

Mestrado Profissional
Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais

ACÁCIO NUNES DE PINA NETO

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

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre do Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área de Ciências Ambientais, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Orientador: Renato Oliveira da Silva Junior, Dr.

Coorientador: Marcio Sousa da Silva, Msc.

Belém / PA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P645 Pina Neto, Acácio Nunes de

Avaliação da produção e transporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Parauapebas, Amazônia Oriental. / Acácio Nunes de Pina Neto – Belém, PA, 2020.

24 f.: il.

Dissertação (mestrado) -- Instituto Tecnológico Vale, 2020.

Orientador: Renato Oliveira da Silva Júnior, Dr.

1. Recursos hídricos - Amazônia Oriental. 2. Uso da água - Gestão. 3. Bacia do Rio Itacaiúnas - Pará. 4. Recursos hídricos - Gestão. I. Título.

CDD 23. ed. 551.48098115

Bibliotecário(a) Responsável: Nisa Gonçalves - CRB 2: 525

ACÁCIO NUNES DE PINA NETO

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

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre do Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área de Ciências Ambientais, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Data de aprovação:

Banca examinadora:

Dr. Renato Oliveira da Silva Junior
Orientador – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Msc. Marcio Sousa da Silva
Coorientador – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Dr. Paulo Rógenes Monteiro Pontes
Membro interno - Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Dra. Aline Maria Meiguins de Lima
Membro externo - Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais / Instituto de Geociências / Universidade Federal do Pará – PPGCA/IG/UFPA.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente à Deus, pois sem Ele nada seria e à minha família, Roberto, Roseane e Sthefanny, por todo amor, compreensão e apoio durante todos esses anos.

AGRADECIMENTOS

À realização deste trabalho tornou-se possível devido à colaboração de diversas pessoas e instituições, às quais deixo aqui meus singelos agradecimentos.

À Deus por me erguer nos momentos de maior dificuldade.

À minha família, que é tudo para mim, pelo apoio emocional, pela motivação, carinho, confiança e dedicação durante toda a minha vida. Amo vocês.

Ao Instituto Tecnológico da Vale (ITV), que através do Programa de Mestrado Profissional “Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais”, me proporcionou um aperfeiçoamento gratuito através das Bolsas de Ensino e Pesquisa e a oportunidade de realizar e concretizar mais uma etapa da minha vida profissional.

Ao meu orientador, Renato Silva Júnior, pela orientação, disposição e paciência. Sempre disposto a ajudar, estimulando e incentivando para realizar este trabalho com excelência. Serei eternamente grato pelos ensinamentos e por ter acreditado no meu potencial. Jamais me esquecerei das suas palavras de apoio quando optei pelo mestrado no ITV.

Ao meu coorientador, Marcio Sousa, cujo apoio e experiência foram de suma importância neste projeto.

Ao amigo que me acompanha desde a faculdade, Gabriel Salomão. Obrigado por todo apoio em palavras, incentivos, pesquisas e contribuições em pensamentos positivos ou na ajuda da compreensão de algum dado.

Aos professores e funcionários do ITV com ensinamentos, orientações e amizade. Estas pessoas me deram todo suporte para que eu chegasse até aqui, além de terem proporcionado um excelente ambiente de trabalho.

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. Inicialmente foi realizada uma análise morfométrica da bacia e aquisição de dados pluviométricos a fim de entender o comportamento fisiográfico e hidrológico da região. 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 the years 2015 and 2018, considering aspects such land use and vegetation cover (LULC). Initially, a morphometric analysis of the basin and the acquisition of rainfall data were carried out in order to understand the physiographic and hydrological behavior of the region. 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 the simplified method of Colby (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 higher 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 pasturelands. 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 the erosion rates reduction and ensuring water sustainability in the Parauapebas River basin.

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

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição de processos em bacias hidrográficas (a) e de sedimentação ao longo da seção transversal (b) e longitudinal (c) de rios	16
Tabela 1 - Resumo dos dados hidrológicos e hidrossedimentológicos das estações de jusante de grandes rios brasileiros	17

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	BACIA HIDORGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO	12
2.2	A DINÂMICA HIDROSEDIMENTOLÓGICA E HIDROGEOMORFOLOGIA ..	13
2.2.1	A erosão hídrica pluvial	14
2.2.2	Transporte de sedimentos	15
2.2.3	Descarga sólida e produção de sedimentos	17
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
	REFERÊNCIAS	21
	APÊNDICES	25
	APÊNDICE A - Análise das características morfométricas e de susceptibilidade a enchentes da sub-bacia do Rio Parauapebas, Amazônia Oriental	
	APÊNDICE B - Avaliação da produção e transporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Parauapebas, Amazônia Oriental.	

1 INTRODUÇÃO

A dinâmica hidrossedimentológica em uma bacia hidrográfica abrange processos complexos que se iniciam com a erosão dos sedimentos, o transporte e a deposição ao longo de cursos de água e estuários (CARVALHO, 2008). O processo de erosão envolve o desgaste de solos por desagregação e deslocamento de partículas por agentes erosivos como vento, chuvas, variação de temperatura, ação de agentes biológicos e antrópicos, relevo e alterações na cobertura vegetal do terreno (CARVALHO, 2008).

