

INSTITUTO TECNOLÓGICO VALE



PROD. TEC. ITV DS - N010/2020
DOI: 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2020.10.PinaNeto

PRODUÇÃO TÉCNICA ITV DS

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAUPEBAS, AMAZÔNIA ORIENTAL

Projeto Itacaiúnas II

Acácio Nunes de Pina Neto
Renato Oliveira Silva Júnior
Marcio Sousa da Silva

Belém / Pará
Fevereiro / 2020

Título: Avaliação da produção e transporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Parauapebas, Amazônia Oriental.	
PROD. TEC. ITV DS N010/2020	Revisão
Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (x) Pública	0

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P645	Pina Neto, Acácio Nunes. Avaliação da produção e transporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Parauapebas, Amazônia Oriental. / Acácio Nunes Pina Neto, Renato Oliveira Silva Júnior, Marcio Sousa da Silva – Belém: ITV, 2019. 53 p. : il. 1. Produção - Avaliação. 2. Hidrologia - Rio Parauapebas (PA). 3. Geoprocessamento. 4. Sedimentos - Transportação. I. Silva Júnior, Renato Oliveira. II. Marcio Sousa da Silva. III. Título CDD 23. ed. 551.48098115
------	---

Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves / CRB 2 - 525

RESUMO EXECUTIVO

Diante da carência de um diagnóstico do comportamento hidrossedimentológico, este estudo buscou estimar e avaliar a produção e o fluxo de sedimentos na bacia do rio Parauapebas entre os anos de 2015 e 2018. Para tanto, foi realizado o monitoramento da descarga líquida juntamente com amostragens em três seções de medição ao longo do rio Parauapebas, contemplando a sazonalidade das chuvas na região. Os valores obtidos permitiram a quantificação da concentração e descarga de sedimentos suspensos, descarga sólida total, além da produção de sedimentos. Estima-se que, ao longo dos quatro anos de monitoramento, cerca de 39 t/km² de sedimentos em suspensão foram produzidos na bacia do rio Parauapebas. Desse total, cerca de 90% apenas no período chuvoso. As taxas de produção aumentaram desde 2016, cujo comportamento pode ser atribuído ao desmatamento na bacia e progressiva substituição de florestas por pastagens. Em síntese, a forma como se dá o uso e ocupação do solo na bacia do rio Parauapebas pode estar favorecendo a atuação de processos erosivos e, conseqüentemente, o assoreamento dos rios associado à ocorrência de cheias na região, despertando a necessidade de práticas conservacionistas e adoção de técnicas de manejo do solo, visando à redução das taxas de erosão e garantindo a sustentabilidade hídrica da bacia.

RESUMO

Este estudo estima e avalia a produção e o fluxo de sedimentos na bacia do rio Parauapebas entre os anos de 2015 e 2018, em função do uso do solo e cobertura vegetal. A determinação das descargas líquidas e amostragens de sedimentos em suspensão foram realizadas em três seções de medição ao longo do rio Parauapebas (Alto Parauapebas, na estação Sossego, Médio Parauapebas - Estação de Captação e Foz), contemplando os períodos chuvosos, de estiagem e os de transição. As análises laboratoriais permitiram a determinação da concentração de sedimentos, da descarga sólida em suspensão e total através do método simplificado de Colby (1957) e, por fim, a estimativa da produção de sedimentos suspensos. Ao longo dos quatro anos de monitoramento, os valores médios na estação Sossego foram: 56,68 m³/s (vazão), 12,34 mg/L (concentração de sedimentos em suspensão), 75,03 t/dia (descarga de sedimentos suspensos) e 280,48 t/dia (descarga sólida total). Na Estação de Captação os valores médios foram: 87,91 m³/s (vazão), 16,62 mg/L (concentração de sedimentos em suspensão), 149,42 t/dia (descarga de sedimentos suspensos) e 319,94 t/dia (descarga sólida total). Enquanto que na foz os valores médios foram: 123,3 m³/s (vazão), 23,75 mg/L (concentração de sedimentos em suspensão), 263,6 t/dia (descarga de sedimentos suspensos) e 513,12 t/dia (descarga sólida total). Foi possível notar um incremento dos valores obtidos das variáveis acima do Sossego à foz do rio Parauapebas, além de refletirem a sazonalidade das chuvas na região, cujos maiores valores estão associados aos meses com maiores índices pluviométricos. Estima-se que, ao longo dos quatro anos de monitoramento, cerca de 39 t/km² de sedimentos em suspensão foram produzidos na bacia do rio Parauapebas. Desse total, cerca de 90% foram produzidos apenas no período chuvoso. Além disso, as taxas de produção apresentaram um aumento desde 2016, podendo ser atribuído ao desmatamento da bacia e progressiva substituição por pastagens. Nesse sentido, a forma como se dá o uso e ocupação do solo na bacia do rio Parauapebas pode estar favorecendo a atuação de processos erosivos e, conseqüentemente, o assoreamento dos rios associado à ocorrência de cheias na região, despertando a necessidade de práticas conservacionistas e adoção de técnicas de manejo do solo, visando à redução das taxas de erosão e garantindo a sustentabilidade hídrica da bacia do rio Parauapebas.

Palavras-chave: Morfometria. Produção de sedimentos. Hidrossedimentologia. Parauapebas (PA).

ABSTRACT

This study estimates and evaluates the production and flow of sediments in the Parauapebas River basin between 2015 and 2018, considering land use and vegetation cover factors. The determination of liquid discharges and sampling of suspended sediments were carried out in three measurement sections along the Parauapebas river (Sossego station, Catchment station and in the mouth), contemplating the rainy, drought periods and transition. Laboratory analyzes allowed the determination of sediment concentration, suspended solid and total discharge through Colby's simplified method (1957) and, finally, the estimate of suspended sediment production. Over the four years of monitoring, the average values at the Sossego station were: 56.68 m³ / s (flow), 12.34 mg / L (suspended sediment concentration), 75.03 t / day (sediment discharge suspended) and 280.48 t / day (total solid discharge). At the Catchment Station the average values were: 87.91 m³ / s (flow), 16.62 mg / L (suspended sediment concentration), 149.42 t / day (suspended sediment discharge) and 319.94 t / day (total solid discharge). While at the mouth the average values were: 123.3 m³ / s (flow), 23.75 mg / L (suspended sediment concentration), 263.6 t / day (suspended sediment discharge) and 513.12 t / day (total solid discharge). It was possible to notice an increase in the values obtained from the variables above Sossego at the mouth of the Parauapebas River, in addition to reflecting the seasonality of rainfall in the region, whose higher values are associated with the months with the highest rainfall. It is estimated that, over the four years of monitoring, about 39 t / km² of suspended sediments were produced in the Parauapebas River basin. Of this total, about 90% were produced only in the rainy season. In addition, production rates have increased since 2016, which can be attributed to deforestation in the basin and progressive replacement by pastures. In this sense, the way in which the use and occupation of the soil occurs in the Parauapebas River basin may be favoring the performance of erosive processes and, consequently, the silting up of rivers associated with the occurrence of floods in the region, arousing the need for conservationist practices and adoption of soil management techniques, aiming at reducing erosion rates and ensuring water sustainability in the Parauapebas River basin.

Keywords: Morphometry. Sediment production. Hydrosedimentology. Parauapebas (PA).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Mapa de localização da BHRI e suas sub-bacias com destaque para a sub-bacia do rio Parauapebas	13
Figura 2 -	Distribuição da precipitação média mensal na BHRI obtida por meio dos dados de interpolação do Climate Prediction Center (CPC; 1986-2005). A linha contínua horizontal representa a média (148,8 mm) das médias mensais de precipitação para o período. As barras em branco indicam os meses com precipitação acima da média (período chuvoso). Em cinza (período de transição) e, em preto (período de estiagem)	15
Figura 3 -	Mapa da bacia do rio Parauapebas exibindo as unidades geomorfológicas encontradas na área de estudo	16
Figura 4 -	Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do rio Parauapebas	17
Figura 5 -	Mapa hipsométrico e de declividade da bacia do rio Parauapebas	18
Figura 6 -	Regiões hidrologicamente homogêneas definidas no presente estudo para a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, destaque para a sub-bacia do rio Parauapebas	19
Figura 7 -	Mapa de textura de solos da BHRI, com destaque para a sub-bacia do rio Parauapebas	20
Figura 8 -	Mapa de localização em detalhe da bacia do rio Parauapebas	23
Figura 9 -	Embarcação e equipamentos utilizados para medidas de vazão com ADCP (à esquerda) e com FlowTracker (à direita)	24
Figura 10 -	Etapas das análises laboratoriais. A) Secagem dos filtros; B) Pesagem dos filtros secos; C) Filtragem das amostras; D) Identificação; E) Secagem das amostras; F) Pesagem das amostras secas.....	25
Figura 11 -	Ábacos utilizados no Método Simplificado de Colby (1957) para cálculo da descarga sólida total	

Figura 12 -	Gráfico boxplot com os valores de concentração de sedimentos em suspensão obtidos a partir das três seções fluviométricas do rio Parauapebas monitoradas	30
Figura 13 -	Comportamento da concentração dos sedimentos em suspensão nas três seções avaliadas ao longo do período de monitoramento. Setas indicam início do período de estiagem	31
Figura 14 -	Comportamento das descargas líquidas (m^3/s) ao longo do rio Parauapebas. Setas sinalizam o início dos períodos de estiagem, entre 2015 e 2018	32
Figura 15 -	Comportamento relativo entre a descarga líquida e a concentração dos sedimentos em suspensão nas três estações monitoradas. Setas indicam o início do período de estiagem na região	33
Figura 16 -	Dados de Qss (t/dia) e precipitação (mm/dia) por data de amostragem na estação Sossego	36
Figura 17 -	Dados de precipitação (mm/dia) e Qss (t/dia) por data de amostragem obtidos a partir da estação Sossego e estação de captação, respectivamente	36
Figura 18 -	Dados de precipitação (mm/dia) e Qss (t/dia) por data de amostragem obtidos a partir da estação Sossego e foz, respectivamente	37
Figura 19 -	Curva-chave de sedimentos com dados das três seções avaliadas no período chuvoso entre 2015 e 2018	38
Figura 20 -	Curva-chave de sedimentos com dados das três seções avaliadas durante a estiagem entre 2015 e 2018	39
Figura 21 -	Médias das descargas sólidas totais (Qst - t/dia) para períodos chuvosos e de estiagem nas três seções avaliadas	40
Figura 22 -	Médias anuais das descargas sólidas totais (t/dia) entre 2015 e 2018	40
Figura 23 -	Produção de sedimentos em suspensão e a precipitação média ocorrida em cada período durante as campanhas de medição direta na bacia hidrográfica do rio Parauapebas entre os anos de 2015 e 2018	42
Figura 24 -	Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Parauapebas (2018) e valores médios de vazão (Q), Concentração de sedimentos em suspensão (Css), Descarga sólida em suspensão (Qss) e Descarga sólida total	

	(Qst), obtidos a partir dos quatro anos de monitoramento ao longo do rio Parauapebas	43
Figura 25 -	Comportamento das classes de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Parauapebas entre 2014 e 2018	45

LISTA DE TABELAS E QUADRO

Tabela 1 -	Totais anuais, concentração média dos percentuais de chuva e extensão dos períodos chuvoso, seco e de transição para os anos analisados a partir de dados da estação pluviométrica Sossego	4
Quadro 1 -	Síntese das atividades realizadas	12
Tabela 2 -	Dados das análises de sedimentos em suspensão e descarga líquida do rio Parauapebas	19
Tabela 3 -	Descargas obtidas no rio Parauapebas, sendo: C_{ss} = Concentração de sedimentos em suspensão; Q = Vazão ou Descarga Líquida; Q_{ss} = Descarga sólida suspensa medida; Q_{st} = Descarga sólida total; $\%Q_{st}$ = Percentual de Descarga Sólida Total; PPT =Precipitação	25
Tabela 4 -	Médias da precipitação (mm) e Q_{ss} - Descarga sólida suspensa (t/dia); Y_{ss} - Produção (t/km ² .ano-1) e percentual (%) de sedimentos em suspensão nos períodos chuvosos e de estiagem entre os anos de 2015 e 2018 na Bacia Hidrográfica do Rio Parauapebas.....	32
Tabela 5 -	Área das classes de uso e ocupação do solo encontradas na bacia hidrográfica do rio Parauapebas entre 2014 e 2018.....	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA EM ESTUDO	12
3.1	ASPECTOS GERAIS	12
3.2	CLIMA	13
3.3	GEOMORFOLOGIA	15
3.4	ASPECTOS PEDOLÓGICOS	19
3.5	USO/COBERTURA DO SOLO	21
4	MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1	DETERMINAÇÃO DA DESCARGA LÍQUIDA	22
4.2	COLETA DE SEDIMENTOS E ANÁLISES LABORATORIAIS	24
4.3	DETERMINAÇÃO DA DESCARGA SÓLIDA DE SEDIMENTOS	26
4.4	ELABORAÇÃO DA CURVA-CHAVE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO	28
4.5	ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS SUSPENSOS	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1	CONCENTRAÇÃO DOS SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E DESCARGA LÍQUIDA	29
5.2	DESCARGAS SÓLIDAS DOS SEDIMENTOS	34

5.3	PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS	41
5.4	RELAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO COM A PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS	43
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
7	RECOMENDAÇÕES	47
	REFERÊNCIAS	49
	APÊNDICES	54
	APÊNDICE A - Tabela síntese com os dados utilizados neste trabalho, a partir dos quatro anos de monitoramento (2015-2018).....	55

1 INTRODUÇÃO

A hidrossedimentologia é a ciência responsável por analisar processos como desagregação, erosão, transporte e deposição de sedimentos em bacias hidrográficas, considerando processos hidroclimáticos que se manifestam na interface água-sedimento (CARVALHO, 2008), ou seja, na parte terrestre do ciclo hidrológico, e que influenciam os processos geomorfológicos fluviais responsáveis pela formação e evolução da paisagem (GOERL *et al.* 2012).

Os processos erosivos são comuns em bacias hidrográficas, em que a chuva desempenha um importante agente externo modificador do relevo. Entretanto, assim como o clima e a topografia, a dinâmica hidrossedimentológica também está sujeita a fatores antrópicos que poderão afetar a magnitude dos processos erosivos e as taxas de produção de sedimentos (WALLING, 1990). Segundo Carvalho (2008), alguns dos impactos que podem ocorrer por desequilíbrio na dinâmica da bacia são: a destruição de nascentes e a remoção da camada fértil do solo por erosão; alteração na biota aquática; alteração da qualidade da água e redução das atividades fotossintéticas haja vista que sedimentos em suspensão carregam poluentes e afetam parâmetros como turbidez; além de provocar o assoreamento de corpos d'água, aumentando o risco de enchentes e impossibilitando a navegação.

Nesse sentido, o monitoramento hidrossedimentológico torna-se de suma importância, pois possibilita a obtenção de diversas variáveis como a concentração de sedimentos em suspensão e as descargas sólidas e líquidas, por exemplo. Essas variáveis permitem o estudo do escoamento, da produção e transporte de sedimentos, constituindo informações valiosas para a gestão de recursos hídricos, além de embasar modelos hidrossedimentológicos que visam diagnosticar e prever impactos (MENDONÇA, 2013).

A bacia hidrográfica do rio Parauapebas representa uma importância econômica e ambiental fundamental para a região, pois hospeda parte da mais rica província mineral do mundo, a Província Carajás, com importantes projetos da Vale em operação como: Sossego (Cu), S11D (Fe) e Serra Leste. A região também é reconhecida por uma atividade agropecuária em franca expansão e por importantes centros urbanos em desenvolvimento de modo que, o rio Parauapebas é responsável pelo fornecimento de água para quase a totalidade do abastecimento público das cidades do entorno, além de servir como fonte de recreação e pesca.

Nos últimos anos, a bacia do rio Parauapebas teve grande parte de seu território desmatado para a instalação de extensas áreas de pastagens (SOUZA-FILHO *et al.* 2016), contribuindo para a

elevação nos níveis d'água, nas descargas líquidas, na temperatura do ar, e na redução da umidade relativa do ar (SOUZA-FILHO *et al.* 2016) e nas taxas de evapotranspiração (PONTES *et al.* 2019). Deste modo, o monitoramento e o diagnóstico hidrossedimentológico da bacia tornam-se extremamente necessários, considerando a carência de estudos pretéritos e as últimas mudanças acerca do uso e ocupação do solo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo geral compreender o comportamento hidrossedimentológico, a produção e o fluxo de sedimentos ao longo do rio Parauapebas em face das alterações nas formas de uso do solo e cobertura vegetal.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De modo específico, pretende-se:

- a) Quantificar as descargas sólidas totais e a carga de sedimentos em suspensão, além de caracterizar a descarga líquida do rio Parauapebas, considerando o regime de chuvas na região;
- b) Estimar a produção de sedimentos na bacia do rio Parauapebas;
- c) Disponibilizar ao ITV-DS um banco de dados em formato digital (em formato excel) contendo os dados coletados em campo e usados para a estimativa da quantidade de sólidos em suspensão e para a determinação das descargas sólidas totais.

