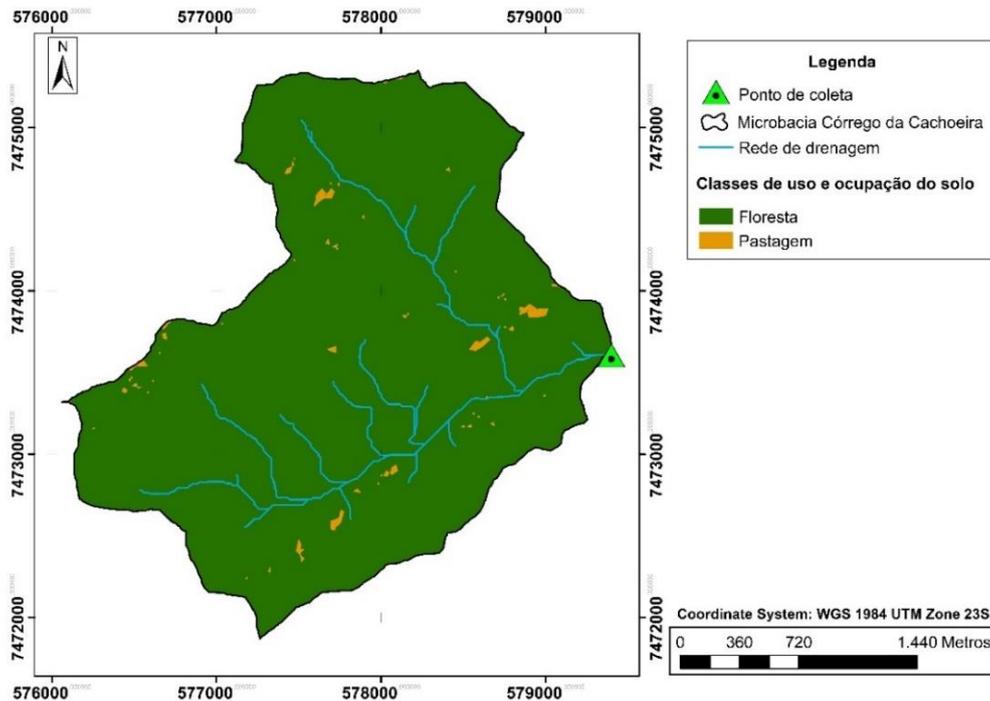
Ambas as microbacias apresentam características que indicam boas condições de infiltração da água da chuva no solo. Para a microbacia do Córrego da Cachoeira, o coeficiente de escoamento superficial ponderado calculado foi de aproximadamente 3,6%. Assim, do total precipitado, menos de 4% contribuem para o escoamento superficial. Para a microbacia do Rio Papudos, obteve-se o valor de aproximadamente 13%.

Na microbacia Córrego da Cachoeira, o fator de forma de 0,82 indica um formato circular, com suscetibilidade a inundações, apresentando maior probabilidade de que chuvas intensas cubram toda a sua área, gerando grande volume de água no curso principal, durante eventos de precipitação (CARDOSO *et al.*, 2006). Já para a microbacia do Rio Papudos, o fator de forma foi igual a 0,17, o que indica uma microbacia com forma alongada, com seus afluentes desaguando no rio principal, em diferentes pontos, além de maior área de captação da água da chuva, evitando que, em eventos extremos, ocorra concentração de água no curso principal vindo dos seus tributários e, conseqüentemente, as enchentes (FRAGA *et al.*, 2014).

Os mapas com a distribuição espacial das classes de uso do solo para as microbacias, estão apresentados nas Figuras 9 e 10, para o Córrego da Cachoeira e Rio Papudos, respectivamente. Na microbacia do Rio Papudos, a classificação de uso do solo resultou em 77% de floresta, 21,2% de pastagem e 1,8% de rocha e solo exposto. Para a microbacia do Córrego da Cachoeira, obteve-se 99,4% de floresta e 0,6% de pastagem.

