

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MICHEL WATANABE

**O USO DA TERRA E O APORTE SEDIMENTAR EM SUSPENSÃO DE BACIAS
PAREADAS NA AMAZÔNIA: SUB-BACIAS DO RIO MUTUM-PARANÁ/RO**

CURITIBA
2015

MICHEL WATANABE

**O USO DA TERRA E O APORTE SEDIMENTAR EM SUSPENSÃO DE BACIAS
PAREADAS NA AMAZÔNIA: SUB-BACIAS DO RIO MUTUM-PARANÁ/RO**

Tese apresentada como requisito à obtenção do título de Doutor em Geografia no Programa de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, modalidade DINTER UFPR-UNIR.

Orientador: Dr. Fabiano Antônio de Oliveira

CURITIBA
2015

W324u

Watanabe, Michel

O uso da terra e o aporte sedimentar em suspensão de bacias pareadas na amazônia : sub-bacias do Rio Mutum-Paraná/RO/ Michel Watanabe. – Curitiba, 2015.

115 f. : il. color. ; 30 cm.

Tese - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Geografia, 2015.

Orientador: Fabiano Antônio de Oliveira .

Bibliografia: p. 102-112.

1. Bacias hidrográficas - Sedimentação. 2. Sedimentos (Geologia) - Metodologia. 3. Pecuária. 4. Sedimentos em suspensão. 5. Mutum-Paraná, Rio. I. Universidade Federal do Paraná. II. Oliveira, Fabiano Antônio de. III. Título.

CDD: 551.44



PARECER

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Geografia reuniram-se para a arguição da Tese de Doutorado, apresentada pelo (a) candidato (a) MICHEL WATANABE intitulada "O USO DA TERRA E O APORTE SEDIMENTAR EM SUSPENSÃO DE BACIAS PAREADAS NA AMAZÔNIA: SUB-BACIAS DO RIO MUTUM-PARANÁ/RO", para obtenção do grau de Doutor em Geografia, do Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná Área de Concentração Espaço, Sociedade e Ambiente, Linha de Pesquisa Paisagem e Análise Ambiental.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido o (a) candidato (a), são de parecer pela aprovação da Tese.

Curitiba, 17 de agosto de 2015.

Nome e Assinatura da Banca Examinadora:



Prof. Dr. Fabiano Antonio de Oliveira - orientador



Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos - PPGGEO/UFPR



Prof. Dr. Monica Lopes Gonçalves - UDESC



Prof. Dr. Dorisvalder Dias Nunes - UNIR



Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos - UNIR

Dedico este trabalho a minha família,
essencial em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

À Deus, sempre presente em minha vida.

À minha família, em especial aos meus pais Lauro e Tereza e tias Marli e Neuza, pelo apoio imensurável em todas as etapas de minha formação. Obrigado por compreenderem minhas ausências.

À minha esposa Carla e ao meu filho Fernando, fontes de esforço e inspiração para a conclusão deste trabalho.

Aos meus amigos, Tatiane e Dorisvalder, meus eternos agradecimentos pela dedicação, apoio acadêmico, profissional e, principalmente, de vida. Acredito que sem a presença de vocês não teria a oportunidade de ser tão bem acompanhado de verdadeiros amigos.

Aos meus amigos e colegas, Prof. Antônio Cláudio, Madalena Cavalcante e Cleyton pelos debates norteadores durante todo meu processo de formação.

Aos meus amigos e colegas de laboratório mais antigos, Janielson e Mirtilene, pelas forças nos trabalhos de campo e risadas durante todos esses anos.

À Tirla, Tamires, Gean e Laura pela ajuda nos trabalhos de campo e atenção às demandas que eram solicitadas.

Ao meu Orientador e amigo professor Fabiano Oliveira, por sempre estar ao meu lado durante as etapas da tese. Meus inestimáveis e sinceros agradecimentos.

À secretaria do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPR, por meio da secretária Adriana Cristina, pelo profissionalismo e atenção no trato com os discentes.

À Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP pelo fomento e desenvolvimento da pesquisa, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa de estudos e à Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa – FADESP pelo gerenciamento dos recursos.

A todos que estiveram, direta e indiretamente, ligados durante este estudo, meus sinceros agradecimentos.

A arte de escutar é como uma luz que dissipa a escuridão da ignorância.

Dalai Lama.

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo analisar a dinâmica de sedimentos em suspensão de bacias pareadas do rio Mutum-Paraná/RO com base na relação chuva-vazão-sedimento-turbidez, a partir da intensificação do uso e cobertura da terra. Para tanto, utilizou-se base teórico-metodológica com enfoque geomorfológico (integrador) nas obras de Tricart e Ab'Saber. Realizou-se monitoramento mensal dos parâmetros hidrossedimentológicos: vazão, turbidez, coleta de amostras de água para quantificação de sedimentos em suspensão e coleta de dados pluviométricos. Os resultados obtidos mostram regulação dos parâmetros vazão, turbidez e sedimento em suspensão de três bacias denominadas bacia Floresta, bacia Pecuária e bacia Mutum-Paraná. Dentre os parâmetros hidrossedimentológicos analisados, as variáveis sedimento em suspensão e turbidez apontam forte a muito forte a correlação. A sensibilidade identificada nas oscilações das medidas de turbidez reflete-se diretamente na diminuição ou no aumento do volume de sedimentos quantificados para todas as bacias hidrográficas analisadas. A contribuição sedimentar das bacias mostrou-se diferente tanto nas comparações das análises mensais, quanto nas análises durante eventos pluviométricos extremos. A bacia Floresta apresentou regularidade hidrossedimentológica sempre com valores inferiores entre as variáveis turbidez e de sedimentos em suspensão. Notadamente, a bacia Pecuária apresentou aporte sedimentar bem mais alto em comparação à bacia Floresta, mesmo tendo área de contribuição inferior de 12 km². Anualmente, estimou-se que a bacia Pecuária produz, em média, 38,43% a mais de sedimento em suspensão, o que corresponde a 526,58 ton/ano e vazão média de 1,06 m³/s, em apenas 50% de sua área definida como uso da pecuária. Em se tratando de eventos pluviométricos significativos, os valores de sedimento em suspensão na bacia Pecuária também são considerados elevados, apresentando valores de 2.961,90 ton/ano e vazão de 3,06 m³/s em 21 de dezembro de 2014 e 1.721,23 ton/ano e vazão de 1,83 m³/s em 31 de janeiro de 2015, o que corresponde, respectivamente, a 35% e 53,7% a mais em relação à bacia Floresta.

Palavras-chave: Hidrossedimentologia, Bacias Pareadas, Pecuária, Sedimento em Suspensão.

ABSTRACT

This study aims to analyze the dynamics of sediment in suspension of paired basins the River Mutum-Paraná/RO based on the ratio rain- flow rate-sediment-turbidity, from the intensification the use and land cover. Therefore, it was used theoretical-methodological basis with geomorphological approach (integrator), the works of Tricart and Ab'Saber. It was held monthly monitoring hydrosedimentological parameters: flow, turbidity, collecting water samples for measurement of suspended sediments and collecting data rainfall. The results show regulation of parameters flow, turbidity and suspended sediment of three basins called Forest basin, basin Livestock and Mutum-Paraná basin. Among the hydrosedimentological parameters analyzed variables suspended sediment and turbidity indicate strong to very strong correlation. The Sensitivity identified in fluctuations in turbidity measurements are reflected directly in the reduction or increase of the volume of sediment quantified for all watersheds analyzed. The sedimentary basins contribution were different in both comparisons of monthly analysis as the analysis during extreme rainfall events. The Forest Basin presented Hydrosedimentological regularity, always with lower values of the variables turbidity and of suspended sediment. Notably, the livestock basin showed a much higher sediment yield compared to forest basin, even though lower catchment area of 12 km². Each year, it is estimated that livestock basin produces an average of 38.43% more suspended sediment, which corresponds to 526.58 tons/year and average flow rate of 1.06 m³/s in only 50% of its area set to use for the practice of livestock. In the case of significant rainfall events the sediment values in suspension are also considered high, with values of 2961.90 tons/year and flow 3.06 m³/s on December 21, 2014 and 1721.23 tons/year and flow 1.83 m³/s on January 31, 2015, representing respectively 35% and 53.7% more than in the forest basin.

Key words: Hidrosedimentology, paired basins, Livestock, sediment in suspension.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa de localização da área de estudo.....	19
Figura 02 – Mapa das grandes bacias do Estado de Rondônia.....	25
Figura 03 – Mapa de uso e cobertura da Terra das bacias.....	27
Figura 04 – Distribuições verticais teóricas de sedimentos em suspensão nos canais fluviais conforme granulometria.....	37
Figura 05 – Diagrama da distribuição da velocidade, concentração de sedimentos e da descarga sólida na seção transversal do rio.....	38
Figura 06 – Espacialização das oito estações pluviométricas utilizadas.....	43
Figura 07 – Seções utilizadas para o monitoramento hidrossedimentológicos.....	44
Figura 08 – Método de medição da meia seção.....	45
Figura 09 – Procedimento de filtragem em membranas de éster de celulose.....	48
Figura 10 – Mapa hipsométrico da área de estudo.....	58
Figura 11 – Distribuição das classes de declividade das bacias monitoradas.....	59
Figura 12 – Perfis topográficos das bacias.....	60
Figura 13 – Evolução das médias das precipitações das oito estações estudadas entre 1984 e 2004.....	63
Figura 14 – Média da precipitação entre 1984-2004 no Alto rio Madeira.....	64
Figura 15 – Gráfico de distribuição mensal das chuvas no Alto rio Madeira.....	64
Figura 16 – Espacialização das chuvas pelo método de interpolação <i>Krigagem</i> Ordinária.....	65
Figura 17 – Precipitação mensal acumulada da estação pluviométrica local 2013-2015.....	66
Figura 18 – Seções de medidas das vazões.....	67
Figura 19 – Valores de vazões registrados no ano de 2013-2015.....	69
Figura 20 – Relação precipitação X vazão no rio Mutum-Paraná.....	70
Figura 21 – Distribuição da turbidez entre os anos de 2013 e 2015.....	72
Figura 22 – Evolução anual da concentração de sedimentos em suspensão entre os anos de 2013 e 2015.....	75

Figura 23 – Relação das variáveis hidrossedimentológicas durante os anos de 2013-2015.....	78
Figura 24 – Relação dos parâmetros hidrossedimentológicos de forma horária da bacia Pecuária durante campo de novembro de 2014.....	80
Figura 25 – Relação dos parâmetros hidrossedimentológicos de forma horária da bacia Floresta durante campo de novembro de 2014.....	81
Figura 26 – Comparação dos parâmetros hidrossedimentológicos entre as bacias Floresta e Pecuária em novembro de 2014.....	82
Figura 27 – Relação dos parâmetros hidrossedimentológicos de forma horária da bacia Pecuária durante campo de dezembro de 2014.....	83
Figura 28 – Relação dos parâmetros hidrossedimentológicos de forma horária da bacia Floresta durante campo de dezembro de 2014.....	84
Figura 29 – Comparação dos parâmetros hidrossedimentológicos entre as bacias Floresta e Pecuária em dezembro de 2014.....	85
Figura 30 – Relação dos parâmetros chuva-vazão-sedimento-turbidez entre as bacias Floresta e Pecuária em dezembro de 2014.....	86
Figura 31 – Hidrograma do evento pluviométrico nos dias 20-21/12/2014 da bacia do rio Mutum-Paraná para fins de comparação.....	87
Figura 32 – Relação dos parâmetros hidrossedimentológicos de forma horária da bacia Pecuária durante campo de janeiro de 2015.....	88
Figura 33 – Relação dos parâmetros hidrossedimentológicos de forma horária da bacia Floresta durante campo de janeiro de 2015.....	89
Figura 34 – Comparação dos parâmetros hidrossedimentológicos entre as bacias Floresta e Pecuária em janeiro de 2015.....	90
Figura 35 – Relação dos parâmetros chuva-vazão-sedimento-turbidez entre as bacias Floresta e Pecuária em janeiro de 2015.....	91
Figura 36 – Hidrograma do evento pluviométrico nos dias 30-31/12/2015 da bacia do rio Mutum-Paraná para fins de comparação.....	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Intervalos de horizontais de medição.....	45
Quadro 02 – Síntese dos fatores ambientais da área de estudo.....	55
Quadro 03 – Parâmetro morfométricos das bacias.....	57
Quadro 04 – Síntese estatísticas da série histórica de pluviometria.....	62
Quadro 05 – Leituras de vazão nos anos de 2013 e 2015.....	68
Quadro 06 – Valores de vazão média e área das bacias.....	71
Quadro 07 – Leituras de turbidez nos anos de 2013, 2014 e 2015.....	71
Quadro 08 – Concentração de sedimentos em suspensão 2013-2015.....	74
Quadro 09 – Correlação entre as variáveis hidrossedimentológicas.....	76
Quadro 10 – Cálculos do aporte sedimentar em suspensão anual e por eventos c bacias pareadas (Floresta X Pecuária) do rio Mutum-Paraná.....	97

LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CPRM	Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico do Exército
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IID	Igual Incremento de Descarga
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
MDE	Modelo Digital de Elevação
NASA	National Aeronautics And Space Administration
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
PIC	Projeto Integrado de Colonização
PLANAFLORO	Plano Agropecuário Florestal de Rondônia
RADAMBRASIL	Radar do Brasil
SEDAM	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental
SIPAM	Sistema de Proteção da Amazônia
UHE	Usina Hidrelétrica
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZSEE	Zoneamento Sócio-Econômico e Ecológico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Contexto da Pesquisa.....	17
1.2. Localização	18
1.3. Justificativa	19
1.4. Hipótese e Objetivos.....	21
2. CONTEXTO GERAL DA REGIÃO DA ÁREA DA PESQUISA	22
2.1. Geologia.....	22
2.2. Geomorfologia.....	22
2.3. Solos	23
2.4. Vegetação	23
2.5. Clima	24
2.6. Aspectos Hidrográficos.....	24
2.7. Breve Contexto do Uso da Terra.....	25
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS.....	28
3.1. Contextualização Teórico-metodológica em Geomorfologia	28
3.2. Sistema e Escala em Geomorfologia.....	30
3.3. Geomorfologia Fluvial, Hidrossedimentologia e Bacias Pareadas.....	32
4. PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS.....	41
4.1. Levantamento Cartográfico.....	41
4.2. Coleta e Organização de Dados Pluviométricos	42
4.3. Medidas de Vazões	43
4.4. Coleta de Amostras de Água e Leitura de Turbidez.....	46
4.5. Quantificação de Sedimentos em Suspensão	47
4.6. Uso da Terra	48
4.7. Modelo Digital de Elevação	50
4.8. Fatores Morfométricos	50
4.9. Características do Relevo	52
4.10. Características da Rede de Drenagem	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	54

5.1. Síntese Comparativa dos Aspectos Físicos Mapeados	54
5.2. Análise Geomorfológica	56
5.3. Dados Pluviométricos.....	62
5.4. Monitoramento Mensal	66
5.4.1. Vazões	66
5.4.2. Turbidez.....	71
5.4.3. Sedimentos em suspensão.....	73
5.5. Relação Vazão–Turbidez–Sedimentos	75
5.6. Monitoramento de Eventos.....	79
5.6.1. Eventos (novembro de 2014).....	79
5.6.2. Eventos (dezembro de 2014)	82
5.6.3. Eventos (janeiro de 2015)	87
5.7. Aporte Sedimentar em Suspensão	92
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
REFERÊNCIAS.....	102
ANEXOS	113

1 INTRODUÇÃO

Entender a dinâmica dos processos erosivos, principalmente os que correspondem ao escoamento superficial e à dinâmica dos rios, é de suma importância, pois se trata de processos que afetam diretamente o cotidiano de boa parte da sociedade, seja ela urbana ou rural. A economia de regiões menos desenvolvidas depende, muitas vezes, de soluções simples e com baixo custo operacional, sendo que para propor alternativas de melhores usos de recursos se faz necessário o entendimento detalhado da complexidade ambiental, especialmente em regiões menos preparadas para eventos extremos, como enchentes e secas, caso da Amazônia brasileira.

A diversidade de rios na Amazônia propicia estudos cada vez mais complexos direcionados à hidrossedimentologia e que precisam ser detalhados e analisados de forma minuciosa. A abordagem geomorfológica para o entendimento da dinâmica hidrossedimentológica de bacias pareadas ainda é incipiente na região e, portanto, oportuna para o estudo do aporte sedimentar dos rios da Amazônia. Estudos comparativos, como no caso de bacias pareadas, conforme propõe este trabalho, tornam-se cada vez mais importantes para compreender a dinâmica da paisagem. O estudo de bacias pareadas envolve pelo menos duas bacias experimentais com características similares em termos geomorfológicos (declividade do terreno e aspecto), solos, área, clima e vegetação adjacente.

A produção, o transporte e a deposição de sedimentos em bacias hidrográficas representam um dos fatos mais notáveis e complexos do sistema ambiental, sendo resultado da ação contínua de forças endógenas e exógenas no processo de modelagem da superfície terrestre (OLIVEIRA, 2006).

A região que abrange a área de estudo localiza-se a noroeste do Estado de Rondônia, dentro da bacia do rio Mutum-Paraná, um importante contribuinte do rio Madeira, que se encontra em fase de transformação acelerada, impulsionada pelas Usinas Hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio. É uma região em constante modificação da paisagem, pois sofre direta e indiretamente com reflexos dos empreendimentos hidrelétricos.

Dessa forma, a abordagem sistêmica dentro do enfoque geográfico/geomorfológico se faz necessária para entender a dinâmica erosiva da região, bem como os problemas constituídos, sejam de caráter natural ou induzido/acelerado, incorporando-se, para tanto, o maior número de variáveis a fim de se construir uma análise mais totalizante do espaço.

A tese está vinculada e financiada junto ao projeto (em curso) “Análise da dinâmica hídrica quali-quantitativa para gestão de riscos ambientais na porção sul da Amazônia Ocidental”, aprovado junto à Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, no ano de 2010.

1.1 Contexto da Pesquisa

O complexo ambiental que envolve a bacia do Alto rio Madeira é muito dinâmico, tanto no quesito socioeconômico quanto natural. O rio Madeira nasce da junção entre os rios Beni e Mamoré, carreando grandes quantidades de sedimentos em suspensão e com grande volume líquido. As sub-bacias que compõem a bacia do rio Madeira contribuem para o aumento dessa carga sedimentar significativamente. A bacia do rio Mutum-Paraná, na qual se inserem as sub-bacias estudadas nesta pesquisa, detém boa parte da descarga sólida em suspensão e líquida.

Por conta da complexidade e vasta extensão territorial da área da pesquisa, encontramos dificuldades para o monitoramento contínuo, principalmente em função dos quesitos distância e acesso. Somente nos últimos 10 anos foram produzidos dados técnico-científicos relevantes, resultantes de estudos pontuais na bacia do rio Mutum-Paraná, impulsionados, especialmente, pelos complexos hidrelétricos de Santo Antônio e Jirau. Projetos de grande porte como os Complexos Hidrelétricos do rio Madeira preveem a geração de 3.150 megawatts a partir da Usina Hidrelétrica (UHE) de Santo Antônio, próxima da cidade de Porto Velho, e de 3.300 megawatts pela UHE de Jirau, projetada na região dos distritos de Mutum e Jaci-Paraná (FURNAS, 2005).

Alguns estudos desenvolveram competência no que diz respeito aos parâmetros químicos da água na bacia do rio Mutum-Paraná, principalmente com foco na quantificação de mercúrio (GUIMARÃES, 2009; LINHARES, 2009), além de

estudos relacionados à temática vulnerabilidade à erosão, conforme desenvolvido por Nunes (2012).

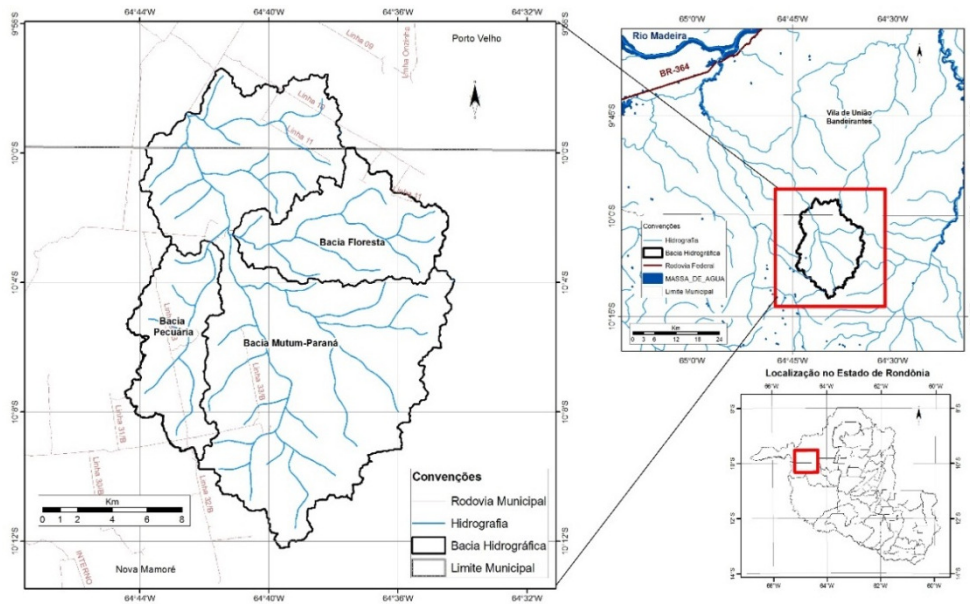
Atualmente, a região, que compreende as bacias experimentais neste estudo, é uma área em franca expansão territorial com taxas de desmatamento significativas e aumento considerado do rebanho bovino nos últimos anos. É cada vez mais marcante tal característica regional da consolidação de uma economia local com baixo custo econômico e considerada como de alto custo ambiental (NUNES, 2004).

Um dos grandes problemas que a região encontra é a falta de monitoramento dos parâmetros hidrológicos, com uma malha de monitoramento bem abaixo dos índices desejáveis e quase nenhuma série de registros. Justifica-se essa baixa densidade amostral em virtude das precárias condições de acesso à região, inviabilizando pesquisas acadêmicas e institucionais pelo alto custo financeiro.

1.2 Localização

As bacias estudadas estão situadas no extremo oeste do Estado de Rondônia, Brasil, abrangendo os municípios de Nova Mamoré e Porto Velho, dentro da bacia do rio Madeira, o qual está inserido na bacia Amazônica. No total, são três bacias analisadas, sendo a bacia do rio Mutum-Paraná (330,26 Km²) a que abrange e inclui as bacias definidas como Pecuária (43,26 Km²) e Floresta (55,90 Km²), conforme Figura 1:

Figura 01 – Mapa de Localização da área de estudo.



Fonte: Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM

A área de estudo está situada em zona de fronteira com a Bolívia, dentro da faixa limite de 150 km, sendo atravessada e margeada pelas BR-364 ao norte e BR-425 a oeste, respectivamente. O acesso para as bacias deu-se via estradas pavimentadas e não pavimentadas, com uma distância percorrida de 500 quilômetros, aproximadamente, para cada expedição de campo.

1.3 Justificativa

Partindo do pressuposto de que a bacia hidrográfica é a principal unidade de gestão ambiental, torna-se possível um melhor gerenciamento e aproveitamento dos recursos disponíveis, justificado pelo caráter sistêmico e de rede que a caracteriza. Os problemas que a região do Alto rio Madeira vem sofrendo acarretam em uma nova dinâmica socioambiental, o que necessita de estudos que abranjam a complexidade do meio ambiente e da organização espacial que se instala na região, principalmente no que se refere aos recursos hídricos, pois influenciam diretamente na vida da sociedade a montante e a jusante.

Singh (1995) considera que o processo dominante das grandes bacias são as redes de canais bem desenvolvidos e a fase canal, como a estocagem de água nos canais, acarretando menor sensibilidade às precipitações de curta duração e alta

intensidade. Entretanto, nas pequenas bacias – a que esse estudo se refere – predominam a fase de vertentes e o escoamento superficial, resultado da rede de canais ainda não desenvolvida e que é mais sensível às precipitações de curta e alta intensidade.

Assim sendo, em virtude da grandeza espacial das bacias estudadas, mais precisamente as denominadas Floresta e Pecuária, propõe-se trabalhar em escala de análise detalhada, que suprima a necessidade de entendimento da dinâmica dos sedimentos em suspensão e seus reflexos no ambiente fluvial.

Christofolletti (1999) descreve que, à medida que aumenta a grandeza espacial de uma bacia, há possibilidade de ocorrerem variações nas suas características internas, devendo-se levar em consideração a distribuição espacial desses aspectos, bem como as categorias de uso e cobertura do solo, que são fatores que influenciam diretamente nas características hidrológicas.

A intensificação do uso e da cobertura do solo por pastagem reflete diretamente na dinâmica hidrossedimentológica das bacias hidrográficas, especialmente em pequenas bacias. O aumento significativo do rebanho bovino propicia maior compactação dos solos, tornando proporcional a quantidade de sedimentos em suspensão transportada pelos canais fluviais. Entender o comportamento desse aumento e estimar as variações quantitativas dos sedimentos em suspensão em bacias pareadas, com tipologias de uso da terra diferenciadas, determinarão resultados comparativos para outras regiões tropicais, mas com características amazônicas.

A intervenção humana, através de atividades agrícolas, propicia a redução da infiltração de água no solo e, por conseguinte, o aumento do fluxo superficial, desencadeando, muitas vezes, o fluxo torrencial sob fortes chuvas (CASSETI, 2005; WATANABE, 2011; SCHULTZ; SIEFERT; SANTOS, 2013). Esses fatores acabam favorecendo a instalação de processos de erosão do solo que confere maior carga sedimentar ao fluxo de água no canal. Partindo da análise em áreas amostrais na bacia, a pesquisa tem por finalidade entender as respostas hidrossedimentológicas dos canais das bacias pesquisadas, contribuindo com as análises geomorfológicas, subsidiando as decisões para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos na Amazônia, em particular na Amazônia Sul Ocidental.

1.4 Hipótese e Objetivos

A predominância e intensificação do uso e cobertura da terra por pastagem em pequenas bacias da Amazônia – sub-bacias do rio Madeira – podem apresentar grandes incrementos nas taxas de sedimentos em suspensão, resultado da intensificação dos processos erosivos ao longo das bacias. A produção de sedimentos em suspensão está diretamente ligada à predominância do uso da terra, mas diferentemente intensificada de acordo com suas peculiaridades ambientais.

Assim, diante do ineditismo da região para um estudo de bacias pareadas para a determinação da variação da quantidade de sedimentos em suspensão, bem como da forma de abordagem da proposta do trabalho, a pesquisa adota como hipótese que a produção de sedimentos na região do Alto rio Madeira – sub-bacias do rio Mutum-Paraná – cresce aceleradamente devido à intensificação do uso da terra para a pecuária que, em um curto intervalo de tempo, modifica o comportamento hidrossedimentológico, em especial, na quantidade de sedimentos em suspensão dos canais fluviais.