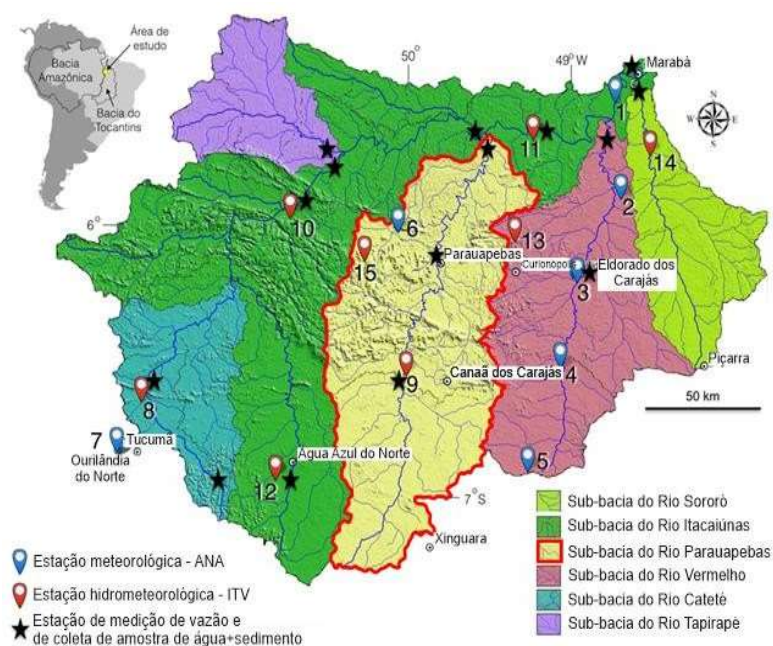
3 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA EM ESTUDO

3.1 ASPECTOS GERAIS

A bacia hidrográfica do rio Parauapebas é uma das principais sub-bacias que integram a Bacia Hidrográfica do rio Itacaiúnas (BHRI), no sudeste do Estado do Pará (Figura 1). A bacia ocupa os municípios de Água Azul do Norte, Canaã dos Carajás, Curionópolis, Marabá, Parauapebas e Xinguara, totalizando cerca de 250000 habitantes (IBGE, 2018). Possui uma área de drenagem de aproximadamente 9.600 km², limitada pelas latitudes 05°30' a 07°11,5' S e longitudes 49° 30' a 50°21,5' O.

A bacia é caracterizada pelo desenvolvimento expressivo da agropecuária que, associada à mineração, constituem as mais importantes atividades econômicas da região. Esta última é compreendida pelo fato da bacia hospedar parte de uma das províncias minerais mais ricas do mundo, a Província Mineral de Carajás (PMC), onde se destaca grandes projetos de mineração de ferro e cobre (Sossego, S11D e Serra Leste). Além disso, o rio Parauapebas é responsável pelo fornecimento de água para quase a totalidade do abastecimento público das cidades do entorno, além de servir como fonte de recreação e pesca.

Figura 1 – Mapa de localização da BHRI e suas sub-bacias com destaque para a sub-bacia do rio Parauapebas.



Fonte: Relatório Interno do Projeto Itacaiúnas, 2019

3.2 CLIMA

A região é caracterizada por um clima de monção tropical (Am), segundo Alvares *et al.* (2013), e com uma sazonalidade bem marcada. Dados da estação hidrometeorológica Sossego, monitorada pelo Instituto Tecnológico Vale (ITV) e situada no município de Canaã dos Carajás, conjugados com as médias históricas da região demonstram que o período chuvoso ocorre entre novembro e abril e atinge 150,65 mm de precipitação média, representando 74 a 98% do total anual médio precipitado (Tabela 1). Enquanto que na estiagem (junho a agosto), a média de precipitação sofre uma redução de aproximadamente 95% e atinge 8,63 mm, representando 0,2 a 4,7% do total anual registrado. Os totais de precipitação acumulada de 2015 a 2018 variam de 0,67 a 18,6 mm

na estiagem e de 126,8 a 172,4 mm no chuvoso, revelando uma sazonalidade bem marcada no regime de chuvas na região, conforme previamente sugerido pela média histórica regional interpolada do CPC do período de 1986-2005 (SILVA JÚNIOR, 2017) e pelo trabalho realizado por Tavares *et al* (2018).

Tabela 1 - Totais anuais, concentração média dos percentuais de chuva e extensão dos períodos chuvoso, seco e de transição para os anos analisados a partir de dados da estação pluviométrica Sossego.

Ano	Total Anual (mm)	Chuvoso		Transição	Nº Dias	Seco		Transição	Nº Dias
		Início	Fim			Início	Fim		
2015	776,8	Nov	Abr	Mai	210	Jun	Ago	Set-Out	150
2016	1071	Nov	Abr	Mai		Jun	Ago	Set-Out	
2017	1197,2	Nov	Abr	Mai		Jun	Ago	Set-Out	
2018	1394	Nov	Abr	Mai		Jun	Ago	Set-Out	

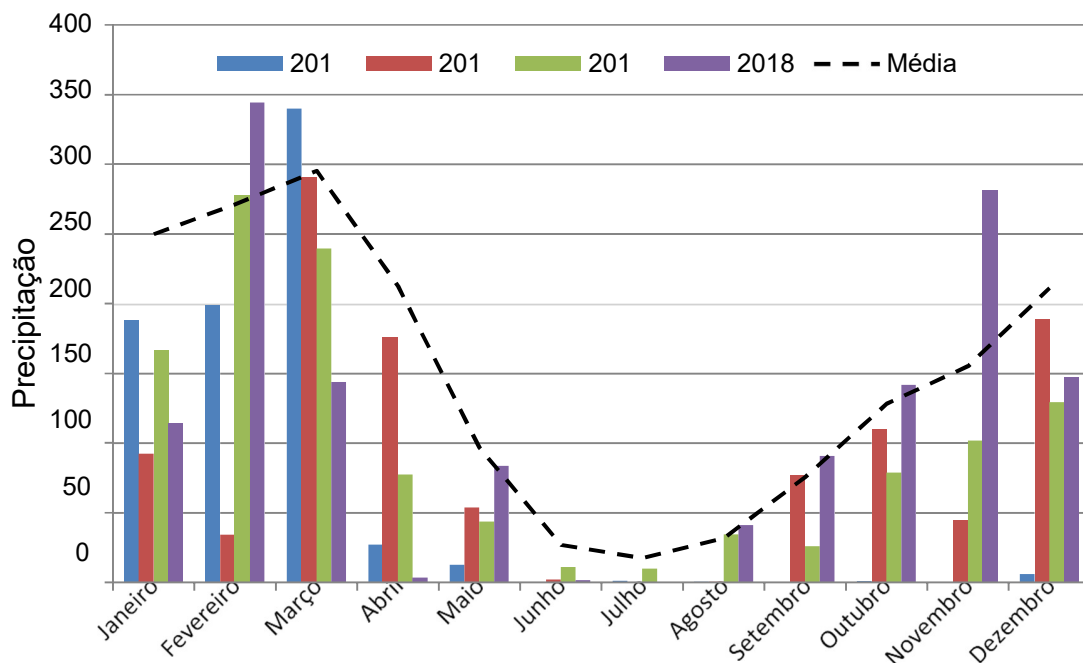
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Os resultados e as respectivas médias históricas mensais são apresentados na Figura 2. O mês que apresentou os maiores valores de precipitação foi o mês de fevereiro de 2018 (344,4 mm), ficando acima da média histórica de 295,3 mm no respectivo mês. Enquanto que o período com menor precipitação foram os meses de julho de 2016 e 2018, e setembro de 2015. Com exceção do mês de março, em 2015 todos os meses estiveram abaixo da média histórica e os meses de maio a dezembro de 2015 foram os meses com menos chuva quando comparados com o mesmo período dos anos subsequentes.

A redução das chuvas nesse período pode ser atribuída ao fenômeno el niño de intensidade forte no ano de 2015-2016 (ARAGÃO *et al.* 2018). Conforme Tavares *et al.* (2018), entre abril de 2015 a fevereiro de 2016, a região esteve sob a influência de um El Niño do tipo MIX (misto) muito intenso que refletiu diretamente na redução da precipitação nesse período.

Vale ressaltar que a precipitação e a temperatura do ar são influenciadas diretamente por sistemas climáticos de média a larga escala (TAVARES *et al.* 2018). No caso da região amazônica, destacam-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT; FERREIRA *et al.*, 2015), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS; LOPES *et al.*, 2013) e por fenômenos como El Niño e La Niña (PEREIRA *et al.*, 2017; TAVARES *et al.*, 2018). De modo geral, o período chuvoso na região é atribuído à presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) mais ao sul da Linha do Equador (FERREIRA *et al.* 2015). Enquanto que a pouca precipitação nos meses de junho a agosto é provocada por sistemas frontais provenientes do sul do Brasil (FERREIRA *et al.*, 2004).

Figura 2 – Distribuição da precipitação mensal na bacia hidrográfica do rio Parauapebas de 2015 a 2018, como também da série histórica de precipitação média mensal obtida por Silva Júnior (2017) através de dados interpolados do CPC do período de 1986-2005.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

3.3 GEOMORFOLOGIA

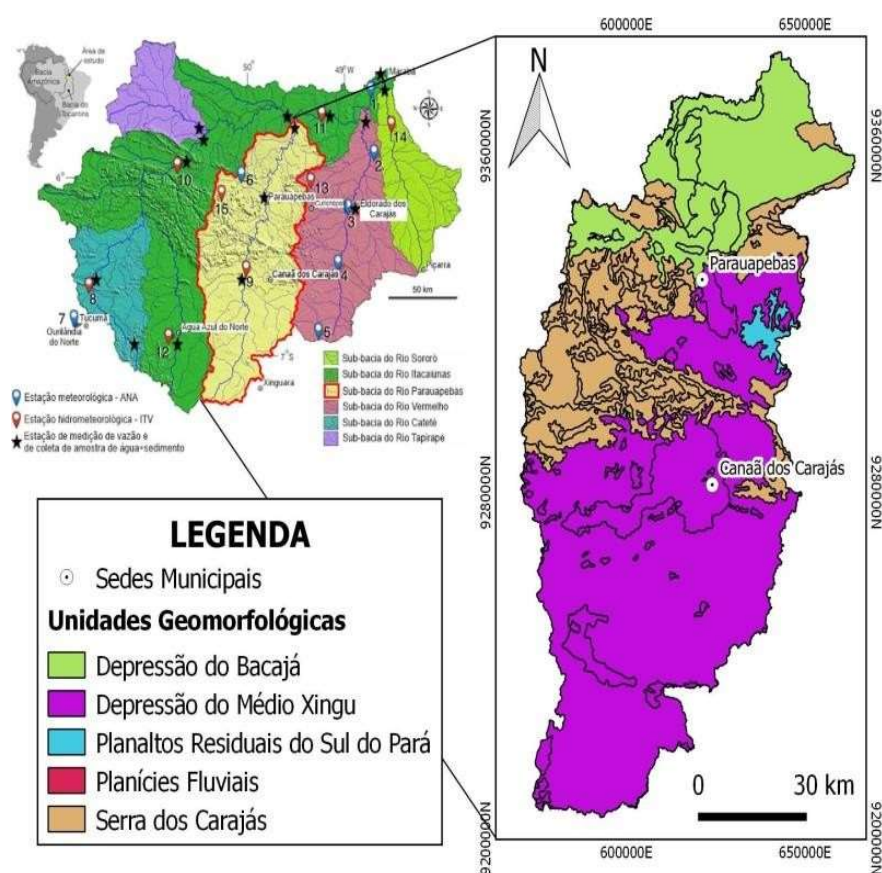
Geomorfologicamente, na região são identificados dois compartimentos morfoestruturais de expressão regional: o Planalto Dissecado do Sul do Pará e a Depressão Periférica do Sul do Pará (BOAVENTURA, 1974). Valentim & Olivito (2011) descrevem a primeira como uma unidade caracterizada por maciços residuais com morfologia de topo variada e conjunto de cristas e pico em meio a terrenos rebaixados com altitudes variando entre 500 a 600 m, com trechos mais elevados na região da Serra dos Carajás, onde a altitude atinge 700 m e são sustentadas por rochas mais resistentes como jaspilitos e canga ferruginosas (Figura 3).

A Serra dos Carajás, localizada na porção oeste da bacia do Parauapebas se estende por cerca de 350 km no sentido aproximadamente leste-oeste (HASUI *et al.* 2012) e representa uma série de serras descontínuas e morros, afastados por extensos vales. As regiões onde afloram o minério de ferro são cobertas por laterita ferruginosa (canga), que se destaca da floresta adjacente por possuir uma vegetação do tipo cerrado. Escarpas abruptas bordejam os platôs e as áreas situadas entre os mesmos constituem vales recobertos por floresta, com drenagem encaixada e controlada

estruturalmente. Nessas áreas ainda se encontram alguns lagos rasos de formato circular formados pela retenção de água da chuva (HASUI *et al.* 2012), além de milhares de cavernas formadas em jaspilitos, minério de ferro puro e canga laterítica indiferenciada.

O outro compartimento morfoestrutural, a Depressão Periférica do Sul do Pará, encontra-se circundando o primeiro. Possui um relevo rebaixado, modelado e ocupado por conjuntos de morros e colinas constituídos por rochas granitoides (granitos, gnaisses, entre outros), metavulcânicas e metassedimentares pré-cambrianas (VALENTIM & OLIVITO, 2011; POTAMOS, 2013).

Figura 3 – Mapa da bacia do rio Parauapebas exibindo as unidades geomorfológicas encontradas na área de estudo.

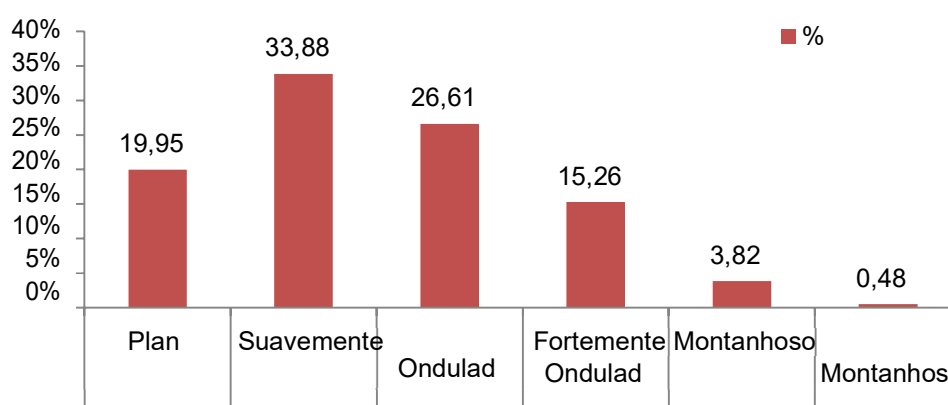


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

A análise hipsométrica realizada por Pina Neto *et al.* (2019) revelou que as altitudes na bacia variam de 101 m a 882 m, correspondendo a uma amplitude hipsométrica de 781 m. A altitude média, utilizando o centroide como referência, é de 384 m e a cota mais frequente identificada foi de 197,5. As informações quantitativas referentes à declividade da bacia (Figura 4) apontam que a maior parte do relevo está compreendida, conforme a classificação da EMBRAPA (1979), nas

classes suavemente ondulada (33,88%) e ondulada (26,61%), e declividade média de 14,28%. Portanto, descrevem a ocorrência de valores baixos de declividade, indicando regiões com baixa velocidade de escoamento, com maior tempo de concentração e menor pico de descarga superficial, constituindo áreas mais favoráveis à cultura agrícola e pastagem, atividades que acabam tornando o solo mais susceptível à erosão.

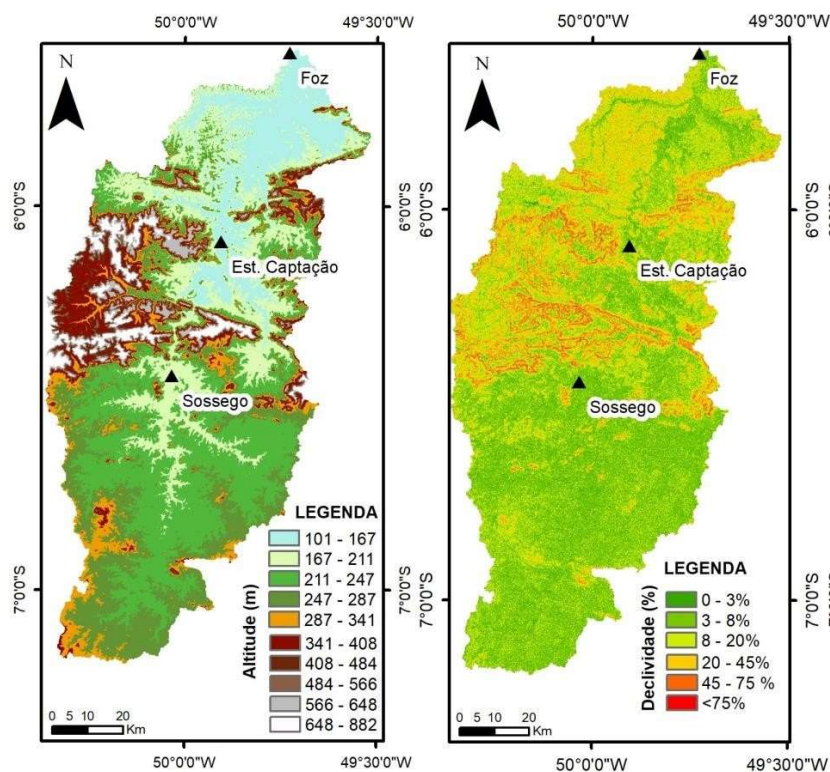
Figura 4 - Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do rio Parauapebas.



Fonte: elaborado pelo autor, 2019

Pina Neto *et al.* (2019) reconheceram três domínios geomorfológicos na bacia com base nos dados de altitude e declividades (Figura 5). O primeiro domínio corresponde à porção meridional, onde está localizada a alto-médio curso do rio Parauapebas. Esse domínio alcança 200 a 300 m de altitude e um relevo plano a suavemente ondulado, predominantemente. O segundo domínio, localizado no médio curso do rio Parauapebas, é onde se assenta a Serra dos Carajás, com uma faixa de altitude entre 300 m a 800 m e picos que atingem 880 m, além de declividades maiores que 45% (relevo montanhoso). Enquanto que o último domínio geomorfológico evidente, corresponde às áreas mais rebaixada próximas à foz do rio Parauapebas, com um relevo suavemente ondulado à ondulado e altitudes compreendidas entre 100 e 250 m.