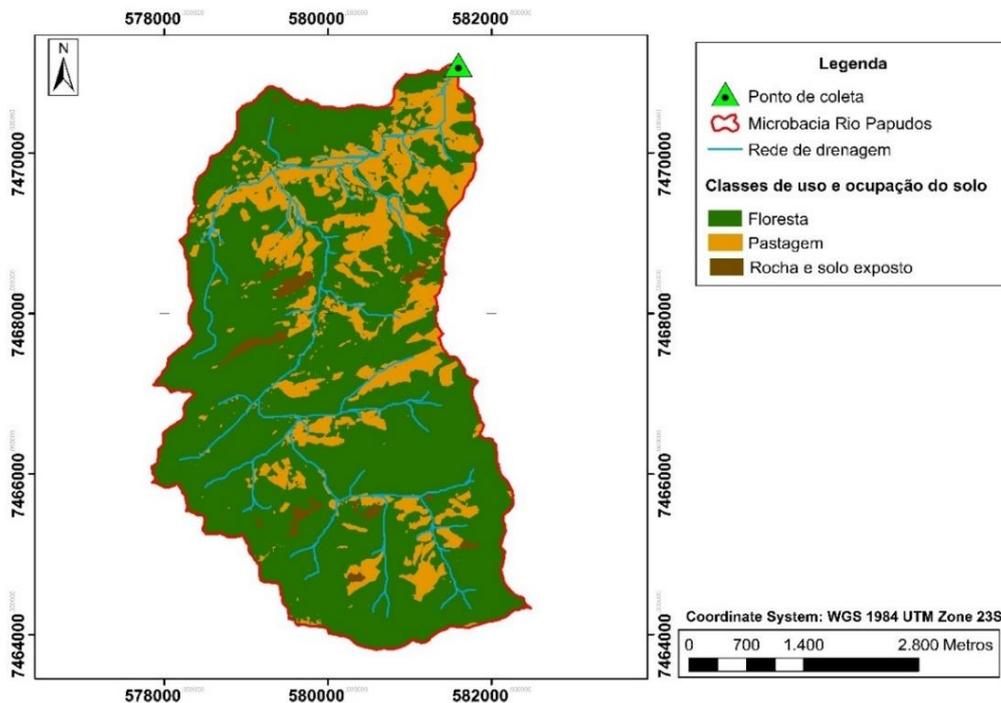
A partir da classificação de uso do solo, foi possível perceber que, em termos percentuais, as duas microbacias possuem alto nível de conservação, com a predominância de formações florestais.

Figura 9. Mapa de uso e ocupação do solo na microbacia Córrego da Cachoeira.



Fonte: Autores (2021).

Figura 10. Mapa de uso e ocupação do solo na microbacia Rio Papudos.



Fonte: Autores (2021).

4.2 Análise da concentração de sólidos suspensos totais

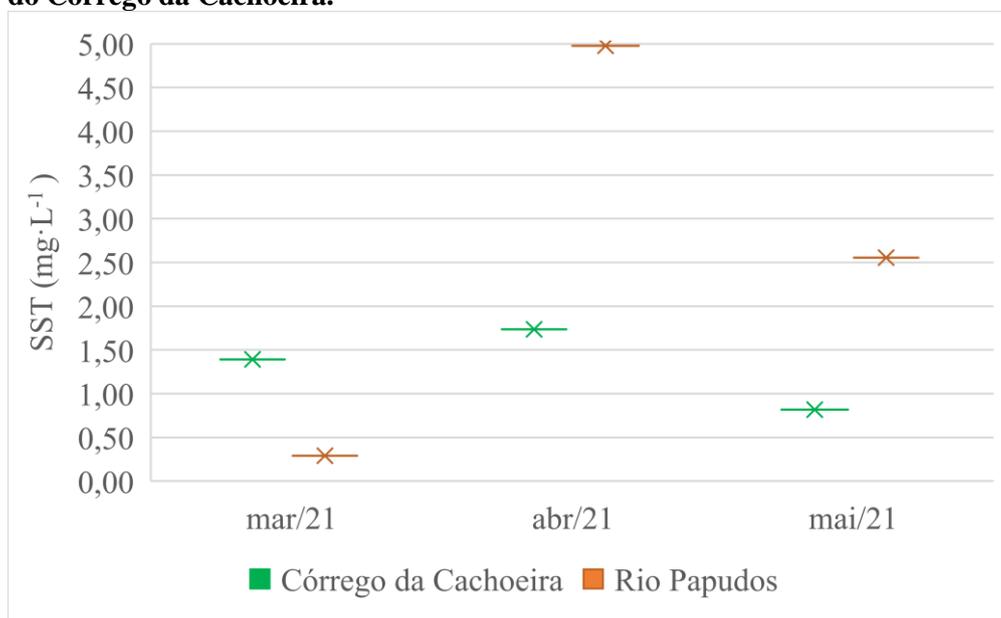
De acordo com o balanço hídrico regional, os meses de novembro a abril apresentam maior probabilidade de ocorrência de excedente hídrico, quando o solo atinge a sua capacidade máxima de retenção