O objetivo geral da pesquisa consiste em analisar o aporte de sedimentos em suspensão de bacias pareadas do rio Mutum-Paraná/RO com base na relação chuva-vazão-turbidez-sedimento, a partir da predominância do uso e da cobertura da terra. Para tanto, são necessários os objetivos específicos:

- △ Identificar o comportamento pluviométrico das bacias com série temporal e dados de estação pluviométrica;
- △ Quantificar os sedimentos em suspensão para cada bacia experimental do rio Mutum-Paraná e suas respectivas vazões;
- △ Correlacionar dados de vazão, turbidez e quantidade de sedimentos de cada bacia; e,
- △ Relacionar os dados hidrossedimentológicos dos canais monitorados com o relevo e o uso da terra de cada bacia.

2 CONTEXTO GERAL DA REGIÃO DA ÁREA DA PESQUISA

O mapeamento temático utilizado como referência descritiva dos componentes ambientais foi o Plano Agropecuário Florestal de Rondônia – PLANAFLORO (2001), na escala 1:100.000, visto que tal escala dos levantamentos representa, com maior detalhe, as características e as especificidades dos componentes ambientais.

2.1 Geologia

As sub-bacias estão inseridas, em predominância, no Supergrupo Gnaiss Jarú que contém ortognaisses de origem granítica, granodiorítica, tonalítica, charnockítica, enderbítica e charno-enderbítica. Os paragnaisses incluem biotita-gnaisses, kinzigitos, rochas calcissilicatadas; subordinadamente, ocorrem anfibólitos, metagabros e granitos de anatexiaemigmatitos. Apresenta rochas do proterozóico/mesoproterozóico e ocorrem em áreas aplanadas, com depósitos pouco espessos de sedimentos síltico-argilosos a argilosos, acinzentados a amarelados e com granodecrescência ascendente (QUADROS; RIZZOTTO, 2007).

Algumas partes das bacias apresentam lateritas imaturas que são desenvolvidas nos topos de perfis preservados, mostrando saprólito com mosqueado e feições de solução colunar e concrecionária-colunar. Estas feições se desenvolvem, quase que predominantemente, sobre rochas com alto conteúdo inicial de ferro e alumínio (RONDÔNIA, 2001).

2.2 Geomorfologia

O domínio geomorfológico predominante no Estado de Rondônia são as superfícies de aplanamento, com vastas e extensas superfícies aplanadas, e elaboradas por meio dos processos de pediplanação. Tais superfícies podem variar altimetricamente de 100 metros a 400 metros, principalmente na base de relevos residuais considerados como *inselbergs*.

As bacias em estudo apresentam dissecação elevada e nenhum ou esporádicos *inselbergs* e *tors* (agrupamento de morros) e correspondem ao conjunto de relevos com pouca expressão superficial. São consideradas como superfícies planas e seu aprofundamento dos vales é bem pequeno, normalmente inferior a 20 metros, sendo a densidade de drenagem caracterizada como alta e o padrão da drenagem do tipo dendrítico ou sub-dendrítico (RONDÔNIA, 2001).

2.3 Solos

No Estado de Rondônia, aproximadamente 46% do território é composto por latossolos, com diferenciações entre os latossolo amarelo, vermelho-amarelo e vermelho-escuro. Os latossolos vermelho-amarelos perfazem 13,6% de Rondônia e são os que as sub-bacias analisadas compõem.

Os latossolos vermelho-amarelos distróficos que compreendem solos minerais profundos (dificilmente inferiores a um metro), com horizonte B latossólico e estrutura granular, apresentam textura média a muito argilosa e relevo plano. Seu estágio de intemperização física denota boa permeabilidade e drenagem, bem como baixa fragilidade à erosão. Apresentam, também, limitações moderadas na produção sustentada para um determinado tipo de utilização. Assim, esta limitação reduz a produtividade e os benefícios, elevando a necessidade de insumos. Essa classe de solo apresenta saturação por base baixa ($v < 50\%$), o que significa baixa fertilidade potencial natural (BRASIL, 1978).

2.4 Vegetação

Quanto às classes vegetacionais, Rondônia apresenta, aproximadamente, 57,89% de sua extensão territorial coberta por Floresta Ombrófila e ocorrência da classe Floresta Ombrófila Aberta Submontana em torno de 48,9%. As Florestas Ombrófilas são florestas tropicais úmidas, pluviais, com dossel bem distinto, com indivíduos emergentes e sub-bosque estratificado. Sua ocorrência é predominante, principalmente, sobre latossolos, podzólicos, lateritas de idades variadas desde o quaternário, podendo ser abertas ou densas. Quando abertas mostram-se com dossel

descontínuo, permitindo ausência de área foliar entre 30 e 40%, além de poderem estar associadas a palmeiras, cipós e bambus. Já quando se apresentam densas, caracterizam-se com dossel contínuo, fechado e dominância de árvores na abóbada, sem associações codominantes (RONDÔNIA, 2001).

2.5 Clima

A Amazônia apresenta como principal característica climática o excesso de umidade quando comparada, principalmente, a outras regiões do Brasil. Rondônia, em particular, está sob influência da Massa de Ar Equatorial Continental (mEc), que se destaca como sendo um dos principais sistemas de circulação atmosféricos que, por sua vez, são resultados da convecção termodinâmica dos ventos de Nordeste (NE), do anticiclone dos Açores e da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT (SUDO, 1974; NIMER, 1989; RONDÔNIA, 2001).

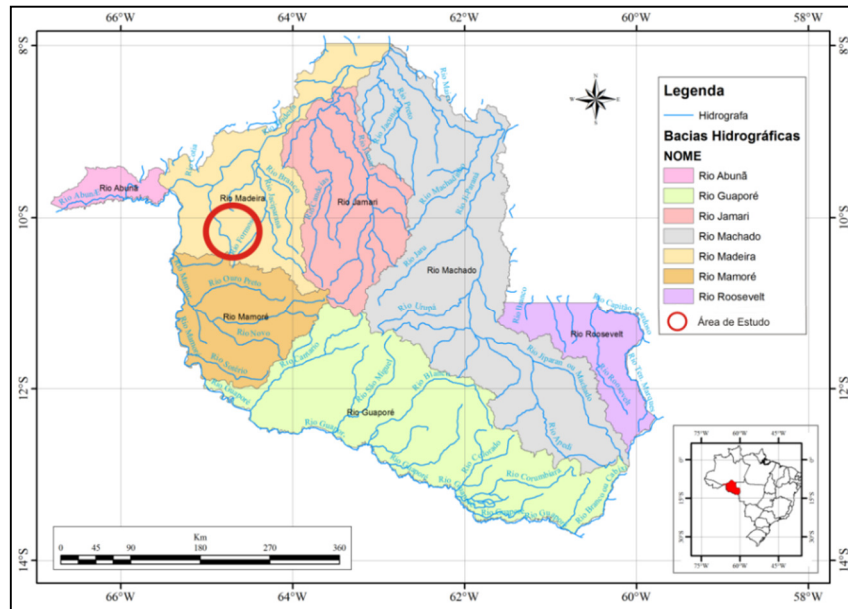
De acordo com a classificação de Köppen, o clima na região é definido como sendo Aw – clima tropical chuvoso onde as taxas de temperatura média do mês mais frio são superiores a 18°C (megatérmico) e um período seco bem definido durante a estação de inverno quando ocorre, no Estado, um moderado déficit hídrico com índices pluviométricos inferiores a 50mm/mês (RONDÔNIA, 2007). A área que compreende a região estudada possui variação de índices pluviométricos que podem variar de 1.800mm a 1.900mm anuais.

2.6 Aspectos Hidrográficos

De acordo com a divisão hidrográfica proposta pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército – DSG, a área de estudo está inserida na Região da bacia do Alto rio Madeira, que abrange boa parte do município de Porto Velho e é um dos principais contribuintes da bacia Amazônica, tanto em volume líquido quanto em sólidos em suspensão (RONDÔNIA, 2001). Comporta seis sub-bacias de grande porte dentro do Estado, sendo a Mutum-Paraná – na qual a área de estudo está inserida –,

Alto e Baixo Jaci-Paraná, Ribeirão, Alto Madeira e Médio Madeira, conforme Figura 02.

Figura 02 – Mapa das grandes bacias do Estado de Rondônia.



Fonte: Rondônia (2001).

O Estado de Rondônia possui, considerada a escala de 1:100.000, sete bacias hidrográficas principais e 42 sub-bacias, sendo que a maioria das sub-bacias tem a forma alongada e padrão de drenagem dendrítico. A rede hidrográfica da área da pesquisa apresenta médio controle estrutural com tendência do direcionamento dos principais canais de Sul para Norte, como no caso da bacia do rio Mutum-Paraná e Alto e Baixo Jaci-Paraná, contempladas na área de estudo (Figura 02).

2.7 Breve Contexto do Uso da Terra

A dinâmica de ocupação do Estado de Rondônia e o uso que se estabeleceu modificaram a paisagem e, conseqüentemente, desconfiguraram o sistema ambiental. A lógica de ocupação da área de estudo segue o padrão estabelecido no restante do Estado, a chamada “espinha de peixe”, cuja característica principal é a abertura de estradas bidirecionais (no formato da estrutura de peixe), implantado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA, o que causou muitos problemas ambientais, bem como a má utilização dos recursos naturais.

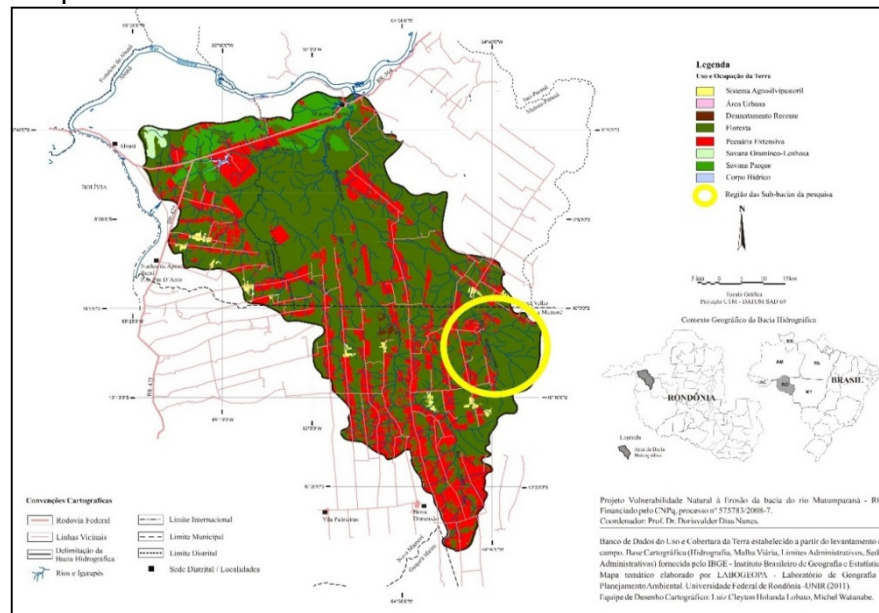
Ao tratar do processo de ocupação do Alto rio Madeira e, mais especificamente, da bacia do rio Mutum-Paraná, na qual se localizam as sub-bacias analisadas, devemos fazer uma contextualização a partir do início da década de 1970, referente aos Projetos Integrados de Colonização (PICs) para o Estado de Rondônia.

Os PICs são caracterizados como áreas destinadas à faixa de população de baixa renda, em especial a agricultores sem-terra e, de preferência, àqueles que possuem maior força de trabalho familiar. O INCRA identifica e seleciona os beneficiários, localiza-os nas parcelas por ele determinadas, fornece a infraestrutura básica e, por meio dos órgãos responsáveis, em nível nacional, regional, estadual e/ou municipal, implementa as atividades relativas à assistência técnica creditícia, à comercialização, saúde e educação, ao mesmo tempo em que deve montar o sistema cooperativo, para facilitar a organização socioeconômica dos parceiros (SCHRODER, 2008).

A principal característica dos PICs é que possuíam, no máximo, 100 hectares e, em Rondônia, foram criados cinco Projetos Integrados de Colonização: PIC Ouro Preto (1970), PIC Sidney Girão (1971), PIC Gy-Paraná (1972), PIC Paulo Assis Ribeiro (1973) e PIC P e Adolpho Pohl (1975) (MATIAS, 2001).

O resultado de toda essa compartimentação dos modos de pensar as áreas do Estado definiu o atual cenário para a região, conforme Figura 03. Com o uso predominante da pecuária, a região é marcada por índices erosivos considerados altos, com perdas de solo que podem chegar 0,937 ton/ha/ano (WATANABE, 2011). Conforme estudos voltados para o Alto rio Madeira, nota-se que na região da área de estudo a expansão da atividade madeireira, seguida pela instalação de atividades agropecuárias, é o que atualmente caracteriza a economia e a paisagem da região (Figura 03).

Figura 03 – Mapa de uso e cobertura da terra das bacias.



Fonte: Nunes (2012).

As características antrópicas das paisagens que se encontram na área de estudo são resultado da variação política e econômica do Estado. A opção pela pecuária na Amazônia, dentre vários fatores como a disponibilidade de terras baratas, o aumento nas exportações e os subsídios em créditos pelo governo, faz da atividade o principal e seguro investimento devido à facilidade e garantias de venda (MARGULIS, 2003).

De acordo com Cavalcante (2008), a pecuária avança do sul em direção ao norte do Estado de Rondônia, migrando, principalmente, para boa parte da bacia do rio Mutum-Paraná. A variação do efetivo bovino acontece no intervalo de 10 anos, entre os anos de 1995 e 2005, em virtude do estabelecimento da soja no sul do Estado.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS

3.1 Contextualização Teórico-metodológica em Geomorfologia

Na busca de uma abordagem adequada que possa abranger toda a pesquisa de forma integrada e que se utiliza da complexidade de dados a serem aplicados, verificou-se que a abordagem geomorfológica é a mais adequada para subsidiar a pesquisa. Encontra-se na geomorfologia o apanhado de critérios para subsidiar a pesquisa, podendo abranger as questões sistêmicas e integrativas, envolvendo bacias hidrográficas e, especificamente, seu aporte sedimentar. Dentre os elementos integradores, são relevantes, no contexto da pesquisa, os aspectos geomorfológicos, hidrológicos, hidrossedimentológicos, climáticos, biogeográficos e antrópicos.

Abreu (1983), em sua descrição e análise crítica sobre a epistemologia geomorfológica, estrutura duas linhas epistemológicas distintas: a anglo-americana e a alemã. Apesar da divergência de ideias das duas linhas de pensamento, estruturou-se para cada um dos diversos segmentos que possibilitaram o desenvolvimento de novas teorias e formas de pensamento mais integradas.

A linha epistemológica anglo-americana em geomorfologia surge com influência da geologia, em que Davis (1899), o principal precursor, estabelece um modelo teórico explicando as formas do relevo como algo progressivo e cíclico, passando pelas etapas de juventude, maturidade e senilidade. No geral, valoriza-se o tempo e enfatizam-se os processos fluviais correlacionando-os à esculturação do relevo, sem muita importância para fatores externos como as questões climáticas. Entre 1930 e 1940 essa linha passou a incorporar técnicas de quantificação para alguns fenômenos, dentre elas as análises espaciais de bacias hidrográficas e do sistema do relevo. Os principais descendentes dessa linha foram: R. E. Horton, A. N. Strahler, C. H. Crickmay, J. T. Hack, R. J. Chorley e R. L. Shreve.

A linha alemã tem origem a partir da postura que grandes naturalistas já haviam esboçado desde os fins do século XVIII, como Humboldt e Goethe. Os destaques desta linha em geomorfologia são Friedrich von Richthofen e Albrecht Penck. Richthofen, em 1886, publicou o primeiro manual de geomorfologia moderna com objetivo de destacar estudos de caráter empírico-naturalistas. Já Penck, destaca-se

em dois momentos: em 1894 passa a valorizar as representações do relevo utilizando a cartografia geomorfológica e, em 1924, integra o clima como responsável pela morfogênese diferencial, resultante dos processos endógenos e exógenos.

Considera-se, portanto, que a linha alemã promoveu, sob a tutela da geomorfologia regional, a descoberta de que as variações climáticas influenciam consideravelmente na erosão e na transformação do modelado, surgindo, assim, a geomorfologia climática. Os principais autores que se destacam, após as considerações de Penck e Richthofen, são: J. Büdel e W. Köppen, com suas contribuições à Geomorfologia Climática, e S. Passarge com postura voltada à Cartografia Geomorfológica. Outros autores também têm certo destaque, como: I. P. Gerasimov (década de 1940), J. P. Mercerjakov (década de 1960), M. Klimaszewski (década de 1960), Basenina e Trescov (década de 1970), dentre outros.

King, durante a década de 1950, com a teoria da pediplanação traça um caminho diferenciado em relação a outros autores da corrente anglo-americana, por incorporar o pensamento penckiano. A característica do autor é de integração das ideias e descarte de algumas proposições determinísticas de ambas as correntes, buscando uma integração entre os modelos e aceitação.

A tendência conceitual estabelecida no Brasil tem como ponto inicial o trabalho de A. N. Ab'Saber, com sua obra lançada em 1969 intitulada: "*Conceito de Geomorfologia a Serviço das Pesquisas sobre o Quaternário*". Trata-se da incorporação de formas de pensamento de origem germânica, mesmo estabelecendo algumas pontes com a geomorfologia anglo-americana. O autor aborda, ainda, alguns níveis que considera importantes na metodologia dos trabalhos de geomorfologia, com destaque para: compartimentação topográfica e a caracterização e descrição das formas do relevo para cada divisão; obtenção de informações sistemáticas sobre a estrutura superficial das paisagens, além de observações dos aspectos geológicos, geomorfológicos e pedológicos dos compartimentos; e, estudo dos processos morfoclimáticos e pedogenéticos atuais, buscando compreender suas relações.

Libault (1971) destaca que a utilização de materiais cartográficos é de extrema importância para análises e correlações de variáveis ambientais. Outro autor de destaque é Tricart (1977), o qual enfatizou que a adoção do conceito de Ecodinâmica, como forma de abordagem, permite a análise dos diversos componentes ou variáveis de um determinado ambiente e suas relações, dando maior ênfase à morfodinâmica

que, por sua vez, está relacionada à produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica. Desse modo, tempo e espaço estão sendo abordados de maneira multi-escalar, combinando em vários aspectos com a abordagem geomorfológica, considerada neste trabalho.

As propostas geomorfológicas de Ab'Saber (1969) e Tricart (1977) foram utilizadas como norteadoras do projeto de tese, seguindo o seguinte plano: levantamento e caracterização dos dados do meio físico (geologia, geomorfologia, pedologia, clima e vegetação) para entender como funciona o sistema ambiental; levantamento de dados do meio antrópico (mapeamento de uso da terra e sua evolução); análise e correlação de dados; ilustração por meio da cartografia das informações obtidas e geradas; estudo dos processos morfodinâmicos, hidrológicos e hidrossedimentológicos (utilizando o monitoramento de pontos de controle); e, determinação de sedimentos em suspensão para cada bacia analisada.

3.2 Sistema e Escala em Geomorfologia

A partir do desenvolvimento da Teoria Geral dos Sistemas desenvolvida por Ludwing von Bertalanffy, em 1937, o conceito de sistema foi se incorporando aos estudos de geografia física, deixando de ser meramente esboçada qualitativamente, passando a ter dados quantitativos e sistemáticos dos elementos naturais. Por sua vez, a teoria geral dos sistemas é definida como uma ciência geral da totalidade, podendo ser considerada como uma disciplina lógico-matemática indicando alguns propósitos: a) há uma tendência geral no sentido da integração nas várias ciências, naturais e sociais; b) esta integração centraliza-se em uma teoria geral dos sistemas; c) esta teoria pode ser um importante meio para alcançar uma teoria exata nos campos não físicos da ciência; d) desenvolver princípios unificadores que atravessam verticalmente o universo das ciências individuais; e, e) condução à integração necessária na educação científica (BERTALANFFY, 1993).

Um sistema é um conjunto estruturado de objetivos e/ou atributos. Esses objetos e atributos consistem de componentes ou variáveis (isto é, fenômenos que são passíveis de assumir magnitudes variáveis) que exibem relações discerníveis um com os outros e operam conjuntamente como um todo complexo, de acordo com determinado padrão (CHORLEY; KENNEDY, 1971 *apud* CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 5).

Na geomorfologia, a teoria geral dos sistemas foi incorporada através dos trabalhos de Strahler (1950), Hack (1960) e intensificada por Chorley (1962). A abordagem dos parâmetros morfométricos por esses autores foi bastante intensificada e gera, até hoje, um vasto segmento no que tange ao desenvolvimento de técnicas de mensurações morfométricas, com pequenas pontes entre suas correlações com os processos humanos. Resumidamente, é a quantificação dos parâmetros morfológicos determinados, matematicamente, com modelos cada vez mais precisos.

A utilização de análises morfométricas com base nos autores citados acima se intensifica tanto em caráter nacional, quanto internacional. Análises que envolvem a determinação, a classificação e as medidas de parâmetros morfométricos da superfície ganham muito destaque, principalmente no âmbito de bacias hidrográficas. Primeiramente, pela concepção de bacia hidrográfica como sistema e, segundo, pela variação multi-escalar em que se pode obter determinados parâmetros para análise.

A escala é muito importante na aplicação de uma abordagem analógica – extrapolativa. Quanto mais longo for o espaço de tempo e maior a área, menos precisas serão as previsões ou pós-visões, para o futuro ou passado, baseadas sobre o presente (SCHUMM, 1985 *apud* KOHLER, 2001, p. 21).

Por isso optou-se por uma análise geomorfológica integrada (TRICART, 1965), ao considerar as afirmativas de Christofolletti (1980), que destacou o caráter sistêmico da bacia hidrográfica, caracterizando-a como um sistema aberto que recebe influência de outros subsistemas como o substrato geológico, pedológico e climatológico. Ressalta-se a importância na determinação da escala de análise, compreendida como espaço-temporal (KOHLER, 2001), pois mesmo tratando especificamente do transporte de sedimentos em suspensão, para fins de comparação entre bacias pareadas, o presente trabalho utiliza-se de outros elementos que envolvem o relevo para compreensão dos processos e seus reflexos nos canais analisados.

Um rio é um elemento do sistema hidrográfico, mas pode ser concebido como um sistema em si mesmo; a vertente é elemento no sistema da bacia de drenagem, mas pode ser sistema em si mesmo [...]. Conforme a escala que se deseja analisar, deve-se ter em vista que cada sistema passa a ser um subsistema (ou elemento) quando se procura analisar a categoria de fenômenos em outro nível de abordagem, estabelecendo interpenetração e alinhamento hierárquico (CHRISTOFOLLETTI, 1977, p. 13).

Conforme Christofolletti (1980), o tamanho, a correlação e a causalidade são as características principais das estruturas de um sistema: o tamanho sendo determinado pelo número de unidades que o compõe; a correlação mostrando o modo de

relacionamento entre as variáveis; e a causalidade ditando a variável independente e a dependente. Constitui, assim, o estudo em bacias hidrográficas como abrangente das características principais nos estudos sistêmicos.

A bacia hidrográfica é uma unidade de investigação no campo da Geografia Física e Geomorfologia, sendo definida pela área da superfície terrestre drenada por um rio principal e de seus tributários, sendo limitada pelos divisores de água, composta por microbacias e diferentes ecossistemas. Seus limites territoriais quase sempre não coincidem com as delimitações político-administrativas dos municípios, de modo que uma mesma bacia pode ser compartilhada por diferentes países, estados ou municípios (CUNHA; GUERRA, 2003).

A transformação do relevo pela ação do homem causa, em pouco tempo, a modificação do espaço, afetando diretamente a quantidade e a qualidade das águas, promovendo novos dinamismos ao espaço, muitas vezes reconfigurando-os, perdendo a originalidade e a capacidade de determinadas funções. Desse modo, Christofolletti (1980) constata a importância da escala que se pode empregar em determinados estudos de cunho geomorfológico envolvendo bacias hidrográficas, pois, de acordo com a escala, os fenômenos poderão apresentar maior ou menor importância.

3.3 Geomorfologia Fluvial, Hidrossedimentologia e Bacias Pareadas

A geomorfologia fluvial permite o entendimento de diversos elementos que consistem nos processos hidrológicos e hidrossedimentológicos, como a dinâmica do escoamento fluvial e o transporte de sedimentos. Ao considerar um rio, é imprescindível identificar os elementos e suas variações estabelecidas no tempo, principalmente na identificação e na caracterização das formas do relevo.

Considerando as peculiaridades de cada região, pode-se aferir o grau da complexidade do sistema fluvial, uma vez que os rios são poderosos agentes geomorfológicos capazes de erodir, transportar e depositar elementos (CHRISTOFOLETTI, 1981). Cada etapa de formação de um rio está associada à morfogênese do relevo, o que pode determinar o maior ou o menor grau de intensidade de processos-respostas das componentes hidrológicas, como o sistema

morfológico de canais, vertentes, planícies de inundação e a dinâmica da descarga líquida e sólida (PIÉGAY; SCHUMM, 2003).

O resultado do escoamento superficial acaba diretamente no canal fluvial, incidindo em um novo processo dentro da escala de um novo sistema ou subsistema. Piégay e Schumm (2003) definem o sistema fluvial como um sistema de processo-resposta de caráter complexo e passível de adaptações. O comportamento hidrológico de sistema fluvial dependerá, portanto, da sua extensão e das características endógenas e exógenas. Assim sendo, o escoamento fluvial apresentará variações tanto no escoamento pluvial, quanto no escoamento subsuperficial (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Ao considerar as variações sazonais, Beckinsale (1973) aponta que a dependência do escoamento superficial de uma bacia hidrográfica está relacionada diretamente aos fatores físicos como clima, geologia, solos, geomorfologia e cobertura vegetal. As alterações da superfície da bacia, como cortes e terraplanagem, além da modificação da cobertura vegetal, têm impactos significativos sobre o escoamento fluvial, alterando o comportamento das enchentes, nas vazões mínimas e na vazão média, principalmente em bacias de pequeno porte, pois reagem rapidamente às chuvas mais intensas (TUCCI, 2001; BECKINSALE, 1973).

Desse modo, a erosão atua como um dos principais fenômenos geológico-geomorfológicos que ocorre na Terra e se processa de várias formas considerando seu ambiente de ocorrência, podendo ser acelerada ou induzida, sendo assim muito mais rápida que a natural, primeiramente como resultado da influência das atividades do homem ou, em alguns casos, de animais (SILVA et al., 2004). A erosão em ambiente tropical é causada, principalmente, pela ação da precipitação associada ao impacto das gotas de chuva e pelo escoamento. O poder de dispersão e de transporte é determinado pelo efeito de desagregação da gota de água, pela quantidade e velocidade do escoamento e, em último lugar, pela resistência do solo à desagregação e ao movimento.

Além do uso e da cobertura da terra empregados, as perdas de solo são influenciadas pela magnitude dos escoamentos e pela capacidade limite de absorção de água dos solos. Desse modo, ao ultrapassar tal limite, o excesso de água da chuva no solo escoar independentemente do sistema de manejo empregado. Isso ocorre especialmente sob chuvas de longa duração – portanto, de elevado volume – as quais

saturam o solo e, assim, produzem grandes enxurradas (BERTOL, 1994; MORAIS; COGO, 2001; MELLO et al., 2003). Tal situação caracteriza-se, desta maneira, em função de que o solo é formado por um conjunto de corpos naturais tridimensionais, resultantes da ação integrada do clima e de organismos sobre o material de origem condicionado pelo relevo em diferentes períodos de tempo, o qual apresenta características que constituem a expressão dos processos e dos mecanismos dominantes na sua formação (GUERRA; CUNHA, 1996).