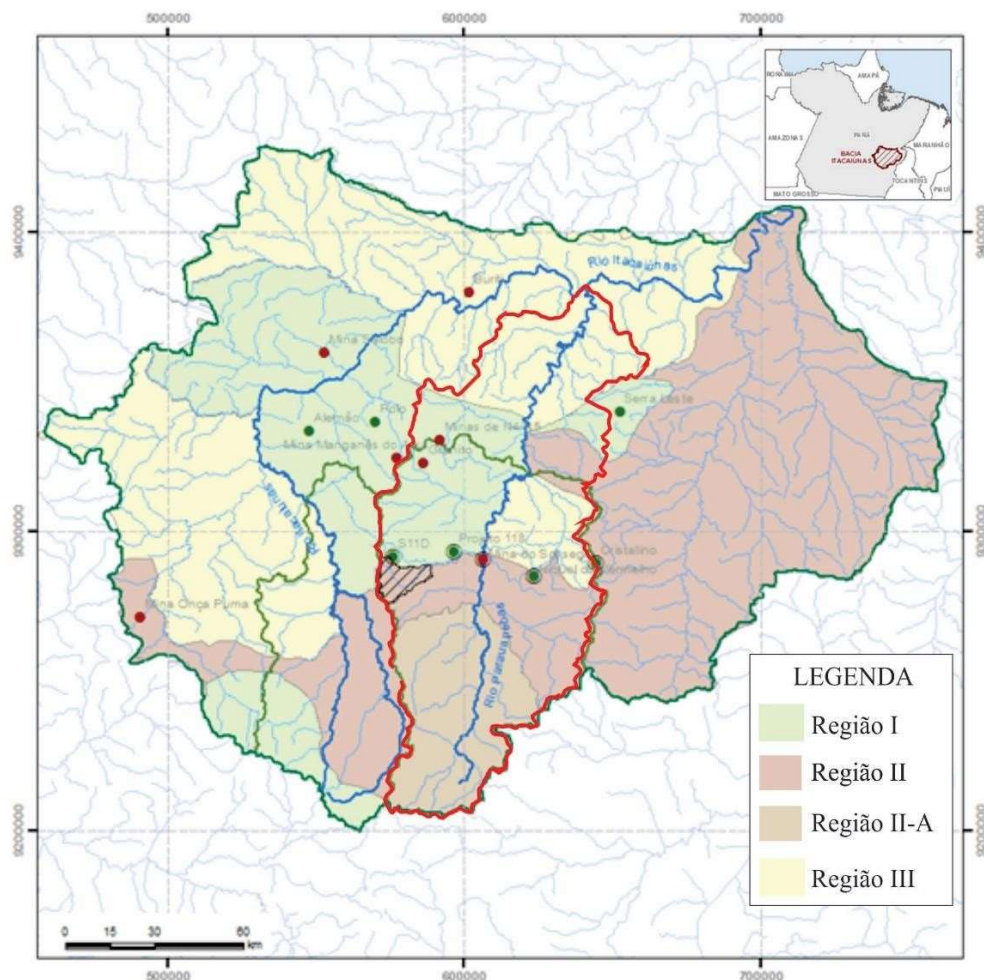
Figura 5 - Mapa hipsométrico e de declividade da bacia do rio Parauapebas.



Fonte: PINA NETO *et al.* 2019

POTAMOS (2013) dividiu a bacia do rio Parauapebas em 4 regiões hidrologicamente homogêneas, com base na torrencialidade das vazões de enchentes e a regularidade na sustentação dos fluxos de base nos meses de estiagem (Figura 6). A região I está associada às altitudes mais elevadas, típicas de platôs da Serra dos Carajás, onde predomina a presença de florestas densas e de cursos d'água de regime perene. A região II, por sua vez, ocupa a porção meridional da bacia e está associada a altitudes mais reduzidas e relevo dissecado constituído por rochas cristalinas com baixa capacidade de armazenamento de água no solo, ocupada com extensas áreas de pastagens. Nessa região a rede de drenagem escoar em regime quase intermitente, através de cursos de água com baixo potencial de regularização e pouca contribuição lateral. Nas porções onde essas características encontram-se intensificadas, mais ao sul da área, a região II é subdividida em II-A. Por último, a região III apresenta características intermediárias entre as demais (I e II), domina a porção setentrional da bacia onde a capacidade de armazenamento é suficiente para manter um fluxo mínimo nos meses de estiagem (POTAMOS, 2013).

Figura 6 - Regiões hidrologicamente homogêneas definidas no presente estudo para a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, destaque para a sub-bacia do rio Parauapebas.



Fonte: adaptado de POTAMOS, 2013

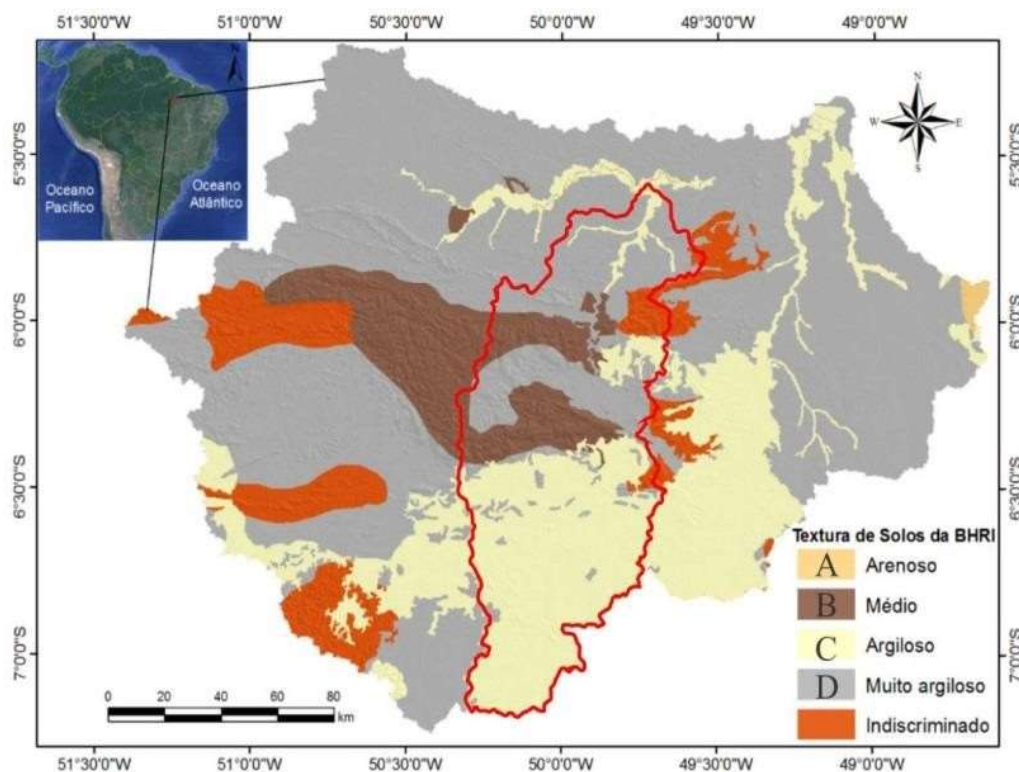
3.4 ASPECTOS PEDOLÓGICOS

Com base nos mapas de solos e aptidão agrícola das áreas alteradas do Pará (EMBRAPA, 2006) verifica-se que na região da bacia em estudo dominam os solos do tipo argissolos vermelho-amarelos, seguido pelos neossolos litólicos e latossolos vermelhos. Os argissolos vermelho-amarelos distróficos são solos constituídos por material mineral, possuem o horizonte B textural imediatamente abaixo de horizontes A ou E, com argila e baixo grau de saturação (inferior a 50%), ocorrendo nas regiões com menores declividades. Os latossolos vermelho-amarelos distróficos estão presentes principalmente nas unidades com declividades médias como a Serra dos Carajás e são caracterizados por apresentar estágio evolutivo avançado e laterização intensa. Além disso, possuem concentração relativa de argilominerais resistentes e/ou óxidos e hidróxidos de ferro e

alumínio, com inexpressiva mobilização ou migração de argila, ferrólise, gleização ou plintitização. Enquanto que os neossolos litólicos distróficos, presentes nas regiões mais onduladas, são constituídos por material mineral, ou por material orgânico pouco espesso, caracterizados pela baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos (EMBRAPA, 2006).

Com base nessa classificação e suas respectivas características texturais, Silva Júnior(2017) enquadrou esses solos em quatro categorias e estimou a porcentagem de ocorrência na BHRI (Figura 7).

Figura 7 - Mapa de textura de solos da BHRI, com destaque para a sub-bacia do rio Parauapebas.



Fonte: adaptado de SILVA JÚNIOR *et al.* 2017

Os solos arenosos (tipo A), que representam cerca de 2,4% da BHRI, são encontrados em uma porção bem restrita e à leste da bacia, são caracterizados por produzir baixo escoamento superficial e alta infiltração; os latossolos vermelho-amarelos distróficos (tipo B), com 10,8%, são solos arenosos com grandes profundidades e permeabilidade superior à média; os neossolos litólicos distróficos (tipo C), com 27,4%, são pouco profundos e possuem alto escoamento superficial, são constituídos por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm e argila; e os argissolos vermelho-amarelos distróficos (tipo D) dominam a BHRI (59,4%), contêm argilas expansivas, são poucos profundos, exibem baixa capacidade de infiltração e maior capacidade de

escoamento superficial. Na sub-bacia do rio Parauapebas, especificamente, os neossolos litólicos predominam principalmente na porção meridional da área enquanto que no norte os argissolos são mais comuns.

3.5 USO/COBERTURA DO SOLO

Originalmente, a região foi inteiramente recoberta por uma vegetação de floresta tropical tipo ombrófila densa. Em porções restritas encontram-se a vegetação tipo cerrado, chamadas de savanas metalólicas, contabilizando uma superfície de 115 km², aproximadamente. Tal região está relacionada aos afloramentos de minério de ferro principalmente nas Serras Sul e Norte da Floresta Nacional de Carajás e Serras Pelada e do Rabicho. As savanas da Serra Sul são as mais preservadas, com poucas alterações antrópicas (POTAMOS, 2013).

As porções com vegetação ainda preservada concentram-se nas unidades de conservação e terras indígenas reunidas no chamado Mosaico de Carajás (SOUZA-FILHO *et al.* 2016; PONTES *et al.* 2019). O restante, fora do mosaico de Carajás, é ocupado por pastagens, áreas urbanas ou por coberturas florestais fragmentadas (SOUZA-FILHO *et al.* 2016).

Souza Filho *et al.* (2016) constataram que fora do mosaico de Carajás existe uma tendência nas últimas 4 décadas de substituição da cobertura florestal por pastagens. Na macrorregião, essa tendência crescente refletiu em um aumento sistemático na temperatura do ar em ~1,7 °C, em uma redução significativa na umidade relativa do ar de 85 para 75%, além do aumento nos níveis d'água e nas vazões. Mais recentemente, Pontes *et al.* (2019) avaliaram outras consequências desse impacto e o papel das áreas de conservação e concluíram que a produção de água para a atmosfera através da evapotranspiração tem sofrido reduções significativas. Além disso, as áreas protegidas também estão sujeitas aos impactos indiretos causados pelas mudanças nas áreas adjacentes, principalmente no aumento das descargas que podem se associar a maior ocorrência de inundações e maior carga de sedimentos nas drenagens.

4 MATERIAL E MÉTODOS

No quadro abaixo está apresentado o fluxograma das atividades desenvolvidas durante a realização deste trabalho.

Quadro 1 - Síntese das atividades realizadas.

Área de estudo	Medições na estação	➤ Determinação da descarga líquida			
		➤ Amostragem de sedimentos em suspensão			
	Análises em Laboratório	➤ Análise de sedimentos em suspensão	▪ Determinação da concentração de sedimentos em suspensão		
			▪ Determinação da descarga sólida em suspensão	▪ Determinação da descarga sólida total	
▪ Estimativa da produção de sedimentos suspensos					

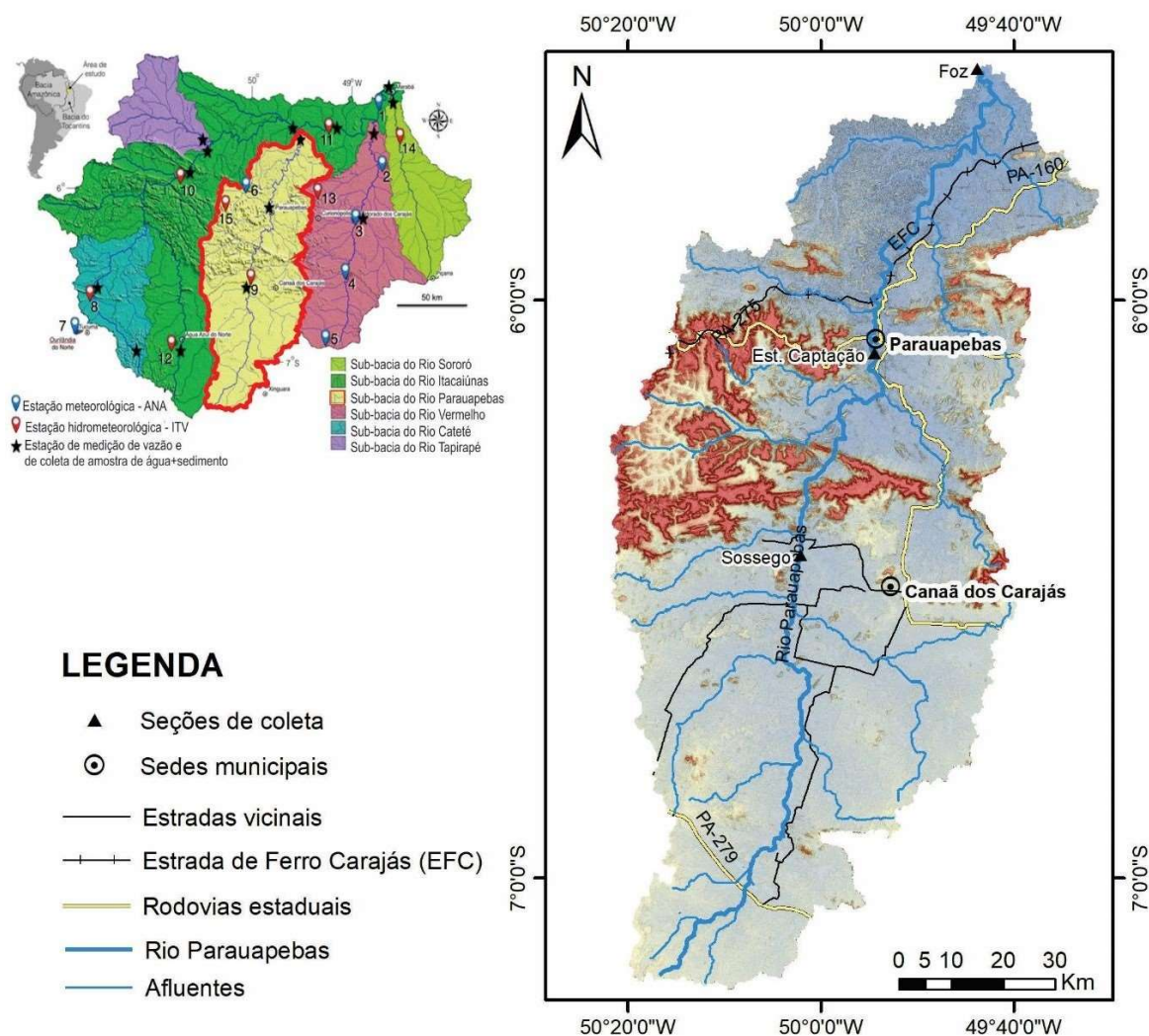
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

4.1 DETERMINAÇÃO DA DESCARGA LÍQUIDA

A determinação das descargas líquidas ao longo do rio Parauapebas foi realizada em três seções de medição, indicadas na Figura 8. Foram realizadas três campanhas em 2015, quatro em 2016, 2017 e 2018, totalizando 15 campanhas para cada seção de coleta, contemplando os períodos chuvosos, de estiagem e os de transição.

Os métodos adotados nas campanhas de medições de vazão seguiram os padrões e normas internacionais elaboradas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) e recomendadas pela Agência Nacional de Águas (ANA), Serviço Geológico Brasileiro (CPRM) e colaboradores. As medições foram realizadas com auxílio de medidores de fluxo por Efeito Doppler, denominados ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) e FlowTracker ADV (*Acoustic Doppler Velociter*), que se baseiam nas mudanças de frequências de ondas sonoras sempre que houver movimento relativo entre a fonte e o observador. Desse modo, os sensores desses equipamentos, dispostos de forma angular, são capazes de obter a velocidade e a direção do fluxo de água, por meio da decomposição dos seus vetores (horizontais e verticais) (Relatório Interno ITV, 2015).

Figura 8 – Mapa de localização em detalhe da bacia do rio Parauapebas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

O ADCP demanda a realização de, pelo menos, dois pares de medições (duas de ida e duas de volta), para que se possa calcular a média a qual será o valor da vazão medida em cada seção. Além disso, para identificar a influência do fundo móvel nas vazões obtidas, foram realizados testes de fundo móvel através dos métodos do barco ancorado e *Looping*. Enquanto o perfilador ADV se destina a realizar medições em canais restritos e de baixíssimas profundidades encontradas em períodos de seca, enchente e vazante dos rios (Figura 9).

Figura 9 – Embarcação e equipamentos utilizados para medidas de vazão com ADCP (à esquerda) e com *FlowTracker* (à direita).



Fonte: Relatório interno ITV, 2015.