de água. Nessas condições, espera-se maior produção de escoamento superficial, já que a precipitação passa a ser maior que a infiltração de água no solo (SILVA *et al.*, 2008).

Considerando os valores do balanço hídrico regional, obtido a partir da média dos valores de série histórica com período maior que 10 anos, no mês de janeiro, o excedente hídrico pode chegar a 100 mm. Em janeiro de 2020, registrou-se o maior valor de SST das amostras, durante o período do estudo. Para o Córrego da Cachoeira, a concentração de sólidos suspensos foi de 17,03 mg·L⁻¹, enquanto no Rio Papudos, o valor observado foi de 227,92 mg·L⁻¹, representando cerca de 13 vezes mais sólidos em suspensão na água. Esse valor de SST pode estar relacionado à precipitação total diária, com valor registrado na estação automática de Rio Claro (INMET, <https://bdmep.inmet.gov.br/>, Precipitação Total Horário), de 60 mm no dia da coleta, que pode ser considerada como chuva forte (Figueiredo *et al.*, 2016).

Esses valores foram considerados como o potencial máximo de concentração de sólidos em cada microbacia, para a estimativa da perda de solo anual. A microbacia do Córrego da Cachoeira apresentou valor de 2,1.10⁻⁴ kg·ha⁻¹·ano⁻¹, enquanto na microbacia do Rio Papudos foi 35,5.10⁻⁴ kg·ha⁻¹·ano⁻¹. De acordo com a FAO, PNUMA e UNESCO (1980), o grau de erosão dos solos para as duas microbacias foi classificado como grau ligeiro, que representa uma perda de solo inferior a 10 ton·ha⁻¹·ano⁻¹. As concentrações de sólidos suspensos totais, para as amostras do Rio Papudos e do Córrego da Cachoeira, estão apresentadas na Figura 11.

Figura 11: Concentração de sólidos suspensos totais (mg·L⁻¹) no ponto de coleta da microbacia do Rio Papudos e do Córrego da Cachoeira.



Fonte: Dados da pesquisa.

Para o Rio Papudos, foram encontrados valores de SST entre 0,2 e 5,0 mg·L⁻¹, e para o Córrego Cachoeira, entre 0,8 mg·L⁻¹ a 1,7 mg·L⁻¹. Assim, observa-se que, além do maior valor de concentração de SST

no Rio Papudos, ocorreu uma maior amplitude no comportamento da variável. Esse resultado corrobora para a interpretação de que, nessa microbacia, as condições para a perda de solo (naturais e/ou antrópicas) são maiores do que na área do Córrego Cachoeira. O valor mais elevado observado foi no mês de abril, em que ocorreu o registro de chuvas em dias anteriores às coletas, de acordo com os dados publicados pelo INMET.