Duley (1939) já enfatizava a preocupação quando se utilizavam métodos convencionais de manejo do solo e da terra, que mobilizam totalmente a superfície e ocasionam rugosidade superficial relativamente elevada, notando um aumento da porosidade total da camada preparada e, num curto espaço de tempo, predispondo a superfície do solo ao selamento superficial, favorecendo a etapa do transporte de sedimentos. A etapa de transporte de sedimentos está associada a diversos elementos que compõem o sistema hidrológico, podendo variar mesmo em condições ambientais similares. As respostas do processo de transporte são encontradas nas cargas dos rios que, por sua vez, são compostos por material dissolvido, em suspensão e do leito (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Entendendo o rio como um sistema aberto com partes inter-relacionadas nas quais fluem matéria e energia, a busca por um equilíbrio torna-se constante entre as variáveis hidrossedimentológicas (CHORLEY, 1962). As constantes alterações no ambiente de bacias hidrográficas afetam diretamente esse sistema aberto, acarretando mudanças nos elementos do ambiente fluvial como magnitude e frequência dos fluxos no transporte de sedimentos em suspensão, a geometria dos canais fluviais e o perfil longitudinal podem determinar a quantidade de sedimento em suspensão transportada.

Mesmo apresentando superfícies e tamanhos idênticos ou similares, Tricart (1960) destacou que duas bacias podem apresentar vazões bem diferentes, justificado pelo tipo de solo e pela estrutura geológica. As quantidades de sedimento em suspensão podem apresentar grandes diferenças em virtude da predominância ou ausência de cobertura vegetal que promova um retardo na infiltração e, conseqüentemente, controle no escoamento superficial (BECKINSALE, 1973).

A magnitude e a frequência dos fluxos no transporte de sedimentos são elementos cujas características podem determinar grandes taxas de sedimentos

transportados, principalmente no quantitativo de sedimentos em suspensão. De acordo com Christofolletti (1981), 50% da carga sedimentar de um rio pode ser transportada por fluxos que ocorrem poucas vezes durante o ano, especialmente no que tange a eventos pluviométricos significativos. As características dos fluxos dos canais fluviais também podem influenciar na variação da carga sedimentar; quando o fluxo caracteriza-se como turbulento, as linhas de fluxo flutuam de velocidade excedendo determinado valor crítico, ou seja, desenvolve-se quando a velocidade excede os limites da força viscosa.

Os destaques para fatores que podem afetar a velocidade crítica são a profundidade e a rugosidade do canal (BIGARELLA, 2003). Importante destacar que, nos rios estudados, os fluxos turbulentos apresentam grande variação, principalmente após eventos pluviométricos significativos, com mudança na cor, na turbidez e no fluxo de sedimento em suspensão. Também podem apresentar oscilações de acordo com a sazonalidade regional, com reflexos diretos no volume líquido escoado e na quantidade transportada de sedimentos em suspensão.

A variação de velocidade da água em um rio pode ser bem alta, oscilando em todos os três sentidos: vertical, transversal e longitudinal. Todavia, as velocidades são inferiores nas laterais (margens) e fundo do canal, e mais concentradas na superfície. Neste sentido, as velocidades mínimas estão próximas ao leito em virtude das forças de cisalhamento, enquanto as máximas estão mais próximas da superfície (CHRISTOFOLETTI, 1981; CARVALHO, 2008).

Assim, a geometria dos canais refletirá o equilíbrio entre diversos fatores inter-relacionados. Um deles é o fator carga sedimentar, que pode atuar independentemente dentro do canal, pois é controlado/intensificado por elementos externos como litologia, relevo e clima. Já o declive do canal é um fator dependente, isto é, passa a ser ajustado aos processos atuantes dentro do canal (BIGARELLA, 2003).

Tal dinâmica ao longo dos cursos d'água resultará em diferenças em seu perfil longitudinal que, por sua vez, também é influenciado por diversos fatores, entre eles o volume e a carga da corrente, tamanho e peso da carga, declividade, dentre outros (BIGARELLA, 2003). Neste caso, o equilíbrio depende da atuação maior ou menor desses fatores, proporcionando variabilidade em diversos trechos do canal, podendo

apresentar maiores áreas de deposição e sem grande turbulência no fluxo, bem como trechos com maior velocidade de fluxo, declividade acentuada e pouca rugosidade.

Conforme Suguio e Bigarella (1990), coberturas vegetais pouco desenvolvidas facilitam o aumento do escoamento superficial, carreando muitos detritos ao sistema fluvial e modificando consideravelmente o equilíbrio do rio. Promove o decréscimo da concentração média de sedimentos no percurso do rio, apresentando as maiores diferenças à jusante, além do aumento do fornecimento de detritos por unidade de área em pequenas bacias (CHRISTOFOLETTI, 1981).

De acordo com Leopold e Maddock (1953 *apud* CHRISTOFOLETTI, 1981), a geometria hidráulica é decisiva para a definição e caracterização das tipologias dos canais fluviais. Os autores definem que sob condições de débito e largura constantes dos rios, a ascendência da velocidade do fluxo líquido do canal promoverá o acréscimo da carga sedimentar em suspensão e leito. Enquanto que, em relação à velocidade e descarga constantes, o aumento da largura do rio se associará com a diminuição na carga sedimentar, principalmente dos sedimentos em suspensão, além do aumento na carga do leito.

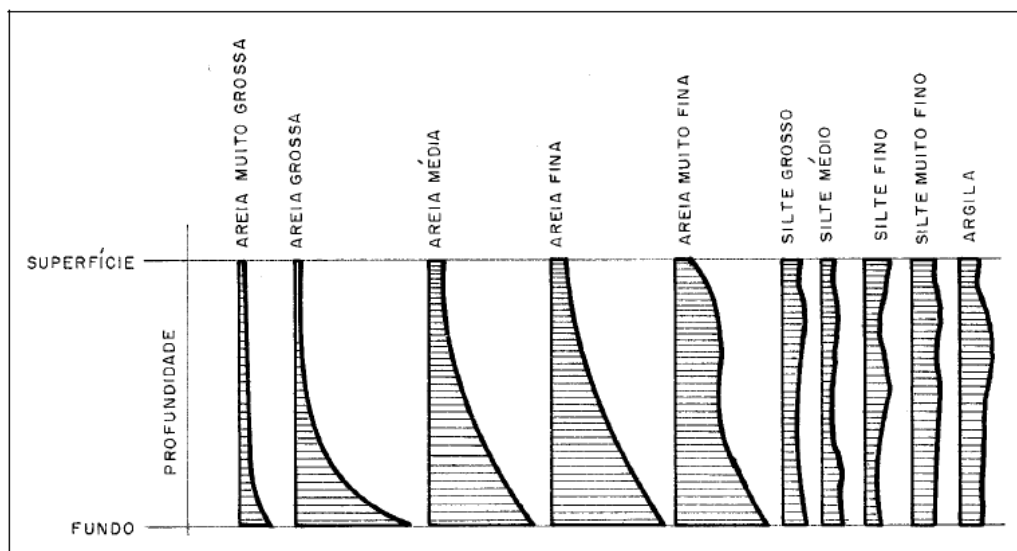
Conforme classificação dos rios, os mesmos podem ser: efêmeros, cuja característica é a de manter seu regime apenas durante e após eventos pluviométricos, não recebendo contribuição do lençol subterrâneo; intermitentes, que se caracterizam com água em certos períodos do ano e seco em outros; e perenes, mantendo fluxo de água permanente em seu canal, mesmo reduzido no período de estiagem, sendo alimentados por um fluxo mais ou menos estável procedente do lençol freático.

A quantidade de sedimentos transportada por um rio pode apresentar variações no que tange a vazão, caracterizada com o aumento de fluxo líquido e pico de concentração de sedimentos atrasado, simultâneo e adiantado (CARVALHO, 2008). Duas forças que atuam para a movimentação de partículas de sedimentos podem ajudar a explicar tal dinâmica: soerguimento e turbulência. Ambas atuam simultaneamente, mas com intensidades diferentes que podem caracterizar o transporte de sedimentos por saltação com maior atuação da força de soerguimento e transporte em suspensão com maior atuação da força de turbulência (CHRISTOFOLETTI, 1981).

As diferenças na densidade dos materiais, bem como o tamanho e a forma são características que determinam a maior facilidade do material ser transportado. Materiais mais grosseiros como o cascalho tendem a se movimentar apenas com um aumento considerável da vazão, enquanto que materiais mais finos como areias, silte e argila não necessitam exclusivamente do aumento do fluxo. Entretanto, mesmo sendo finos, silte e argila também apresentam resistência à remoção dos leitos em função das forças coesivas e fraca rugosidade, diferenciando das areias que apresentam maior facilidade na movimentação (SUGUIO; BIGARELLA, 1990).

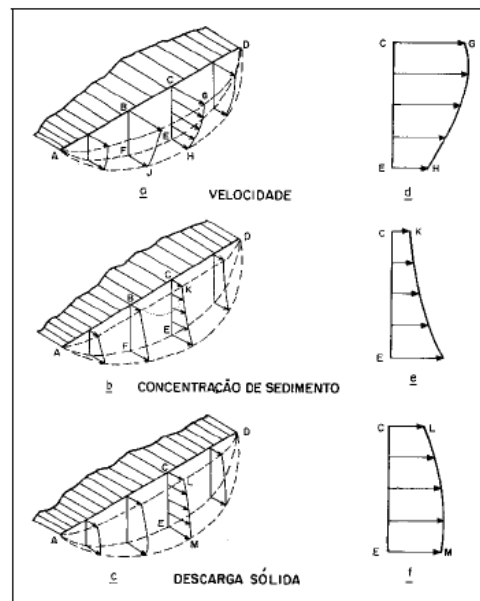
A distribuição dos sedimentos carregados no rio é de acordo com a atuação e a intensidade das forças de atuação dos fluxos. A distribuição vertical dar-se-á de acordo com a granulometria do material, ou seja, quanto mais próximo ao leito maior há quantidade de material mais grosseiro, como as frações de areias, e quanto mais próximo à superfície, maiores as concentrações de silte e argila (Figura 04). Enquanto que a distribuição transversal, conforme a Figura 05, terá variação de acordo com a granulometria dos sedimentos em suspensão e da velocidade do fluxo hídrico (SANTOS et al., 2001; CARVALHO, 2008).

Figura 04 – Distribuições verticais teóricas de sedimentos em suspensão nos canais fluviais conforme granulometria.



Fonte: Carvalho (2008).

Figura 05 – Diagrama da distribuição da velocidade, concentração de sedimentos e da descarga sólida na seção transversal do rio.



Fonte: Carvalho (2008).

Verificou-se que diversos estudos (BATALLA, 2006; OLIVEIRA, 2006; VANACKER et al., 2007; VERICAT; BATALLA, 2006, SOLER; LATRON; GALLART, 2008; ESTRANY; GARCIA; BATALLA, 2009; LÓPEZ-TARAZÓN et al., 2010; DUVERT et al., 2010; TENA et al., 2011) tratam da comparação de bacias hidrográficas com as mesmas características físicas, com termos e conceitos desenvolvidos para tais análises. Assim, optou-se, para este trabalho, pela análise de bacias pareadas, termo já discutido e desenvolvido em diversas partes do globo, como os trabalhos de Bosch e Hewlett (1982), Bruijnzeel (1990), Stednick (1996), Vertessy (2000), entre outros. Entretanto, para a Amazônia, poucos estudos são desenvolvidos em bacias pareadas com enfoque geomorfológico, mas têm-se estudos específicos que unem técnicas para análise e avaliação de processos erosivos, conforme trabalhos de Fearnside (1989), Silva Filho (2009) e Watanabe (2011).

Tricart (1960) destaca que, em bacias pareadas apresentando características similares entre os fatores físicos, o comportamento de fatores hidrológicos e hidrossedimentológicos pode apresentar alterações, principalmente no que diz respeito à vazão. Sendo assim, a hidrologia deve apoiar-se incondicionalmente sobre uma análise mais detalhada de todas as características físico-geográficas da bacia, apontando qual é a variável dependente e a independente. O estudo de bacias pareadas envolve, nas duas bacias experimentais, características similares em termos

de declividade, aspecto, solos, área, clima e vegetação adjacente ou na proximidade de ambas (BROWN et al., 2005).

Trabalhos que envolvam a quantificação de sedimentos e comparação para determinados usos e coberturas da terra (BOSCH; HEWLETT, 1982; BRUIJNZEEL, 1990; HORNBECK et al., 1993; STEDNICK, 1996; VERTESSY, 2000) são cada vez mais utilizados para estudos hidrossedimentológicos em diversos países. São experiências que envolvem quatro categorias de análise: utilizando reflorestamento, rebrota, desmatamento e florestas de conversão. Tais análises do aporte sedimentar, juntamente com sua distribuição espaço-temporal envolvendo os tipos de vegetação e uso e cobertura da terra, mostram a importância de se considerar os estudos hidrossedimentológicos.

A Europa, por sua vez, apresenta grande número de publicações envolvendo o estudo do aporte sedimentar de bacias pareadas. Na França, Piégay et al. (2004) e Rodrigues et al. (2007) mostram importantes contribuições na quantificação de sedimentos em suspensão e o comportamento dos canais fluviais na mudança da vegetação. Na Itália, Frangipane e Paris (1994) e Gentile et al. (2010) trazem algumas contribuições com bons períodos de dados monitorados, na variação e na dinâmica do transporte de sedimentos em suspensão. Na Espanha, de acordo com a literatura encontrada, os estudos são mais variados, tanto na escala de análise quanto na quantidade de bacias analisadas simultaneamente. Batalla e Sala (1994) destacam a dificuldade na obtenção de dados das cargas sedimentares na região, o que não é diferente em outras regiões do globo terrestre. Entretanto, mesmo com tamanha deficiência nas informações, pode-se trabalhar com escalas espaço-temporais diferenciadas, conforme estudos de Vericat e Batalla (2006), Soler, Latron e Gallart (2008), Estrany, Garcia e Batalla (2009), López-Tarazón et al. (2010) e Tena et al. (2011).

Também se verificou literatura na Austrália, com destaque para estudos publicados no Simpósio da *International Association of Hydrological Sciences I – AHS*, de 1994. Wasson (1994) faz uma avaliação da variação anual da produção de sedimentos na Austrália, bem como comparações a nível global. Outros estudos australianos, como os de Olive et al. (1994) e Yu e Neil (1994), também mostram contribuições na variação espaço-temporal da produção de sedimentos em áreas

montanhosas da região. Brown (2005) avalia as mudanças na produção de água em virtude de alterações na vegetação.

Em outros países como a China, com estudos de Gangyan e Zhian (1994), na Noruega com Bogen, Berg e Sandersen (1994), na Suíça com Spreafico e Lehmann (1994) e na Áustria com Eder et al. (2010), também desenvolveram investigações envolvendo a quantificação de sedimento em suspensão e salientaram a importância dos usos e cobertura da terra na variação das taxas de sedimentos em suspensão dos canais fluviais.

No continente americano verificam-se trabalhos pontuais com estudos da concentração de sedimentos em suspensão no sul do Equador e no Planalto Central do México (VANACKER et al., 2007; DUVERT et al., 2010). No Brasil, o desenvolvimento de estudos hidrossedimentológicos é cada vez maior, com destaque para trabalhos de Carvalho et al. (2000; 2007), Santos et al. (2001) e Oliveira (2006).

4 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

De acordo com a proposta metodológica, a pesquisa foi organizada em quatro etapas, executadas em momentos específicos e simultaneamente: (1) levantamentos bibliográficos e cartográficos (formatos raster e vetorial); (2) trabalhos de campo e laboratório; (3) elaboração de produtos cartográficos e análise dos dados; e, (4) discussão dos resultados.

4.1 Levantamento Cartográfico

As referências cartográficas utilizadas na pesquisa foram de acordo com a qualidade das informações para a operacionalização dos objetivos e do próprio método, servindo de suporte técnico-metodológico atendendo os objetivos específicos propostos. O levantamento cartográfico consultado compreendeu aspectos referentes aos elementos gerais da bacia hidrográfica do rio Mutum-Paraná, tendo como base de dados a Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Clima e Uso da Terra, o que inclui:

- Mapa Geológico de Rondônia na Escala de 1:1.000.000 (QUADROS; RIZZOTTO, 2007);
- Base de dados do Departamento de Serviços Geográficos do Exército – DSG (1:50.000);
- Base de Dados dos Aspectos Físicos e Zoneamento – ZSEE do Estado de Rondônia na Escala de 1:100.000 (RONDÔNIA, 2001);
- Base de Dados do RADAMBRASIL na Escala de 1:1.000.000 (BRASIL, 1978);
- Base de dados Cartográficos: Limites Municipais, Estaduais e Municipais, rodovias e bacias hidrográficas do IBGE;
- Imagens Orbitais dos Sensores LANDSAT – TM8, WRS's 233/067 – anos de 2012, 2013 e 2014;
- Imagens do *Advanced Spaceborne Thermal and Reflection Radiometer* (ASTER, 2010).

4.2 Coleta e Organização de Dados Pluviométricos

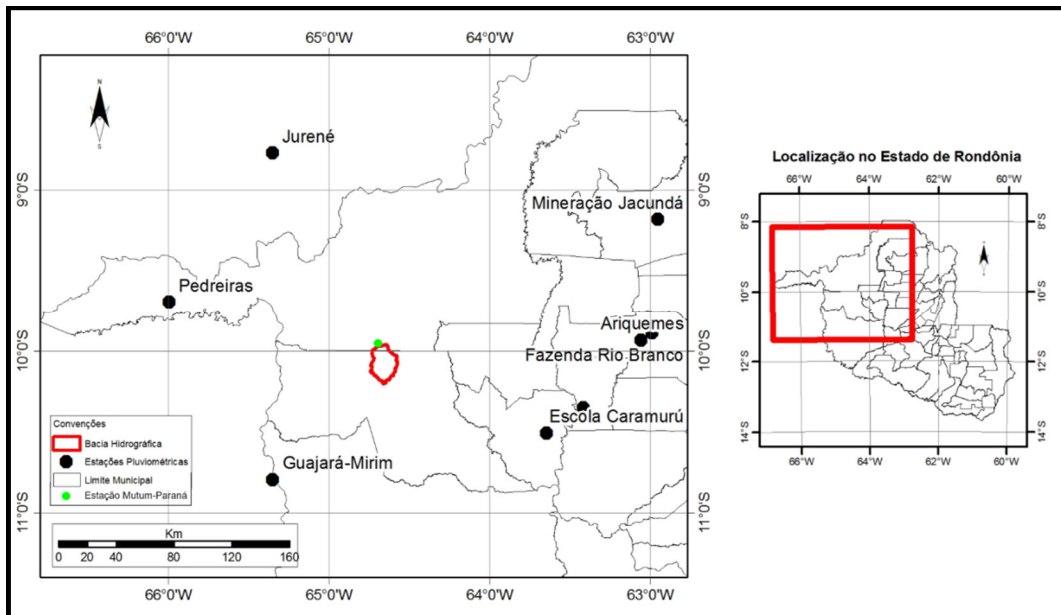
O objetivo da coleta e organização de dados pluviométricos foi o de permitir entender a dinâmica das chuvas, sua distribuição e intensidade na região, além de subsidiar comparações com outros dados hidrossedimentológicos como vazão, turbidez e carga de sedimentos em suspensão.

A coleta dos dados pluviométricos foi realizada no banco de dados digital da Agência Nacional de Águas – ANA (2014). Para tanto, foram necessárias buscas dentro da plataforma de Sistema de Informações Hidrológicas – *HidroWeb*, que, por sua vez, disponibiliza informações diárias da quantidade de chuva precipitada. É importante ressaltar a dificuldade de informações hidrológicas na região, principalmente pela baixa densidade de estações instaladas e com bom funcionamento. Regiões com pouca densidade populacional não possuem uma malha adequada de estações, o que dificulta estudos mais detalhados da complexidade hidrológica local e regional.

Na área de estudo não foram encontradas estações com registros pluviométricos que atendessem uma série histórica consistente, sendo necessária a utilização de outras estações de entorno para a quantificação e espacialização das chuvas por meio de modelos. Foram utilizadas oito estações de entorno com série temporal de 1984 a 2004, que fecham um raio aceitável na escala regional em relação à área de estudo. Os valores foram interpolados por meio de modelagem em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) utilizando o método de *Krigagem Ordinária*. Foram realizados testes com interpoladores distintos utilizando o *software ArcGIS 9.2* e sua ferramenta *Geostatistical Analyst*, e separou-se o melhor resultado dos métodos utilizados.

Os dados das oito estações mencionadas foram organizados de forma diária, mensal e anual. Os valores foram acumulados de acordo com sua distribuição temporal e tabulados para obtenção dos valores médios anuais. De todas as estações pluviométricas analisadas, apenas as estações Mineração Jacundá e Pedreiras apresentaram a série histórica do período de 1984-2004 completas, conforme Figura 06. Já a estação Jurené apresentou apenas os dez últimos anos dos registros, seguidos das outras estações com três, dois e um ano sem registros consistentes. Após o ano de 2004 não foram encontrados registros consistentes nas estações utilizadas, o que justifica o período analisado.

Figura 06 – Espacialização das oito estações pluviométricas utilizadas.



Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA, 2014).

Além dos dados das estações anteriormente selecionadas, foram utilizados dados de uma estação automatizada instalada no exutório da bacia Mutum-Paraná, com registros a cada 15 minutos no período de janeiro de 2013 até janeiro de 2015. Os dados foram tabulados de forma horária, diária, mensal e anual, sendo possível a identificação dos eventos pluviométricos para uma melhor análise com outras variáveis hidrossedimentológicas.

4.3 Medidas de Vazões

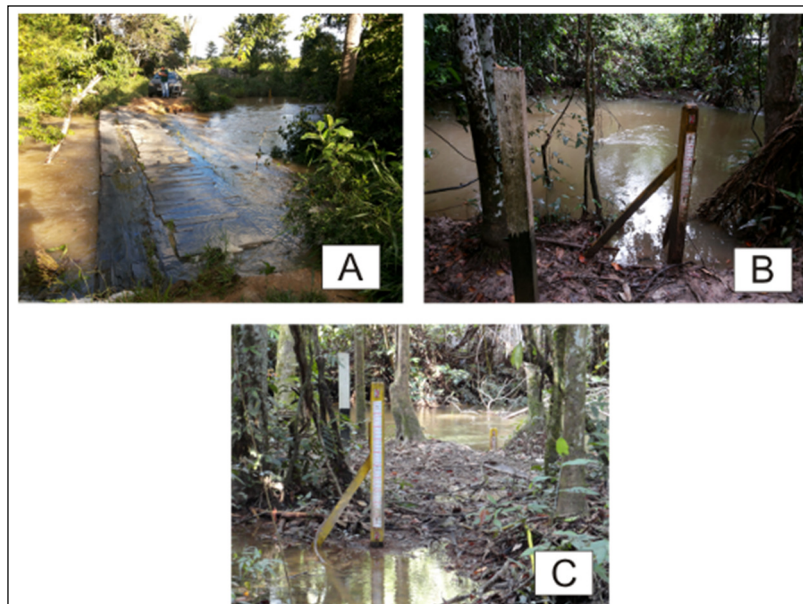
As medidas de vazões foram realizadas mensalmente, entre fevereiro de 2013 e junho de 2015, nos três rios principais das bacias analisadas. Nas bacias Pecúria e Floresta realizaram-se medições com frequência horária nos dias 15-16/11/2014, 20-21/12/2014 e 30-31/01/2015 para registros de eventos pluviométricos específicos. A disponibilização de apenas uma estação pluviométrica no local da pesquisa, a logística e a viabilidade da área de estudo definiu o caráter mensal das medições. Para cada expedição de campo, o trecho total percorrido foi de, em média, 500 km, sendo 260 km de estrada pavimentada (BR-364) e 240 km de estrada não

pavimentada (linhas e ramais), totalizando 18 expedições, tendo sido percorrido, aproximadamente, 9.000 km.

As vazões foram medidas na calha principal dos rios, onde apresentassem trecho estável e de melhor acesso, buscando seções confiáveis nos canais analisados. Na bacia denominada Mutum-Paraná, o ponto de monitoramento foi posicionado em propriedade particular, com difícil acesso até o rio, o que inviabilizou a construção de ponte ou passarela (coordenadas 312657,36W e 8896386,66S). Para as mensurações na bacia Floresta não se utilizou ponte, em virtude do difícil acesso ao longo de outros trechos do rio (coordenadas 314051,39W e 8889030,99S), e por se tratar de restrições em virtude de ser em propriedade particular, com limitações no acesso. Quanto à bacia Pecuária, utilizou-se de uma pequena ponte que dá acesso ao interior de uma propriedade (coordenadas 315289,50W e 8889438,76).

As bacias Floresta e Mutum-Paraná necessitaram de percurso a pé de, aproximadamente, 500 metros, em ambiente caracterizado como pasto sujo e sem instalação de ponte, conforme Figura 07.

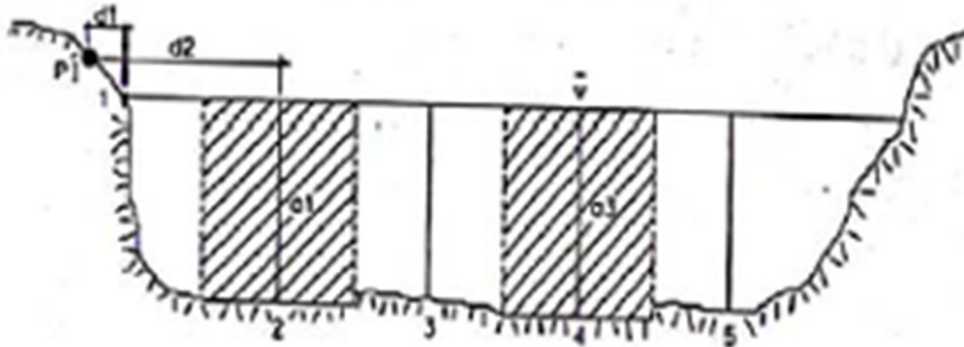
Figura 07 – Seções utilizadas para o monitoramento hidrossedimentológico.



(A) seção da bacia Pecuária; (B) seção da bacia Floresta; (C) seção da bacia Mutum-Paraná. Fonte: Watanabe (2014).

A técnica para mensuração da vazão de cada rio foi a meia seção (Figura 08), por ser a mais utilizada na literatura e por apresentar melhores resultados comparados a outros métodos testados.

Figura 08 – Método de medição da meia seção.



Fonte: Carvalho (2008).

Os procedimentos do método da meia seção consistem na medição da vazão dada pela largura da seção do rio e suas respectivas profundidades das verticais estabelecidas em intervalos iguais. Após o estabelecimento dos intervalos horizontais e verticais, são realizadas as medidas das velocidades médias da coluna d'água, bem como o cálculo das áreas de cada segmento, seguido do produto dos valores de velocidade média para cada vertical (Quadro 01).