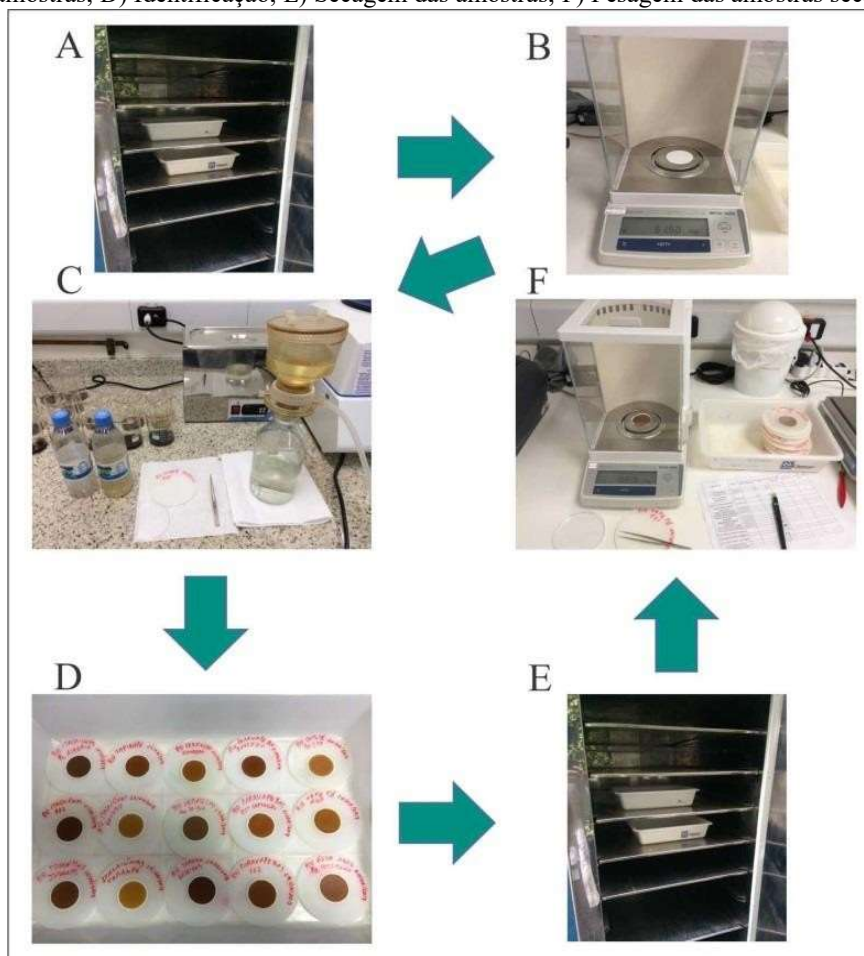
No caso da utilização do *FlowTracker*, a seção definida para medição é dividida em várias subseções entre uma margem e outra. Em seguida, são medidas as profundidades e as velocidades de fluxo em pontos específicos ao longo de cada seção transversal do rio com base no método de “Seção-Meio”, com medição da velocidade a 60% da profundidade em cada subseção. Ao final, as medições são integralizadas e a vazão total é calculada com auxílio do *software SonTek FlowTracker v.2.3* (Relatório Interno ITV, 2015).

4.2 COLETA DE SEDIMENTOS E ANÁLISES LABORATORIAIS

Associadas às medições de descarga líquida foram realizadas coletas pontuais de amostras de água+sedimento para a quantificação dos sedimentos em suspensão via amostragens únicas, à superfície da lâmina do rio, com auxílio de uma garrafa de Niskin, entre 1 a 3 litros, e acondicionadas em garrafas plásticas de 1000 ml.

As análises laboratoriais foram conduzidas no laboratório do ITV-DS e consistiram na determinação da concentração de sólidos em suspensão (Css) de acordo com o método descrito em Carvalho *et al.* (2000), no qual as amostras de água são filtradas utilizando-se uma pequena bomba de sucção a vácuo, com filtro de membrana de celulose com retenção nominal de 0,45 micrômetros e com 47 mm de diâmetro (Figura 10).

Figura 10 – Etapas das análises laboratoriais. A) Secagem dos filtros; B) Pesagem dos filtros secos; C) Filtragem das amostras; D) Identificação; E) Secagem das amostras; F) Pesagem das amostras secas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Para a determinação da concentração de sólidos em suspensão, os filtros são inicialmente secos, por cerca de 40 min, a 100°C e pesados antes da filtragem em balança analítica de precisão. Em seguida, as amostras são filtradas com auxílio de uma bomba de sucção a vácuo e secas em estufa à 60°C durante 24 horas (Figura 10).

Desta forma, obtém-se o peso final, por diferença de pesagem, a concentração de sólidos em suspensão, em mg.L⁻¹, através da seguinte equação:

$$C_{ss} = \frac{(P_f - P_i)}{V} \quad (1)$$

Onde: P_f = é o peso final (mg); P_i = é o peso inicial dos filtros (mg); V = representa o volume de água filtrada (l).

4.3 DETERMINAÇÃO DA DESCARGA SÓLIDA DE SEDIMENTOS

Para obtenção da descarga sólida total (Q_{ST}) foi utilizado o método simplificado de Colby (1957), de acordo com o sistema métrico proposto por Carvalho (2008) e descrito em Vanoni (1977).

A descarga sólida total é calculada pelas seguintes expressões:

$$Q_{st} = Q_{ss} + Q_{nm} \quad (2)$$

sendo

$$Q_{ss} = 0,0864 \times Q \times C_{ss} \quad (3)$$

$$Q_{nm} = C' \times K \times l \quad (4)$$

Onde: Q_{st} = descarga sólida total ($t.dia^{-1}$); Q_{ss} = descarga sólida suspensa medida ($t.dia^{-1}$); Q_{nm} = descarga sólida não medida ($t.dia^{-1}$), corresponde a carga de arrasto e descarga não amostrada; Q = descarga líquida ou vazão ($m^3.s^{-1}$); C_{ss} = concentração de sólidos em suspensão ($mg.L^{-1}$); C' = descarga sólida não medida aproximada; K = fator de correção; l = largura do rio (m).

Os dados de descarga líquida (Q) e de concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) são obtidos a partir das coletas de campo e pelas análises laboratoriais descritas anteriormente. Em seguida, estas informações são incorporadas na equação 3 para obtenção da descarga sólida medida. Os valores de Q_{nm} são obtidos por meio de ábacos, a partir do conhecimento da velocidade média (m/s), da profundidade média em metros (m), da concentração medida (ppm ou mg/l) e da largura de seção (m). Os ábacos foram obtidos de um desenvolvimento semiempírico baseado em experiências sobre diversos processos de cálculos de descarga sólida (CARVALHO, 2008) e o procedimento para sua correta utilização é descrito a seguir (Figura 11):

I) Utilizando o ábaco 1, a partir da velocidade média, obtém-se a descarga sólida não medida aproximada (C');

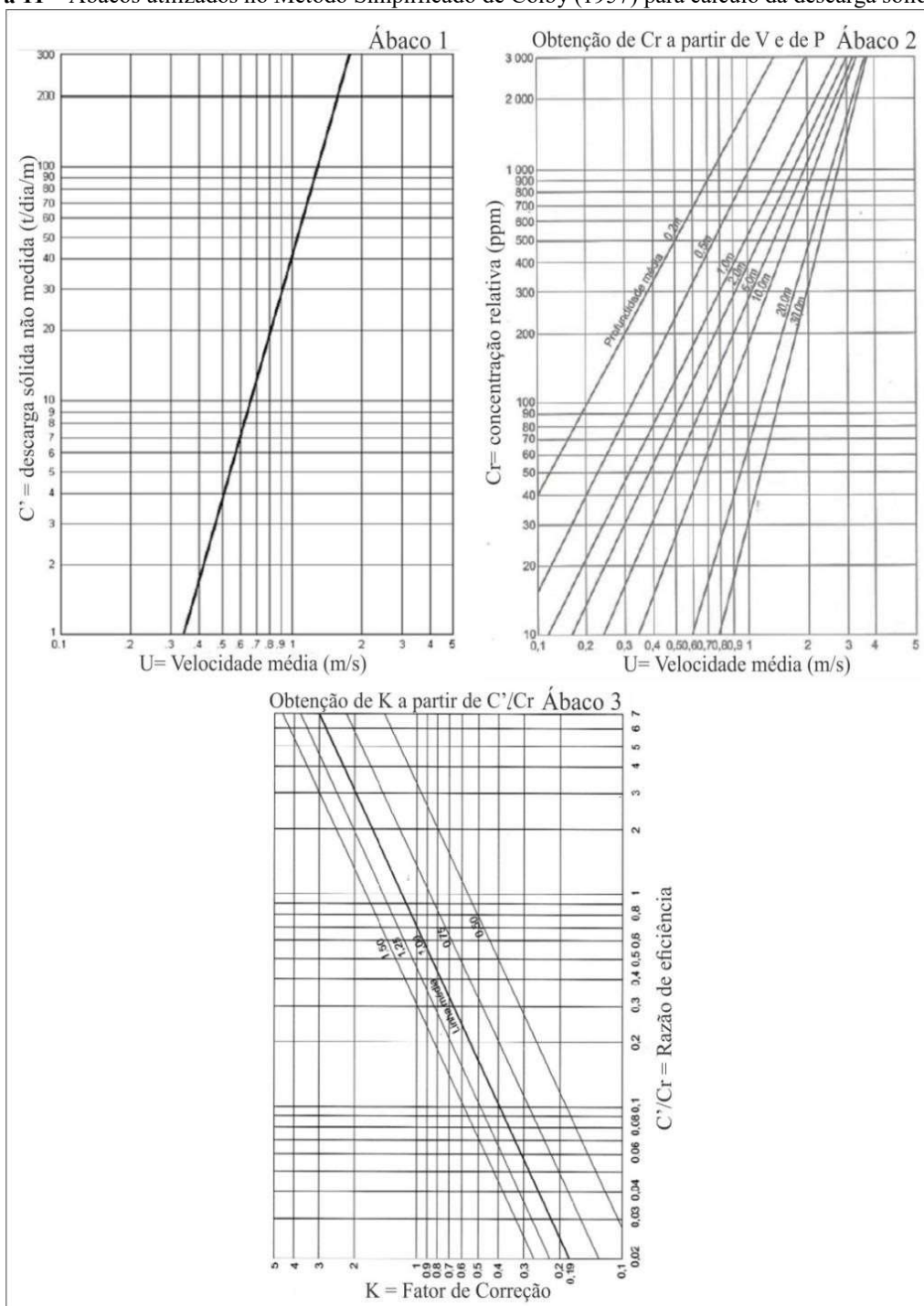
II) Utilizando o ábaco 2, a partir da velocidade média e da profundidade média, obtém-se a concentração relativa (Cr);

III) Calcula-se a razão de eficiência, $e = C'/Cr$

IV) A partir de C'/Cr , obtém-se, no ábaco 3, o fator de correção K ;

V) Por fim, calcula-se a descarga sólida não medida pela equação 4.

Figura 11 – Ábacos utilizados no Método Simplificado de Colby (1957) para cálculo da descarga sólida total.



Fonte: CARVALHO, 2008

A fim de eliminar a necessidade de consulta aos ábacos e de tornar o procedimento de cálculo mais prático e menos subjetivo, a descarga sólida total foi calculada pelo método Simplificado de Colby com auxílio de um programa computacional: à exemplo de “COLBY”,

software de Furnas Centrais Elétricas, desenvolvido por Jorge Henrique Alves Prodanoff, em 1996, e utilizado em vários trabalhos como o de Brune (2014).

4.4 ELABORAÇÃO DA CURVA-CHAVE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

Inicialmente foi gerado um gráfico que expressasse a relação entre os valores de descarga líquida (Q) e a descarga sólida suspensa (Q_{ss}) obtidos por meio das campanhas de amostragens realizadas ao longo das três seções no rio Parauapebas. Em seguida, conforme recomendado por Pavanelli e Pagliarani (2002), a curva-chave foi ajustada exponencialmente e avaliada com base na dispersão visual dos pontos e em um coeficiente de determinação (R²) de no mínimo 0,6 conforme Lima *et al.* (2005). De modo que estações que apresentam baixa correlação entre esses parâmetros podem estar sobre influência de um fenômeno específico, como, por exemplo, estar a jusante de uma represa ou por outra atividade antrópica isolada como, por exemplo, movimentação de solo para produção agrícola ou dragagem do leito do rio.

4.5 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS SUSPENSOS

A estimativa da produção de sedimentos suspensos foi realizada para os períodos chuvosos e de estiagem e representa toda a carga de sedimentos em suspensão entregue pela bacia hidrográfica do rio Parauapebas, sendo obtida pelas seguintes equações propostas por Melo (2008) e já utilizadas em outros estudos como o de Souza (2011):

$$Y_{150} = \frac{Q_{ss} \cdot A}{150} \quad (5)$$

$$Y_{210} = \frac{Q_{ss} \cdot A}{210} \quad (6)$$

$$Y_{sst} = Y_{150} + Y_{210} \quad (7)$$

em que: Y_{sst} = Produção de sedimentos em suspensão total (t/km/ano); 150 = n° de dias do período seco; 210 = n° de dias do período chuvoso; A = área da bacia (km²); Q_{ss} = descarga sólida de sedimento em suspensão (t/dia).

Para tal estimativa foi considerada apenas as descargas líquidas da foz, que representa exatamente aqueles sedimentos que conseguiram atingir o exutório da bacia. Adicionalmente, como não se possui a Q_{ss} para cada mês, optou-se por adotar uma média anual por período chuvoso e seco para a estimativa da produção dos sedimentos suspensos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ENTRAÇÃO DOS SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E DESCARGA LÍQUIDA

A Tabela 2 apresenta os valores de descarga líquida e concentração de sedimentos em suspensão obtidos durante as 15 campanhas de campo, realizadas entre 2015 e 2018, nas três estações e em períodos distintos do ano.

A partir da análise preliminar da Tabela 2 e da Figura 12, nota-se que na seção fluviométrica Sossego, os valores de C_{ss} variaram de 0 a 20,36 mg/L, as médias encontradas para o período de estiagem e chuvoso foram 8,31 mg/L e 15,86 mg/L, respectivamente.

Tabela 2 - Dados das análises de sedimentos em suspensão e descarga líquida do rio Parauapebas.

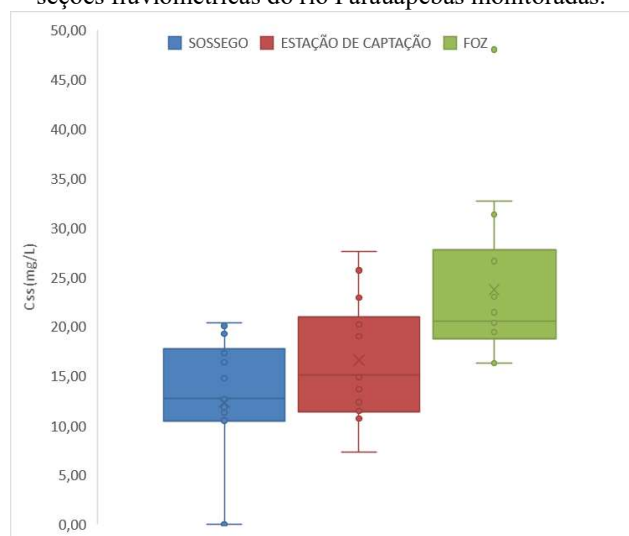
	SOSSEGO			ESTAÇÃO DE CAPTAÇÃO			FOZ		
	Data	Q (m ³ /s)	C _{ss} (mg/L)	Data	Q (m ³ /s)	C _{ss} (mg/L)	Data	Q (m ³ /s)	C _{ss} (mg/L)
1	25/03/2015	194,50	12,67	26/03/2015	264,82	22,95			
2	27/05/2015	26,58	19,31	29/05/2015	44,79	19,01	01/06/2015	69,22	19,89
3		0,00	0,00		1,61	-	21/09/2015	10,50	16,33
4	17/02/2016	10,84	20,36	18/02/2016	24,40	25,70	22/02/2016	44,97	22,99
5	13/04/2016	82,75	14,77	14/04/2016	146,69	20,38	17/04/2016	226,13	32,67
6	22/06/2016	0,85	16,37	23/06/2016	8,52	12,36	26/06/2016	26,39	19,72
7		0,00	0,00	15/09/2016	6,81	15,33	18/09/2016	8,96	26,63
8	01/02/2017	42,92	20,1	02/02/2017	62,69	27,60	05/02/2017	110,79	48,02
9	05/04/2017	123,02	17,33	05/04/2017	177,62	20,23	09/04/2017	302,02	31,37
10	21/06/2017	1,3	17,74	21/06/2017	9,25	11,44	25/06/2017	29,62	20,38
11		0,00	0,00	07/09/2017	2,58	7,31	09/09/2017	7,78	16,61
12	28/02/2018	210,31	10,49	28/02/2018	316,02	13,66	03/03/2018	434,78	16,31
13	20/04/2018	154,54	11,86	21/04/2018	235,39	14,88	23/04/2018	402,85	20,66
14	27/06/2018	2,25	12,78	28/06/2018	12,96	10,70	30/06/2018	38,84	19,45
15	03/10/2018	0,33	11,29	03/10/2018	4,46	11,14	06/10/2018	13,38	21,45
	Mín.	0,00	0,00		1,61	7,31		7,78	16,31
	Max.	210,31	20,36		316,02	27,60		434,78	48,02
	Med.	10,84	12,78		24,40	15,11		41,91	20,52
	\bar{x}	56,68	12,34		87,91	16,62		123,3	23,93
	\bar{x} estiagem	0,68	8,31		6,60	11,38		25,59	20,06
	\bar{x} chuvoso	105,68	15,86		159,05	20,55		253,59	28,67
	Desvio padrão	64,23	5,39		93,47	5,16		124,65	6,24

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Na Estação de Captação, a C_{ss} variou de 7,31 a 27,6 mg/L, a média encontrada para o período de estiagem foi de 11,38 mg/L e de 20,55 mg/L durante o período chuvoso. Enquanto que na Foz

as C_{ss} encontradas variaram de 16,31 a 48,02 mg/L, ou seja, apresenta maior quantidade de sedimentos em suspensão que as estações anteriores, com média de 20,06 mg/L e 28,67 mg/L, para os períodos de estiagem e chuvoso, respectivamente (Figura 14). Esse incremento na concentração de sedimentos em suspensão é atribuído principalmente a localização geográfica das estações. Segundo Carvalho (2008), no alto/médio curso dos rios (estação Sossego) é onde ocorre maior degradação com transporte predominante de sedimentos com granulometria mais grosseria e onde a atuação de processos erosivos tende a ser mais acentuada. No médio/baixo curso é uma área mais estável e com granulometria média. Enquanto que no baixo curso e na foz há tendência de agradação, transporte de partículas mais finas e deposição de sedimentos, uma vez que correspondem às áreas mais rebaixas da bacia (CARVALHO, 2008). Portanto, a concentração de sedimentos em suspensão tende a ser naturalmente crescente do alto/médio curso (Sossego) a foz. Além disso, a topografia mais acidentada e elevada encontrada na Serra dos Carajás favorece a ação de processos erosivos e, conseqüente, um maior aporte de sedimentos para as drenagens.