Dentre os agentes erosivos atuantes, o que mais se destaca é o processo de erosão hídrica pluvial cujas partículas do solo são desprendidas e arrastadas pela energia cinética das gotas de água da chuva associada à força de cisalhamento do escoamento (SILVA, 2015), contribuindo diretamente para a evolução da paisagem (ZANANDREA *et al.* 2017) e na produção de sedimentos, ou seja, a quantidade de solo que é erodido e removido de uma determinada área de drenagem para a calha fluvial (WALLING, 1990). Ao atingir o leito dos rios, o sedimentos ficam sujeitos a atuação da descarga líquida, do gradiente de energia e tensão de cisalhamento do meio. (CARVALHO, 2008). Segundo Carvalho (1994), os sedimentos que atingem os rios possuem tamanho, forma e peso variados que, aliados às variáveis anteriores, podem ser transportados em suspensão, saltando ou rolando ao longo do leito ou permanecer no fundo do rio, depositando-se.

Todos esses processos acima citados podem ser condicionados por fatores naturais como: tipo de solo, morfologia da bacia, topografia, densidade de drenagem e clima; ou por fatores antrópicos como o desmatamento e a construção de barragens e reservatórios d'água em zonas rurais (ZHANG *et al.*, 2009), por exemplo. Segundo Carvalho (2008), alguns dos impactos que podem ocorrer por desequilíbrio na dinâmica hidrossedimentológica em bacias hidrográficas: 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.

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.

A bacia do rio Parauapebas é caracterizada por um clima de monção tropical com uma sazonalidade marcante e refletida no regime de chuva na região (ALVARES *et al.* 2013). Além disso, possui parte de seu território desmatado devido a intensas mudanças quanto às formas de uso e ocupação do solo nas últimas quatro décadas (SOUZA-FILHO *et al.* 2016). Souza-Filho *et al.* (2016) reconheceram que a apropriação progressiva e desordenada da terra se deu principalmente pela substituição da floresta por grandes extensões de pastos e culturas, esta última em menor escala, contribuindo para o aumento na temperatura do ar, na redução da umidade relativa do ar e aumento da descarga líquida.

Nesse sentido, a caracterização hidrossedimentológica em bacias torna-se imprescindível, pois permite estimar a produção de sedimentos e embasam modelos hidrossedimentológicos que visem diagnosticar e prever impactos, auxiliando tomadas de decisão em prol de uma gestão sustentável da bacia hidrográfica (MENDONÇA, 2013). Além de ser oportuno haja vista que um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) traçados pela Organização das Nações Unidas (ONU) na Agenda 2030, é o de assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água, cujas metas consistem em implementar uma gestão integrada dos recursos hídricos, melhorar a qualidade da água e proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água.

A caracterização da dinâmica hidrossedimentológica envolve a compreensão e integração dos parâmetros condicionantes citados anteriormente, podendo ser realizado, por exemplo, através da análise morfométrica preliminar da bacia; monitoramento de variáveis como precipitação pluviométrica e de descarga líquida; amostragens para estimativa da concentração de sedimentos ao longo dos rios; e, por último, a estimativa de descargas sólidas e das taxas de produção de sedimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO

Conforme Nascimento e Vilaça (2008), a bacia como unidade de planejamento e gerenciamento propõe uma visão abrangente incluindo em seu plano as políticas públicas, tecnológicas e de educação a fim de promover a solução de problemas, a otimização de recursos e a garantia dos usos múltiplos da água. Uma bacia hidrográfica representa o palco unitário da interação das águas com os meios físico, biótico, social, econômico e cultural (YASSUDA, 1993).

Segundo Tucci (1997), uma bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação através de um conjunto de vertentes e de uma rede de drenagem que fazem convergir o escoamento para um único ponto de saída, a foz. Esse conceito foi concebido e passou a ser aplicado no Brasil a partir da elaboração da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/1997, e posterior Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) cujo objetivo é definir diretrizes e políticas públicas voltadas para a melhoria da oferta de água, em qualidade e quantidade, promovendo uma melhor gestão deste elemento estruturante para a implementação de políticas que contribuam para o desenvolvimento sustentável e inclusão social (MMA, 2006).

Considerando a necessidade de compreensão do conceito de bacia hidrográfica e de suas subdivisões, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), por meio da resolução CNRH nº 32, de 15/10/2003, instituiu a Divisão Hidrográfica Nacional em 12 regiões com a finalidade de orientar, fundamentar e implementar o PNRH. Dentre essas, destaca-se a Região Hidrográfica do Tocantins/Araguaia que é constituída pela bacia hidrográfica do rio Tocantins até a sua foz no Oceano Atlântico, na qual está inserida a Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas (BHRI) e a sub-bacia do rio Parauapebas, alvo de estudo deste trabalho.