Quadro 01 – Intervalos de horizontais de medição.

Largura do rio (m)	Distância entre as verticais (m)
≤ 3,00	0,30
3,00 - 6,00	0,50
6,00 - 15,00	1,00
15,00 - 30,00	2,00

Fonte: Carvalho (2008).

Desse modo, foram estabelecidas as vazões parciais que foram somadas, definindo a vazão total.

$$Q_p = A \cdot V_m$$

$$Q_t = Q_{p1} + Q_{p2} + \dots + Q_{pm}$$

Onde:

Q_p = Vazão parcial

Q_t = Vazão total

V_m = Velocidade média

A = Área

Para as medições utilizou-se molinete hidrométrico modelo Newton da fabricante HIDROMEC. As medidas foram realizadas a vau, posicionando o molinete no ponto das seções a serem tomadas as medidas, contra o fluxo da corrente e tempo cronometrado de 40 segundos no seletor do contador digital de pulsos. Com o número de rotações obtido pelo tempo ajustado, obteve-se o número de rotações por segundo, cujos valores foram inseridos na equação da hélice do molinete, gerando, assim, a velocidade nos pontos das verticais.

Para a obtenção da velocidade média utilizou-se a equação (1) do molinete, conforme manual do aparelho:

Equação (1):

$$V = 0,2738 * N + 0,0148$$

4.4 Coleta de Amostras de Água e Leitura de Turbidez

As amostras foram coletadas com frequência mensal por meio do método de Igual Incremento de Descarga (IID). Assim como as medições das vazões, as coletas de amostras de água foram realizadas entre fevereiro de 2013 e janeiro de 2015 nos três rios principais das bacias analisadas, totalizando 57 amostras. Nas bacias Pecuária e Floresta realizaram-se medições com frequência horária nos dias 15-16/11/2014 (62 amostras), 20-21/12/2014 (48 amostras) e 30-31/01/2015 (44 amostras) para registros de eventos pluviométricos específicos e suas correlações. O método IID ou EDI (*Equal Discharge Increment*) exige o conhecimento da distribuição da velocidade na vertical e da vazão na seção transversal, dividida em uma série de subseções nas quais há a mesma porção de vazão (SANTOS et al., 2001; CARVALHO, 2008).

Para as coletas utilizou-se amostrador de 500 ml e bico de ¼ de polegada, adaptado e fabricado pelo autor da pesquisa a partir de garrafas PET, utilizando como modelo o amostrador tipo isocinético, modelo US DH-81. Logo após as coletas, os recipientes devidamente catalogados foram acondicionados em ambiente refrigerado

e transportados ao laboratório de Biogeoquímica da Universidade Federal de Rondônia.

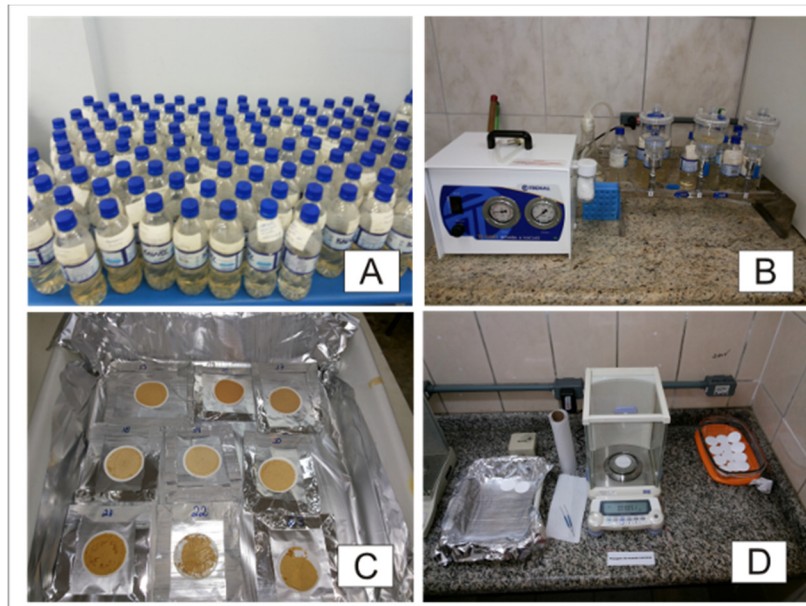
As leituras de turbidez foram realizadas *in loco*, logo após a coleta, utilizando turbidímetro portátil da empresa HANNA, modelo HI 98703, devidamente calibrado de acordo com as características dos canais analisados. Foram realizadas cinco leituras de turbidez para cada amostra e utilizados os valores médios. Os resultados foram organizados em planilhas para posterior análise estatística e confecção de tabelas e gráficos.

4.5 Quantificação de Sedimentos em Suspensão

A análise laboratorial para quantificação de sedimentos em suspensão para as amostras coletadas foi elaborada de acordo com metodologia de Carvalho (2000). Foram utilizadas membranas de éster de celulose com porosidade de 0,2 μ m, pois permitem retenção da fração argila muito fina, ou seja, filtragem máxima do limite da escala granulométrica (OLIVEIRA, 2006). As amostras foram identificadas e pesadas, e o método empregado preferível foi o de filtração (Figura 09), pois os sólidos dissolvidos são eliminados automaticamente no processo (CARVALHO, 2008). Assim, as amostras foram homogeneizadas por agitação, separando 200ml em uma proveta graduada, sendo o material filtrado em um conjunto formado por bomba de vácuo, porta-filtro e membrana. Terminadas as filtrações, as membranas foram secas novamente na mesma temperatura, pelo mesmo período, obtendo-se o peso da membrana seca com sedimento (OLIVEIRA, 2006).

Faz-se importante destacar que as amostras coletadas mensalmente foram acondicionadas em ambiente refrigerado (sem congelamento), já que é inviável a filtragem no local da amostragem, justificada pela falta de estrutura laboratorial móvel e a grande distância percorrida durante os trabalhos de campo.

Figura 09 – Procedimento de filtragem em membranas de éster de celulose.



(A) amostras; (B) conjunto para filtragem; (C) membranas pós-filtragem para secagem em estufa; (D) pesagem em balança analítica. Fonte: Watanabe (2014).

4.6 Uso da Terra

O levantamento do uso da terra torna-se importante para a identificação das atividades que provocam a modificação da paisagem, sendo, em princípio, determinado pela expressão cultural, resultado político e social de ideais. Para o levantamento e a identificação dos pontos de uso da terra foram necessários alguns procedimentos pré e pós-processamento.

A princípio, baseou-se no método de classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (BRASIL, 2006), que possui normas para a definição e a identificação das adversidades e das características dos diversos usos, e que foram incorporadas ao trabalho. Após a identificação das possíveis situações que a área de estudo poderia vir a apresentar, foram definidos, de forma linear e sistemática, pontos para a coleta das informações necessárias, tais como: a identificação da área, o registro de coordenadas geográficas, a tipologia de uso e cobertura da terra e o registro fotográfico.

Tais pontos pré-definidos foram plotados em ambiente SIG, juntamente à imagem de satélite sintetizada e georreferenciada, e dados vetoriais digitais de estradas Federais, Estaduais e Municipais, pavimentadas e não pavimentadas. A

linearidade e a identificação dos pontos deram-se, principalmente, nas estradas com intervalos de três quilômetros, num total aproximado de 260 pontos amostrados (NUNES, 2012).

Posteriormente, na confecção da carta imagem padrão foram realizadas expedições de campo, totalizando sete viagens com equipe alternada entre pesquisadores do Laboratório de Geografia e Planejamento Ambiental – LABOGEOPA. Com o uso do Sistema de Posicionamento Global (GPS), de marca Garmin, foram localizados em campo os pontos pré-determinados anteriormente e, em seguida, foi feito o seu registro em planilha estabelecida com as identificações citadas anteriormente.

Assim, com todos os pontos coletados em campo, foram realizadas classificações dos usos identificados, ordenados e geocodificados em um banco de dados digital georreferenciado. A classificação foi realizada em ambiente SIG, com uso do *Software ArcGIS 8.1*, utilizando-se da extensão de Classificação Supervisionada. O método utilizado para tal classificação foi o da Máxima Verossimilhança (*MaxVer*), pois o mesmo considera a ponderação das distâncias das médias e utiliza parâmetros estatísticos (CRÓSTA, 1992).

Para que a classificação fosse precisa o suficiente, utilizou-se um número razoavelmente elevado de pixels para cada conjunto, número esse acima de uma centena, o que permitiu uma base segura para o tratamento estatístico no próprio *software*. Neste procedimento foram utilizadas duas entradas de dados, sendo uma de formato vetorial (pontos de uso) e outra de formato de imagem (Imagem Landsat-5). Para essa classificação foram consideradas as atribuições de cada ponto, plotados na imagem para que a ferramenta do *software* pudesse identificar na imagem a respectiva coloração para o determinado uso da terra. Após o processamento foi gerado um arquivo vetorial (polígono dos usos), definindo os limites entre cada uso e, assim, a determinação do tamanho de cada subárea, bem como a criação de um banco de dados passível de edição e/ou inserção de novas informações.

4.7 Modelo Digital de Elevação

A confecção do Modelo Digital do Terreno foi realizada por meio de ferramentas (extensões do *software ArcGIS 8.1*) utilizando imagem do *ASTER* (2010), sendo um imageador multiespectral a bordo do satélite *Terra*, disponível desde o ano de 1999 gerando imagens de média resolução espacial e espectral. Da imagem *ASTER* retirou-se todas as informações topográficas correspondentes à área da pesquisa, como a declividade, a hipsometria e a orientação de vertentes, além da determinação das áreas das bacias hidrográficas, bem como o adensamento da malha hidrográfica.

Por meio da ferramenta *3D Analyst* do *software ArcGIS 8.1*, utilizando a rede irregular de triângulos, gerou-se as curvas de níveis a cada cinco metros, na escala de 1:50.000. Após esse processo foram geradas as declividades com a utilização do método *Surface Analysis* e a opção *Slope*. Para a orientação das vertentes utilizou-se a opção *Aspect*, também inserida no método *Surface Analysis*. Tais informações iniciais e processadas serviram como base para os cálculos dos parâmetros morfométricos, de características do relevo e das características da rede de drenagem.

4.8 Fatores Morfométricos

- *Área total*

Trata-se da área plana projetada horizontalmente e definida pelos divisores topográficos, sendo elemento essencial para o cálculo de outros elementos físicos.

- *Fator de forma (F)*

Trata-se da razão entre a largura média da bacia e o comprimento do eixo da bacia, ou seja, iniciando do exutório da bacia hidrográfica até o lugar mais distante da área amostrada. A característica que se deve levar em conta deste coeficiente é que quanto maior o comprimento da bacia, menor é o risco de enchente:

$K_f = A/C^2$, onde:

K_f é adimensional; A = área de drenagem (km^2); C = comprimento do eixo da bacia (km).

- *Perímetro total*

O perímetro corresponde ao comprimento total do segmento contorno da área da bacia hidrográfica.

- *Índice de circularidade (IC)*

É o parâmetro que caracterizará a bacia como alongada ou circular. Para o cálculo utilizou-se a proposta de Schumm (1956), cujos valores maiores que 0,51 determinam a tendência de bacia circular, tornando-a, assim, mais susceptível a inundações, enquanto que valores inferiores a 0,51 apresentam tendência de bacia alongada, minimizando riscos a inundações:

$I_c = 12,57 \times A/P^2$, onde:

I_c = Índice de circularidade; A = área (km^2); P = perímetro (km).

- *Coeficiente de compacidade (Kc)*

É a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de mesma área que a bacia. Para o cálculo do (K_c) utilizou-se a proposta de Villela e Mattos (1975): quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Mesmo sendo um coeficiente de número adimensional, valores próximos a um dão conta de maior susceptibilidade para as bacias a enchentes.

Para bacias com coeficientes acima de um, a susceptibilidade será baixa no que refere à ocorrência de inundações. Entretanto, quanto menor for o valor desse coeficiente, maiores os riscos de enchentes, pois apresentará forma mais arredondada. Trata-se de um coeficiente adimensional, variando de acordo com a forma da bacia, independentemente da sua extensão, conforme equação:

$K_c = 0,28 \times P/\sqrt{A}$, onde:

K_c = Coeficiente de compacidade; P = perímetro (km); A = área da bacia (km^2).

- *Padrão de drenagem*

Corresponde ao resultado de variáveis como geologia, geomorfologia, pedologia e fatores climáticos. Assim, dependendo da combinação desses fatores o padrão de drenagem poderá apresentar ramificações diferentes para cada tipo de sistema ambiental. Importante destacar que são os padrões geológicos, normalmente, que definem o padrão de drenagem, em virtude do grau de resistência da rocha-mãe.

- *Índice de rugosidade*

Corresponde ao resultado entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem:

$I_r = H \times D_d$, onde:

I_r = Índice de rugosidade; H = Amplitude altimétrica; D_d = densidade de drenagem.

4.9 Características do Relevo

- *Altitude mínima*

É a menor altitude encontrada na bacia hidrográfica. Em geral, essa região localiza-se à jusante das bacias, próximo ao exutório.

- *Altitude média*

Corresponde à média das altitudes mínima e máxima da bacia hidrográfica. Em geral, é uma característica que expressa como se comporta o relevo.

- *Altitude máxima*

É a maior altitude encontrada na bacia hidrográfica. Normalmente, localiza-se à montante das bacias, mas, dependendo da distribuição e das características do relevo, podem apresentar oscilações e concentrações de altitudes até à jusante.

- *Declividade*

Corresponde à variação de altitude entre dois pontos do terreno, em relação à distância que os separa. Quanto maior a distância e menor a altitude do relevo, menores serão os índices de declividade. Assim, quanto menor a distância entre dois

pontos e maior a diferença de altitude, maiores serão os índices de declividade do terreno.

4.10 Características da Rede de Drenagem

- *Comprimento do curso d'água principal*

É a soma do segmento total do rio principal da bacia hidrográfica, onde geralmente canaliza a contribuição dos tributários inferiores.

- *Densidade de drenagem (Dd)*

É a relação entre o comprimento total de todos os canais e a área de drenagem da bacia hidrográfica, podendo variar de 0,5 km/km² em bacias mal drenadas, consideradas como pobres, a 3,5 km/km², podendo se estender em bacias bem drenadas (VILLELA; MATTOS, 1975).

- *Comprimento total dos cursos d'água*

É a soma total de todos os cursos d'água da bacia hidrográfica, independentemente das ordens do canal. Importante destacar que a soma do número de canais e do total dos comprimentos dos cursos d'água depende da escala na qual foram identificadas e validadas em campo.

- *Ordem dos cursos de água*

Para a classificação dos canais de drenagem utilizou-se o sistema de Strahler (1957). Para a classificação dos canais de primeira ordem, determinam-se os rios que não detêm nenhum tributário. Já os de segunda ordem são resultados da confluência de dois canais de primeira ordem, e assim sucessivamente para outras ordens de canais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Síntese Comparativa dos Aspectos Físicos Mapeados

A fim de atender ao objetivo geral da pesquisa, que consiste na comparação do aporte de sedimentos em suspensão de bacias pareadas com distintos usos da terra, o apoio de ferramentas no âmbito da geomorfologia, hidrologia e hidrossedimentologia foi essencial. Buscando uma síntese comparativa para analisar e justificar influências similares na forma de análise das bacias estudadas, verificou-se a semelhança nas formas, tamanhos e propriedades ambientais, ou seja, a análise de bacias pareadas de mesmas características físicas e/ou estruturais permitem boas comparações nos contextos ambientais, principalmente, no que tange à hidrologia e, em especial, à hidrossedimentologia.

Em virtude da bacia Mutum-Paraná compreender as outras duas bacias (Floresta e Pecuária) e servir de pano de fundo comparativo para outra escala de análise, as maiores diferenças das variáveis estão relacionadas à bacia Mutum-Paraná que, além de abranger as áreas das outras duas bacias, apresenta maior extensão territorial, definindo maiores valores nas vazões e em alguns aspectos geomorfológicos como, por exemplo, amplitude altimétrica.

Podem-se destacar quatro elementos primordiais para a definição do comportamento das bacias hidrográficas, sendo: (1) a geomorfologia com seus aspectos estruturais bastante similares; (2) as faixas de precipitação com pouca diferença no volume precipitado; (3) o tipo de solo com sua exclusividade (latossolo vermelho-amarelo), boa estabilidade estrutural e menor influência de processos erosivos, principalmente quando mantida a vegetação original; e, (4) a cobertura vegetal natural que serve de agente amortecedor das precipitações, conforme Quadro 02. Estes fatores ambientais que, além de caracterizarem as bacias com atribuições, promovem comparações entre as variáveis hidrossedimentológicas, como a vazão, a turbidez e os sedimentos em suspensão.

Deste modo, o fator primordial que diferencia os resultados e que fornece uma boa comparação entre as variáveis hidrossedimentológicas é o uso da terra. Como identificado em campo, o uso da terra predominante da região está definido como

pecuária e, sendo assim, os comportamentos de cada bacia alteram-se gradativamente de acordo com a intensidade do uso.

Quadro 02 – Síntese dos fatores ambientais da área de estudo.

	Classes	Mutum-Paraná (Km²)	Pecuária (Km²)	Floresta (Km²)
Geologia	Suite Intrusiva Teotônio	0,44		
	Supergrupo Gnaiss Jarú	300,73	42,79	55,9
	Laterita Imatura	29,69	0,47	
Geomorfologia	Superfície de Aplanamento	330,26	43,26	55,9
Solos	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	330,26	43,26	55,9
Vegetação	Floresta Ombrófila Aberta Submontana com Palmeira	324,6		38,81
	Floresta Ombrófila Aberta Submontana com cipó	5,66	43,26	17,09
Zoneamento Sócio Econômico e Ecológico – ZSEE	1.3 – Área de franca expansão	41,95	31,03	
	2.1 – Área com média restrição de uso	131,42	12,23	24,94
	3.3 – Área com alta restrição de uso (Área Indígena)	156,89		30,97
Hipsometria	120 – 140 m	0,4		
	140 – 160 m	5,83	1,83	2,35
	160 – 180 m	26,46	28,05	21,23
	180 – 200 m	48,57	59,31	48,97
	200 – 220 m	18,47	10,81	26,21
	220 – 255 m	0,27		1,24
Uso da Terra	Floresta	237,66	21,42	47,12
	Pastagem	92,6	21,84	8,78
	Total Km²	330,26	43,26	55,9
	Porcentagem de Uso da Terra	28,04	50,49	15,71

Fonte: Adaptado de Rondônia (2001) e Nunes (2012).

5.2 Análise Geomorfológica

De acordo com a determinação dos dados topográficos extraídos de imagens *Thermal Emission and Reflection Radiometer – ASTER*, descrito no item 4.7, foi possível a geração das curvas de níveis das áreas estudadas. A bacia Pecuária apresenta 43,26 km² e perímetro de 49,54 km, a bacia Floresta apresenta uma área total de 55,90 km² e perímetro de 52,65 km, e a bacia Mutum-Paraná, onde estão incluídas as duas bacias anteriores, dispõe de 330,26 Km² e 125,98 Km.

Conforme elencados no item 4.8, para se determinar as características morfométricas que auxiliaram na análise geomorfológica, utilizaram-se índices que relacionam com formas geométricas como o fator de forma (F), coeficiente de compacidade (Kc) e o índice de circularidade (IC), detalhados no Quadro 03. A importância na determinação da forma superficial de uma bacia hidrográfica é o estabelecimento do tempo de concentração, que é o tempo necessário para que a bacia contribua para a sua saída após um evento pluviométrico. Quanto maior o tempo de concentração, menor a vazão máxima de enchente, se mantidas constantes as outras características (VILLELA; MATTOS, 1975).

As bacias apresentaram tendência a maior tempo de concentração em virtude do coeficiente de compacidade apresentar valores com 2,11 para a bacia Pecuária, 1,97 para a bacia Floresta e 1,94 para a bacia Mutum-Paraná (Quadro 03), além de seus fatores de forma mostrarem-se, respectivamente, com valor baixo de 0,29, 0,27 e 0,44. Esses valores indicam que as bacias possuem forma alongada, ou seja, quanto menor o fator forma mais comprida é a bacia e, assim, menos sujeita a enchentes. A comprovação pode ser ainda mais reforçada pelos coeficientes de circularidade das bacias, cujos valores correspondem a 0,22 para a bacia Pecuária, 0,25 para a bacia Floresta e 0,26 para a bacia Mutum-Paraná.

A densidade de drenagem obtida nas bacias foi considerada baixa, podendo ser parcialmente justificadas em virtude da escala dos dados disponíveis. De acordo com Villela e Mattos (1975), a densidade de drenagem pode variar de 0,5 km/km² em bacias com drenagem pobre a 3,5km/km² ou mais nas bacias bem drenadas. Ou seja, as bacias analisadas apresentam baixa densidade de drenagem. É característico que baixos valores de densidade de drenagem estão, na maioria das vezes, associados a regiões com boa permeabilidade e/ou regime pluviométrico com chuvas de baixa

intensidade ou pouca concentração da precipitação, predominando neste caso a permeabilidade.

A bacia Floresta apresentou índice de rugosidade (70,85) e a Mutum-Paraná (78,3), bem superiores ao encontrado na bacia Pecuária (35). Isso representa menor carreamento de materiais líquido e sólido por meio de escoamento superficial, principalmente pelas características de baixa angulação das vertentes.

Quadro 03 – Parâmetros morfométricos das bacias.

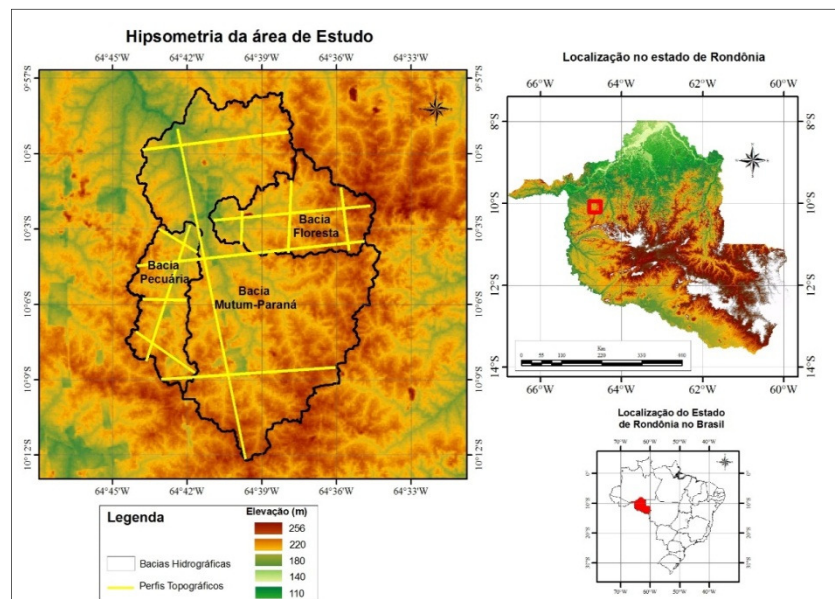
Parâmetros Morfométricos	Bacia Pecuária	Bacia Floresta	Bacia Mutum-Paraná
Área total	43,26 Km ²	55,90 Km ²	330,26 Km ²
Declividade			
0-2 - Plano	36,15%	37,50%	43,2
2-5 - Suavemente Ondulado	37,96%	47,61%	25,87
5-8 - Ondulado	19,11%	10,39%	21,81
8-11 - Moderadamente Ondulado	5,23%	2,77%	6,81
< 11 - Moderadamente Ondulado	1,55%	1,73%	2,31
Ordem			
	2 ^a	3 ^a	4 ^a
Total do comprimento dos canais	21,95 Km	36,35 Km	188,56 Km
Comprimento da bacia	12,5 Km	12,1 Km	26,88 Km
Canais de Primeira Ordem	5	10	41
Canais de Segunda Ordem	1	2	9
Canais de Terceira Ordem	0	1	3
Canais de Quarta Ordem	0	0	1
Densidade de Drenagem	0,50 Regular	0,65 Regular	0,58 Regular
Comprimento do Canal Principal	13,85 Km	14,35 Km	27,15 Km
Fator Forma	0,29	0,27	0,44
Coefficiente de Compacidade	2,11	1,97	1,94
Coefficiente de Circularidade	0,22	0,25	0,26
Sinuosidade do Curso D'água	14,07	17,07	9,76
Altitude Mínima	150 m	141 m	120 m
Altitude Máxima	220 m	250 m	255 m
Perímetro	49,54	52,65	125,98
Tipo	Alongada	Alongada	Alongada
Sentido	Sul/Norte	Leste/Oeste	Sul/Norte
Índice de Rugosidade	35	70,85	78,3

Fonte: Organizado pelo autor.

Conforme enfatizado na hierarquia de Strahler (1957), o sistema de drenagem das bacias estudadas varia entre 2ª e 4ª ordem, na escala de 1:50.000 extraída do Modelo Digital de Elevação – MDE. Em pequenas bacias é comum encontrar ordem inferior ou igual a quatro, o que reflete os efeitos diretos do uso da terra, além de quanto maior a ramificação da rede, melhor eficiência apresentará o sistema de drenagem. A sinuosidade, como fator indispensável para avaliar os padrões de drenagem, pode apresentar os índices próximos a um, indicando que os canais tendem à retilindade, e valores superiores a dois apontando a tendência de canais mais sinuosos (ANTONELI; THOMAZ, 2007). Todas as bacias estudadas apresentaram canais retilíneos (Quadro 03) o que, por sua vez, poderá favorecer o transporte de sedimento em suspensão.

As altitudes nas bacias variam entre 70 metros na Pecuária (média de 185 metros), 109 metros na Floresta (média de 195,5 metros) e amplitude de 135 metros e média de 187,5 metros na bacia Mutum-Paraná. As diferenças de altitude não indicam, necessariamente, a predominância das áreas mais altas nas cabeceiras ao longo do canal principal, mas de pontos distribuídos no terço médio das bacias, caracterizados anteriormente como *inselberg* ou *tors*, conforme Figura 10. Ressalta-se que as áreas estudadas encontram-se à montante do sistema hidrográfico principal (rio Mutum-Paraná) e que constitui zonas de nascentes, o que justifica alguns valores topográficos um pouco mais acentuados.

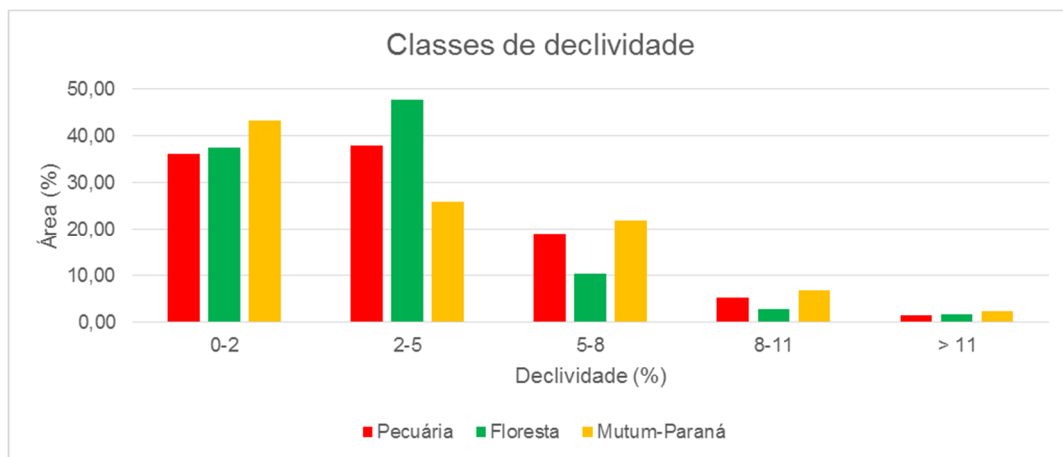
Figura 10 – Mapa hipsométrico da área de estudo.