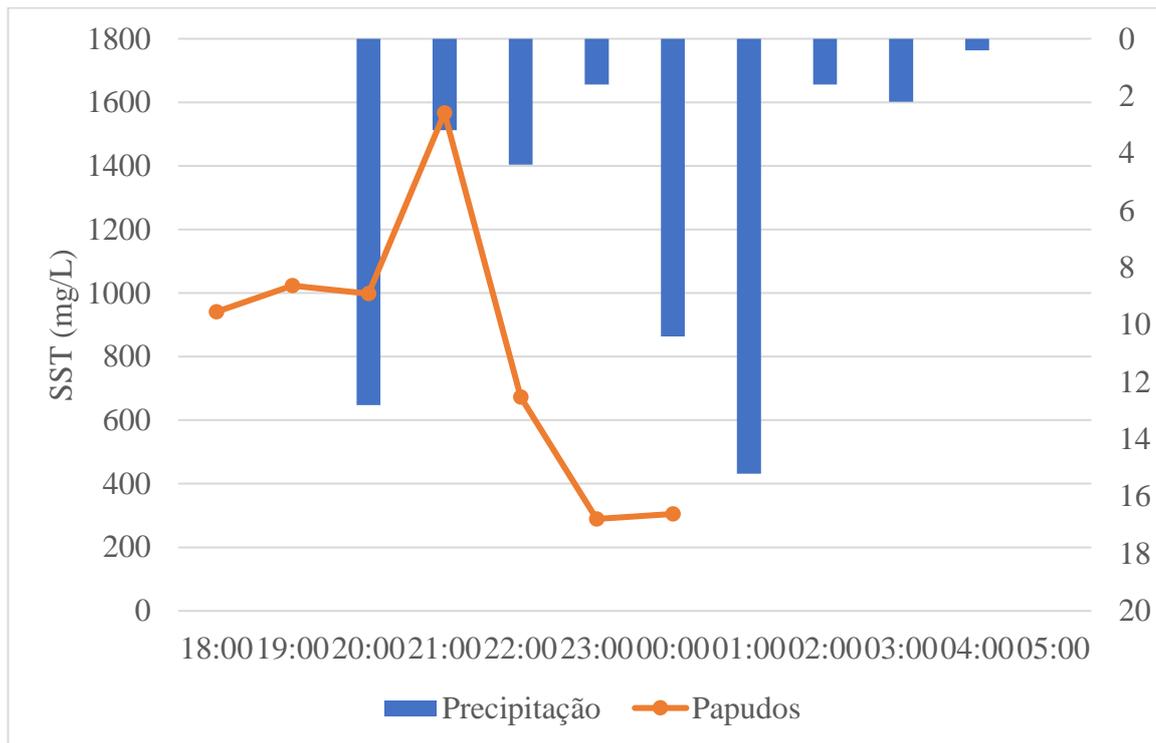
Guadagnin *et al.* (2005) e Santos *et al.* (2011) destacam que a umidade do solo, ocasionada por chuvas anteriores a um evento, favorece o escoamento e a produção de sedimentos, aumentando a perda de solo. Essa condição do solo pode explicar o aumento de sólidos em suspensão na água, quando comparado aos demais meses do estudo. Da mesma forma, Martins *et al.* (2003), observaram que, mesmo chuvas com baixa erosividade, são capazes de ocasionar elevadas perdas de solo, quando são subsequentes a outros eventos de precipitação, em razão do grau de umidade antecedente do solo.

No mês de maio, que representa o período de estiagem, quando começa a retirada de água do solo, o Córrego da Cachoeira apresentou o valor mais baixo de todo o período, com $0,8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, enquanto no Rio Papudos, a concentração foi de $2,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, sem registro de precipitação em pelo menos três dias antes das coletas. A concentração de sólidos suspensos totais pode ter relação com material orgânico em suspensão, normalmente, relacionado à vegetação florestal e localizada ao redor da calha do rio. Essa seria uma condição para ser considerada, nos resultados durante o mês de estiagem, em que as concentrações de componentes na água aumentam, devido à redução da vazão, mas a produção de sedimentos por escoamento só ocorre com precipitação. No Rio Papudos foram observados os maiores valores, com resultado até 3 vezes maior do que no Córrego da Cachoeira.

4.3 Resposta hidrológica de sólidos suspensos totais

Em um evento observou-se a resposta da concentração de sólidos suspensos em relação à precipitação no Rio Papudos (Figura 12). O evento teve início no dia 03/02/2020 às 20 horas e durou até às 5 horas do dia 04/02/2020, com volume total de 51,8 mm, sendo a intensidade máxima de $15,2 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, segundo dados publicados pelo INMET (<https://bdmep.inmet.gov.br/>, Precipitação Total Horário), classificada por Figueiredo *et al.* (2016) como precipitação moderada.