Nesse sentido, o conhecimento do comportamento, da quantidade de água (descarga líquida) e dos sedimentos gerados e transportados em uma determinada bacia hidrográfica, segundo Carvalho (2008), é fundamental para a instalação de projetos hidráulicos, ambientais e de uso dos recursos hídricos. Portanto, pensar em uma gestão socioambiental para a bacia do rio Parauapebas é de suma importância para que se possa garantir a disponibilidade hídrica com qualidade para as futuras gerações, além de auxiliar no desenvolvimento sustentável para a região.

2.2 A DINÂMICA HIDROSSEDIMENTOLÓGICA E HIDROGEOMORFOLOGIA

O sedimento é definido como a partícula derivada da rocha ou de materiais biológicos, por meio de processos físico-químicos, sujeito à ação de agentes de transporte (água, vento, gravidade, entre outros) e que são depositados em rios, lagos e reservatórios (CARVALHO, 2008). Processos físicos como desagregação, erosão, transporte e deposição, que ocorrem em cursos d'água e lagos em uma bacia hidrográfica, são estudados pela hidrossedimentologia, que considera os 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).

A dinâmica hidrossedimentológica tem início com o processo de desagregação a partir do desprendimento de partículas sólidas do meio do qual fazem parte, como resultado de reações químicas, flutuações de temperatura, ações mecânicas e etc. (MARCONDES, 2011). O processo subsequente, a erosão, já envolve o desgaste das rochas e solos por desagregação e deslocamento de partículas por agentes erosivos como vento, chuvas, ação de agentes biológicos e antrópicos, por ação da gravidade e alterações na cobertura vegetal do terreno (CARVALHO, 2008).

Após a desagregação e erosão, o ciclo hidrossedimentológico prossegue com a atuação da água como principal agente de transporte. A competência deste agente vai depender da vazão do rio, declividade do terreno, da granulometria e do peso específico do sedimento, caracterizando, portanto, o valor de saturação, ou seja, a quantidade máxima de sedimento que será transportada até o momento em que as forças de escoamento se reduzem a ponto de permitirem a formação de depósitos (CARVALHO, 2008). Estes podem ser temporários ou permanentes e com volumes variados. Os depósitos permanentes tendem a sofrer compactação e consolidação sobre efeito do próprio peso dos sedimentos e da pressão hidrostática (CARVALHO, 2008; MARCONDES, 2011).

Conforme Carvalho (2008), a hidrossedimentologia vem ganhando uma relevância cada vez maior para a navegação, morfologia fluvial, obras hidráulicas nos cursos d'água, para a compreensão do transporte de nutrientes e poluentes agregados ao sedimento, avaliação do assoreamento e da vida útil de um reservatório, além da conservação de terras e dos recursos hídricos frente às interferências antrópicas como o mau uso do solo.

Desta forma, a compreensão de como esses parâmetros e processos hidrológicos contribuem para a formação e evolução da paisagem e ainda de como as formas de relevo condicionam os

processos hidrológicos em diferentes escalas temporais e espaciais é uma tarefa da hidrogeomorfologia (GOERL *et al.* 2012), fundamental para análises hidrossedimentológicas.

2.2.1 A erosão hídrica pluvial

Dentre os agentes erosivos atuantes, o que mais se destaca é o processo de erosão hídrica pluvial, por meio do qual as partículas são desprendidas em decorrência da energia de impacto da gota de chuva no solo e pelas forças geradas devido à ação de escoamento das águas, removendo a camada superficial (CARVALHO, 2008; SILVA, 2015) graças à combinação de dois processos que contribuem para a erosão bruta: a erosão entressulco e a erosão no sulco. A primeira é causada pela erosão pluvial e o escoamento ocorre através do mecanismo de salpicamento e escoamento superficial enquanto que a erosão no sulco ocorre graças ao escoamento concentrado que gera o desprendimento de partículas a partir de horizontes superficiais e subsuperficiais (SILVA, 2015).

Segundo Minella (2007), existe uma clara relação entre as taxas de erosão e o uso/manejo do solo. A apropriação da natureza pelo homem bem como as relações socioeconômicas do território se expressam pelo atual uso do solo, com base no seu potencial produtivo e na necessidade de conservação (CORRÊA, 1989). Diferentes usos do solo possuem sua própria maneira de impactar ecossistemas aquáticos. De modo geral, solos desprotegidos são mais susceptíveis à erosão do que os solos vegetados, haja vista que a vegetação é responsável por amortecer o impacto das gotas de chuva e aumentar a rugosidade do terreno, favorecendo a infiltração em detrimento do escoamento superficial (SILVA, 2015).

Aksoy & Kavvas (2005) destacam que, em solos mais úmidos, onde a vegetação tende a ser mais densa e de maior porte, é menor a desagregação e o transporte de partículas pelo escoamento. Trabalhos como o de Bu *et al.*, (2014) e Lin *et al.*, (2015) mostraram que a expansão da atividade agropecuária propicia um incremento nas taxas de escoamento superficial enquanto que a urbanização pode contribuir para o aumento de nutrientes em rios por meio da eutrofização provocada por diferentes fontes de poluição. Além disso, Zorzal-Almeida *et al.*, (2018) mostraram que os efeitos do uso do solo também são dependentes da escala de trabalho (se na bacia hidrográfica ou nas margens dos rios) e ressaltam a importância dessas duas escalas no estudo e promoção de planos de gestão e manejo do solo.