Fonte: Adaptado de ASTER (2013).

Consideradas como determinantes, em alguns casos, as declividades da área de estudo mostram-se bem distribuídas e com predomínio de duas classes determinadas em porcentagem, sendo 0-2 e 2-5. A baixa declividade no terreno para todas as bacias apresenta certa padronização, conforme a topografia local, o que conseqüentemente determina o comportamento de parte dos fatores hidrossedimentológicos, conforme Figura 11.

Figura 11 – Distribuição das classes de declividade das bacias monitoradas.

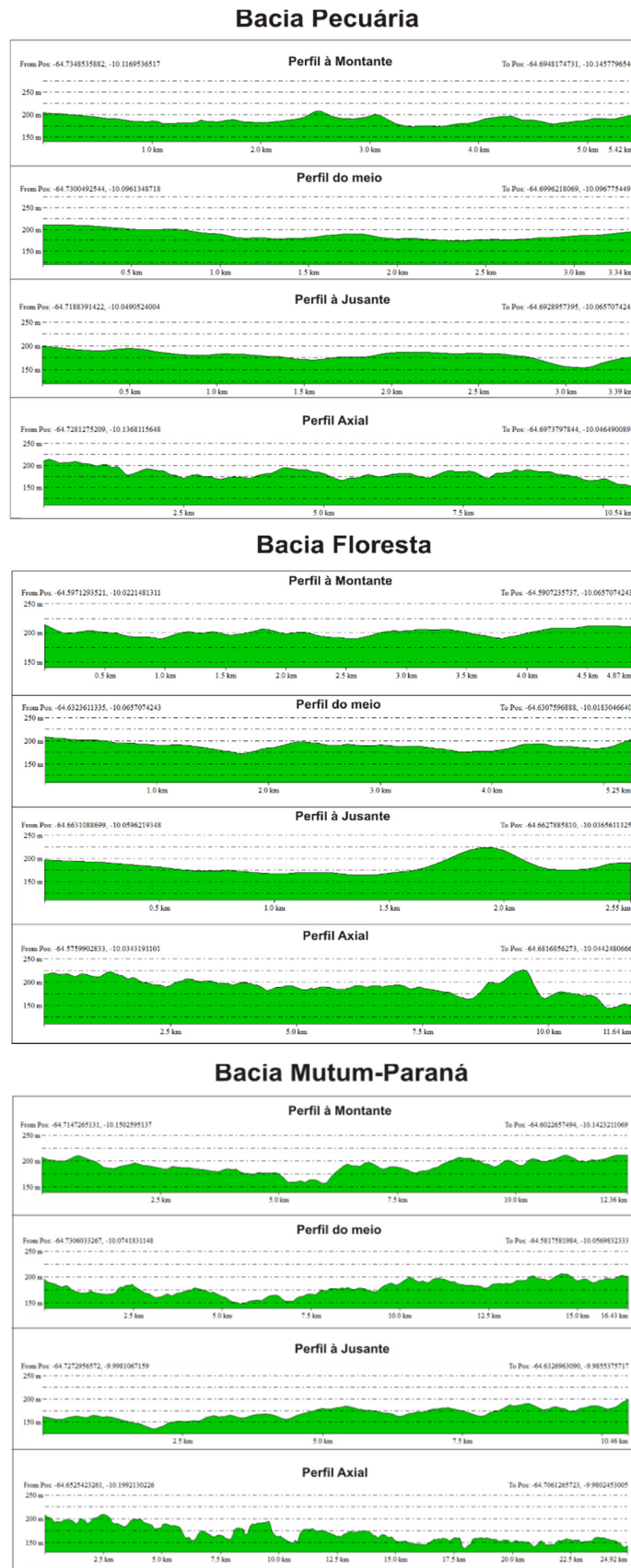


Fonte: Organizado pelo autor.

Os perfis topográficos ilustram a movimentação do relevo ao longo das bacias que se concentram, principalmente, à montante nas bacias Pecuária e Mutum-Paraná, e à jusante da bacia Floresta. Tal comportamento do relevo é muito comum nessa região, pois está próximo à Serra dos Pacaás Novos caracterizada pelo relevo bem mais movimentado e que apresenta as maiores elevações do Estado de Rondônia. Os perfis axiais das bacias evidenciam a incidência de *inselbergs* e *tors*, uma vez que apresentam movimentação do relevo à jusante, chegando a alcançar cotas similares e, em alguns casos, superiores às áreas de nascentes.

Além do tamanho, forma e outros fatores morfométricos, a similaridade entre os perfis topográficos das bacias Floresta e Pecuária é bem evidente (Figura 12), apresentando relevo pouco ondulado, o que favorece a baixa concentração de áreas declivosas. Em termos de comparação das bacias é mais um fator a se considerar, pois permite determinar com maior precisão os elementos hidrossedimentológicos estudados, não tendendo a determinar maiores taxas de sedimentos em suspensão entre as bacias comparadas (Floresta e Pecuária).

Figura 12 – Perfis topográficos das bacias.

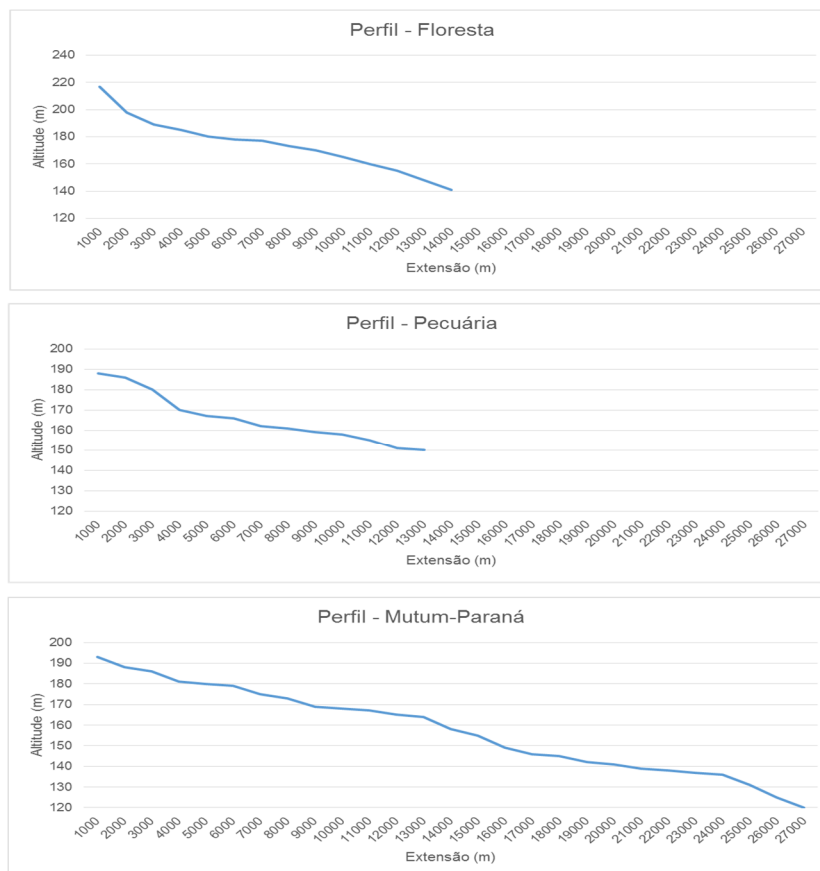


Fonte: Adaptado de ASTER (2013).

Para entender melhor a síntese comparativa, geraram-se os perfis longitudinais dos três rios analisados. Para fins de comparação foi utilizada a mesma escala, tendo como referência o rio Mutum-Paraná, uma vez que é o mais longo entre os três rios estudados. Christofolletti (1981) e Suguio e Bigarella (1990) destacam que perfis mais íngremes promovem maior velocidade do fluxo hídrico, o que pode impedir que forças coesivas mantenham materiais mais finos depositados no leito dos rios.

A pouca diferença encontrada nos perfis topográficos anteriores também é notada nos perfis longitudinais (Figura 13). Entre os rios das bacias Floresta e Pecuária, a principal diferença está próximo a área de nascente, cujo trajeto se estende por 4 km iniciais a partir da nascente, e apresenta a forma côncava para o rio da bacia Floresta e mais convexo no rio da bacia Pecuária. A forma do perfil longitudinal do rio da bacia Floresta denota maior equilíbrio nos processos de erosão, transporte e deposição, apresentando formato mais côncavo e com maiores declividades nas áreas de cabeceira.

Figura 13 – Perfis longitudinais dos rios estudados.



Fonte: Adaptado de ASTER (2013).

5.3 Dados Pluviométricos

A dificuldade de obtenção de dados pluviométricos é referenciada por diversos autores (TUCCI, 2001; ISHIHARA, 2008; FURLAN, 2009) e as limitações nas poucas informações encontradas podem comprometer estudos mais aprofundados sobre a distribuição de chuva local, constatando, assim, que o número de estações por km² é mais densificado nas regiões com os maiores índices populacionais e de melhor acesso terrestre. Para compreender a distribuição das chuvas na região foram selecionadas oito estações pluviométricas no entorno da área de estudo, com registros diários que, por sua vez, foram acumulados mensal e anualmente, totalizando 21 anos consecutivos de dados, cuja consistência apresentou melhores resultados, conforme Figura 06 do item 4.2.

As variações das médias de cada estação analisadas apresentaram valores distintos, principalmente, nas estações Jurené, Guajará-Mirim e Pedreiras, o que alavancou as médias mínimas para valores bem inferiores às outras estações. Entretanto, as amplitudes foram maiores nas estações Fazenda Rio Branco e Mineração Ponte Massangana, o que caracterizam oscilações entre mínimas e máximas com períodos de chuvas intensas e estiagens bem definidas, conforme Quadro 04.

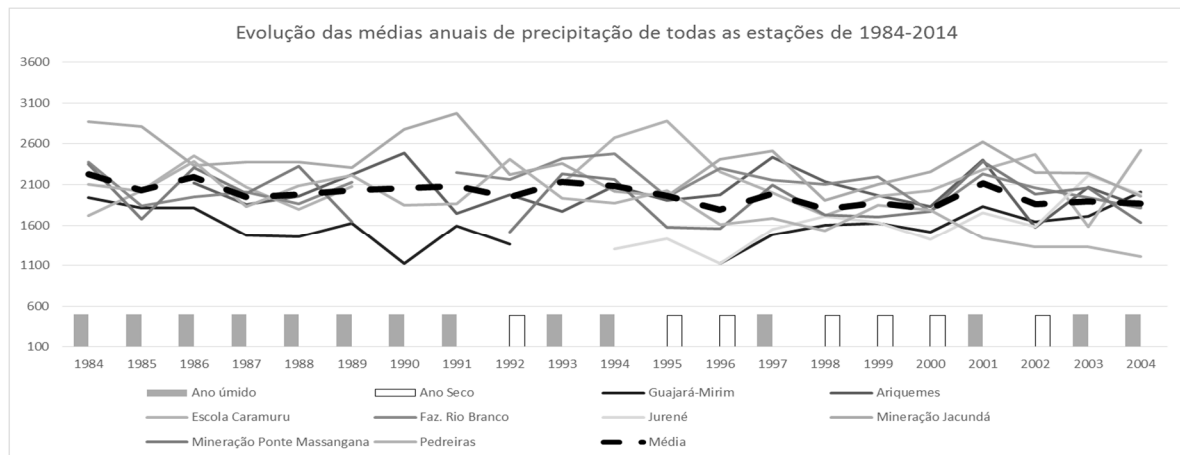
Quadro 04 – Sínteses estatísticas da série histórica de pluviometria.

	Ariquemes	Escola Caramuru	Faz. Rio Branco	Guajará-Mirim	Jurené	Mineração Jacundá	Mineração Ponte Massangana	Pedreiras
Média	2018,42	2146,26	2099,40	1596,73	1610,50	2364,73	1932,20	1826,41
Média mínima	1570,70	1583,80	1770,60	1120,40	1301,70	1903,40	1513,80	1206,20
Média máxima	2489,40	2882,60	2476,70	2012,10	2214,60	2973,00	2389,60	2413,00
Amplitude	918,70	1298,80	706,10	891,70	912,90	1069,60	875,80	1206,80
Desvio Padrão	243,99	350,55	207,03	245,28	306,48	307,39	304,31	334,37
Coefficiente de Variação	12,09%	16,33%	9,86%	15,36%	19,03%	13,00%	15,75%	18,31%

Fonte: Adaptado de Watanabe (2011).

A variação média da precipitação na região estudada (Quadro 04) mostrou pouca oscilação, comparando as médias dos anos que mais choveram com os anos que apresentaram maior déficit. Desse modo, optou-se por analisar as variações por estações pluviométricas, buscando compreender, numa escala diferenciada (pontual), o comportamento da variação média anual das precipitações por estações (Figura 13).

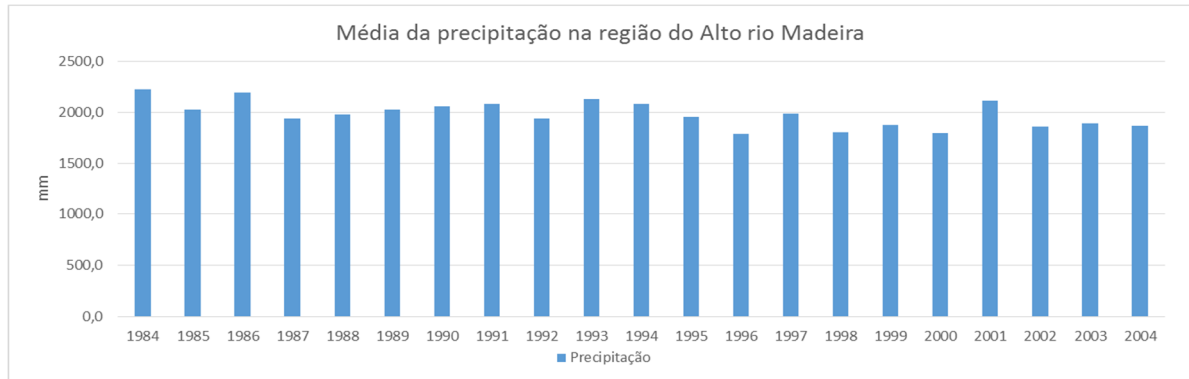
Figura 13 – Evolução das médias das precipitações das oito estações estudadas entre 1984 e 2004.



Fonte: Adaptado de Watanabe (2011).

Além da distribuição das chuvas, também é importante entender seu funcionamento analisando a variação temporal da precipitação no período estabelecido. No período analisado, entre 1984 e 2004, a ocorrência do fenômeno El Niño provocou na região do Alto rio Madeira algumas oscilações na quantidade de chuva anual. Conforme registros da ocorrência do El Niño entre 1986-1988, 1994-1995 e 2002-2003 foram caracterizados como de moderada intensidade, mas para os períodos de 1990-1993 e 1997-1998 o fenômeno apresentou forte intensidade, com variações de, aproximadamente, 600 mm (Figural 14).

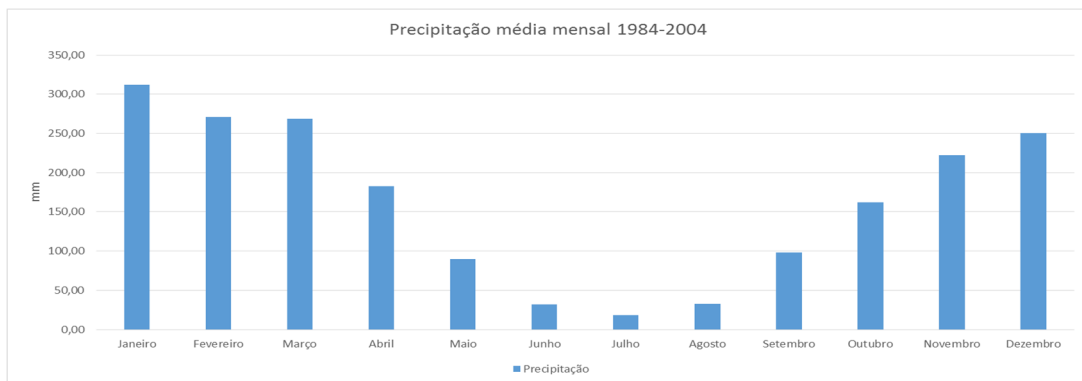
Figura 14 – Média da precipitação entre 1984-2004 no Alto rio Madeira.



Fonte: Adaptado de Watanabe (2011).

Além dos reflexos dos fenômenos climáticos globais, a região estudada apresenta características bem marcantes em seu regime pluviométrico mensal, com chuvas intensas em todas as estações do ano, mas com recorrências distribuídas de acordo com os meses secos e chuvosos. Os meses de maiores recorrências de chuvas são de novembro a março, com índices de chuva acima de 200 mm mensais. Já os meses de abril-maio e setembro-outubro caracterizam-se como períodos de transição entre as estações. Os meses de junho, julho e agosto são os meses de poucas chuvas, mas com intensidades dos eventos similares ou até mesmo superiores a períodos mais chuvosos (Figura 15).

Figura 15 – Gráfico de distribuição mensal das chuvas no Alto rio Madeira.

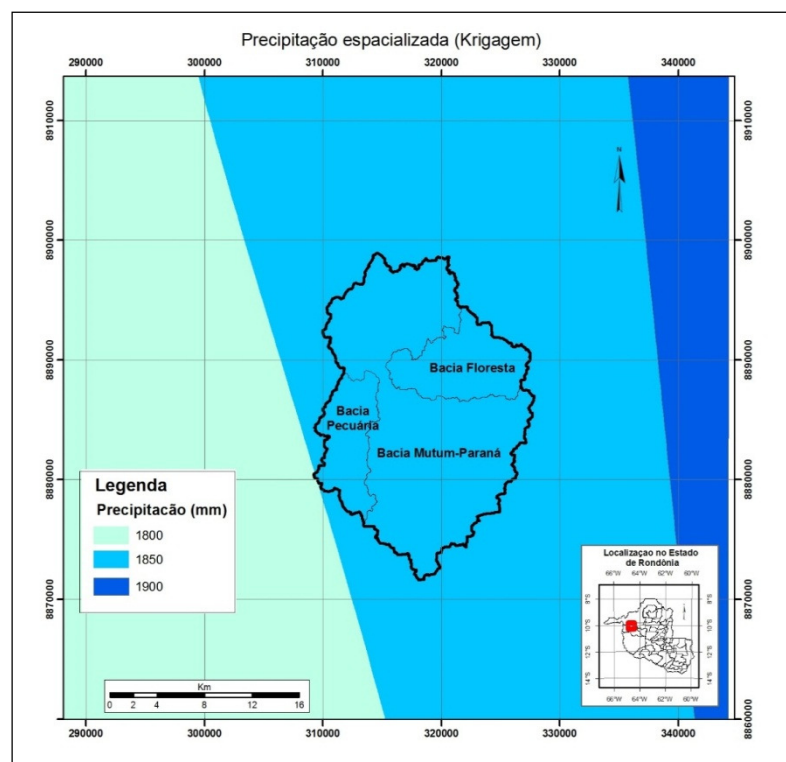


Fonte: Adaptado de Watanabe (2011).

De acordo com Watanabe (2011), as chuvas da região tendem a apresentar padrões de erosividade fortes, principalmente nos períodos de maior índice pluviométrico, e apresentam, ainda, valores de moderado a forte nos períodos de estiagem, bem como índices de 15.000,00 MJ mm/ha.h.ano.

Além de intensas, as chuvas são bem distribuídas espacialmente (Figura 16), apresentando registros direcionados de oeste a leste com amplitude de 200 mm. O uso de estações do entorno permitiu uma visão geral do comportamento espacial das chuvas, caracterizando a área de estudo com uma de isoietas de 1.850 mm, apresentando similaridade na geometria das faixas de distribuição da chuva, assim como as médias com os dados gerados por Rondônia (2001).

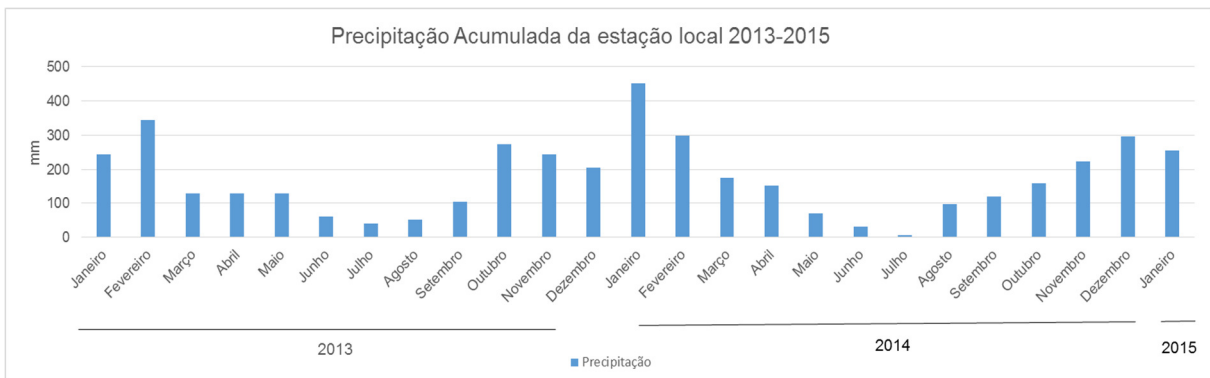
Figura 16 – Espacialização das chuvas pelo método de interpolação *Krigagem Ordinária*.



Fonte: Adaptado de Watanabe (2011).

A quantificação das chuvas, por meio da estação Mutum-Paraná, possui registros de janeiro de 2013 a junho de 2015. O período monitorado apresentou em seu curso algumas variações que devem ser destacadas como, por exemplo, na distribuição das chuvas no período chuvoso de outubro de 2013 a abril de 2014. Para esse período verificou-se uma distribuição irregular negativa nos meses de novembro e dezembro de 2013 e uma ascensão anômala no mês de janeiro de 2014, com valor de chuva acumulada duas vezes superior para os meses de janeiro de 2013 e 2015 (Figura 17).

Figura 17 – Precipitação mensal acumulada da estação pluviométrica local 2013-2015.



Fonte: Organizado pelo autor.

Importante destacar que o ano de 2014 foi considerado um ano anômalo em seus registros pluviométricos, intensificados desde áreas mais a oeste (Bolívia) como mais próximas à cidade de Porto Velho. O mês de janeiro de 2014 apresentou as maiores diferenças com, aproximadamente, de 200 mm entre janeiro de 2014 e 2015, de 100 mm entre janeiro de 2013 e 2014, além de 150 mm em relação à média mensal das estações do Alto rio Madeira. Verifica-se que nos dois períodos de estiagem, que correspondem de julho a agosto, as diferenças foram bastante incisivas. Nos meses de julho e agosto de 2014 a mudança foi significativa, passando de menos de 10 mm em julho para 100 mm em agosto e mantendo uma proporção na distribuição para os meses seguintes.

5.4 Monitoramento Mensal

5.4.1 Vazões

As medidas das vazões foram realizadas sempre em trecho estável, conforme descrito no item 4.3. Um inconveniente comum, conforme mencionado por Oliveira (2006), revela que a construção de seções em pontes pode apresentar alguns problemas, como grande quantidade de material arrastado (galhos e arbustos) ocasionado por eventos pluviométricos mais intensos, provocando dificuldades nas medições e interferência dos equipamentos utilizados.

Outro inconveniente para a escolha da seção, agravado pela característica local, é o acúmulo de sedimentos transportados pelo rio no local monitorado. Além do

material carregado, como árvores e plantas, o mesmo retém grande quantidade de sedimentos, promovendo o assoreamento do canal, modificando a seção, bem como o aumento de pressão na ponte que acaba servindo como vertedouro, ocasionando sua destruição parcial ou total, conforme Figura 18.

Os leitos dos canais analisados não apresentam quantidades significativas de grandes detritos, ao menos nas seções monitoradas. Entretanto, é significativa a quantidade de sedimentos depositados em seus leitos, pois apresentam fundo arenoso com deslocamento de bancos de areia e acúmulo de material em trechos específicos. Todo esse material carregado e depositado é deslocado, principalmente, durante eventos extremos de chuva, ocasionando aumento no nível, na vazão, na turbidez e no sedimento em suspensão.

Figura 18 – Seções de medidas das vazões.



(A) seção da bacia Pecuária durante período chuvoso; (B) seção da bacia Pecuária durante período seco; (C) seção da bacia Floresta durante período chuvoso; (D) seção da bacia Floresta durante período seco. Fonte: Watanabe (2014).

As curvas-chave (nível x vazão) para as bacias Floresta e Pecuária foram determinadas de acordo com o monitoramento mensal 2013-2015, conforme Quadro 05. Ressalta-se que apenas a bacia Mutum-Paraná possui estação automática com dados a cada 15 minutos de nível e de precipitação, servindo de balizador para compreender o comportamento dos canais das bacias Floresta e Pecuária, além de

observador que registra o valor diário em dois períodos, favorecendo a interpretação do regime pluviométrico local.

As maiores vazões estão concentradas na bacia Mutum-Paraná, principalmente em virtude de ser a maior bacia e incorporar as outras bacias analisadas. As maiores variações estão concentradas nos períodos onde os índices de chuva são maiores, apresentando, assim, as características de precipitações intensas e de curto intervalo de tempo (Figura 19). Mesmo considerando registros pontuais mensais, os resultados apontam para respostas bem coerentes entre chuva e vazão, tomando como base os dados pluviométricos e fluviométricos da estação automática local (rio Mutum-Paraná), os registros pluviométricos de anos anteriores e as próprias vazões medidas para cada rio.

Quadro 05 – Leituras de vazão nos anos de 2013 e 2015.

Data	Pecuária	Floresta	Data	Mutum-Paraná
	Q m ³ /s			Q m ³ /s
-	-	-	09/01/2013	1,596
-	-	-	09/02/2013	4,844
02/03/2013	1,97	1,80	16/03/2013	4,989
23/04/2013	0,99	1,17	23/04/2013	9,179
18/05/2013	0,87	1,00	18/05/2013	4,876
03/07/2013	0,50	0,50	03/07/2013	2,004
10/08/2013	0,13	0,01	10/08/2013	0,314
14/09/2013	0,13	0,05	14/09/2013	0,266
12/10/2013	0,18	0,12	12/10/2013	0,292
09/11/2013	1,29	0,29	09/11/2013	1,129
07/12/2013	0,72	0,36	07/12/2013	1,694
19/01/2014	2,92	3,36	19/01/2014	5,385
22/02/2014	-	-	22/02/2014	7,196
17/05/2014	1,24	2,48	17/05/2014	4,764
05/07/2014	0,41	0,55	05/07/2014	1,45
02/08/2014	0,23	0,26	02/08/2014	0,692
27/09/2014	0,08	0,05	27/09/2014	0,157
16/11/2014	0,40	0,49	14/11/2014	0,565
20/12/2014	3,53	2,49	19/12/2014	3,613
31/01/2015	2,45	2,00	29/01/2015	3,894

Fonte: Organizado pelo autor.