Figura 12: Concentração de sólidos suspensos totais ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) durante evento de precipitação no dia 03/02/2020, na microbacia do Rio Papudos.



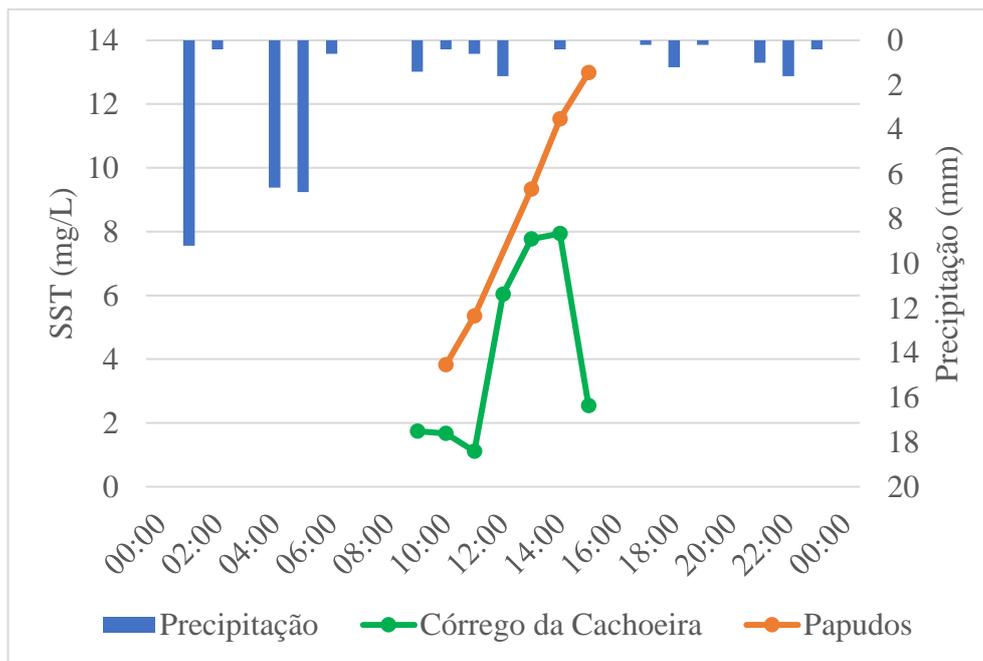
Fonte: Autores (2021).

O comportamento dos valores apresentados na Figura 12, para o Rio Papudos, demonstra a influência da precipitação nos dias anteriores à coleta, com registros de até 21,2 mm publicados pelo INMET, e a resposta do pico de concentração de SST após cerca de 1 hora do pico de chuva observado, $1.565 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Segundo Palácio *et al.* (2009) o escoamento é influenciado não só pelo volume precipitado, mas pela umidade do solo antecedente ao evento de precipitação, com as maiores produções de sedimento nos meses de maior precipitação, consequentemente maior umidade do solo e geração de escoamento. Rodrigues (2009) observou que a umidade antecedente do solo influenciou mais no escoamento e na produção de sedimentos do que a intensidade da chuva. Ou seja, o solo na microbacia do Rio Papudos, já vinha acumulando umidade, então a coleta pode ter sofrido influência dessas condições.

Durante outro evento de chuva, foi possível analisar a resposta da concentração de sólidos suspensos em relação à precipitação, no Rio Papudos e no Córrego da Cachoeira (Figura 13). O evento teve início no dia 07/03/2021 à 1 hora e durou até às 24 horas, com volume total de 32,6 mm, sendo a intensidade máxima de $9,2 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, segundo dados publicados pelo INMET (<https://bdmep.inmet.gov.br/>, Precipitação Total Horário), classificada como precipitação moderada (FIGUEIREDO *et al.*, 2016). Houve precipitação de 0,2 mm nos dois dias anteriores ao evento analisado, o que permitiu observar a baixa interferência de chuvas fracas (FIGUEIREDO *et al.*, 2016).

Figura 13: Concentração de sólidos suspensos totais ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) durante evento de precipitação no dia 07/03/2021.



Fonte: Autores (2021).