Nesse sentido, o manejo do solo desempenha um papel fundamental na atenuação dos processos erosivos e conseqüentemente na produção de sedimentos. É definido como o conjunto

de práticas de preparo e otimização do uso do solo para criar condições favoráveis à produção, melhorando a sua estrutura, cobertura e resistência aos processos erosivos (CORRÊA, 1989).

2.2.2 Transporte de sedimentos

Conforme visto, os processos hidrossedimentológicos estão fortemente associados ao ciclo hidrológico. Em bacias hidrográficas, o transporte dos materiais resultantes da erosão se dá predominantemente por ação da água de escoamento superficial, fundamental para a manutenção da transferência física contínua de sedimentos a partir de uma fonte para determinado ponto de controle dentro de formas geomorfológicas presentes na bacia (WALLING, 1990; 1999; BRACKEN *et al.* 2015).

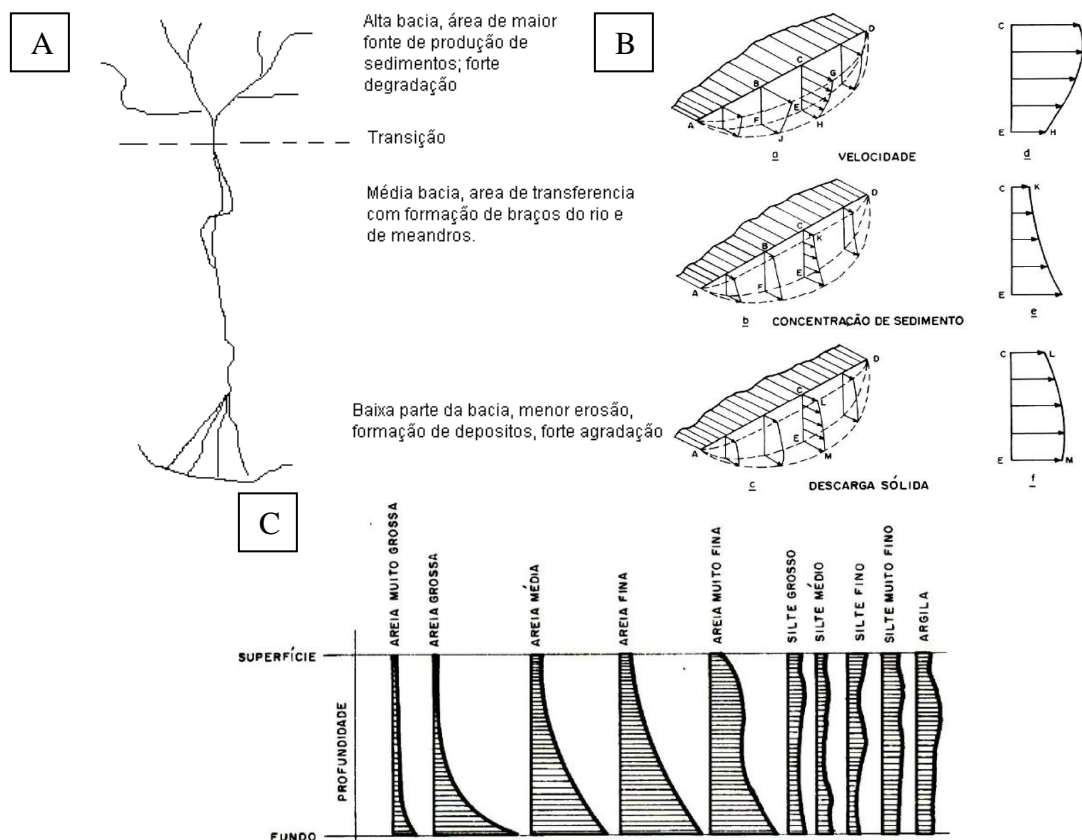
A dinâmica fluvial e o transporte de sedimentos referem-se à competência do fluxo de retirar as partículas do estado de inércia e mantê-las em movimento por um dado período de tempo. Segundo Christofolletti (1981), são sujeitas a duas forças principais: a força da gravidade e a tensão de cisalhamento. A primeira é a força vertical exercida pela massa d'água sobre o canal, sendo responsável pelo direcionamento do fluxo a partir de áreas de maior declividade e altitude (CHRISTOFOLLETTI, 1981). Enquanto a tensão de cisalhamento representa a resistência ao escoamento e transporte de sedimentos graças à força de atrito gerada entre a massa d'água em movimento e o canal (SUGUIO & BIGARELLA, 1990). Desta forma, a velocidade do fluxo deve superar essas duas forças para que haja movimentação do sedimento.