Para a bacia Mutum-Paraná foi utilizada a equação linear (2) para curva-chave:

$$y = 4,6086x - 2,4349$$

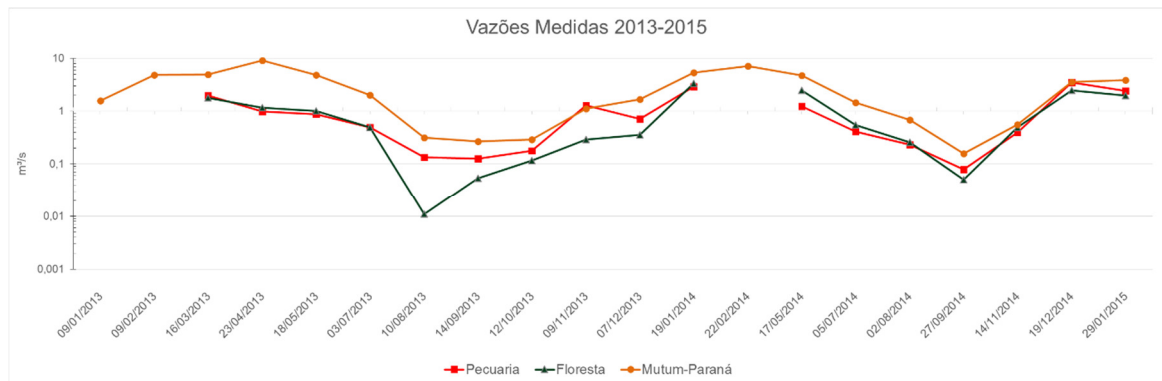
Para a bacia Floresta foi utilizada a equação linear (3) para curva-chave:

$$y = 3,0681x - 1,3492$$

E, para a bacia Pecuária foi utilizada a equação linear (4) para curva-chave:

$$y = 2,9767x - 0,6934$$

Figura 19 – Valores de vazões registrados no período 2013-2015.



Fonte: Organizado pelo autor.

Em 2014, diferentemente do ano anterior e posterior apesar de grandes contribuições das chuvas, verificou-se um aumento pouco expressivo nas vazões dos rios estudados. A maior variação deu-se na bacia do rio Mutum-Paraná, por se tratar, principalmente, de sua escala, abrangendo maior área e também acréscimo de outros rios tributários.

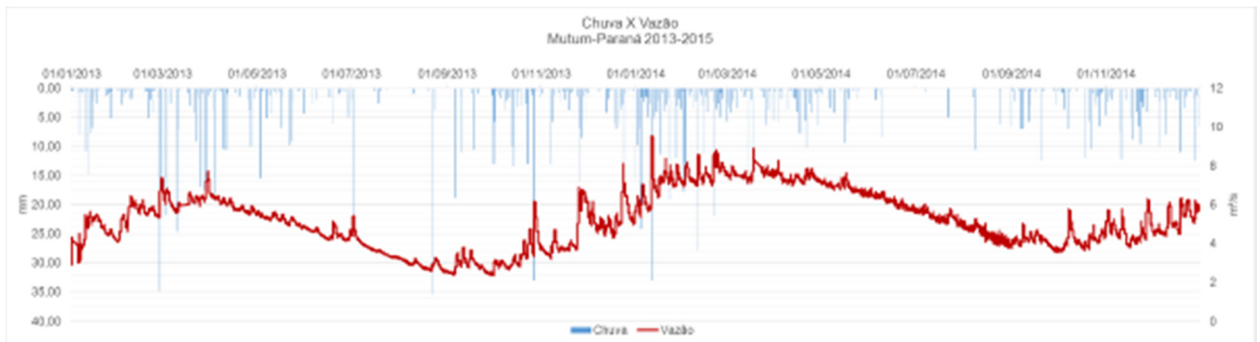
No período que corresponde à estiagem, as bacias Pecuária e Floresta acompanharam o regime sazonal e apresentaram medidas de vazão muito baixas. Em 2013, a menor medida de vazão registrada na bacia Pecuária foi de 0,13 m³/s nos meses de agosto e setembro, e o maior foi no mês de março com um valor de 1,97 m³/s. No mesmo ano, a bacia Floresta apresentou vazão de 0,01 m³/s em agosto e a maior vazão de 1,80 m³/s, em março. Entretanto, para o ano de 2014 a bacia Floresta passa a apresentar, em alguns casos, maiores registros de vazão com índices de 3,36 m³/s no mês de janeiro e 2,48 m³/s em maio (Quadro 05).

Estima-se que no mês de março, quando as chuvas começam a regredir e o solo encontra-se saturado devido ao período chuvoso, a vazão se mantém mais elevada; mesmo com índices pluviométricos similares entre os meses de março a julho, a diminuição das vazões mostra-se gradual, com picos de vazão em virtude de

chuvas concentradas. O mesmo ritmo vale para o período com maiores índices pluviométricos, cujo aumento da vazão também se mostra gradual.

Considerando a bacia Mutum-Paraná como norteadora para outros resultados hidrossedimentológicos obtidos, verifica-se que o aumento significativo da vazão durante no intervalo de outubro de 2013 a fevereiro de 2014 aponta para a grande quantidade de chuva ocorrida no período. Somente neste período, o acumulado de precipitação foi de 1.477,8 mm e o mês de janeiro de 2014 correspondeu a 30,54% desse total, apresentando chuvas que somaram até 93 mm em 24 horas (Figura 20).

Figura 20 – Relação precipitação X vazão no rio Mutum-Paraná.



Fonte: Organizado pelo autor.

Os meses de janeiro e fevereiro do ano de 2013, sem registro, são justificados pela definição das bacias hidrográficas a serem estudadas, bem como o reconhecimento e a definição das seções a serem monitoradas. Já para os meses de junho de 2013, julho e outubro de 2014, não houve campanhas em virtude de problemas técnicos nos equipamentos e na logística de campo. No intervalo de fevereiro a abril de 2014 a falta de registros é justificada pela cheia do rio Madeira e pelo acesso impedido durante o período.

Para padronizar os dados de vazão, utilizou-se o método proposto por Christofletti (1981), que sugere a transformação dos valores absolutos das vazões em específicos, conforme Quadro 06:

Quadro 06 – Valores de vazão média e área das bacias

Bacia	Q Média (m ³)	Área da bacia(km ²)	m ³ /km ²	Km ² /m ³
Bacia Pecuária	1,06	43,26	0,024	40,81
Bacia Floresta	1,00	55,9	0,017	55,9
Bacia Mutum-Paraná	2,94	330,26	0,008	112,33

Fonte: Organizado pelo autor.

Verifica-se que a relação m³/km² é muito semelhante entre as bacias analisadas, com pequena diferença na bacia Pecuária em relação à bacia Floresta. Entretanto, na relação km²/m³, o que equivale ao total de quilômetros quadrados para produzir um metro cúbico de água, nota-se que a bacia Floresta mostra diferença de 15,09 km²/m³. Em se tratando da bacia Mutum-Paraná, os índices apresentam-se com maiores diferenças, principalmente, no que tange à relação km²/m³.

5.4.2 Turbidez

As leituras de turbidez foram realizadas entre os meses de fevereiro 2013 e janeiro de 2015 em todas as amostras coletadas mensalmente que, por sua vez, também serviram para a quantificação da carga sedimentar em suspensão. Os resultados obtidos (Quadro 07) mostraram-se com valores bem diferentes entre as bacias Pecuária e Floresta, sendo que, na maioria das campanhas, a bacia Pecuária mostrou-se com valores superiores aos da bacia Floresta (Figura 21).

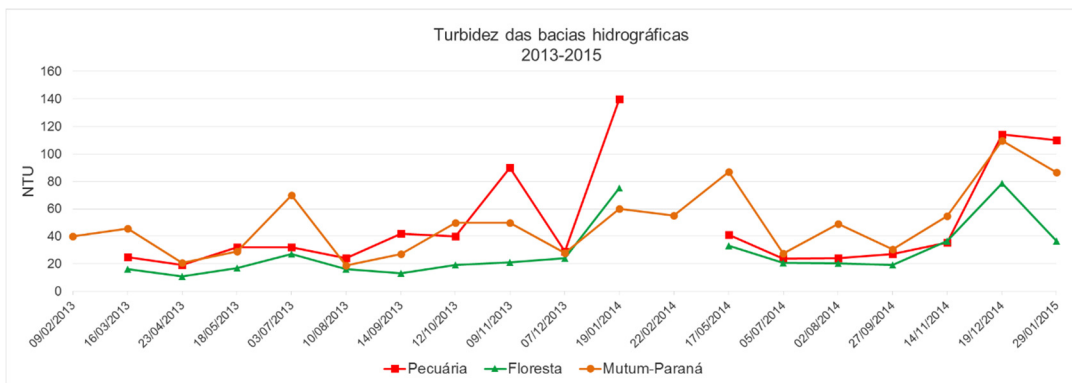
Quadro 07 – Leituras de turbidez nos anos de 2013, 2014 e 2015.

Data	Pecuária	Floresta	Data	Mutum-Paraná
	NTU			NTU
-	-	-	09/01/2013	-
-	-	-	09/02/2013	40
02/03/2013	25,0	16,0	16/03/2013	45,6
23/04/2013	19,0	11,0	23/04/2013	20,5
18/05/2013	32,0	17,0	18/05/2013	29
03/07/2013	32,0	27,0	03/07/2013	70
10/08/2013	24,0	16,0	10/08/2013	18,9
14/09/2013	42,0	13,0	14/09/2013	27
12/10/2013	40,0	19,0	12/10/2013	50
09/11/2013	90,0	21,0	09/11/2013	50
07/12/2013	29,0	24,0	07/12/2013	28
19/01/2014	140,0	75,0	19/01/2014	60
22/02/2014	-	-	22/02/2014	55

17/05/2014	41,0	33,0	17/05/2014	87
05/07/2014	23,6	20,5	05/07/2014	27,6
02/08/2014	24,0	20,3	02/08/2014	48,9
27/09/2014	27,1	19,3	27/09/2014	30,7
16/11/2014	35,5	36,5	14/11/2014	54,9
20/12/2014	114,0	78,6	19/12/2014	109,5
31/01/2015	110	36,4	29/01/2015	86,5

Fonte: Organizado pelo autor.

Figura 21 – Distribuição da turbidez entre os anos de 2013 e 2015.



Fonte: Organizado pelo autor.

Em todos os meses monitorados (Quadro 07), verificou-se que os índices da bacia Pecuária foram sempre superiores aos da bacia Floresta. No ano de 2013 as maiores diferenças foram concentradas nos meses de abril, agosto, setembro, outubro e novembro. Já no ano de 2014, as maiores diferenças estão nos meses de janeiro e agosto. Interessante destacar que nos meses de outubro a dezembro de 2013 os valores dos índices da bacia Floresta foram estáveis, com pouca variação, mesmo com eventos pluviométricos mais intensos.

Entretanto, na bacia Pecuária verificou-se uma grande oscilação nos valores, principalmente no mês de novembro de 2013, com um valor de 90 NTU e janeiro de 2014 com 140 NTU, associada a eventos pluviométricos extremos. Comparando as bacias Pecuária e Floresta, notou-se que no maior registro de 2013 a diferença foi de 69 NTU e em 2014 foi de 65 NTU, ou seja, os padrões de uso e cobertura predominantes são essenciais para a regulação dos índices de turbidez das bacias dessa região.

Durante o período analisado, verificou-se uma amplitude de 121 NTU e média de 49,9 NTU para a bacia Pecuária, e 67,6 NTU de amplitude e 28,4 NTU para a bacia Floresta. Assim, a diferença de 21,45 NTU das médias para o período estudado

evidencia maior controle de respostas para a bacia Floresta, principalmente no que se refere ao transporte de sedimentos em suspensão.

A sensibilidade no parâmetro turbidez de bacias hidrográficas, com o predomínio do uso da terra por pecuária, apresenta-se bem maior em relação a bacias hidrográficas com predominância de floresta. Mesmo em períodos de poucos eventos pluviométricos e de baixa intensidade, podem-se notar diferenças bastante significativas.

Apenas em um registro a bacia Floresta apresentou valores de turbidez acima da Pecuária, na data de 16/11/2014, registrando 6,6 mm. Contudo, as respostas podem estar associadas à distribuição das chuvas para cada bacia, pois, dependendo da abrangência do evento pluviométrico e de sua intensidade, o tempo resposta para cada bacia hidrográfica poderá ser diferente (Figura 21). Vale ressaltar que os testes foram repetidos, no mínimo, três vezes no local, em amostras diferentes, e os valores mantiveram-se os mesmos.

5.4.3 Sedimentos em suspensão

Notadamente, de acordo como o período de registros, as concentrações de sedimentos em suspensão foram baixas. O maior valor para a bacia Pecuária (35,48 mg/l) foi em janeiro de 2015 e para a bacia Floresta (27,44 mg/l) foi em dezembro de 2014, os quais expressam picos de períodos distintos. Entretanto, se compararmos os registros de maior valor concentrados no período chuvoso, nota-se uma maior similaridade da bacia Pecuária com a bacia Mutum-Paraná, explicada pela intensidade do uso da terra que ultrapassa os 20% de área desmatada para as duas bacias hidrográficas.

Os menores valores concentram-se, principalmente, na bacia Floresta, com mínimo de (5,94 mg/l). Entre os 18 meses de medições, a bacia Floresta obteve nove registros de menor valor, enquanto que a bacia Pecuária apresentou apenas quatro registros com valores baixos.

Os valores médios de sedimento em suspensão evidenciam a interferência do uso da terra nos canais fluviais. A bacia pecuária, com aproximadamente 50% da sua área desmatada e com uso de pastagem, apresentou valor médio de 15,7 mg/l, ou seja, 35% a mais de sedimento em suspensão em relação a bacia Floresta, cujo valor foi de 10,3 mg/l e com área desmatada de apenas 15% (Quadro 08); como

comparativo, a bacia Mutum-Paraná obteve valor médio de 19,2 mg/l, com apenas 28% de sua área correspondendo ao uso de pastagem. Importante destacar que a quantidade de sedimentos em suspensão transportada pelo rio Mutum-Paraná eleva-se às outras bacias analisadas, em virtude da sua extensão territorial e por compreender maior carga líquida.

Quadro 08 – Concentração de sedimentos em suspensão 2013-2015.

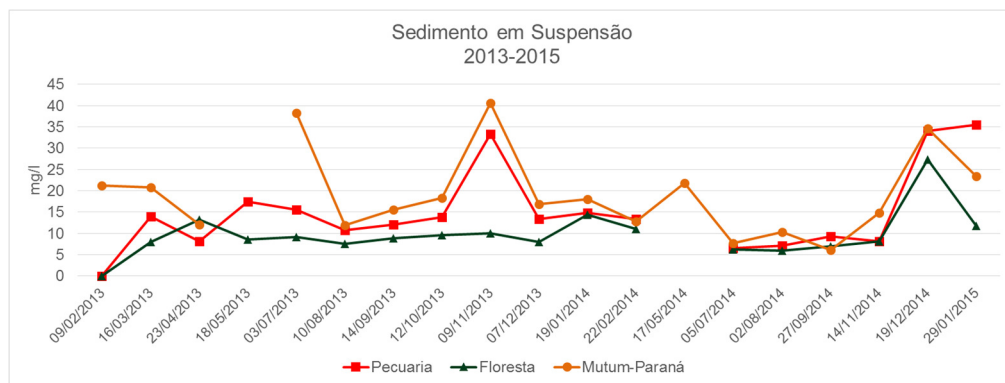
Data	Pecuária	Floresta	Data	Mutum-Paraná
	mg/l			mg/l
-	-	-	09/01/2013	-
-	-	-	09/02/2013	21,3
02/03/2013	13,98	8,02	16/03/2013	20,8
23/04/2013	8,14	13,3	23/04/2013	12,1
18/05/2013	17,5	8,54	18/05/2013	-
03/07/2013	15,6	9,2	03/07/2013	38,3
10/08/2013	10,8	7,58	10/08/2013	11,9
14/09/2013	12,02	8,92	14/09/2013	15,6
12/10/2013	13,84	9,56	12/10/2013	18,4
09/11/2013	33,36	10,08	09/11/2013	40,6
07/12/2013	13,34	7,96	07/12/2013	16,8
19/01/2014	14,84	14,34	19/01/2014	18,0
17/05/2014	13,42	11,02	22/02/2014	12,8
22/02/2014	-	-	17/05/2014	21,8
05/07/2014	6,52	6,22	05/07/2014	7,7
02/08/2014	7,18	5,94	02/08/2014	10,4
27/09/2014	9,32	6,98	27/09/2014	6,2
16/11/2014	8,1	8,18	14/11/2014	14,9
20/12/2014	34,1	27,44	19/12/2014	34,7
31/01/2015	35,48	11,78	29/01/2015	23,4

Fonte: Organizado pelo autor.

As variações entre os sedimentos em suspensão das bacias estudadas apresentaram amplitudes de 28,96 mg/l para a bacia Pecuária e 21,5 mg/l para a bacia Floresta, enquanto que para a bacia Mutum-Paraná a variação de amplitude foi de 34,4 mg/l, o que evidencia uma maior contribuição e magnitude dessa bacia (Figura 22). Para as três bacias analisadas, a concentração de sedimentos em suspensão não mostrou uma boa relação com a sazonalidade da região. Houve variação significativa durante o período monitorado, ocasionando nos períodos de estiagem

maiores taxas de concentração de sedimentos em comparação com os períodos mais chuvosos. Buscando compreender melhor o comportamento hidrossedimentológico das bacias, optou-se por monitorar eventos pluviométricos significativos, uma vez que as respostas da concentração dos sedimentos em suspensão ocorrem em menores intervalos de tempo.

Figura 22 – Evolução anual da concentração de sedimentos em suspensão entre os anos de 2013 e 2015.



Fonte: Organizado pelo autor.

5.5 Relação Vazão–Turbidez–Sedimentos

Buscando entender de forma integrada os parâmetros hidrossedimentológicos, optou-se por correlacionar as variáveis e verificar quais tendências as mesmas poderiam apontar. Deste modo, verificou-se que as relações entre as variáveis para cada bacia apresentavam comportamentos diferenciados, podendo expor maiores tendências para as sazonalidades da região. A bacia do rio Mutum-Paraná apresenta correlação fraca entre as variáveis *Vazão x Sedimento em Suspensão* e *Vazão x Turbidez*, mas correlação moderada entre *Turbidez x Sedimento em Suspensão*. Ao analisar as distribuições dos pontos nos gráficos de dispersão, verificou-se a formação de agrupamentos, levando a uma nova análise de dispersão por períodos (meses secos e chuvosos), o que apresentou leve melhora no período estudado nas correlações (Quadro 09).

Quadro 09 – Correlação entre as variáveis hidrossedimentológicas.

Correlação Mutum-Paraná			
Variáveis	2013-2015	Meses Secos	Meses Chuvosos
Vazão X Sedimento em Suspensão	0,22	0,34	0,44
Vazão X Turbidez	0,32	0,37	0,31
Sedimento em Suspensão X Turbidez	0,54	0,50	0,74
Correlação Pecuária			
Variáveis	2013-2015	Meses Secos	Meses Chuvosos
Vazão X Sedimento em Suspensão	0,46	0,34	0,35
Vazão X Turbidez	0,58	0,83	0,47
Sedimento em Suspensão X Turbidez	0,88	0,42	0,91
Correlação Floresta			
Variáveis	2013-2015	Meses Secos	Meses Chuvosos
Vazão X Sedimento em Suspensão	0,39	0,52	0,34
Vazão X Turbidez	0,55	0,75	0,62
Sedimento em Suspensão X Turbidez	0,71	0,79	0,73

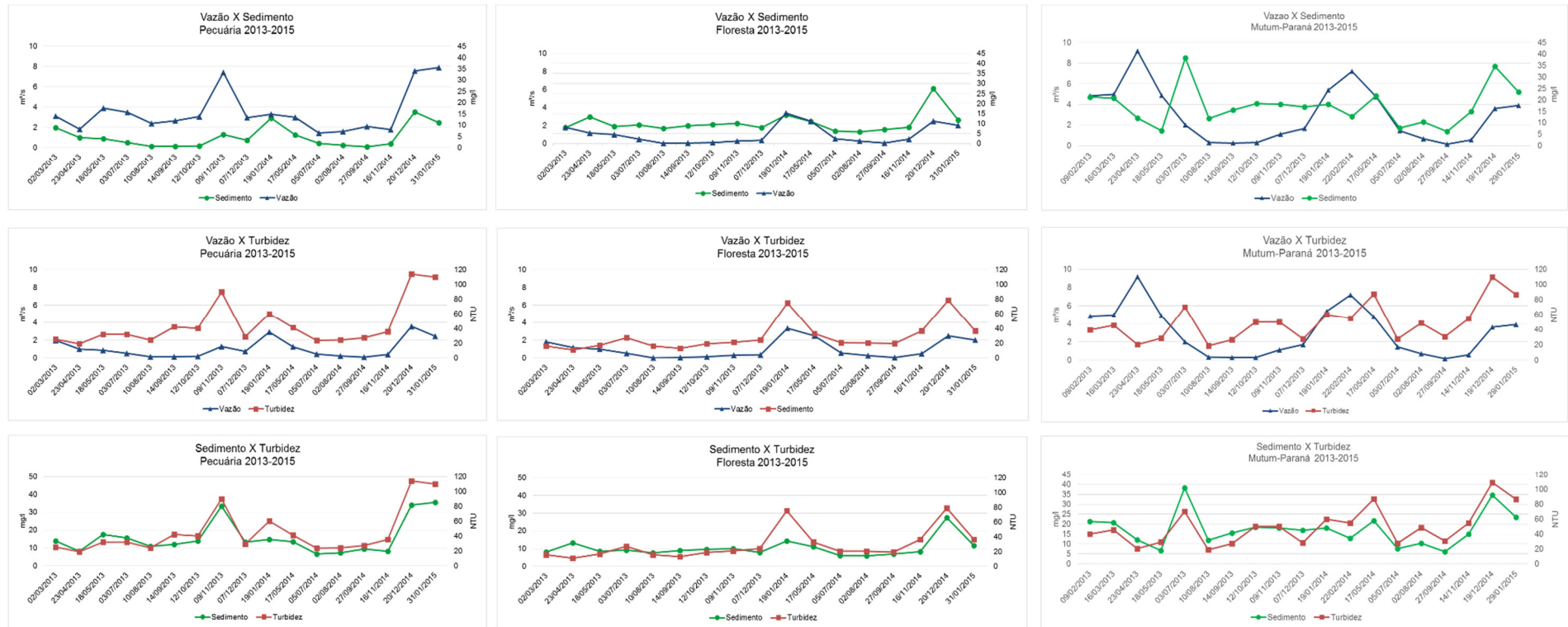
Fonte: Organizado pelo autor.

Para as variáveis *Vazão x Sedimento* e *Vazão x Turbidez* nos dois períodos, verificou-se pouca melhora e uma moderada tendência para a sazonalidade. Entre as variáveis *Sedimento em Suspensão x Turbidez* houve pequena diferença negativa no período seco para $R^2=0,50$ e melhora significativa para o período chuvoso com $R^2=0,74$, caracterizando como forte correlação.

Na bacia Pecuária as correlações caracterizam-se como moderadas entre as variáveis *Vazão x Sedimento* e *Vazão x Turbidez*. Já as variáveis *Sedimento em Suspensão x Turbidez* apresentaram forte correlação, com $R^2=0,88$, o que denota considerável dependência entre as variáveis. Na análise por períodos (meses secos e chuvosos), notou-se uma diminuição na correlação entre as variáveis *Vazão X Sedimento*, mas com pequena melhora para o período chuvoso entre *Sedimento em Suspensão x Turbidez*, passando de correlação forte para muito forte. Já para as variáveis *Vazão x Turbidez* para o período seco houve melhora significativa, passando de moderada para forte correlação.

Na bacia Floresta a correlação entre as variáveis *Vazão x Sedimento* foi considerada baixa ($R^2=0,39$), passando para moderada entre *Vazão x Turbidez* e forte para as variáveis *Sedimento em Suspensão x Turbidez*. No período seco, *Vazão x Sedimento em Suspensão* apresenta aumento para correlação moderada e *Vazão x Turbidez* passa de moderada para forte correlação ($R^2=0,52$). Considerando todas as correlações para todas as bacias, verifica-se melhor interação entre as variáveis *Sedimento em Suspensão x Turbidez*, cujos valores são moderados para a bacia Mutum-Paraná ($R^2=0,54$) e forte e/ou muito forte nas bacias Pecuária ($R^2=88$) e Floresta ($R^2=0,71$) (Figura 23).

Figura 23 – Relação das variáveis hidrossedimentológicas durante os anos de 2013-2015.



Fonte: Organizado pelo autor.