Foi possível perceber o aumento na concentração de sólidos ao longo do evento de chuva, com os maiores valores observados no Rio Papudos. O pico de precipitação registrado ocorreu à 1 hora, sendo que os maiores valores observados foram de $7,93 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e $12,98 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, para o Córrego da Cachoeira e o Rio Papudos, com intervalo aproximado de 13 e 14 horas, respectivamente. A diferença no comportamento da resposta hidrológica, no caso do tempo de concentração, pode ser explicada pelo formato mais alongado na microbacia do Rio Papudos, o que também pode contribuir para a maior concentração de sólidos, já que sofreu interferência de mais afluentes, bem como, uma maior área de drenagem (CABRAL *et al.* 2009).

As microbacias apresentaram boa capacidade de infiltração de água no solo, considerando o cálculo do coeficiente C, que representa o escoamento superficial de acordo com o uso e cobertura do solo. Assim, pode-se inferir que uma taxa menor que 15% do total precipitado contribuiu para a geração do escoamento superficial, em ambas as microbacias. Na determinação do coeficiente de escoamento superficial, os maiores pesos estão ligados às classes de pastagem e rocha e solo exposto. Como a microbacia do Rio Papudos apresentou em maiores áreas essas classes, o coeficiente de escoamento superficial para essa microbacia indicou valor de ordem 3 vezes superior quando comparado com a microbacia do Córrego da Cachoeira. Então, mesmo com boas condições de infiltração, a microbacia do Rio Papudos apresentou maior suscetibilidade ao escoamento, o que, possivelmente, contribuiu para as maiores concentrações de SST encontrados nessa microbacia.

A microbacia do Córrego da Cachoeira, com 99,4% do seu território com cobertura florestal e apenas 0,6% de pastagens, indica melhores condições de infiltração de água no solo e redução da velocidade do escoamento superficial. Santos, Griebeler e Oliveira (2010) e Dechen *et al.* (2015) destacam que solos com cobertura vegetal, além de aumentar a sua permeabilidade, são barreiras físicas capazes de amortecer e dissipar

a energia erosiva das gotas de chuva, reduzindo o impacto e conseqüentemente, a desagregação do solo, controlando o escoamento e a produção de sedimentos.

Já a microbacia do Rio Papudos apresentou 77% de florestas e 21% de pastagens, o que lhe confere maior propensão a processos erosivos. Isso contribuí para os resultados analisados, em que a microbacia do Rio Papudos apresentou maiores concentrações de sedimentos na água ao longo do evento de precipitação. Souza e Gastaldini (2014), corroborando com os resultados obtidos, observaram que a concentração de SST foi mais elevada em áreas rurais, com agricultura próximo ao leito dos rios, e em áreas desmatadas.

5 Conclusões

De acordo com os dados analisados, a resposta hidrológica para a concentração de sólidos em suspensão nas águas de microbacias com predominância de cobertura florestal, apresenta relação direta com os aspectos climáticos, geológicos e morfométricos. No entanto, a totalidade da cobertura florestal nas vertentes de uma microbacia, parece estar relacionada à menor amplitude de variação e à maior concentração de SST durante a estiagem. Esse fato pode estar relacionado à resiliência do ambiente aquático, em relação à entrada de alimento e energia a partir da contribuição do ambiente terrestre (folhas, galhos, frutos, flores, entre outros materiais orgânicos). Além disso, os resultados permitem concluir que, a ausência da cobertura florestal na paisagem, mesmo ocorrendo em distribuição na forma de mosaicos, pode resultar no aumento significativo da concentração de SST no meio aquático. Portanto, há que se considerar a variabilidade espacial da provisão de serviços ecossistêmicos, mesmo em paisagens com predominância da vegetação florestal.

Referências

ALBUQUERQUE, A. W. *et al.* Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 136–141, 2002.

ALMEIDA, H. G. S.; ZARONI, M. J.; CLEMENTE, E. P. **Árvore do Conhecimento - Solos Tropicais (Neossolo Litólico)**. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqxhk6vk7.html.