Os sedimentos que chegam ao curso d'água possuem granulometria diversa e sofrem processos de transporte diferenciados, de acordo com as condições do local e do escoamento. O processo de transporte de partículas pesadas, geralmente de tamanho areia grossa e cascalho pode ocorrer através dos mecanismos de deslizamento, rolamento ou através de saltos. Estas partículas contribuem para a chamada descarga sólida de fundo ou de arrasto (CARVALHO, 2008). As partículas menores (silte e argila) são transportadas em suspensão no interior do fluxo, constituem a descarga sólida em suspensão e representam, em média, entre 70 a 95% da descarga sólida total (CARVALHO *et al.*, 2000; CARVALHO, 2008; MARCONDES, 2011). Além da carga em suspensão e da descarga sólida de fundo, Carvalho (2008) ressalta ainda que existe uma parcela de material que é transportado em solução química, através de compostos iônicos.

A distribuição dos sedimentos ao longo do rio é variável e influenciada por alguns fatores como velocidade da corrente, granulometria e disponibilidade de sedimentos (CARVALHO,

2008). Como a velocidade da corrente é menor próximo das margens a quantidade de sedimentos também será menor. Ao longo da seção longitudinal, as partículas menores (silte e argila) tendem a distribuir-se uniformemente de modo que as mais grossas tendem a concentrar-se em direção ao leito do rio (Figura 1). Todas essas partículas reunidas representam a carga sólida total, de modo que, a massa total de sedimentos que passa em uma seção transversal do rio por unidade de tempo, é definida como descarga sólida ou “descarga de sedimentos” (VANONI, 1977), sendo expressa em toneladas por dia.

Figura 1 – Distribuição de processos em bacias hidrográficas (A) e de sedimentos ao longo da seção transversal (B) e longitudinal (C) de rios.



Fonte: CARVALHO, 2008

Segundo Carvalho (2008), o aumento da carga sólida de sedimentos pode provocar uma elevação na tendência de agradação e formação de depósitos ao longo do leito do rio. Enquanto que a redução na descarga de sólidos promove uma maior degradação do seu leito. De modo geral,

o alto curso do rio é a área onde ocorre maior degradação e material mais grosseiro transportados por arraste. O médio curso é uma área mais estável e com granulometria média. O baixo curso é a região onde ocorre agredação, transporte de partículas mais finas e deposição de sedimentos.

Lima *et al.* (2006) estimaram o fluxo de sedimentos em suspensão em diversas bacias brasileiras obtendo uma descarga sólida em suspensão média que variou entre $1,83 \times 10^6$ t/ano e 810×10^6 t/ano, identificados nos rios São Francisco e Amazonas, respectivamente. Enquanto, a concentração dos sedimentos em suspensão variaram entre 8,84 mg/L e 386,25 mg/L, valores encontrados no rio Tocantins e Doce, respectivamente. O resumo de todas as informações coletas no referido estudo encontram-se na tabela 1, abaixo.

Tabela 1 - Resumo dos dados hidrológicos e hidrossedimentológicos das estações de jusante de grandes rios brasileiros.

Estação	Código	Rio	A.Dren. (km ²)	Q (m ³ /s)	Q.esp. (L.s ⁻¹ .km ⁻²)	Qss (t.ano ⁻¹)	Qss.esp. (t.km ⁻² .ano ⁻¹)	Css (mg.L ⁻¹)
Óbidos*	11400000	Amazonas	4.800.000	172.000,0	35,8	$810,00 \times 10^6$	168,8	149,33
Luzilândia	34879500	Parnaíba	300.000	694,8	2,3	$6,06 \times 10^6$	20,2	276,59
Porto Guaíra	64843000	Paraná	802.150	9.381,2	11,7	$8,28 \times 10^6$	10,3	27,97
Estreito do Iguazu - novo	65986000	Iguazu	63.236	1.767,9	28,0	$2,23 \times 10^6$	35,3	40,00
Porto Esperança**	66960008	Paraguai	363.500	2.150,0	5,9	$7,33 \times 10^6$	20,2	108,11
Uruguaiana	77150000	Uruguai	163.547	4.687,8	28,7	$3,59 \times 10^6$	22,0	24,31
Colatina	56994500	Doce	75.800	921,0	12,2	$11,22 \times 10^6$	148,0	386,25
Campos – Ponte Municipal	58974000	Paraíba do Sul	55.500	791,4	14,3	$4,35 \times 10^6$	78,8	174,47
Própria***	49705000	São Francisco	623.500	2.119,5	3,4	$1,83 \times 10^6$	2,9	27,38
Tucuruí****	29700000	Tocantins	742.300	10.981,0	14,8	$3,06 \times 10^6$	4,1	8,84
TOTAL			7.989.533	205.494,6	25,7	$857,95 \times 10^6$	101,1	124,67

A.Dren.: área de drenagem; Q: descarga líquida; Q.esp.: descarga líquida específica média; Qss: descarga sólida em suspensão média; Qss.esp.: descarga sólida em suspensão específica média; Css: concentração média de sedimentos em suspensão. * Guyot *et al.* (2005); ** Carvalho *et al.* (2005); *** Lima *et al.* (2001); **** Lima *et al.* (2003).