Figura 12 – Gráfico *boxplot* com os valores de concentração de sedimentos em suspensão obtidos a partir das três seções fluviométricas do rio Parauapebas monitoradas.



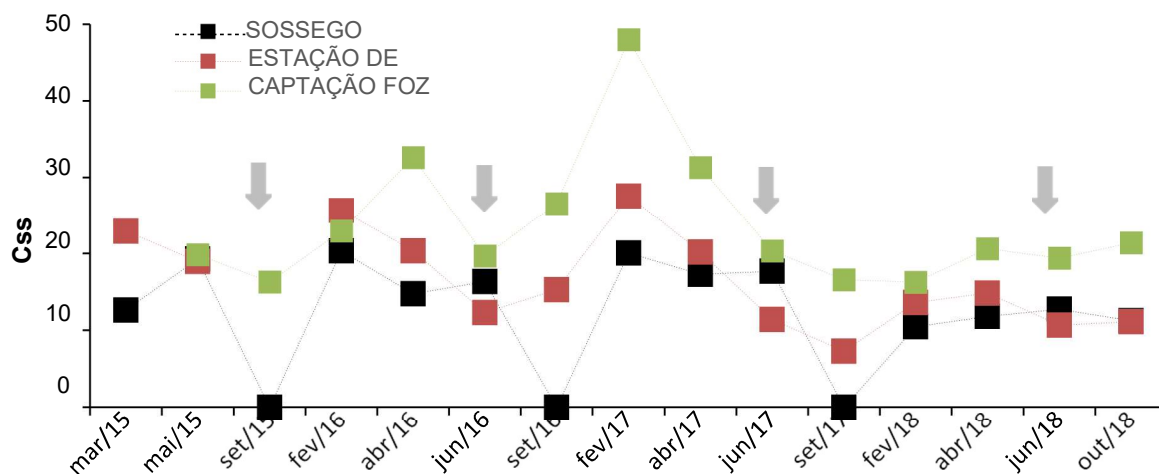
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Durante a estiagem, abrangida pelas campanhas de campo realizadas principalmente nos meses de junho e setembro, notou-se uma menor concentração de sedimentos em suspensão, incluindo valores nulos de C_{ss} na estação Sossego no mês de setembro, período em que este trecho do rio seca (Figura 13). Na décima primeira campanha de medição (setembro/2017), na estação de captação, por exemplo, obteve-se a C_{ss} da ordem de 7,31 mg/L para uma vazão de 2,58 m³/s. Por

sua vez, no mês de fevereiro/março, auge do período chuvoso, foram registradas as maiores concentrações quando, na oitava campanha, por exemplo, os valores encontrados foram de 20,10 mg/L e vazão de 42,92 m³/s; 27,6 mg/L e 62,69 m³/s; 48,02 mg/L e 110,79 m³/s para as estações Sossego, Estação de Captação e Foz, respectivamente.

De modo geral, os valores médios encontrados no rio Parauapebas para a concentração de sedimentos em suspensão, são superiores aos encontrados por Lima *et al.* (2003) no rio Tocantins, com concentração média de 8,84 mg/L; e inferiores aos encontrados em alguns rios brasileiros: como 27,38 mg/L no rio São Francisco (LIMA *et al.*, 2001); 149,33 mg/L no rio Amazonas (GUYOT *et al.*, 2005); 108,11 mg/L no rio Paraguai (CARVALHO *et al.*, 2005), Mato Grosso; 70,56 mg/L no rio Vacaraí Mirim, no Rio Grande do Sul (SCHMIDT FILHO, 2016) e de 561,94 mg/L no rio Capibaribe, em Pernambuco (SOUZA, 2011).

Figura 13 – Comportamento da concentração dos sedimentos em suspensão nas três seções avaliadas ao longo do período de monitoramento. Setas indicam início do período de estiagem.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

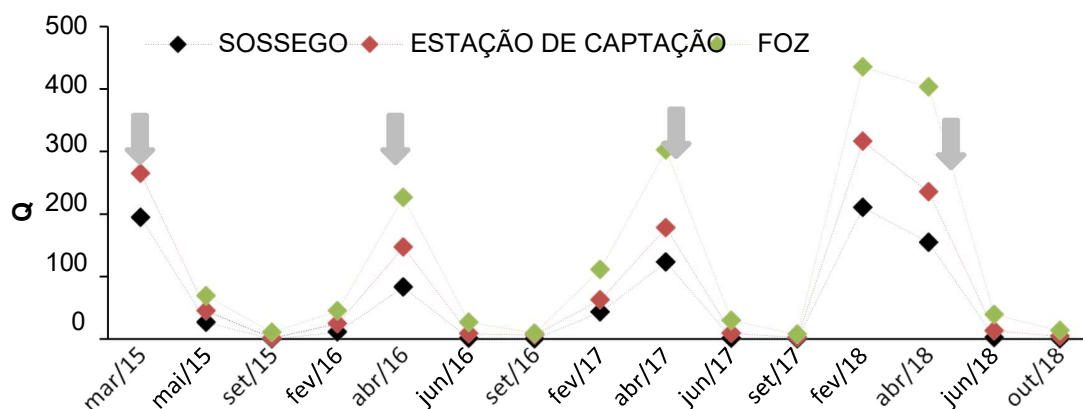
Vale ressaltar que, embora se tenha um indicativo, o gráfico acima demonstra apenas a quantidade de sedimentos em suspensão no momento da amostragem e não o comportamento intermediário da variável *Css* ao longo do período entre campanhas.

Quando se analisam as descargas líquidas obtidas, nota-se que estas se apresentam bastantes simétricas nas três estações monitoradas. É possível reconhecer um incremento das vazões do Sossego à foz do rio Parauapebas atribuído principalmente à topografia da região, além de refletir, mais uma vez, a sazonalidade das chuvas, cujos maiores valores de descarga líquida estão

associados aos meses com maiores índices pluviométricos. De mesmo modo que, no período de estiagem, as vazões são bem menores e até mesmo nulas, graças ao regime intermitente no alto curso do rio Parauapebas, conforme constatado no entorno da seção fluviométrica Sossego onde a coleta de sedimentos em suspensão e a medição da descarga líquida ficou impossibilitada nas campanhas de medição realizadas em setembro, término do período de estiagem (Figura 14).

Inicialmente a figura 14 pode estar indicando uma tendência crescente nas descargas líquidas na foz do rio Parauapebas nos meses analisados desde 2015, principalmente no período chuvoso. Entretanto, esse aumento não afetou a concentração de sedimentos suspensos no ano de 2018, onde a C_{ss} se comportou mais uniformemente (Figura 14). Desta forma, descarta-se a possibilidade de vazões crescente uma vez que não se tem a garantia das medidas representarem a vazão de pico.

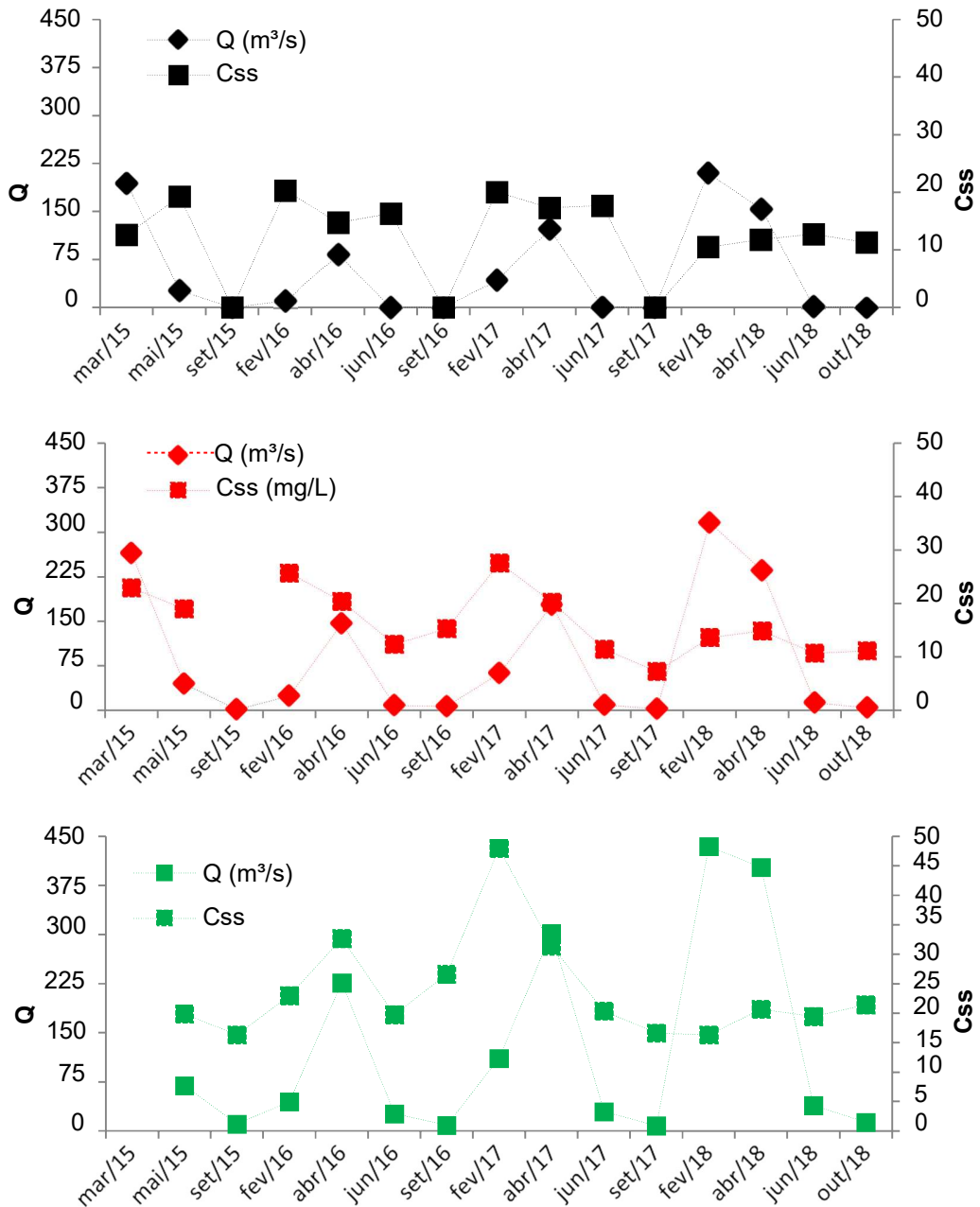
Figura 14 – Comportamento das descargas líquidas (m^3/s) ao longo do rio Parauapebas. Setas sinalizam o início dos períodos de estiagem, entre 2015 e 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

A estação Sossego claramente apresenta um comportamento distinto das demais, as variáveis C_{ss} e descarga líquida (Q) são inversamente proporcionais e refletem o comportamento intermitente deste trecho do rio Parauapebas (Figura 15), em que a baixa C_{ss} durante o início do período chuvoso, com maiores valores de Q , indicam uma limitação no fornecimento de sedimento disponível, de acordo com Williams (1989). No período de estiagem, o rio Parauapebas apresenta-se completamente seco ou com porções de água represada onde ocorre a acumulação e elevação da concentração de sedimentos em suspensão.

Figura 15 – Comportamento relativo entre a descarga líquida e a concentração dos sedimentos em suspensão nas três estações monitoradas. Setas indicam o início do período de estiagem na região.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

De modo oposto, as estações Foz e Estação de Captação apresentam um padrão semelhante entre si, cujas variáveis C_{ss} e Q exibem uma mudança de comportamento ao longo do período analisado. O primeiro deles, entre 2015 e 2016, Q e C_{ss} são diretamente proporcionais e apresentam simultaneidade no aumento da concentração de sedimentos em suspensão com o aumento da vazão

líquida, com picos simultâneos e comparáveis extensões. Enquanto que, entre 2017 e 2018, as variáveis ainda aparentam possuir uma relação direta (Figura 15). Entretanto, as variações de C_{ss} tendem a serem mais sutis, sem altos picos e mais uniformes em 2018, comportamento constatado a partir de menores valores do desvio padrão nesse ano.

Embora Carvalho (2008) afirme que cerca de 70 a 90% do material transportado nos cursos d'água esteja diretamente relacionado à intensidade e duração de chuvas, vale ressaltar que Q e C_{ss} possuem uma relação complexa, também influenciada por outros fatores tais como: taxa de escoamento superficial, uso/cobertura e umidade do solo, pelas distâncias percorridas pelos sedimentos, pelo armazenamento/mobilização dos sedimentos disponíveis, pela taxa de sedimentação e declividade da bacia hidrográfica (WILLIAMS, 1989; REID *et al.*, 1997).

5.2 DESCARGAS SÓLIDAS DOS SEDIMENTOS

Conforme foi visto, a região é caracterizada por períodos sazonais distintos, um período de estiagem e outro período chuvoso, que refletem na concentração dos sedimentos em suspensão e nas descargas líquidas. A Tabela 3 reúne as descargas sólidas dos sedimentos em suspensão, as descargas sólidas totais, bem como os dados das três seções de controle ao longo do rio Parauapebas e a concentração de sedimentos coletados em campo.

Os valores de descarga sólida de sedimentos em suspensão (Q_{ss}) variaram entre 0,32 t/dia para uma vazão de 0,33 m³/s e 212 t/dia para uma vazão de 194 m³/s na estação Sossego; entre 1,6 t/dia para uma vazão 2,5 m³/s e 525 t/dia para uma vazão de 264 m³/s na estação de captação; e entre 11 t/dia para uma vazão de 7,7 m³/s e 818 t/dia e vazão de 302 m³/s na Foz durante as 15 campanhas realizadas nos períodos chuvosos e de estiagem do rio Parauapebas nos anos de 2015 a 2018.

Tabela 3 – Descargas obtidas no rio Parauapebas, sendo: C_{ss}= Concentração de sedimentos em suspensão; Q= Vazão ou Descarga Líquida; Q_{ss}= Descarga sólida suspensa medida; Q_{st}= Descarga sólida total; %Q_{st} = Percentual de Descarga Sólida Total; Ppt=Precipitação, em mm.

Campanha	Sossego						Estação de Captação						Foz						
	C _{ss} mg/ L	Descargas				Ppt	C _{ss} mg/ L	Descargas				Ppt	C _{ss} mg/ L	Descargas				Ppt	
		Q (m ³ /s)	Q _{ss} (t/dia)	Q _{st} (t/dia)	% Q _{st}			Q (m ³ /s)	Q _{ss} (t/dia)	Q _{st} (t/dia)	% Q _{st}			Q (m ³ /s)	Q _{ss} (t/dia)	Q _{st} (t/dia)	% Q _{st}		
1*		12,67	194,5	212,9	921,8	25,3%	6,5	22,95	264,8	525,1	1119,4	24,9%	7	-	-	-	-	-	-
2*		19,31	26,58	44,35	139,9	3,84%	0,2	19,01	44,79	73,57	102,2	2,28%	0,2	19,8	69,22	118,9	195,57	2,72%	0
3		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	1,61	-	-	-	-	16,3	10,5	14,81	20,67	0,29%	0
4*		20,36	10,84	-	-	-	-	25,7	24,4	54,17	66,14	1,48%	4,7	22,9	44,97	89,33	130,56	1,82%	0
5*		14,77	82,75	105,6	411,2	11,3%	23,1	20,38	146,6	258,3	418,3	9,33%	20,2	32,6	226,1	638,2	1097,88	15,9%	0
6		16,37	0,85	-	-	-	-	12,36	8,52	9,1	10,16	0,23%	0	19,7	26,39	44,96	62,95	0,88%	0,1
7		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	15,33	6,81	9,02	32,84	0,73%	0	26,6	8,96	20,62	23,62	0,33%	5,5
8*		20,1	42,92	74,54	205,6	5,64%	12,5	27,6	62,69	149,4	207,9	4,64%	13,6	48,0	110,7	459,6	688,31	9,58%	0
9*		17,33	123,0	184,2	505,6	13,9%	1,5	20,23	177,6	310,4	638,0	14,5%	1,5	31,3	302,0	818,5	1430,13	19,9%	0,4
10		17,74	1,3	1,99	2,92	0,08%	0	11,44	9,25	9,14	10,67	0,24%	0	20,3	29,62	52,16	69,44	0,97%	0
11		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	7,31	2,58	1,63	1,71	0,04%	0	16,6	7,78	11,17	382,79	5,33%	0
12*		10,49	210,3	190,6	720,5	19,8%	13,3	13,66	316,0	372,9	1083,89	24,2%	13,3	16,3	434,7	612,6	1290	17,9%	3,2
13*		11,86	154,5	158,3	733,8	20,1%	0,1	14,88	235,3	302,6	769,0	17,2%	0,2	20,6	402,8	719,1	1666,06	23,2%	0,1
14		12,78	2,25	2,49	4,37	0,1%	0	10,7	12,96	11,98	14,23	0,31%	0	19,4	38,84	65,27	95,84	1,33%	0