ALMEIDA, I. K. *et al.* Estimativa de Tempo de Concentração em Bacia Hidrográfica. In: SIMPÓSICO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves - RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

ALMEIDA, J. R.; RESENDE, M. Considerações sobre o manejo de solos rasos desenvolvidos de rochas políticas no estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuario (Brasil)**, v. 11, p. 19- 26, 1985.

BARTELS, G. K. **Monitoramento hidrossedimentológico numa bacia hidrográfica do Escudo Sul-Rio-Grandense**. 2015. 87 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

BASSO, L. A.; MOREIRA, L. G. R.; PIZZATO, F. A influência da precipitação na concentração e carga de

- sólidos em cursos d'água urbanos: o caso do arroio Dilúvio, Porto Alegre-RS. **Geosul**, v. 26, n. 52, p. 145, 2012.
- CABRAL, J. B. P. *et al.* Concentração de sedimentos em suspensão: Reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG, Brasil. **Mercator**, v. 8, n. 16, p. 233–253, 2009.
- CARAM, R. de O. **Mudanças no uso e cobertura do solo e resposta hidrológica da bacia do rio Piracicaba**. 2011. 140 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- CARDOSO, C. A. *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 241–248, 2006.
- CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599p.
- CASTRO, C.; MENDONÇA, A. Impactos de Ações Antrópicas em Bacias de Manancial Rurais de Montanha Sobre Parâmetros de Qualidade de Água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 1, p. 17–26, 2004.
- CHAVES, H. M. L.; PIAU, L. P. Efeito da variabilidade da precipitação pluvial e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimento de uma bacia hidrográfica do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 333–343, fev. 2008.
- CLIMATE-DATA. Tipologia climática do distrito de Lídice no município de Rio claro-RJ. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-de-janeiro/lidice-316190/>. Acesso em: 22 jun. 2021.
- DECHEN, S. C. F. *et al.* Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p. 224–233, 2015.
- DUARTE, C. C. *et al.* Análise fisiográfica da bacia hidrográfica do rio Tapacurá- Pe. **Revista de Geografia**, v. 24, n. 2, p. 50–64, 2007.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Revista e Ampliada, 2018. 356p.
- FARIAS, T. R. L. **Produção de sedimentos em bacias hidrográficas sob diferentes contextos geoambientais: medida e modelagem**. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- FRAGA, M. S. *et al.* Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. **Nativa**, v. 2, n. 4, p. 114–118, 2014.
- FRANCO, E. J. **Dimensionamento de bacias de retenção das águas pluviais com base no método racional**. 2004. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- FAO. **Metodologia provisional para evaluation de la degradacion de los suelos**. Roma: FAO/PNUMA: UNEP: UNESCO. 1980
- FIGUEIREDO, J. B. A. *et al.* Climatologia no entorno da Central Nuclear de Angra dos Reis, RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 3, p. 298–310, 2016.
- GUADAGNIN, J. C. *et al.* Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 277–286, abr. 2005.
- GAROTTI, L. M.; BARBASSA, A. P. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 19–28, 2010.

GOMES, C. R. *et al.* Influência das mudanças no uso e ocupação do solo no comportamento hidrológico da bacia do rio muricizal. *In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 18., 2005, Campo Grande – MS.

HOEPFNER, A. C. **Estudo comparativo entre vazões de pico estimadas pelo método racional e pelo método do SCS para a bacia hidrográfica do rio Bom Retiro em Joinville-SC.** 2007. 57 f. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

HORTON, R. E. Drainage-basin characteristics. *Transactions, American Geophysical Union*, v. 13, n. 1, p. 350, 1932.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira.** 2. Ed. Rio de Janeiro: Revista e Ampliada, 2012. 274p.

LIMA, W. de P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas.** 2. ed. Piracicaba. 2008. 245p.

MINEIRO, A. L. B.; ARAUJO, A. M. **Estimativa da produção de sedimentos da Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe que aporta na zona costeira norte da RMR.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** 2002. 152 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MANSUR, H.; GUIMARÃES, J.; KLEZ, C. **Estudo de viabilidade de implantação do programa PRO-PSA na região hidrográfica do Guandu - Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: The Nature Conservancy - TNC, Instituto Terra de Preservação Ambiental - ITPA, Conservação Internacional - CI, v.66, 2013. Disponível em: http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter_digat_geget/documents/document/zwew/mtew/~edis_p/inea0110840.pdf. Acesso em: 08 jul. 2021.