Fonte: LIMA *et al.*, 2006

2.2.3 Descarga sólida e produção de sedimentos

A descarga sólida é um valor necessário em qualquer estudo sedimentológico e depende de muitos fatores condicionantes como a descarga líquida, profundidade média do escoamento, velocidade média de fluxo, declividade da linha d'água, tensão de cisalhamento, potência da corrente e diâmetro das partículas de sedimento (CARVALHO, 2008). Pode ser obtido tanto diretamente, através de medições em campo, quanto indiretamente, com auxílio de equações e modelos matemáticos que exigem amostragens e análise dos sedimentos.

Existem diversos métodos indiretos que avaliam a descarga de sedimentos provenientes do leito do rio. A maioria deles estima apenas a descarga de fundo ou em suspensão, obtendo pela sua soma a descarga total de sedimentos, outros que determinam a descarga total de fundo, sem fazer

distinção entre a descarga de fundo e descarga em suspensão, o que pode induzir a erros, segundo Carvalho *et al.* (2000).

Dentre os métodos que fazem a distinção entre a descarga sólida em suspensão e descarga de fundo no cálculo para determinar a descarga sólida total, destacam-se o Método de Einstein Modificado por Colby e Hembree (1955) e o método Simplificado de Colby (1957). O primeiro calcula a descarga total de sedimentos, a partir de medidas da descarga de sedimentos em suspensão na seção do rio até uma pequena distância do fundo, da extrapolação da carga em suspensão medida até o fundo do rio e do conhecimento da granulometria do material em suspensão e do leito (PAIVA, 2001). Enquanto que o método Simplificado de Colby (1957) se baseia no método anterior e em várias medições de campo, sendo um dos métodos mais utilizados no Brasil (COSTA, 2012). Carvalho (2008) ressalta que é um método que se destaca dos demais por ser relativamente de fácil aplicação e pela necessidade de poucos dados, uma vez que requer, basicamente, o uso de três ábacos e dados de descarga líquida, velocidade média, profundidade média, largura da seção e concentração medida de sedimentos em suspensão.

Quando a descarga sólida dos sedimentos é avaliada com base na área de influência da bacia hidrográfica, obtém-se a produção de sedimentos expresso em t/km/ano (WALLING, 1994; HOVIUS, 1998). Segundo Carvalho (2008), a produção de sedimentos é a quantidade total de sedimentos erodidos que consegue percorrer toda a extensão da bacia até um determinado ponto de medição (ex.: um ponto fluviométrico). Em outras palavras, o conceito de produção de sedimentos propriamente dito nada mais é que a diferença entre a erosão bruta (carga total de sedimentos erodidos, incluindo os sólidos dissolvidos e os sedimentos em suspensão) e a quantidade de sedimentos que permanece na bacia, sendo aquilo que efetivamente vai para os cursos d'água (MINELLA, 2007). Portanto, também é influenciado por fatores que controlam a erosão como a topografia, uso e cobertura do solo, clima, entre outros (WALLING, 1994; HOVIUS, 1998).

. Um fator que deve ser levado em consideração na produção de sedimentos é o uso e ocupação/manejo do solo (MINELLA, 2007). De modo geral, solos desprotegidos são mais susceptíveis à erosão do que os solos vegetados, haja vista que a vegetação é responsável por amortecer o impacto das gotas de chuva e aumentar a rugosidade do terreno, favorecendo a infiltração em detrimento ao escoamento superficial (AKSOY & KAVVAS 2005; SILVA 2015). Nesse sentido, Lajczak & Jansson (1993) destacam a importância de estimar a produção de

sedimento em suspensão, considerando a sazonalidade da área de estudo. Segundo eles, o conhecimento das variações sazonais fornece indícios sobre possíveis impactos ambientais provocados por ações antrópicas.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sub-bacia do rio Parauapebas é considerada uma grande bacia, com uma área total de 9604,42 km², formada por 925 canais, cuja hierarquia máxima é de 5^a ordem. A análise hipsométrica revelou que as altitudes variam de 101 a 882 m, sendo 197,5 m a cota mais frequente. O relevo é predominantemente ondulado a suavemente ondulado, com uma declividade média de 14%. A análise das características morfométricas da bacia demonstrou que, em condições naturais, apresenta baixa susceptibilidade a enchentes, corroborada pelos valores obtidos para os coeficientes de compactidade e de forma, densidade de drenagem e índice de circularidade, bem como pelas características hipsométricas e de declividade observadas. Entretanto, a elevação dos níveis dos rios e a ocorrência de enchentes têm sido comuns ao longo dos anos, despertando a atenção para possíveis efeitos antrópicos relacionados ao uso e ocupação do solo.

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.

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 de sedimentos para posterior adoção de práticas conservacionistas como manejo do solo, visando a redução das taxas de erosão e produção.

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.

BRACKEN, L.; TURNBULL, L. WAINWRIGHT, J. BOGAART, P. Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transport at multiple scales. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, p. 177-188, 2015.

BU, H.; MENG, W.; ZHANG, Y.; WAN, J. Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, **China. Ecol. Indic.**, v. 41, p. 187–197, 2014.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Interciência. 2008. 599 p.

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, DF: ANEEL, 2000. 154 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Blücher, 1981. 313 p.