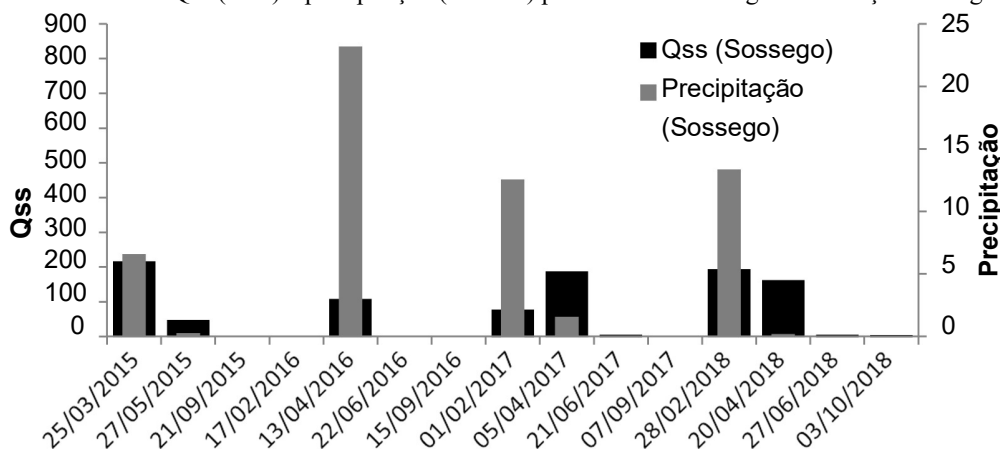
15	11,29	0,33	0,32	0,37	0,01 %	0	11,14	4,46	4,29	4,53	0,10%	0	21,45	13,38	24,79	29,85	0,42 %	0
Total	185,1	850,2	975,4	3646,3	100%		232,69	1318,61	2091,84	4479,12	100,2%		332,48	1726,2	3690,4	7183,70	100%	9,3
<input type="checkbox"/> período Chuvoso	0 15,86	105,68	138,65	519,80		20,55	159,05	255,84	550,62			27,42	227,25	493,80	928,36			
<input type="checkbox"/> período Estiagem		8,31	0,68	0,80	1,28		9,75	6,60	7,53	12,36			20,08	19,35	33,40	97,88		

* Campanhas consideradas em período chuvoso.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

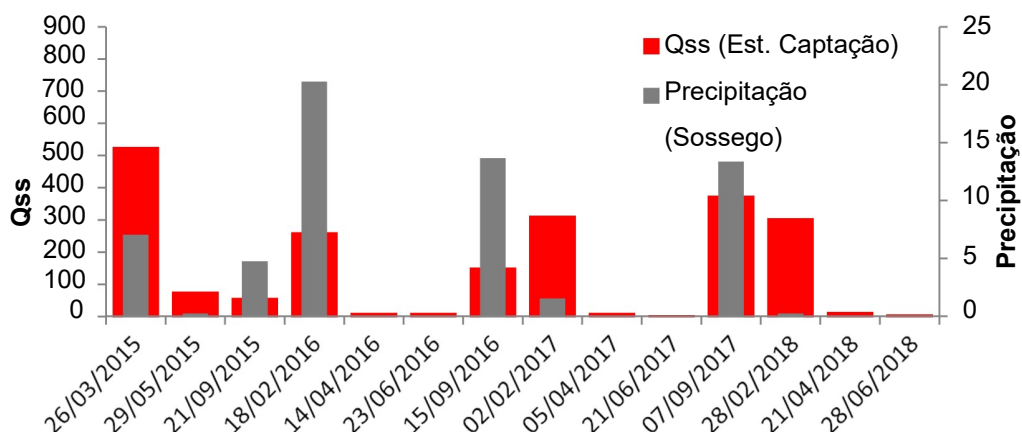
Nas Figuras 16, 17 e 18 constam os valores de precipitação média dos 2 dias anteriores as amostragens de sedimentos, obtidos a partir da estação hidrometeorológica Sossego, e as descargas sólidas de sedimentos em suspensão nas três seções ao longo do rio Parauapebas. A decisão de utilizar a precipitação média dos dois dias anteriores à amostragem foi devido ao valor encontrado para o tempo de concentração durante a análise morfométrica, ou seja, dois dias é o tempo necessário para que a água precipitada no ponto mais remoto da bacia se desloque até o curso principal, e assim contribua para o incremento da vazão, seguindo a definição proposta por Silveira (2010).

Figura 16 - Dados de Qss (t/dia) e precipitação (mm/dia) por data de amostragem na estação Sossego.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

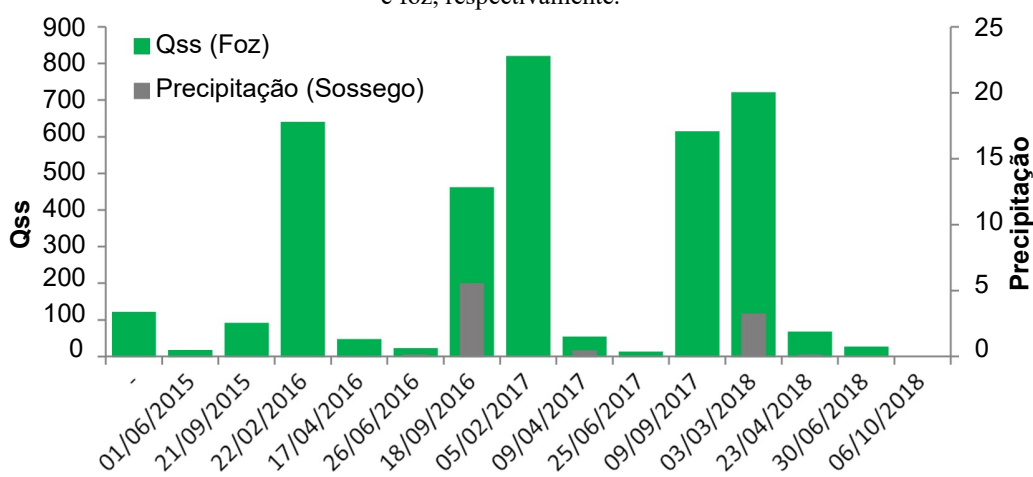
Figura 17 - Dados de precipitação (mm/dia) e Qss (t/dia) por data de amostragem obtidos a partir da estação Sossego e estação de captação, respectivamente.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Deste modo, a seção fluviométrica Sossego alcançou um valor máximo de 212 t/dia no dia 25/03/2015, para uma precipitação média de 6,5 mm/dia. No dia 13/04/2016, embora a precipitação tenha sido superior, de 23 mm/dia, foi encontrada uma menor Qss de 105 t/dia (Figura 16). O mesmo padrão foi identificado nos anos subsequentes e nas outras estações. No caso da foz (Figura 18), encontram-se as maiores descargas sólidas de sedimentos suspenso associadas aos menores valores médios de precipitação. Tal fato, nos leva a concluir que as maiores precipitações nem sempre transportam as maiores quantidades de sedimento suspenso, atestando a descontinuidade no fluxo de sedimentos e a influência de outras variáveis como topografia e uso/cobertura do solo, por exemplo.

Figura 18 - Dados de precipitação (mm/dia) e Qss (t/dia) por data de amostragem obtidos a partir da estação Sossego e foz, respectivamente.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Embora os valores para precipitação tenham sido obtidos na estação Sossego, vale ressaltar que as chuvas ocorrentes na região provavelmente não aconteceram no mesmo período e de modo homogêneo por toda a área da bacia, podendo ter variado espacial e temporalmente nos dias anteriores às campanhas, ou seja, a estação sossego não explica todo o comportamento da precipitação na bacia uma vez que existe a possibilidade de que um evento isolado e restrito de precipitação ocorre e não tenha sido registrado pela estação.

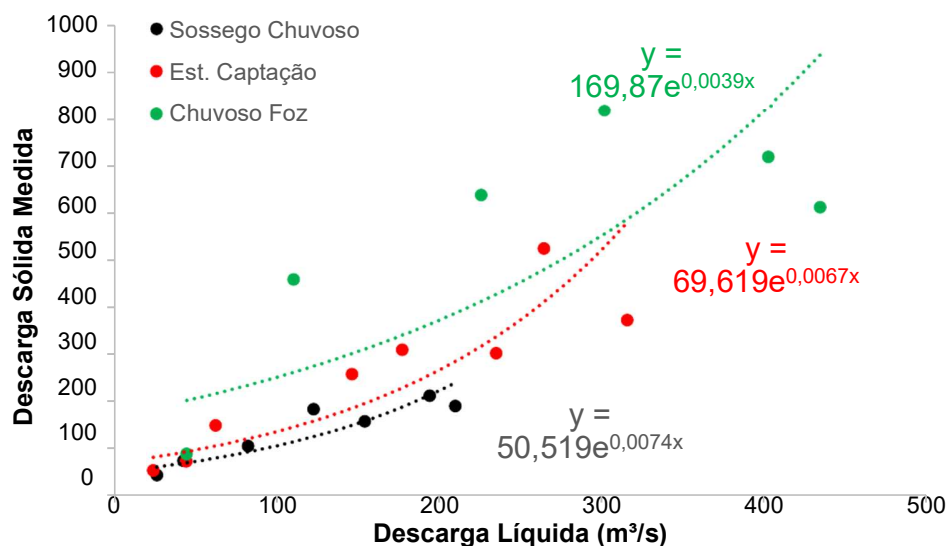
Por meio das curvas-chave é possível verificar a correlação entre os valores de vazão (Q) e a descarga sólida em suspensão de cada estação. Conforme recomendado por Carvalho (2008), foram

elaborados dois gráficos que representam o período chuvoso e de estiagem, haja vista que a plotagem de todos os dados hidrológicos de uma determinada seção pode gerar curvas distintas e não representativas.

Na Figura 19 é apresentada a curva-chave de sedimentos das três seções avaliadas no período chuvoso entre 2015 e 2018. Nota-se que as curvas apresentam um bom ajuste exponencial, com exceção da foz que possui um coeficiente de determinação (R^2) de 0,55. A chuva-chave na seção Sossego e Estação de Captação apresenta um R^2 de 0,83 e 0,82, respectivamente. Portanto, acima de 0,6, valor mínimo estabelecido por Lima *et al.* (2005) para garantir a representatividade da curva-chave.

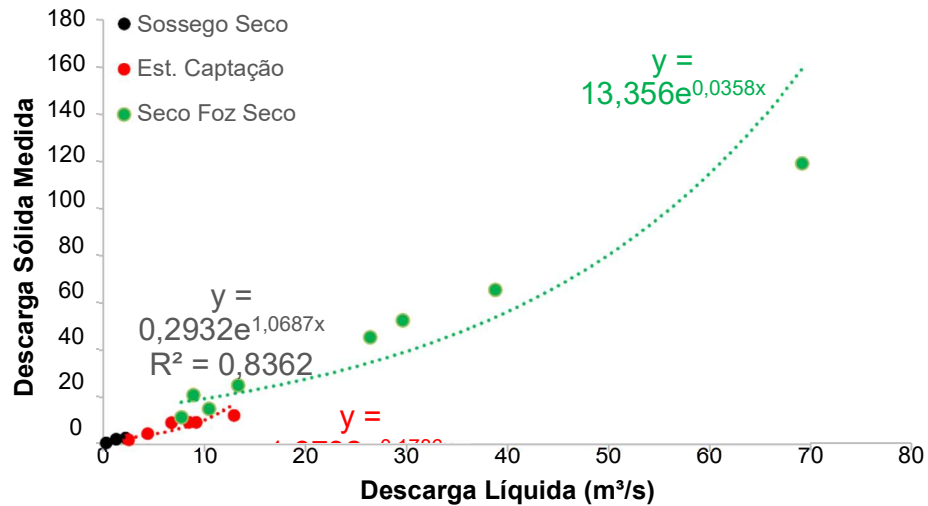
Na Figura 20 é apresentada a curva-chave de sedimentos das três seções avaliadas no período de estiagem entre 2015 e 2018. Embora possua um menor número de dados, principalmente na estação Sossego, nota-se que as curvas são representativas e apresentam um bom ajuste exponencial, com coeficientes de determinação (R^2) de 0,83, 0,77 e 0,86 nas seções Sossego, Estação de Captação e Foz, respectivamente.

Figura 19 - Curva-chave de sedimentos com dados das três seções avaliadas no período chuvoso entre 2015 e 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Figura 20 - Curva-chave de sedimentos com dados das três seções avaliadas durante a estiagem entre 2015 e 2018.

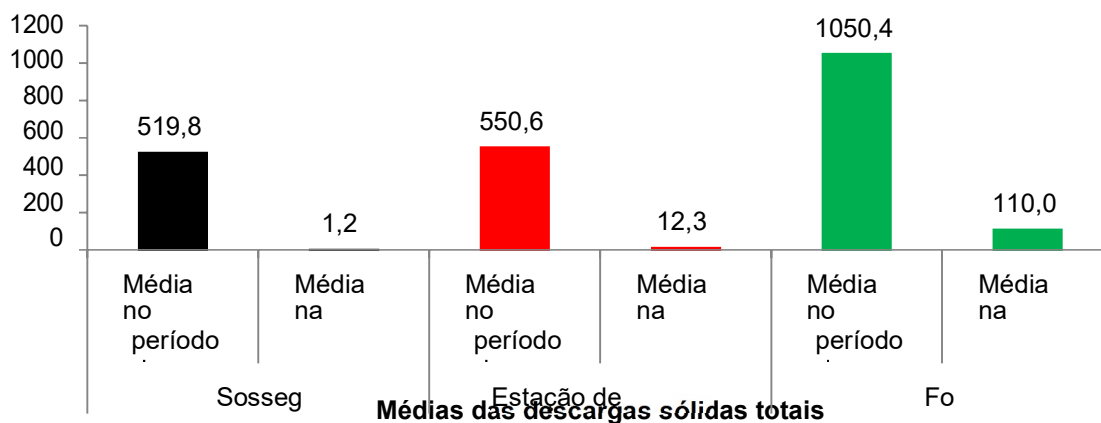


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

A representatividade da amostragem e, conseqüentemente, da curva-chave, segundo Merten *et al.* (2006) e Carvalho (2008), é favorecida pela ampla variação das vazões e na maior quantidade de pontos medidos. Carvalho (2008) ainda ressalta que curvas-chaves precisam ser checadas constantemente haja vista que qualquer alteração nos dados hidrológicos e/ou hidráulicos iniciais podem tornar a curva não representativa. Além disso, as curvas geradas devem ser sempre utilizadas com cautela e jamais podem substituir os valores reais confiáveis.

Os valores para a descarga sólida total (Q_{st}) variaram entre 0,37 e 921,8 t/dia na estação Sossego; entre 1,71 e 1119,44 t/dia na estação de captação; e entre 20,67 e 1666,06 t/dia na Foz. Os maiores valores de Q_{st} estão associados aos períodos chuvosos, conforme pode ser observado nas porcentagens relativas apresentadas na Tabela 3 e das médias calculadas para o período chuvoso e de estiagem em cada uma das três seções (Figura 21).

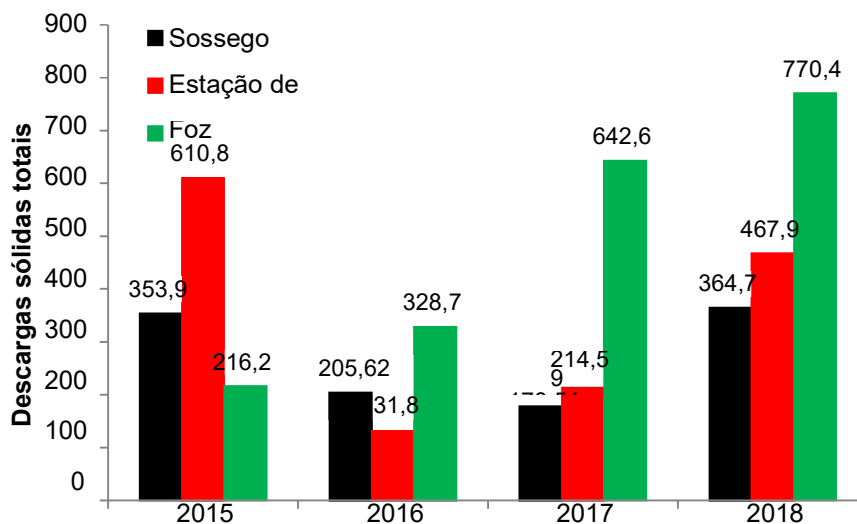
Figura 21 - Médias das descargas sólidas totais (Q_{st} - t/dia) para períodos chuvosos e de estiagem nas três seções avaliadas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

As médias anuais desde 2015 também demonstram um incremento das descargas sólidas, mais claramente observada na foz do rio Parauapebas e na estação de captação (Figura 21). Salienta-se que as médias encontradas para 2015, embora utilizadas neste estudo, precisam ser utilizadas com cautela haja vista que durante esse ano houve um número limitado de amostragem.

Figura 22 – Médias anuais das descargas sólidas totais (t/dia) entre 2015 e 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

O aumento da precipitação no período chuvoso na bacia do rio Parauapebas reforça sua contribuição no aumento das descargas líquidas e a lavagem de toda a bacia hidrográfica pelo

escoamento superficial, carreando material sólido desprendido para o exutório. Entretanto, deve-se considerar que cada uma das estações apresentou uma curva chave própria que muito provavelmente é devido ao fato de que cada uma está inserida em domínios hidrogeomorfológicos distintos caracterizados pela atuação específica de parâmetros como topografia e relevo que também condicionarão as diferenças de descargas líquidas e sólidas encontradas.

5.3 PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

A Tabela 4 exhibe a produção de sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do rio Parauapebas no período analisado a partir de dados coletados na foz. No período chuvoso de 2015 não foi possível realizar campanhas de medição, por esse motivo não se tem a produção de sedimentos nesse período. Enquanto que na estiagem do mesmo ano, obteve-se uma produção de sedimentos em suspensão de 1,04 t/km².ano para uma precipitação média de 0,6 mm. No ano de 2016, aproximadamente 6% da carga de sedimentos em suspensão foram produzidos na estiagem, correspondendo a 0,51 t/km².ano para uma precipitação média de aproximadamente 38 mm. No período chuvoso do mesmo ano, obteve-se a produção de 7,95 t/km².ano e precipitação média de 125,89 mm.