MARTINS, S. G. *et al.* Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 3, p. 395–403, jun. 2003.

MENEZES, P. H. B. J. **Avaliação do efeito das ações antrópicas no processo de escoamento superficial e assoreamento na Bacia do Lago Paranoá.** 2010. 117 f. Dissertação. (Mestrado em Geociências Aplicadas) - Universidade de Brasília, Brasília.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; MAGNAGO, P. F. Análise qualitativa e quantitativa da histerese entre vazão e concentração de sedimentos durante eventos hidrológicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 12, p. 1306–1313, 2011.

PALÁCIO, H. A. DE Q. *et al.* Uso da terra e resposta hidrossedimentológica de microbacia no semiárido. *Revista Agro@Mambiente on-Line*, v. 6, n. 3, p. 187, 2012

PAZ, A. R. da. **Hidrologia aplicada.** Caxias do Sul (RS). 2004. 138p.

PEREIRA, M. E. de S. **Utilização do ambiente SIG para a integração de dados e informações geológicas da região de Lídice, Rio Claro – RJ.** 2012. 41 f. Monografia (Graduação em Geologia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PEREIRA, S. B. *et al.* Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, n. 3, p. 423–429, 2003.

PEREIRA, T. T. C. *et al.* Gênese de latossolos e cambissolos desenvolvidos de rochas pelíticas do grupo

BambuÍ - Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1283–1295, 2010.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. DA. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 301–307, 2001.

RODRIGUES, J. O. **O uso da terra e a resposta hidrossedimentológica em pequenas bacias hidrográficas semiáridas**. 2009. 127 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C. **Planilha no ambiente Excel para o cálculo Balanço Hídrico Normal por Thornthwaite-Mather (1955)**, BHnorm v. 5. Departamento de Física e Meteorologia ESALQ-USP, 1999.

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

SANTOS, J. C. N. dos *et al.* Runoff and soil and nutrient losses in semiarid uncultivated fields. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 3, p. 813–820, set. 2011.

SANTOS, L. L. Quantificação do escoamento superficial e erosão do solo em regiões semi-áridas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, n. 1, p. 14, 2009.

SHINZATO, E. *et al.* Monitoramento da precipitação efetiva em diferentes povoamentos florestais: estudo de caso na Floresta Nacional de Ipanema, Iperó-SP. *In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS SERVIÇOS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE*, 2., 2009, Taubaté - SP.

SILVEIRA, A. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 1, p. 5–29, 2005.

SILVA, J. M. A. da. **Modelo hidrológico para o cálculo do balanço hídrico e obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas: desenvolvimento e aplicação**. 2002. 137 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, P. M. de O. *et al.* Modelagem da hidrógrafa de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 258–265, 2008.

SILVA JR, Valdemir P. *et al.* Produção de água e sedimentos em bacia representativa do semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 1073-1081, 2011.

SOUSA, M. M. M. *et al.* Influência do manejo da vegetação em microbacias hidrográficas e suas respostas hidrossedimentológicas. **Revista Equador**, v. 5, n. 4, p. 43–55, 2016.

SOUZA, M. M. de; GASTALDINI, M. do C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 263–274, 2014.

TARQUI, J. L. Z. *et al.* Avaliação do escoamento superficial de águas pluviais em pavimento de blocos de solo-cimento. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 403–410, 2019.

TONELLO, K. C. *et al.* Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões - MG. **Revista Árvore**, n. 5, p. 849–857, 2006.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 4, p. 67–75, 2010.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos

recursos hídricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 17, p. 55–64, 2010.

VESTENA, L. R. Análise da dinâmica hidrossedimentológica em uma bacia hidrográfica no sul do Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 3, p. 413–424, 2009.

VETORRAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando a conservação de recursos hídricos**. 2006. 149 f.. Tese (Doutorado em Engenharia Rural) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

WEILL, M. de A. M. **Estimativa da erosão do solo e a avaliação do seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP) através do Índice de Tempo de Vida**. 1999. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.