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

COLBY, B.R., HEMBREE, C.H. **Computation of total sediment discharge: Niobrara river near Cody, Nebraska**. US Geological Survey, Water-Supply Paper 1 357. Washington, DC. 1955.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). Resolução Nº. 32, de 15 de outubro de 2003. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. **Diário Oficial da União [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, DF, 17 dez. 2003.

CORRÊA, R. L. **O espaço Urbano**. São Paulo: Ática, 1989.

COSTA, L. F. **Análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados na determinação de taxas de assoreamento de reservatórios**. 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

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.
- HOVIUS, N. Controls on sediment supply by large rivers. In: **Relative Role of Eustasy, Climate and Tectonism in Continental Rocks**. Society of Sedimentary Geology. Special publication. n. 59, p. 3-16, 1998.
- LAJCZAK, A.; JANSSON, M. B. Suspended Sediment Yield in Baltic Sea Drainage Basin. **Nordic Hydrology**, v. 24, p. 53-64, 1993.
- 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. (Embrapa Cerrados).
- LIMA, J. E. F. W.; LOPES, W. T. A.; CARVALHO, N. O.; SILVA, E. M.; VIEIRA, M. R. Fluxo de sedimentos em suspensão no exutório de grandes bacias hidrográficas em território brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 7., Porto Alegre, 2006. **Anais...** Porto Alegre: 2006.
- 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: IAHS, 2005.
- LIN, Z.; ANAR, M. J.; ZHENG, H. Hydrologic and water-quality impacts of agricultural land use changes incurred from bioenergy policies. **J. Hydrol.**, v. 525, p. 429–440, 2015.
- MARCONDES, C. R. **Estudo da descarga sólida em suspensão nos cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Sapucaí**. 2011. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2011.
- 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).
- 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.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. Plano Nacional de Recursos Hídricos. Síntese Executiva - português. Brasília, df: MMA, 2006. 135 p.

NASCIMENTO, W. M.; VILAÇA, M. G. **Bacia hidrográfica: planejamento e gerenciamento**. Três Lagoas: [s.n.], 2008. 20 p.

PAIVA, J. B. D. Métodos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em Rios. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Orgs.). **Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre. ABRH, 2001. cap. 12, p. 313-364, 2001

PLANO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Síntese Executiva - português / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília, df: MMA, 2006.

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.

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.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. Florianópolis: EdUFSC, 1990. 183 p.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças de cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p.135-152, 1997.

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

WALLING, D. E. Linking land use, erosion and sediment yields in river basins. **Hydrobiologia**, Dordrecht, v. 410, p. 223-240, 1999.

WALLING, D. E. Linking the field to the river: sediment delivery from agricultural land. In: BOARDMAN, J.; FOSTER, I.D.L.; DEARING, J.A. (Ed.) **Soil erosion on agricultural land**. Chichester: John Wiley, 1990. p. 129-152.

WALLING, D. E. Measuring sediment yield from a river basin. In: Soil Erosion Research Methods. **Soil and Water Conservation Society**, v. 11, p. 39-80, 1994.

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Rev. Adm. Públ.**, v. 27, n. 2, p. 5-18, 1993.

ZANANDREA, F.; KOBAYAMA, M.; MICHEL, G. P. Conectividade hidrossedimentológica: Uma abordagem conceitual. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22., Florianópolis, 2017. ABRH, **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.

ZORZAL-ALMEIDA, S.; SALIM, A.; ANDRADE, M. R. M.; NASCIMENTO, M. N.; BINI, L. M.; BICUDO, D. C. Effects of land use and spatial processes in water and surface sediment of tropical reservoirs at local and regional scales. **Science of the Total Environment**, v. 644, p. 237-246, 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Análise das características morfométricas e de susceptibilidade a enchentes da sub-bacia do Rio Parauapebas, Amazônia Oriental.

INSTITUTO TECNOLÓGICO VALE



PROD. TEC. ITV DS - N001/2019
DOI: 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2019.1.PinaNeto

PRODUÇÃO TÉCNICA ITV DS

ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS E DE SUSCEPTIBILIDADE A ENCHENTES DA SUB-BACIA DO RIO PARAUPEBAS, AMAZÔNIA ORIENTAL

Projeto Itacaiúnas II

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

Belém – Pará

Março / 2019

Título: Análise das características morfológicas e de susceptibilidade a enchentes da sub-bacia do Rio Parauapebas, Amazônia Oriental	
PROD. TEC. ITV DS N001/2019	Revisão
Classificação: () Confidencial () Restrita (x) Uso Interno () 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.

Análise das características morfológicas e de susceptibilidade a enchentes da sub-bacia do Rio Parauapebas, Amazônia Oriental. / Acácio Nunes Pina Neto, Renato Oliveira Silva Júnior, Marcio Sousa da Silva – Belém: ITV, 2019. 22 p. : il.