5.6 Monitoramento de Eventos

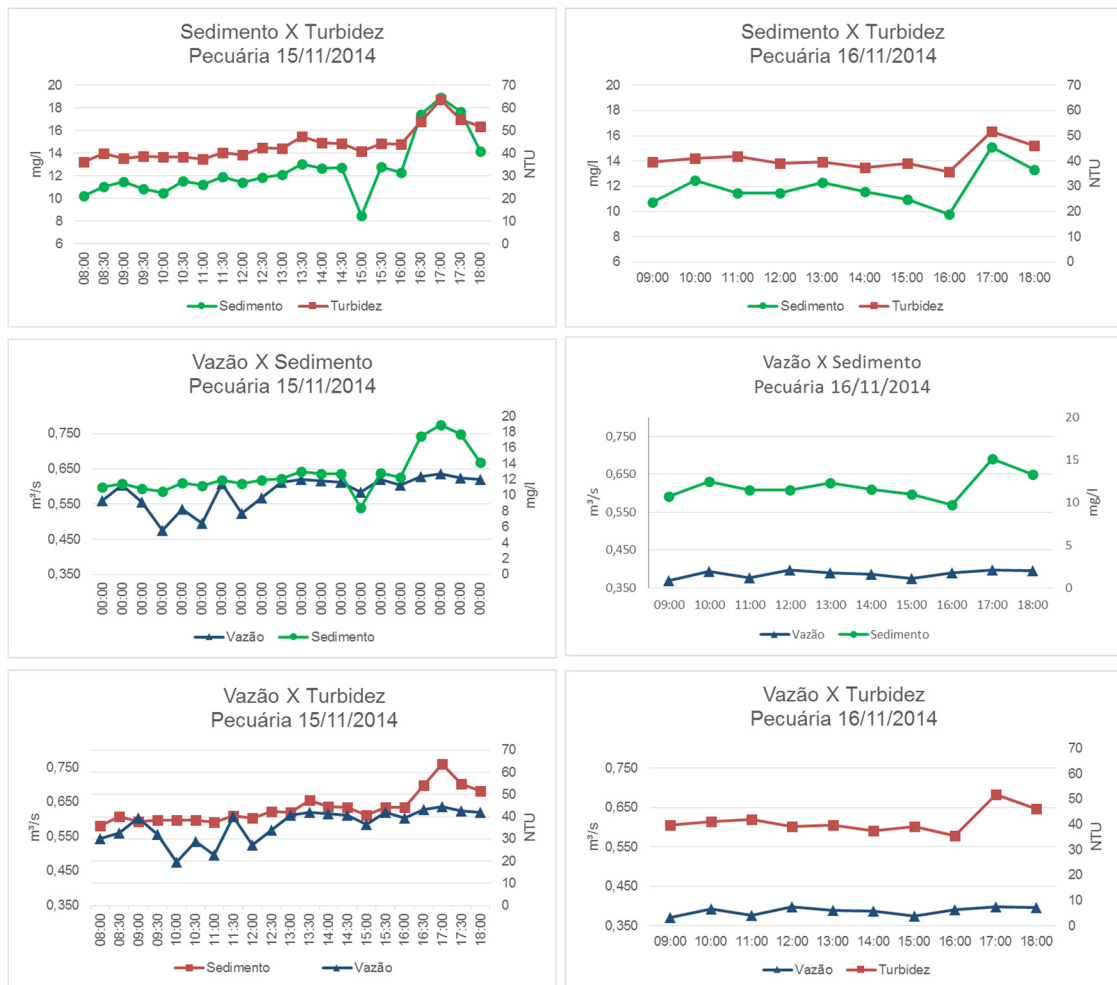
Buscando compreender de forma mais detalhada o comportamento hidrológico e hidrossedimentológico das bacias Floresta e Pecuária, bem como comprovar a hipótese do trabalho, optou-se por comparar as variáveis hidrossedimentológicas por eventos pluviométricos significativos. No total foram dois eventos pluviométricos com coletas de amostras de água e medição de vazão e turbidez horárias, respectivamente, nos meses de dezembro de 2014 e janeiro de 2015, conforme descrito no item 4.2. Entretanto, para fins de comparação foram realizadas coletas e medições a cada 30 minutos, em dois dias de campo, no mês de novembro de 2014 que, por sua vez, não registrou nenhum evento pluviométrico.

5.6.1 Eventos (novembro de 2014)

Os registros do mês de novembro de 2014 correspondem a pouca variação entre os elementos analisados e forte correlação entre as variáveis *Sedimento em Suspensão x Turbidez*. A pequena oscilação na variável vazão determinou oscilações consideráveis nos outros elementos, principalmente na Turbidez, podendo ultrapassar 20 NTU de diferença (Figura 24).

Na bacia Pecuária as correlações dos registros dos dias 15 e 16 de novembro de 2014 entre *Sedimento em Suspensão x Turbidez* foram, respectivamente, fortes e muito fortes, com $R^2=0,88$ e $R^2=0,89$. Não foram registrados eventos pluviométricos no período analisado, mantendo as correlações moderadas com pouca mudança de um dia para outro, quanto as variáveis *Vazão x Sedimento em Suspensão* e *Vazão x Turbidez*.

Figura 24 – Relação dos parâmetros hidrossedimentológicos de forma horária da bacia Pecuária durante campo de novembro de 2014.



Fonte: Organizado pelo autor.

Na bacia Floresta as correlações seguem os mesmos padrões da bacia pecuária, mas com valores inferiores das variáveis, principalmente no sedimento em suspensão e na turbidez. As oscilações entre as variáveis apresentaram bons resultados quanto à sua regularidade, ou seja, os valores e as correlações melhoraram significativamente, principalmente no dia 16/11 com valores que se mantiveram estáveis (Figura 25).

Figura 25 – Relação dos parâmetros hidrossedimentológicos de forma horária da bacia Floresta durante campo de novembro de 2014.

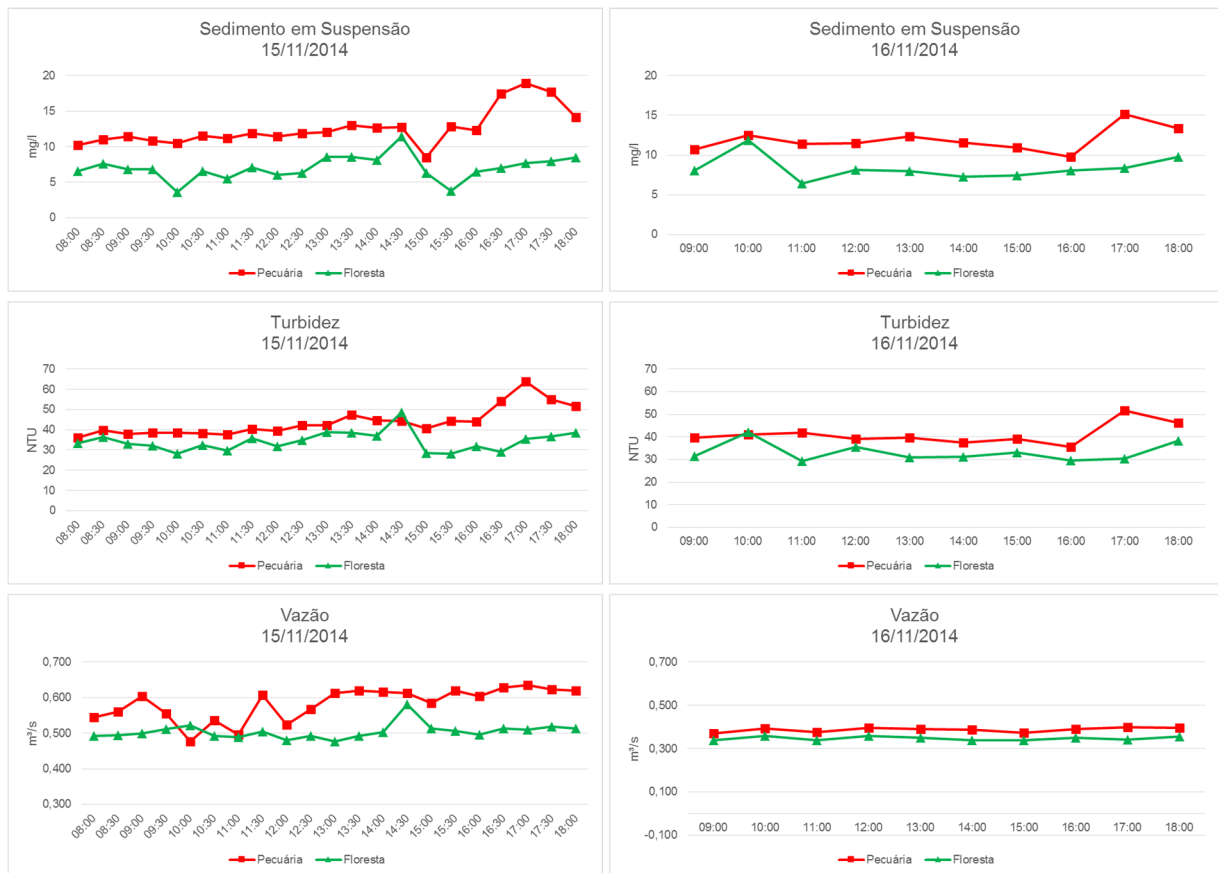


Fonte: Organizado pelo autor.

Para ambas as bacias as correlações entre *Sedimento em Suspensão* x *Turbidez* se mostraram forte ou muito forte, indicando a turbidez como o elemento principal para a determinação de sedimentos em suspensão nas bacias analisadas.

Ao compararmos os elementos por bacia hidrográfica, podemos reconhecer as diferenças, principalmente na turbidez e no sedimento em suspensão, onde na bacia Pecuária os valores são predominantemente superiores aos da bacia Floresta, apresentando, assim, os efeitos dos usos da terra nos elementos hidrossedimentológicos para cada bacia (Figura 26).

Figura 26 – Comparação dos parâmetros hidrossedimentológicos entre as bacias Floresta e Pecuária em novembro de 2014.



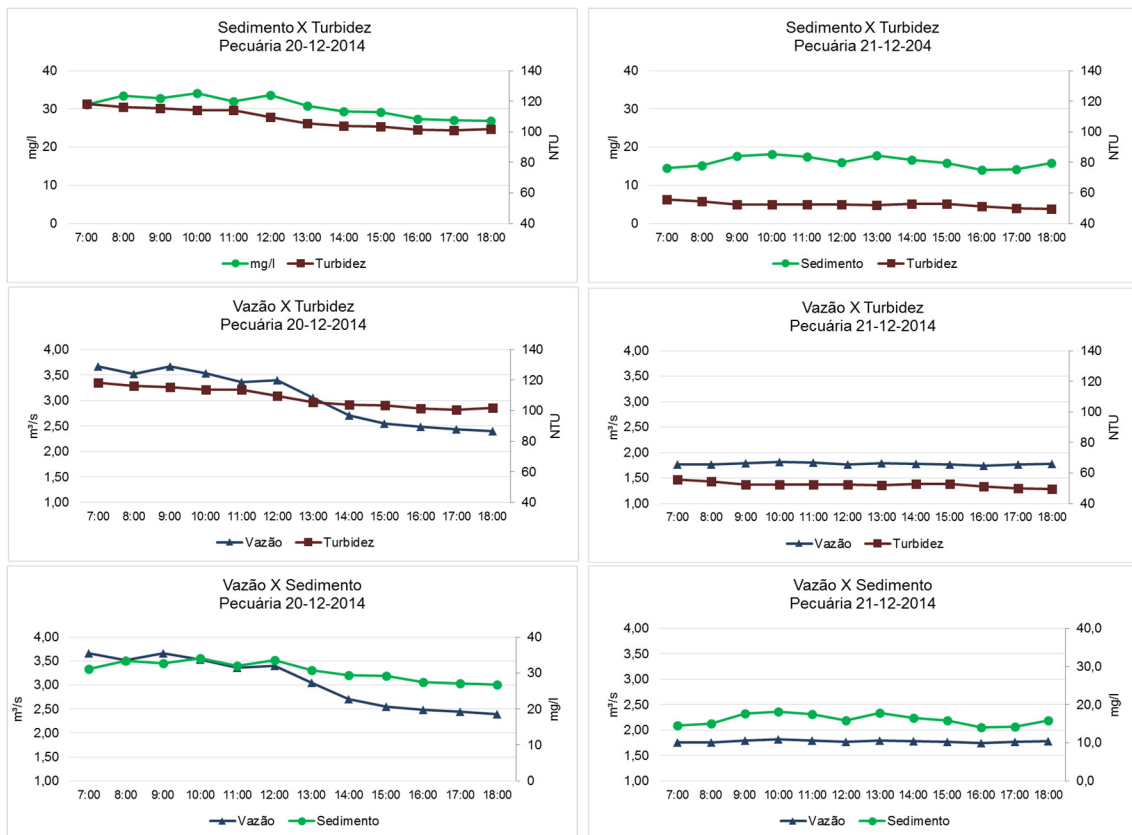
Fonte: Organizado pelo autor.

Mesmo nos registros onde não houve eventos pluviométricos, a estabilidade e a regularidade da bacia Floresta apresentou em seus padrões hidrossedimentológicos resultados positivos em comparação à bacia Pecuária, principalmente nas taxas de sedimento em suspensão. Tal fato se deve por conta do mês de novembro de 2014 apresentar um atraso em relação às chuvas do período, em virtude de um ano hidrológico atípico entre 2013 e 2014.

5.6.2 Eventos (dezembro de 2014)

Para o mês de dezembro, os registros foram realizados nos dias 20 e 21/12/2014 e mostraram maior oscilação entre as variáveis, principalmente na bacia Pecuária, com respostas mais significativas nas taxas de sedimento em suspensão e turbidez. A bacia Pecuária apresentou correlação muito forte no dia 20 entre os elementos *Sedimento em Suspensão x Turbidez* e *Vazão x Turbidez*, caracterizando a recessão do evento pluviométrico registrado (Figura 27).

Figura 27 – Relação dos parâmetros hidrossedimentológicos de forma horária da bacia Pecuária durante campo de dezembro de 2014.

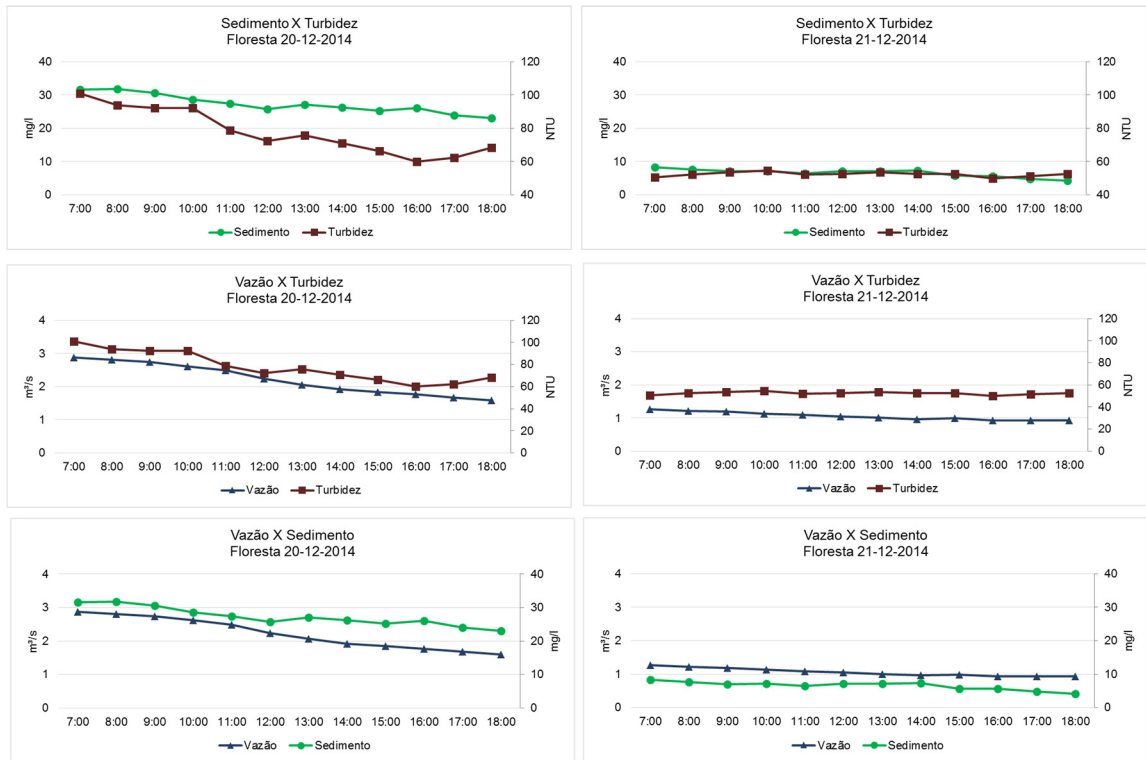


Fonte: Organizado pelo autor.

No dia 20 a turbidez obteve amplitude de 20 NTU, a vazão oscilou em aproximadamente $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ e o sedimento em suspensão apresentou amplitudes de até 10 mg/l . Após a recessão, no dia 21/12, os valores estabilizaram-se com pequenas diferenças entre os registros e com forte correlação. Já para os dois dias analisados em conjunto, verifica-se o comportamento e a rápida oscilação que um evento pode proporcionar na bacia Pecuária, com respostas quantitativas bastante significativas em suas variáveis.

Na bacia Floresta, para o mesmo evento pluviométrico dos dias 20 e 21/12/2014, verificou-se uma melhor resposta para todas as variáveis, principalmente no que se refere à vazão. Todas as correlações no dia 20 para a bacia Floresta mostraram-se como forte ou muito forte, cujos registros baixaram proporcionalmente de acordo com a recessão pós-evento. No dia 20 a turbidez variou até 40 NTU, a quantidade de sedimento em suspensão variou apenas 9 mg/l e a vazão oscilou entre $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Assim sendo, mesmo com o dobro da turbidez da bacia Floresta, a bacia Pecuária apresentou a maior amplitude do sedimento em suspensão (Figura 28).

Figura 28 – Relação dos parâmetros hidrossedimentológicos de forma horária da bacia Floresta durante campo de dezembro de 2014.



Fonte: Organizado pelo autor.

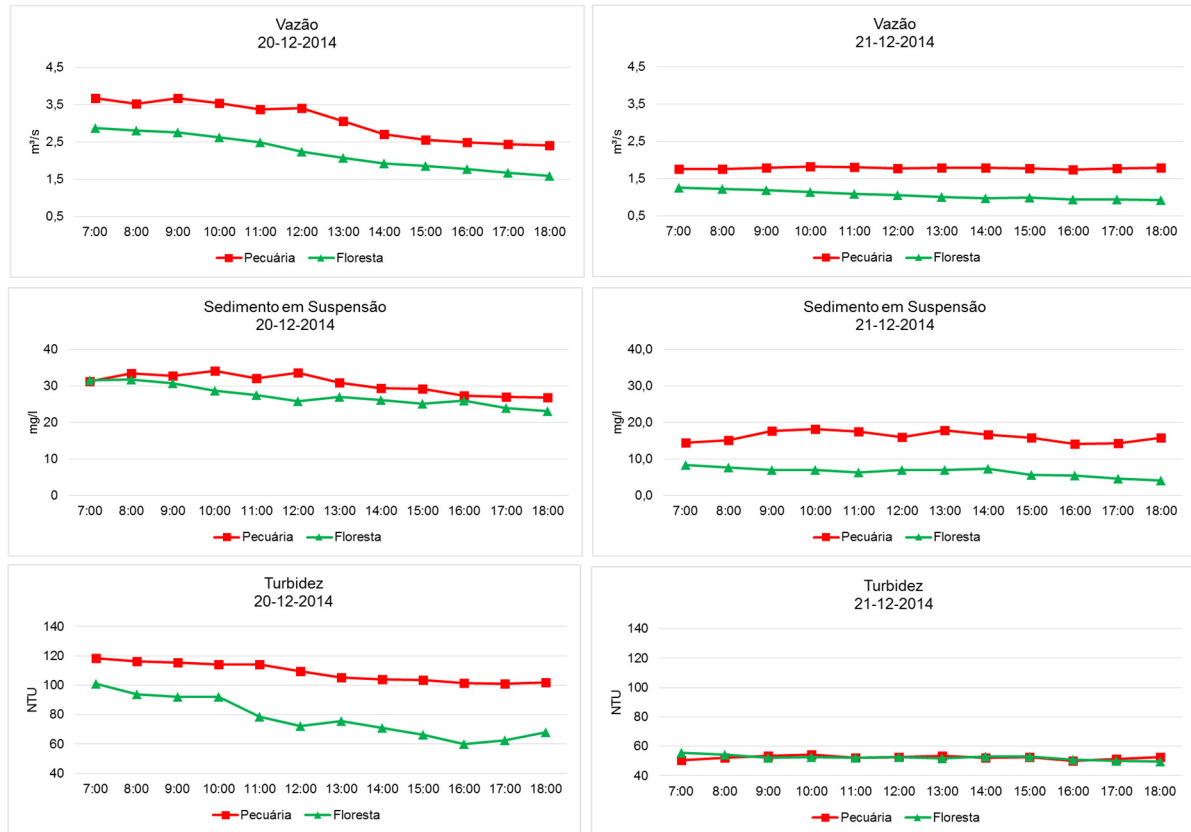
A forte correlação entre as variáveis mostra o quanto a bacia pode ser equilibrada em seus parâmetros hidrossedimentológicos. Quando a interferência pelo uso e cobertura da terra está dentro dos padrões (abaixo de 20% desmatado), verifica-se maior sincronismo entre os elementos vazão, turbidez e sedimento em suspensão.

Comparando as duas bacias (Pecuária X Floresta) notam-se respostas sincronizadas em todos os parâmetros, devido ao evento pluviométrico registrado no dia 20/12. Os valores de turbidez estão sempre elevados para a bacia Pecuária, com um valor médio de 100 NTU e pouca oscilação durante todo o evento. Mesmo apresentando maior oscilação (40 NTU), a bacia Floresta acompanha o ritmo da vazão (recessão), o que não compromete grandes aumentos nas taxas de sedimento em suspensão.

Quanto ao sedimento em suspensão, a curva da bacia Pecuária está sempre mais elevada em comparação à bacia Floresta. Os registros raramente se cruzam e mantêm amplitudes que podem chegar a 10 mg/l em certos momentos do evento,

caracterizando a maior carga sedimentar em suspensão carregada pela bacia Pecuária (Figura 29).

Figura 29 – Comparação dos parâmetros hidrossedimentológicos entre as bacias Floresta e Pecuária em dezembro de 2014.



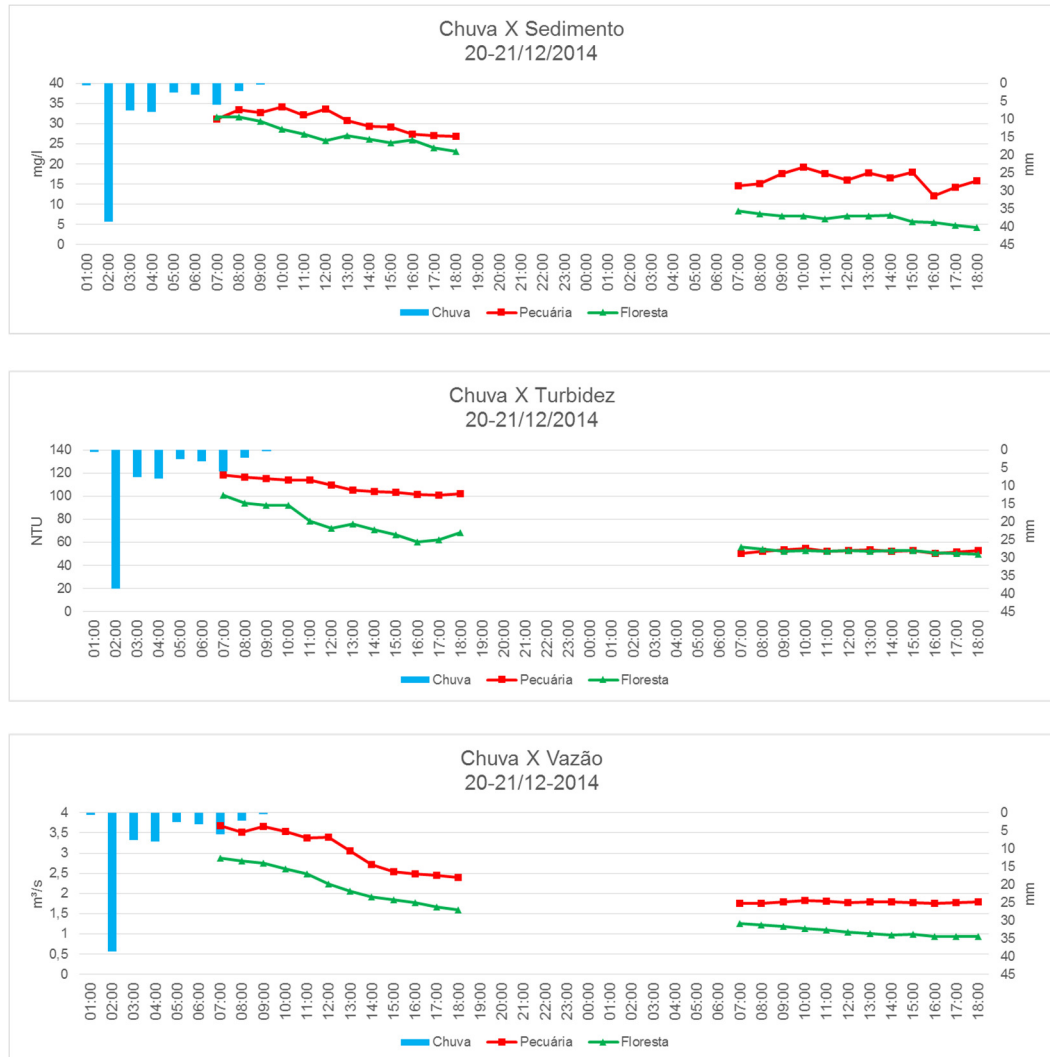
Fonte: Organizado pelo autor.

Ainda sob a influência do período de recessão do evento pluviométrico do dia 20/12, o comportamento das variáveis vazão e sedimento em suspensão no dia 21/12 manteve-se idêntico, havendo variação apenas nos valores de turbidez. Mesmo oscilando apenas 6 NTU, nota-se que a turbidez ainda continuou expressiva na bacia Floresta, e que a estabilização mais abrupta ocorreu na bacia Pecuária. Portanto, o evento do dia anterior promoveu diminuição expressiva da turbidez na bacia Pecuária e pouca oscilação na bacia Floresta, mesmo com diferenças semelhantes de sedimento em suspensão registradas no dia 20/12.

No dia 20/12, a bacia Pecuária apresentou valor médio de sedimento em suspensão de 31 mg/l e turbidez média de 109 NTU, diferindo em apenas 2,7 mg/l da bacia Floresta, cuja turbidez média foi de 77,8 NTU. Já no dia 21/12, a bacia Pecuária apresentou valor médio de sedimento em suspensão de 16,1 mg/l e turbidez média

de 52,3 NTU, enquanto que na bacia Floresta os valores de sedimentos foram de apenas 6,5 mg/l e turbidez média idêntica ao da bacia Pecuária (Figura 30).

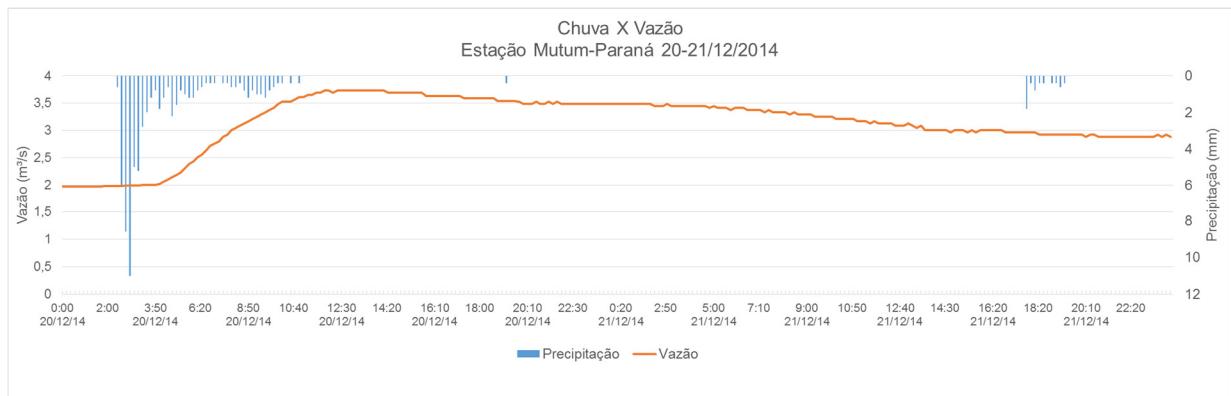
Figura 30 – Relação dos parâmetros chuva-vazão-sedimento-turbidez entre as bacias Floresta e Pecuária em dezembro de 2014.