Em 2017, a produção de sedimentos foi bem maior no período chuvoso, correspondendo a 13,97 t/km².ano⁻¹ para uma precipitação média de 148 mm. Na estiagem de 2017, embora tenha chovido menos que em 2016, a produção manteve-se praticamente constante, 0,49 t/km².ano⁻¹. Entretanto, entre todos os anos analisados, as maiores quantidades de sedimentos suspensos foram produzidas em 2018. No período chuvoso foram produzidos 95% do total anual, correspondendo a 14,5 t/km².ano⁻¹, enquanto que na estiagem apenas 0,7 t/km².ano⁻¹ foram gerados, para uma precipitação média de 55,12 mm.

Observa-se que a produção de sedimentos em suspensão do período chuvoso entre 2016 e 2018 na bacia do rio Parauapebas representou 93 a 96% quando comparada com a produção dos meses de estiagem dos mesmos anos (Tabela 4). Esse comportamento já foi anteriormente reconhecido por Merten & Poletto (2016), em que cerca de 90% da produção de sedimentos suspensos que são transportados uma determinada bacia hidrográfica se dá no período chuvoso.

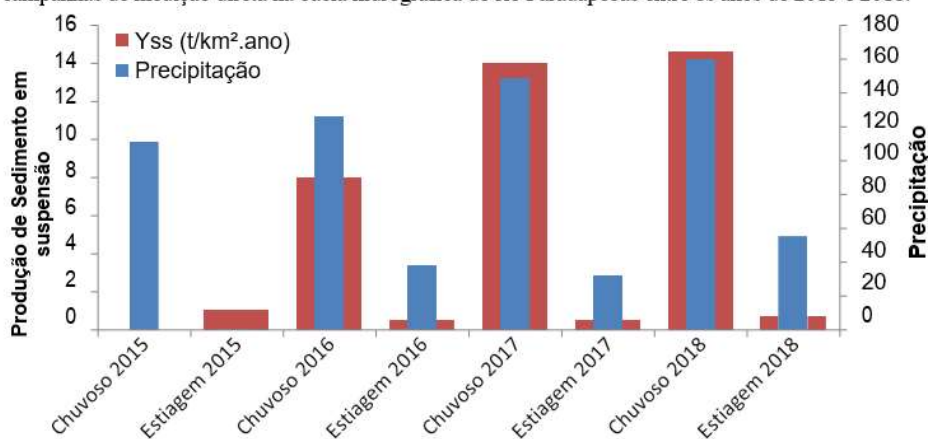
Tabela 4 - Médias da precipitação (mm) e Qss - Descarga sólida suspensa (t/dia); Yss - Produção (t/km².ano⁻¹) e percentual (%) de sedimentos em suspensão nos períodos chuvosos e de estiagem entre os anos de 2015 e 2018 na Bacia Hidrográfica do Rio Parauapebas.

Ano	Período	Precipitação (mm)	Qss (t/dia)	Yss (t/km ² .ano ⁻¹)	Yss (%)
2015	Chuvoso	110,54	-	-	-
	Estiagem	0,60	66,88	1,04	-
2016	Chuvoso	125,89	363,81	7,95	93,95%
	Estiagem	37,96	32,79	0,51	6,05%
2017	Chuvoso	148,06	639,12	13,97	96,58%
	Estiagem		31,66	0,49	3,42%
2018	Chuvoso	159,77	665,89	14,56	95,39%
	Estiagem	55,12	45,03	0,70	4,61%
ÁREA DA BACIA (km ²)		9604,42	Total	39,24	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

A Figura 23 exibe o comportamento anual da produção de sedimentos em suspensão na bacia do rio Parauapebas no período chuvoso e de estiagem. Durante a estiagem houve pouca mudança significativa ao longo dos anos. Entretanto, no período chuvoso é possível reconhecer um aumento progressivo acompanhado por uma elevação na precipitação média na bacia. Estima-se que, ao longo dos quatro anos, cerca de 39 t/km².ano⁻¹ de sedimentos em suspensão foram produzidos na bacia do Rio Parauapebas.

Figura 23 – Produção de sedimentos em suspensão e a precipitação média ocorrida em cada período durante as campanhas de medição direta na bacia hidrográfica do rio Parauapebas entre os anos de 2015 e 2018.

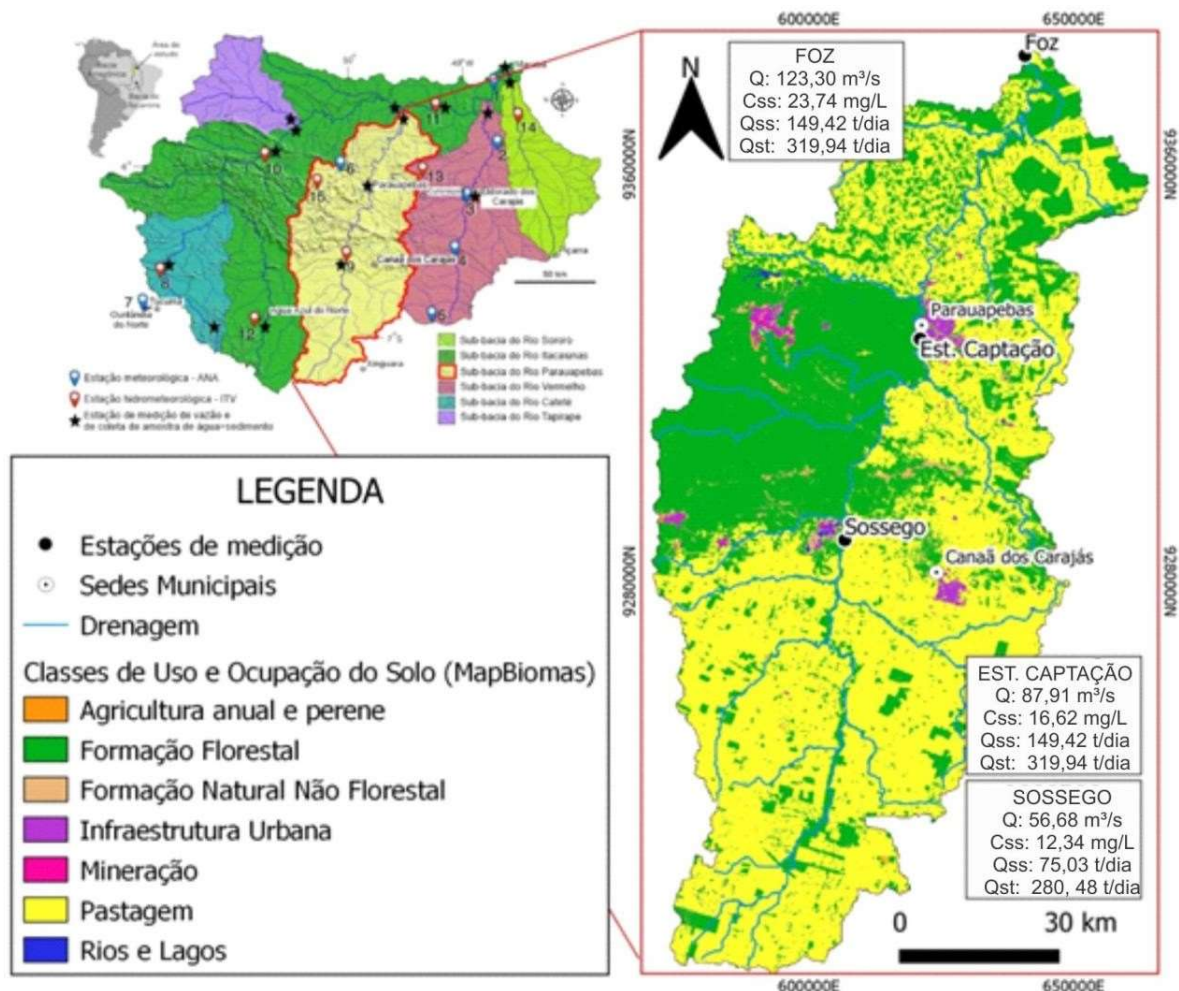


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

5.4 RELAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO COM A PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

De acordo com dados do Projeto MapBiomias (2019), uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo, na bacia do rio Parauapebas foram mapeados sete tipos distintos de uso e cobertura, sendo eles: Agricultura anual e perene, Formação Florestal, Formação Natural não florestal, Infraestrutura Urbana, Mineração, Pastagem e Rios/Lagos (Figura 24).

Figura 24 – Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Parauapebas (2018) e valores médios de vazão (Q), Concentração de sedimentos em suspensão (Css), Descarga sólida em suspensão (Qss) e Descarga sólida total (Qst), obtidos a partir dos quatro anos de monitoramento ao longo do rio Parauapebas.



Fonte: Projeto MapBiomias, 2019

No alto curso do rio Parauapebas observa-se maior desmatamento e grandes extensões de pastos. Nessa região, conforme visto anteriormente, encontram-se poucos morros residuais circundados por altitudes moderadas, relevo suave e degradado. Além disso, há o predomínio de

argissolos que naturalmente exibem baixa capacidade de infiltração e maior capacidade de escoamento superficial. Por outro lado, no médio curso do rio, onde se têm as maiores altitudes e declividades, verifica-se o menor grau de desmatamento graças a presença de áreas de proteção ambiental como a Floresta Nacional do Carajás (FLONA). Enquanto que na margem direita há predomínio de pastagens. No baixo curso/foz, onde o relevo é mais plano e rebaixado, a proporção entre fragmentos florestais e pastagem tende a ser mais equilibrada.

Uma análise temporal dessas classes de uso e ocupação de solo mapeadas desde 2014, período que antecede o início das amostragens, possibilitou o reconhecimento de uma apropriação progressiva do solo caracterizado pela substituição de formações florestais por pastagens (Figura 27). Desta forma, demonstra-se que o mesmo comportamento identificado por Souza-Filho *et al.* (2016) para a bacia do rio Itacaiúnas até 2013 têm se mantido, pelo menos, na sub-bacia do rio Parauapebas (Figura 25; Tabela 5).

Tabela 5 - Área das classes de uso e ocupação do solo encontradas na bacia hidrográfica do rio Parauapebas entre 2014 e 2018.

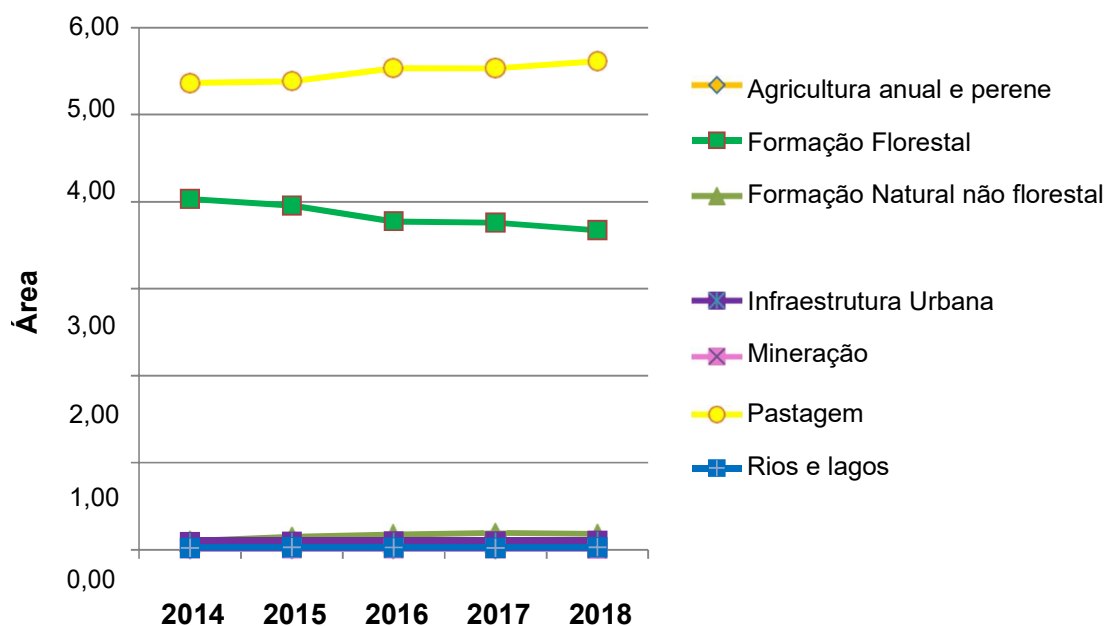
Classes MapBiomias	ÁREAS (km ²)				
	2014	2015	2016	2017	2018
Agricultura anual e perene	8,55	10,164	13,213	9,997	19,74
Formação Florestal	4035,65	3957,856	3777,655	3760,891	3674,95
Formação Natural não florestal	100,36	147,867	175,356	195,95	184,13
Infraestrutura Urbana	93,11	96,36	99,155	98,984	107,36
Mineração	16,23	17,005	18,985	21,835	12,47
Pastagem	5368,37	5388,693	5537,397	5534,746	5618,45
Rios e lagos	24,92	29,654	26,182	25,565	30,71
Área total	9647,192	9647,599	9647,943	9647,968	9647,80

Fonte: Projeto MapBiomias, 2019

Evans (1998) discute diversos impactos que podem ser causados pela remoção da vegetação para o desenvolvimento de pastagens como o aumento da densidade do solo pelo pisoteamento do gado, aumento das taxas de erosão e de escoamento superficial. Enquanto que a presença de vegetação favorece a infiltração e amortece o impacto das gotas de chuva, dificultando a desagregação e transporte de partículas para os rios. (AKSOY & KAVVAS, 2005; MINELLA, 2007; SILVA, 2015). Desta forma, essas diferenças demonstram que a questão do uso e ocupação do solo, da mesma forma, que os parâmetros como solo, topografia e relevo, condicionam a

dinâmica hidrossedimentológica, a produção e aporte de sedimentos de formas distintas dentro da bacia do rio Parauapebas.

Figura 25 - Comportamento das classes de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Parauapebas entre 2014 e 2018.



Fonte: Projeto MapBiomass, 2019

Estudos já têm demonstrado uma série de impactos provocados por essa substituição progressiva na região, como: aumento nos níveis d'água e nas vazões dos rios, elevação da temperatura e redução da umidade do ar (SOUZA-FILHO *et al.* 2016). Pontes *et al.* (2019) demonstraram que houve uma redução em 11,4% das taxas de evapotranspiração total, ou seja, redução na produção média de água para a atmosfera de 29,1 para 25,4 km³/ano.

Deste modo, o desmatamento da bacia do rio Parauapebas pode estar contribuindo para a maior produção e aporte de sedimentos na bacia, principalmente durante o período chuvoso, destacando-se as áreas do alto curso do rio. Por outro lado, ressalta-se a importância da conservação da FLONA de Carajás para o equilíbrio da dinâmica hidrossedimentológica, uma vez que apresenta as maiores altitudes e declividades da área de estudo e, caso estivesse desmatada, certamente contribuiria de sobremaneira para o aumento da produção de sedimentos na bacia.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo dos quatro anos de monitoramento, os valores médios na estação Sossego foram: 56,68 m³/s (vazão), 12,34 mg/L (concentração de sedimentos em suspensão), 75,03 t/dia (descarga de sedimentos suspensos) e 280,48 t/dia (descarga sólida total). Na Estação de Captação os valores médios foram: 87,91 m³/s (vazão), 16,62 mg/L (concentração de sedimentos em suspensão), 149,42 t/dia (descarga de sedimentos suspensos) e 319,94 t/dia (descarga sólida total). Enquanto que na foz os valores médios foram: 123,3 m³/s (vazão), 23,75 mg/L (concentração de sedimentos em suspensão), 263,6 t/dia (descarga de sedimentos suspensos) e 513,12 t/dia (descarga sólida total).

Foi possível notar um incremento dos valores obtidos das variáveis acima do Sossego à foz do rio Parauapebas, além de refletirem a sazonalidade das chuvas na região, cujos maiores valores estão associados aos meses com maiores índices pluviométricos. De modo oposto, foram encontrados valores muito baixos e até mesmo nulos, devido ao regime intermitente no alto rio Parauapebas durante a estiagem.

As curvas chaves apresentam um bom ajuste exponencial, com coeficientes de determinação (R²) acima de 0,6, conforme estabelecido por Lima *et al.* (2005), com exceção da foz no período chuvoso, cujo valor está ligeiramente abaixo (0,55). Vale ressaltar que as curvas-chave devem ser sempre utilizadas com cautela e jamais podem substituir os valores reais confiáveis, além de precisarem ser checadas constantemente haja vista que qualquer alteração nos dados hidrológicos e/ou hidráulicos iniciais podem tornar a curva não representativa (CARVALHO 2008).

Os valores para a descarga sólida total (Q_{st}) variaram entre 0,37 e 921,8 t/dia na estação Sossego; entre 1,71 e 1119,44 t/dia na estação de captação; e entre 20,67 e 1666,06 t/dia na Foz. Assim como as outras descargas, os maiores valores de Q_{st} também estão associados aos períodos chuvosos. Entretanto, foi constatado que nem sempre as maiores chuvas carregam as maiores quantidades de sedimentos, pelo menos em um curto período de tempo, comprovando a descontinuidade do fluxo desses sedimentos dentro da bacia.

Estima-se que, ao longo dos quatro anos de monitoramento, 39 t/km² de sedimentos em suspensão foram produzidos na bacia do rio Parauapebas. Desse total, cerca de 90% foram produzidos apenas no período chuvoso. Além disso, as taxas de produção apresentaram um aumento desde 2016, podendo ser atribuído ao desmatamento da bacia e progressiva substituição por pastagens.

Nesse sentido, a forma como se dá o uso e ocupação do solo na bacia do rio Parauapebas pode estar favorecendo a ocorrência de cheias na região como consequência do assoreamento dos rios, despertando a necessidade de mais estudos, inclusive de identificação de fonte desedimentos para posterior adoção de práticas conservacionistas como manejo do solo, visando a redução das taxas de erosão e produção.