1. Análise morfológica. 2. Hidrologia - Rio Parauapebas (PA). 3. Geoprocessamento. 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

O objetivo de uma análise morfométrica é determinar as características do relevo, drenagem e de forma da bacia hidrográfica, os quais se constituem em parâmetros preliminares fundamentais para análises hidrológicas e ambientais. Desta forma, este estudo buscou analisar morfometricamente a sub-bacia do rio Parauapebas, localizada na região sudeste do estado do Pará, visando prover um diagnóstico da bacia frente as atuais mudanças de uso e ocupação do solo na região amazônica. Os resultados, além de refletirem as características gerais da bacia, mostraram que esta possui baixa propensão à ocorrência de enchentes em condições normais de precipitação. Entretanto, a elevação dos níveis dos rios e a ocorrência de enchentes têm sido registradas. Nesse sentido, fatores antrópicos como o desmatamento podem estar favorecendo a ocorrência de cheias na região, além de indicar a possibilidade do assoreamento dos rios e a intensificação das cheias, despertando a necessidade de estudos mais profundos acerca dessa temática, considerando a relevância ambiental, econômica e social do rio Parauapebas para as comunidades e demais setores da sociedade e da região.

RESUMO

Uma análise morfométrica representa um dos primeiros procedimentos executados em análises hidrológicas/ambientais, incluindo estudos de vulnerabilidade, a fim de compreender processos geológicos e alterações antropogênicas através da determinação e combinação de diversos parâmetros morfométricos. Desta forma, este estudo buscou analisar morfometricamente a sub-bacia do rio Parauapebas, região sudeste do Pará. Os parâmetros utilizados na análise foram divididos da seguinte forma: características geométricas (área, perímetro, comprimento, fator de forma, índice de circularidade e coeficiente de compacidade), da rede de drenagem (nº total de canais, comprimento da rede hídrica, comprimento do canal principal, hierarquia hídrica, densidade de drenagem, densidade hidrográfica e coeficiente de manutenção) e de relevo (declividade média da rede hídrica, declividade do canal principal, tempo de concentração, altitude máxima e mínima, amplitude hipsométrica, altitude média, altitude mais frequente e declividade média). Estes foram determinados com auxílio do *software* ArcGis 10.3. A bacia em estudo apresenta área de aproximadamente 9604,42 km², perímetro de 952,57 km e comprimento de 184 O rio Parauapebas possui extensão de 269 km e sua bacia é descrita como excepcionalmente bem drenada e classificada como de 5ª ordem. As altitudes variam de 101 a 882 m e o relevo é predominantemente classificado em suavemente ondulado a ondulado, exceto na porção central onde é montanhoso e com maiores altitudes. Os resultados para fator de forma e índice de circularidade foram muito baixos, o que indica o formato mais alongado da bacia. Enquanto o coeficiente de compacidade apresentou um valor alto, o que caracteriza uma baixa propensão à ocorrência de enchentes em condições normais de precipitação. Entretanto, a subida dos níveis dos rios e a ocorrência de enchentes já foram constatadas. Nesse sentido, fatores antrópicos como a apropriação desordenada do uso e ocupação do solo podem estar favorecendo a ocorrência de cheias na região, além de indicar a possibilidade do assoreamento dos rios e a intensificação das cheias.

Palavras-Chave: Análise morfométrica. Hidrologia. Geoprocessamento. Parauapebas (PA).

ABSTRACT

A morphometric analysis represents one of the first procedures performed in hydrological / environmental analyzes, including vulnerability studies, in order to understand geological processes and anthropogenic changes through the determination and combination of several morphometric parameters. Thus, this study morphometrically analyzed the sub-basin of the Parauapebas River, southeastern Pará. The parameters used in the analysis were divided as follows: geometric characteristics (area, perimeter, length, form factor, circularity index and compactness coefficient), the drainage network (total number of channels, length of the water network, length of the main channel, water hierarchy, drainage density, hydrographic density and maintenance coefficient) and relief (average gradient of the water network, slope of the main channel, concentration time, maximum and minimum altitude, hypsometric range, average altitude, most frequent altitude and average slope). These parameters were determined in ArcGis 10.3 software. The basin has an area of approximately 9604.42 km², a perimeter of 952.57 km and a length of 184 km. The Parauapebas River is 269 km long and its basin is described as exceptionally well drained and classified as 5th order. The altitudes range from 101 to 882 m and the relief is predominantly classified as gently undulating to undulating, except in the central portion where it is mountainous and with higher altitudes. The results for form factor and circularity index were very low, which indicates the more elongated shape of the basin. While the compactness coefficient showed a high value, which characterizes a low propensity to the occurrence of floods under normal precipitation conditions. However, the rise in river levels and the occurrence of floods have already been noted. In this sense, anthropic factors such as irregular appropriation of land use and occupation may be favoring the occurrence of floods in the region, in addition to indicating the possibility of silting up rivers and intensifying floods.

Keywords: Morphometric analysis. Hydrology. Geoprocessing. Parauapebas (PA).

APÊNDICE B - Avaliação da produção e transporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Parauapebas, Amazônia Oriental.

INSTITUTO TECNOLÓGICO VALE



PROD. TEC. ITV DS - N001/2020
DOI: 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2020.1.PinaNeto

PRODUÇÃO TÉCNICA ITV DS

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAUAPEBAS, 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 N001/2020	Revisão
Classificação: () Confidencial () Restrita (x) Uso Interno () 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).