7 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a ampliação da infraestrutura de monitoramento de dados sedimentométricos, fluviométricos e pluviográficos na região de estudo, visando diminuir o problema da escassez de dados que interfere significativamente nos estudos e desenvolvimento de ações de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

Visando maior precisão e acurácia, recomenda-se alterar a metodologia de coleta pontual instantânea para uma amostragem de igual incremento de largura (II-L) com uso de amostradores (CARVALHO 2008), pois, nesta técnica, a amostragem é feita em várias verticais para permitir a obtenção de valores médios em toda a seção, uma vez que a distribuição de sedimentos é variável em toda a largura do rio e em profundidade. Além disso, o uso e instalação de régua limimétrica nas estações de monitoramento poderia ser considerada durante a coleta dos dados de C_{ss} e Q , uma vez que a informação de nível dos rios permitiria a confecção de curvas-chave Q versus cota e garantiria uma melhor representatividade da amostragem.

Sempre que possível, a redução do período entre campanhas de amostragem proporcionaria melhor previsibilidade e consistência dos dados, com menores chances de subestimativas, permitindo inclusive o reconhecimento de efeitos de histerese (MERTEN *et al.*, 2006; 2014) e determinação de vazões de pico. Considerando as contrariedades de medir manualmente e com a devida frequência, a turbidimetria tem se mostrado uma técnica indireta promissora e complementar na estimativa da concentração de sedimentos em suspensão e obtenção de grande série de dados, sendo simples e barato de operar (MINELLA, 2007; MINELLA & MERTEN, 2011; PINHEIRO *et al.*, 2013). Estes dados poderiam auxiliar na melhor determinação da padrões e supostas tendências de aumento das variáveis analisadas.

Estudos de identificação de fontes dos sedimentos em potenciais fazem-se necessários para aplicação de técnicas que possam minimizar a atuação de processos erosivos, além da adoção

imediate de práticas conservacionistas e de técnicas de manejo do solo, visando à redução das taxas de erosão e produção na bacia do rio Parauapebas.

Por último, recomenda-se a implantação imediata do comitê da bacia hidrográfica do rio Parauapebas, especialmente por sua área abranger importantes e expressivas atividades econômicas e dois grandes centros urbanos, onde as ações de gestão ambiental e de recursos hídricos precisam ser coordenadas com ações efetivas e descentralizadas visando à sustentabilidade hídrica e ambiental da bacia em estudo.

REFERÊNCIAS

AKSOY, H.; KAVVAS, M. L. A review of Hillslope and Watershed Scale Erosion and Sediment Transport Models. **Catana**, v. 64, p. 247-271, 2005.

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

ARAGÃO, L. E. O. C.; ANDERSON, L. O.; FONSECA, M. G. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, n. 9, p. 536, 2018.

BOAVENTURA, R. S. Geomorfologia da Folha Tocantins. **In: BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Projeto Radam Folha SB.22 Araguaia e parte da folha SC.22 Tocantins: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1974.**

BRUNE, R. A. **Métodos de Estimativa de Descarga Sólida em Rios – Análise Comparativa**. 2014, 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2014.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Intercência, 2008.

CARVALHO, N. O.; IDE, C. N.; VAL, L. A. A.; RONDON, M. A. C.; BARBEDO, A. G. A.; CYBIS, L. F. A. Riscos devido à degradação e agradação de solos na bacia do alto Paraguai. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 16., João Pessoa, 2005. **Anais...** João Pessoa, PB: ABRH, 2005.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: ANEEL, 2000, 154 p.

COLBY, B. R. **Relationship of Unmeasured Sediment Discharge to Mean Velocity**. Transactions Amer Geophysics Union, (1957).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

_____. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos, p. 83. Rio de Janeiro, 1979.

EVANS, R. The erosional impacts of grazing animals. **Progress in Physical Geography**, v. 22, n. 2, p. 251-268, 1998

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativa Populacional 2018**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 12 set. 2018.

FERREIRA, D. B.; DE SOUZA, E. B.; DE MORAES, B. C.; FILHO, L. G. M. Spatial and temporal variability of rainfall in eastern Amazon during the rainy season. **The Scientific World Journal**, v. 2015, p. 209783, 2015.

FERREIRA, N.J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M.A. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, p. 89-98, 2004.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. ;SANTOS, I. Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, 2012.

GUYOT, J. L.; FILIZOLA, N. P.; LARAQUE, A. Régime et bilan du flux sédimentaire de l'Amazone à Óbidos (Pará, Brésil) de 1995 à 2003. In: WALLING, D. E.; CHOROWITZ, A. J. Sediment budgets. Publication of International Association of Hydrological Sciences, IAHS. v. 291, p. 347-354, 2005.

HASUI, Y. Serra dos Carajás. In: HASUI, Y., CARNEIRO, C. D. R., ALMEIDA, F. F. M., BARTORELLI, A. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012. p. 176-182 (capítulo 10-b).

LIMA, J. E. F. W. **Diagnóstico do Fluxo de Sedimentos em Suspensão na Bacia do Rio São Francisco**. Brasília, DF: ANEEL; ANA, 2001. (Embrapa Cerrados).

LIMA, J. E. F. W.; SANTOS, P. M. C.; CARVALHO, N. O.; SILVA, E. M. **Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia Araguaia-Tocantins**. Planaltina, DF; Brasília, DF: ANA; ANEEL, 2003.

LIMA, J. E. F. W.; SANTOS, P. M. C.; CARVALHO, N. O.; VIEIRA, N. O.; SILVA, E. M. Suspended sediment fluxes in the large river basins of Brazil. In: CONGRESSO CIENTÍFICO DA INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROLOGICAL SCIENCES, 7., Foz do Iguaçu, RS. 2005. **Anais...** Foz do Iguaçu, RS: IAHS, 2005.

LOPES, M. N. G.; DE SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. D. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, n. 1, p. 84-102, 2013.

MELO, R. O.; CANTALICE, J. R. B.; ARAÚJO, A. M.; CUNHA FILHO, M. Produção de sedimento suspenso de uma típica bacia hidrográfica semiárida. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 8., 2008, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande, 2008.

MENDONÇA, A. S. F.; RIGO, D.; CAMPOS, M; STANZANI, L.; CAIADO, M. A. C; REIS, J. A. T.; PEREIRA, F. Z. **Modelagem e Proposição de Alternativas para a Minimização de Produção, Transporte e Deposição de Sedimentos e Melhoria de Qualidade de Água no Sistema Integrado da Bacia Hidrográfica do Rio Doce**. Vitória, 2013. (Relatório Técnico Científico, 011/2009, FAPES).

MERTEN, G. H.; HOROWITZ, A.; CLARKE, R.; MINELLA, J.; PICKBRENNER, K.; PINTO, M. Considerações sobre a utilização da curva-chave de sedimentos para determinação de fluxo de sedimentos. In: MERTEN, G.H. *et al.* (Eds.). **Sedimentos: o desafio da multidisciplinaridade**. Porto Alegre: ABRH, 2006. p. 83-94.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G; HOROWITZ, A.; MORO, M. **Determinação da concentração de sedimentos em suspensão em rios com o uso de turbidímetro**. Porto Alegre: UFRGS, 2014.

MERTEN, G. H.; POLETO, C., (Orgs.). **Qualidade dos sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2006.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão. **Revista Ciência Rural**, v. 41, n. 3, p. 424-432, mar., 2011.

MINELLA, J.P.G. **Utilização de técnicas hidrossedimentométricas combinadas com a identificação de fontes de sedimentos para avaliar o efeito do uso e manejo do solo nos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica rural no Rio Grande do Sul**. 2007. 172 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007.

PONTES, P. R. M.; CAVALCANTE, R. B. L.; SAHOO, P. K.; SILVA JÚNIOR, R. O.; SILVA, M. S., DALL'AGNOL, R., SIQUEIRA, J. O. The role of protected and deforested areas in the hydrological processes of Itacaiúnas River Basin, eastern Amazonia. **Journal of Environmental Management**, v. 235, p. 489–499, 2019.

PAVANELLI, D.; PAGLIARANI, A.; Monitoring water flow, turbidity in a suspended sediment load, from an Apennine catchment basin, Italy. **Biosystem Engineering**, v. 83, n. 4, p. 463-468, 2002.

PEREIRA, H. R.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T. Características da atmosfera na primavera austral durante o El Niño de 2015/2016. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 293-310, 2017.

PINA NETO, A.N.; SILVA JÚNIOR, R. O.; SILVA, M. S. **Análise das características morfométricas e de susceptibilidade a enchentes da sub-bacia do rio Parauapebas, Amazônia Oriental**. Belém/PA: ITV, 2019. (Produção técnica-científica ITV-DS N0001/2019) DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2019.1.PinaNeto.

PINHEIRO, E. A. R. et al. Calibração de turbidímetro e análise de confiabilidade das estimativas de sedimento suspenso em bacia semiárida. **water resources and irrigation management**, v. 2, n. 2, p. 103–110, 2013.

POTAMOS – Engenharia e Hidrologia Ltda. **Estudos de Disponibilidade Hídrica – EDH**. Relatório para Atualização do Cenário de Disponibilidades Hídricas para o Projeto S11D, p. 89, 2013.

PROJETO MAPBIOMAS – Coleção 4 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <http://plataforma.mapbiomas.org>. Acesso em: 28 set. 2019.

REID, I. et al. Sediment Erosion, Transport and Deposition. In: THORNE, C. R.; HEY, R. D.; NEWSON, M. D. **Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management**. New York: John Wiley & Sons., 95-135, 1997.

SCHMIDT FILHO, O. **Monitoramento Hidrossedimentométrico e avaliação de métodos de cálculo de descarga sólida total no Rio Vacaraí Mirim**. 2016. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul, 2016.

SILVA, D. S. S. **Modelos empíricos para estimativa de produção de sedimentos**. 2015. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

SILVA JÚNIOR, R. O.; QUEIROZ, J. C. B.; FERREIRA, D. B. S.; TAVARES, A. L.; SOUZA FILHO, P. W. M.; GUIMARÃES, J. T. F.; ROCHA, E. J. P. Estimativa de precipitações e vazões médias para a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (BHRI) – Amazônia Oriental – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia (RBGF)**, v. 10, n. 5, 2017.

SILVEIRA, G. M., **Análise de sensibilidade de hidrogramas de projeto aos parâmetros de sua definição indireta**. 2010. 243 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

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

SOUZA, W. L. S. **Produção de sedimentos da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe para a Zona Costeira da Região Metropolitana do Recife**. 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2011.

TAVARES, A. L.; CARMO, A. M. C.; SILVA JÚNIOR, R. O.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; SILVA, M. S.; FERREIRA, D. B. S.; NASCIMENTO JÚNIOR, W. R.; DALL'AGNOL, R. Climate indicators for a watershed in the eastern Amazon. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 14, v. 23, 2018.

VALENTIM, R. F.; OLIVITO, J. P. R. Unidade Espeleológica Carajás: delimitação dos enfoques regional e local, conforme metodologia da IN-02/2009 MMA. In: **EspeleoTema**, v. 22, n. 1, p. 41-60, 2011.

VANONI, V.A. **Sedimentation engineering**. New York: ASCE, 1977.

WILLIAMS, G. P. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. **Journal of Hydrology**. Amsterdam, v. 111, p. 89-106, 1989.

ZANANDREA, F.; KOBAYAMA, M.; MICHEL, G.P. Conectividade hidrossedimentológica: Uma abordagem conceitual. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., Florianópolis, 2017. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017. 8 p.

ZHANG, Q.; XU, C. Y.; SINGH, V. P.; YANG, T. Multiscale variability of sediment load and streamflow of the lower Yangtze River basin: Possible causes and implications. **Journal of Hydrology**, v. 368, p. 96-104, 2009.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Tabela síntese com os dados utilizados neste trabalho, a partir dos quatros anos de monitoramento (2015 – 2018).

ESTAÇÃO	Campanha	DATA	C _{ss} mg/L	Dados da Seção do Rio				Descargas			
				V (m/s)	P (m)	A (m ²)	L (m)	Q (m ³ /s)	Q _{nm} (t/dia)	Q _{ss} (t/dia)	Q _{st} (t/dia)
SOSSEGO	1	25/03/2015	12,67	1,05	3,64	206,07	72,62	194,50	708,89	212,91	921,80
	2	27/05/2015	19,31	0,65	1,24	42,11	34,17	26,58	95,63	44,35	139,98
	3	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	4	17/02/2016	20,36	-	-	-	-	10,84	-	-	-
	5	13/04/2016	14,77	0,93	2,36	94,19	43,84	82,75	305,65	105,6	411,25
	6	22/06/2016	16,37	-	-	-	-	0,85	-	-	-
	7	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	8	01/02/2017	20,1	0,7	2,02	66,29	32,97	42,92	131,07	74,54	205,6
	9	05/04/2017	17,33	0,847	3,09	134,12	48,46	123,02	321,46	184,2	505,66
	10	21/06/2017	17,74	0,147	0,47	8,84	19	1,3	0,93	1,99	2,92
	11	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	12	28/02/2018	10,49	0,92	3,76	274,84	79,2	210,31	529,9	190,61	720,51
	13	20/04/2018	11,86	1,17	2,20	132,29	55,35	154,54	575,46	158,36	733,82
	14	27/06/2018	12,78	0,20	0,59	11,28	19	2,25	1,89	2,49	4,37
	15	03/10/2018	11,29	0,06	0,35	5,55	16	0,33	0,06	0,32	0,37
	Valor médio	12,34	0,51	1,52	75,04	32,35	56,68	205,46	75,03	280,48	
	Desvio padrão	5,39	0,41	1,23	71,74	21,56	64,23	217,55	73,31	290,87	
ESTAÇÃO DE CAPTAÇÃO	1	26/03/2015	22,95	0,96	4,22	237,99	53,31	264,82	594,34	525,10	1119,44
	2	29/05/2015	19,01	0,30	2,79	123,75	46,80	44,79	28,65	73,57	102,22
	3	-	-	0,03	1,75	71,37	40,82	1,61	-	-	-
	4	18/02/2016	25,70	0,20	2,32	108,73	45,70	24,40	11,97	54,17	66,14
	5	14/04/2016	20,38	0,56	4,04	210,40	52,20	146,69	160,00	258,30	418,30
	6	23/06/2016	12,36	0,08	2,18	102,63	49,37	8,52	1,06	9,10	10,16
	7	15/09/2016	15,33	0,46	0,48	14,92	31,00	6,81	23,82	9,02	32,84
	8	02/02/2017	27,60	0,35	2,79	161,11	53,82	62,69	58,45	149,49	207,95
	9	05/04/2017	20,23	0,75	3,80	244,42	57,00	177,62	327,59	310,46	638,04
	10	21/06/2017	11,44	0,10	2,13	92,41	44,77	9,25	1,52	9,14	10,67
	11	07/09/2017	7,31	0,03	2,02	71,98	37,69	2,58	0,08	1,63	1,71
	12	28/02/2018	13,66	1,11	5,09	275,66	56,57	316,02	710,92	372,97	1083,89
	13	21/04/2018	14,88	0,90	4,25	264,03	59,54	235,39	466,42	302,62	769,04

14	28/06/2018	10,70	0,11	2,29	118,29	52,34	12,9	2,25	11,98	14,23
15	03/10/2018	11,14	0,05	1,61	94,52	50,25	4,46	0,24	4,29	4,53
Valor médio		16,62	0,40	2,78	146,15	48,75	87,91	170,52	149,42	319,94
Desvio padrão		5,16	0,31	1,00	68,90	6,09	93,47	202,45	146,06	347,00

P: profundidade; l: largura; V: velocidade média da água; Q: vazão; C_{ss}: concentração de sedimentos em suspensão; Q_{ss}: descarga sólida em suspensão medida; Q_{nm}: descarga sólida em suspensão não medida; Q_{st}: descarga sólida total.

APÊNDICE A – (continuação).

ESTAÇÃO	Campanha	DATA	Css mg/L	Dados da Seção do Rio				Descargas				
				V (m/s)	P (m)	A (m ²)	L (m)	Q (m ³ /s)	Qnm (t/dia)	Qss (t/dia)	Qst (t/dia)	
FO	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	01/06/2015	19,89	0,39	2,25	170,99	72,37	69,22	76,62	118,95	195,57	
	3	21/09/2015	16,33	0,14	1,88	78,58	66,90	10,50	5,86	14,81	20,67	
	4	22/02/2016	22,99	0,31	2,22	145,28	64,12	44,97	41,23	89,33	130,56	
	5	17/04/2016	32,67	0,70	4,23	292,93	71,14	226,13	459,58	638,29	1097,88	
	6	26/06/2016	19,72	0,24	1,35	106,46	68,86	26,39	17,98	44,96	62,95	
	7	18/09/2016	26,63	0,11	1,58	89,87	62,78	8,96	3,00	20,62	23,62	
	8	05/02/2017	48,02	0,50	2,86	214,27	72,87	110,79	228,65	459,66	688,31	
	9	09/04/2017	31,37	0,75	5,09	387,71	76,86	302,02	611,54	818,59	1430,13	
	10	25/06/2017	20,38	0,22	1,82	135,45	70,03	29,62	17,29	52,16	69,44	
	11	09/09/2017	16,61	0,91	1,32	82,62	63,38	7,78	371,63	11,17	382,79	
	12	03/03/2018	16,31	0,86	6,20	461,13	79,60	434,78	677,31	612,69	1290,00	
	13	23/04/2018	20,66	1,01	5,69	397,25	73,10	402,85	946,96	719,10	1666,06	
	14	30/06/2018	19,45	0,28	1,64	136,68	72,42	38,84	30,57	65,27	95,84	
	15	06/10/2018	<u>21,45</u>	<u>0,14</u>	<u>1,17</u>	<u>95,23</u>	<u>69,00</u>	<u>13,38</u>	<u>5,09</u>	<u>24,79</u>	<u>29,85</u>	
	Valor médio	23,75	0,47	2,81	199,60	70,25	123,30	249,52	263,60	513,12		
	Desvio padrão	6,24	0,27	1,43	107,90	3,81	124,65	259,92	275,76	515,25		

P: profundidade; l: largura; V: velocidade média da água; Q: vazão; Css: concentração de sedimentos em suspensão; Qss: descarga sólida em suspensão medida; Qnm: descarga sólida em suspensão não medida; Qst: descarga sólida total.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019