Fonte: Organizado pelo autor.

Como base comparativa, a bacia do rio Mutum-Paraná apresentou boa resposta para o evento monitorado. A curva de vazão acompanha o evento pluviométrico intenso de 69 mm (Figura 31), bem como as duas bacias (Pecuária e Floresta). Entretanto, cabe ressaltar que a sensibilidade das duas bacias pareadas (Floresta e Pecuária) é maior do que a bacia Mutum-Paraná, principalmente por agregar outros canais de drenagem, chegando a 80% a mais em relação às outras bacias.

Figura 31 – Hidrograma do evento pluviométrico nos dias 20-21/12/2014 da bacia do rio Mutum-Paraná para fins de comparação.



Fonte: Organizado pelo autor.

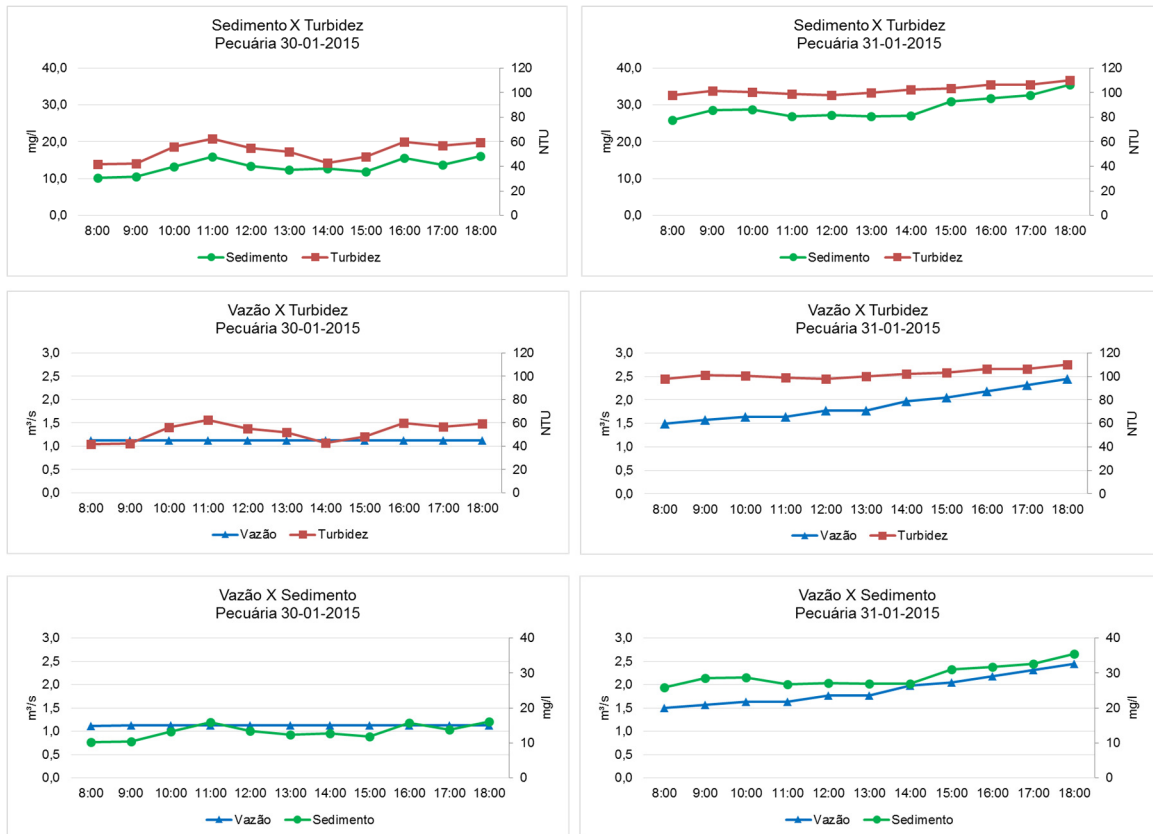
Em apenas uma hora de chuva, o acumulado de 39 mm foi responsável pela ascensão da vazão (Figura 31). O pico da vazão ocorreu duas horas após cessar a precipitação, mantendo-se elevado durante oito horas e retrocedendo lentamente. A diferença da vazão foi de aproximadamente $1 \text{ m}^3/\text{s}$ durante as 24 horas após o evento, ocasionado pelo tempo-resposta e pela continuidade de chuvas isoladas durante o período. Verificou-se, desta maneira, que os processos hidrossedimentológicos da bacia Mutum-Paraná apresentaram respostas similares em relação à vazão e à precipitação, bem como resposta análoga às bacias Floresta e Pecuária, respeitadas suas áreas de drenagem e suas condicionantes morfométricas e hidrológicas.

5.6.3 Eventos (janeiro de 2015)

O evento de janeiro de 2015, correspondente ao dia 31/01, apresentou uma ascensão na curva de dados e as correlações foram definidas como forte e muito forte. O período pré-evento (30/01) apresentou forte correlação entre todas as variáveis analisadas na bacia Pecuária, principalmente entre sedimento em suspensão e turbidez, com $R^2=0,85$.

Apesar da pouca variação da vazão no dia 30/01, os níveis de turbidez apresentaram amplitudes de 20 NTU, e, acompanhando esse ritmo, as taxas de sedimento em suspensão oscilaram em até 6 mg/l. A distribuição de pequenos eventos pluviométricos durante o monitoramento pode explicar esses picos de turbidez durante esse curto intervalo de tempo, bem como as inexpressivas quantidades de sedimentos em suspensão e vazão registradas (Figura 32).

Figura 32 – Relação dos parâmetros hidrossedimentológicos de forma horária da bacia Pecuária durante campo de janeiro de 2015.

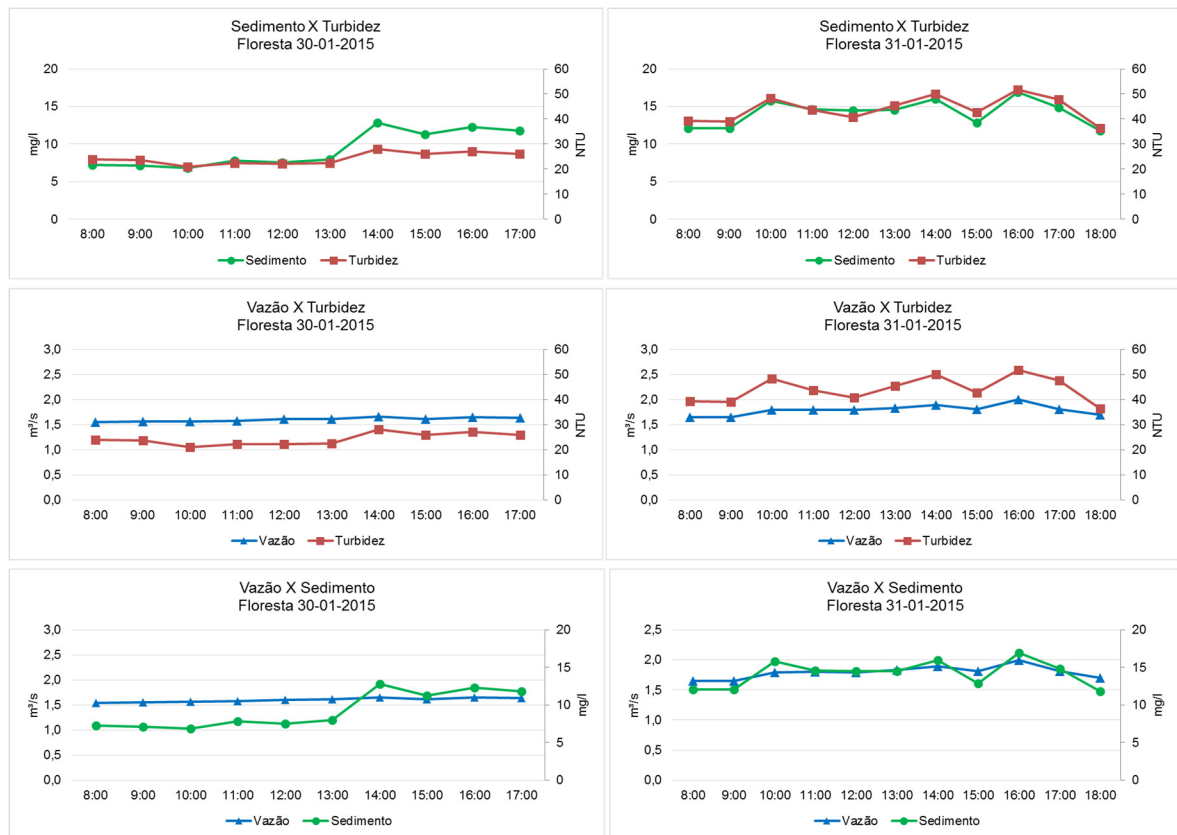


Fonte: Organizado pelo autor.

No dia 31/01 o cenário mudou significativamente para todas as variáveis, em termos quantitativos, da bacia Pecuária. As correlações se mantiveram em forte e muito forte, evidenciando o período de ascensão do evento pluviométrico com variação na turbidez de 11 NTU e de 10 mg/l nas taxas de sedimento em suspensão. Mesmo com pequenas amplitudes durante todo o evento, destacam-se os níveis que cada variável apresentava, como a turbidez com valor médio de 104 NTU e os sedimentos em suspensão com valor médio de 30 mg/l.

Para o mesmo evento, as correlações da bacia Floresta apresentaram-se como forte e muito forte, e com variações entre os elementos turbidez e sedimento em suspensão similares à bacia Pecuária. O pré-evento (30/01) apresentou amplitude nas taxas de turbidez de 7 NTU e de 5 mg/l nos registros de sedimento em suspensão, denotando maior regularidade nos processos hidrológicos (Figura 33).

Figura 33 – Relação dos parâmetros hidrossedimentológicos de forma horária da bacia Floresta durante campo de janeiro de 2015.

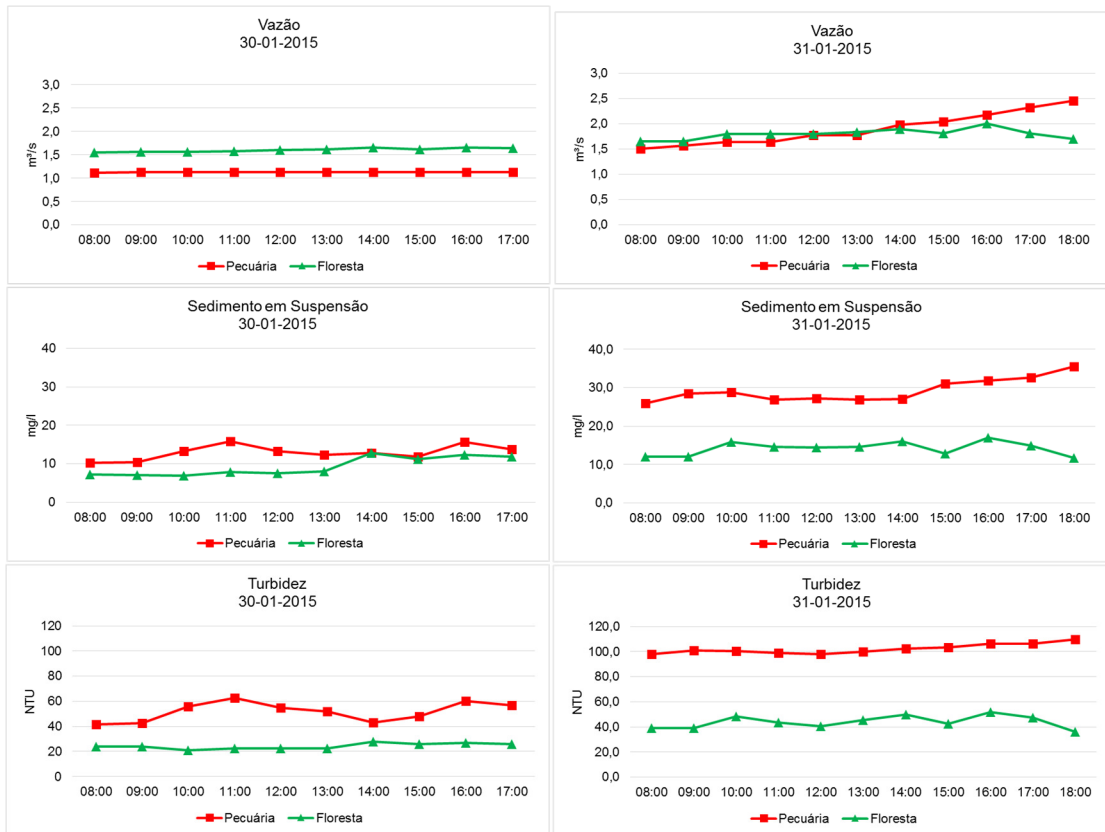


Fonte: Organizado pelo autor.

Diferente do evento registrado no mês de dezembro de 2014, as oscilações registradas no dia 31/01/2015 foram inferiores, cujas variações de amplitude nas taxas de sedimento em suspensão foram de 5 mg/l e a turbidez de 15 NTU. Mesmo com a ascendência dos registros pluviométricos, a vazão mostrou maior oscilação durante o período monitorado e com amplitude apenas de 0,4 m³/s, definindo a bacia com controle em seus elementos hidrossedimentológicos e evidenciando o efeito da pouca interferência no canal fluvial.

O comparativo entre as bacias nos dias 30 e 31/01 evidencia as diferenças, principalmente, entre os sedimentos em suspensão e a turbidez. No dia 30/01 a bacia Pecúria apresentou um valor médio de sedimento em suspensão de 13,26 mg/l e turbidez média de 52,5 NTU, enquanto que, no mesmo período, a bacia Floresta apresentou média de 9,27 mg/l e valores médios de turbidez de 24 NTU (Figura 34).

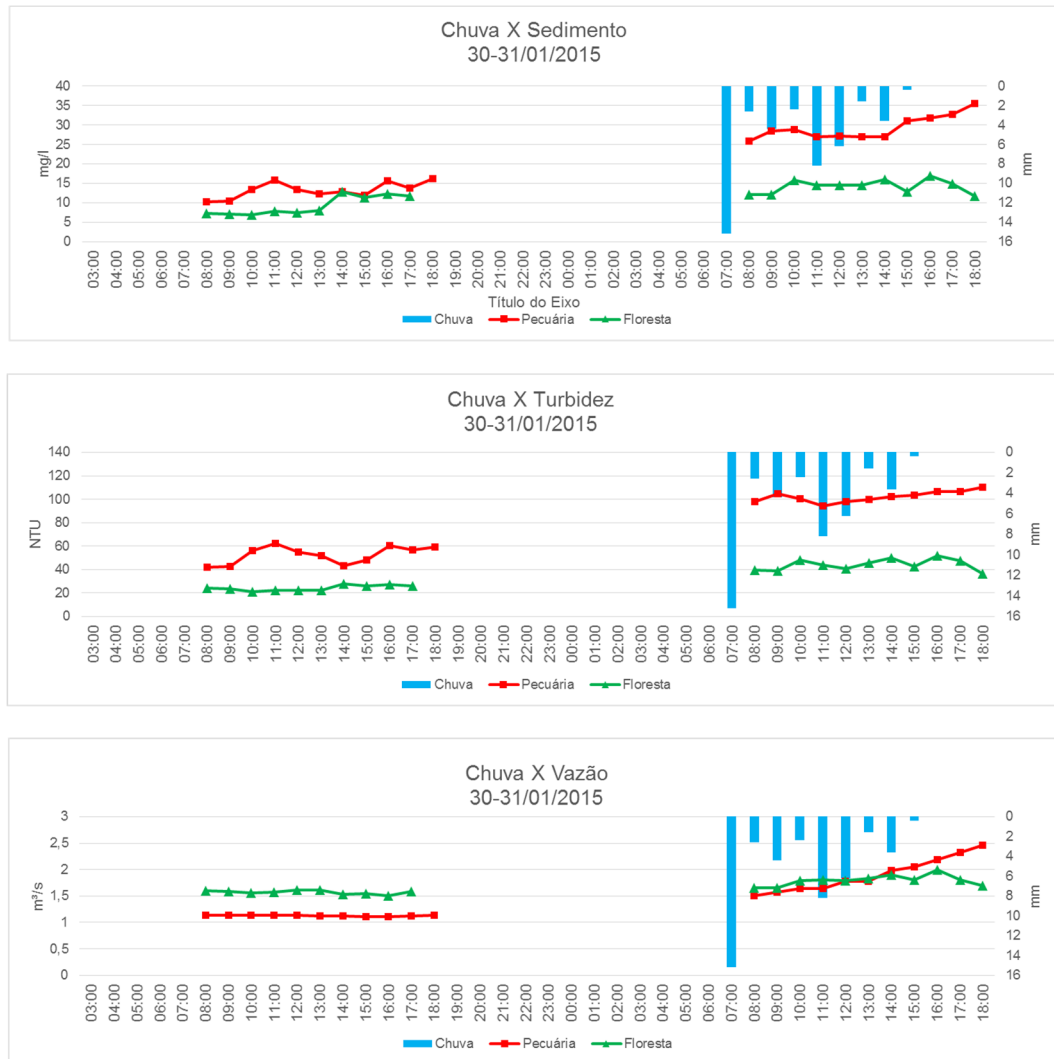
Figura 34 – Comparação dos parâmetros hidrossedimentológicos entre as bacias Floresta e Pecúria em janeiro de 2015.



Fonte: Organizado pelo autor.

No dia 31/01 os valores médios de turbidez e sedimentos em suspensão aumentaram significativamente em virtude do evento pluviométrico (ascensão) registrado. Na bacia Pecuária, os valores médios de sedimento em suspensão foram de 29,3 mg/l e o valor médio de turbidez de 102 NTU, o que diferiu dos valores encontrados na bacia Floresta, cujos registros de sedimento em suspensão foram de 14,2 mg/l e valor de turbidez média de 44 NTU (Figura 35).

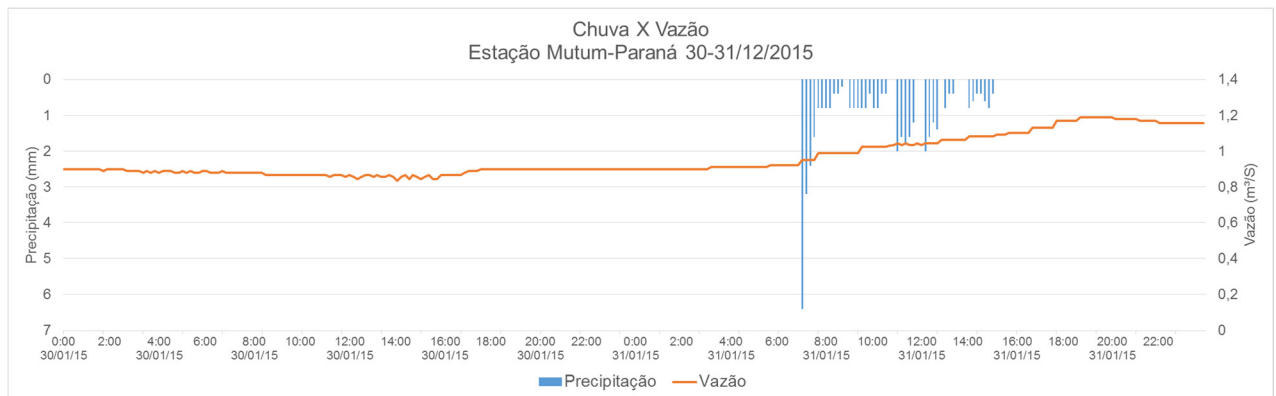
Figura 35 – Relação dos parâmetros chuva-vazão-sedimento-turbidez entre as bacias Floresta e Pecuária em janeiro de 2015.



Fonte: Organizado pelo autor.

A resposta do evento pluviométrico registrado pela estação automática Mutum-Paraná, do dia 31/01/2015, mostrou-se diferente do evento de dezembro de 2014, obtendo valor de 44,6 mm, além de menor intensidade. Tal comportamento refletiu diretamente na curva de vazão, que apresentou oscilação de apenas 0,4 m³/s. Além disso, esse pequeno pico de vazão durou 13 horas até alcançar seu ápice, sendo restabelecido gradualmente (Figura 36).

Figura 36 – Hidrograma do evento pluviométrico nos dias 30-31/12/2015 da bacia do rio Mutum-Paraná para fins de comparação.



Fonte: Organizado pelo autor.

Nesta escala de análise, a bacia Mutum-Paraná não obteve uma forte relação com as bacias Floresta e Pecuária. Estas apresentaram sensibilidade considerável elevando os valores das variáveis hidrossedimentológicas, com destaque para a vazão e a turbidez que mantiveram uma resposta ascendente em relação ao evento pluviométrico. Durante os eventos, o tempo de concentração de bacias, como a Pecuária e a Floresta, tende a seguir o ritmo e a magnitude das chuvas, não havendo atrasos significativos na vazão e na concentração de sedimentos em suspensão. O fator uso e cobertura da terra é quem determinará, para bacias desse porte, a maior elevação dos valores hidrossedimentológicos.

Sendo assim, verificou-se que eventos pluviométricos com baixa intensidade são mais expressivos em bacias menores, não importando o uso e cobertura da terra, isto é, canais mais desenvolvidos e com maiores áreas de drenagem, mesmo com usos distintos, tendem a apresentar maior controle da vazão, o que implica, necessariamente, na diminuição de valores de outros elementos como a turbidez e a concentração de sedimentos em suspensão.

5.7 Aporte Sedimentar em Suspensão

A fim de comprovar a hipótese da tese de que a produção de sedimentos nas bacias da região do Alto rio Madeira cresce aceleradamente devido à intensificação do uso da terra para a pecuária, obtiveram-se valores que caracterizam o fenômeno e comprovam a hipótese trabalhada. Em condições muito similares em termos

geométricos, enquanto forma, dimensão, características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, vegetacionais e climáticas, as bacias Floresta e Pecuária apresentaram valores hidrossedimentológicos distintos, o que evidencia a interferência do uso e cobertura da terra nos parâmetros vazão, turbidez e sedimentos em suspensão.

Para estimar os volumes totais de cada bacia foram utilizados dados de concentração de sedimentos em suspensão e vazão das medições realizadas mensalmente (17 registros mensais para as bacias Pecuária e Floresta e 18 registros mensais para a bacia Mutum-Paraná) entre fevereiro de 2013 e janeiro de 2015. De tais registros foram obtidos os valores médios de concentração de sedimentos em suspensão, bem como a média das vazões registradas, obtendo, assim, a carga sedimentar para cada bacia. Além dos dados mensais foram acrescentados os registros específicos por eventos pluviométricos, cuja variação temporal deu-se de forma horária.

Ao analisar as médias anuais de sedimentos em suspensão carreados para as três bacias, verificaram-se diferenças percentuais significativas. A bacia Pecuária apresenta 37,58% a mais de sedimento em suspensão em relação à bacia Floresta, valor significativo quando consideradas as condições das bacias analisadas. Com aproximadamente 50% de uso da terra predominante da bacia Pecuária e cerca de 15% da bacia Floresta, a diferença no aporte sedimentar tende a ser progressiva e as taxas ultrapassarem valores acima de 100%.

O comparativo entre as bacias Mutum-Paraná – com aproximadamente 27% de sua área com predomínio da pecuária – e Floresta evidencia os efeitos dos usos. A bacia Mutum-Paraná apresentou média de 409,2% a mais de sedimento em suspensão em relação à bacia Floresta e 213,52% maior que a bacia Pecuária. Apesar da área da bacia Mutum-Paraná ser oito vezes superior à bacia Pecuária e seis vezes maior que a bacia Floresta, as taxas de sedimento em suspensão podem ser definidas como baixas, visto que a presença de floresta nativa de mais de 70% inibe maiores taxas de sedimento em suspensão.

Com valor médio de 10,3 mg/l da bacia Floresta e 15,7 mg/l da bacia Pecuária, verificaram-se similaridades em relação a estudos específicos, conforme Oliveira (2006) nas bacias que compõem a baía do Babitonga, cujos valores foram: rios Cubatão 7,5mg/l, Bonito 11,3mg/l, Turvo 11,6 mg/l e Cupim 9 mg/l. Cabral et al. (2009), em estudo realizado em Minas Gerais, apresentaram valores da concentração de

sedimentos em suspensão de até 10mg/l, bem como Lima et al. (2003), com valor médio de 8,84 mg/l em Tocantins, e Tena et al. (2011), na Península Ibérica, cujo valor médio foi de 9 mg/l. Mesmo apresentando valores próximos, é importante ressaltar que os estudos da literatura comparada foram realizados em ambientes e condições diferenciadas, principalmente no que tange aos aspectos climáticos, pedológicos e geomorfológicos.

A produção de sedimentos específica, que corresponde ao valor médio de sedimento em suspensão (mg/l) em relação à área da bacia (Km²), apresentou valores que comprovam a intensificação do uso da terra. A bacia Floresta apresentou índice de 0,18 mg/l/Km², enquanto que a bacia Pecuária apresentou o dobro do valor com 0,36 mg/l/Km². São valores similares a bacias do Sul do Equador, conforme estudo de Vanacker et al. (2007), cujos valores foram 0,97 mg/l/Km² na bacia Sta. Bárbara e 0,95 mg/l/Km² na bacia Gualaceo.

A análise da frequência horária dos dados hidrossedimentológicos registrados apresentou comportamentos diferenciados, mesmo na falta de registros pluviométricos. Nos registros de novembro de 2014, quando não houve evento pluviométrico, o primeiro dia (15/11/2014) apresentou a bacia Pecuária com média de 231,42 ton/ano na quantificação dos sedimentos em suspensão, o que determinou 107,57% superior em relação à bacia Floresta. No dia 16/11/2014 a diferença foi de 59,29% a mais para a bacia Pecuária, com aproximadamente 45% de diferenças em relação ao dia anterior, não havendo referências aos registros de chuvas no período.

Nos dias 20 e 21/12, os valores de sedimento em suspensão estão diretamente relacionados a eventos pluviométricos, sendo que a bacia Pecuária apresentou diferenças bastante expressivas e que podem dimensionar o comportamento das áreas em relação às tipologias de uso. No dia 20/12/2014 a bacia Pecuária apresentou valor expressivo de sedimento em suspensão, superior cerca de 315,4% em relação à bacia Floresta. No dia 21/12/2014, caracterizado como pós-evento, as taxas de sedimento em suspensão da bacia Pecuária tiveram aumento de 55,16% em relação à bacia Floresta, porcentagem muito similar com os registros do mês de novembro, mas com diferenças nos valores reais amostrados. A magnitude do evento pluviométrico com 69 mm distribuídos em oito horas de ocorrência, e dentre uma hora precipitar 56% desse total (Figura 31), pode explicar aumento tão expressivo nas taxas de sedimento em suspensão. Importante ressaltar a magnitude de tais eventos

pluviométricos e a ocorrência frequente nos períodos mais chuvosos, levando as bacias a apresentarem suas maiores taxas de sedimentos carregados concentrados em certos períodos.

Em janeiro de 2015, mais precisamente nos dias 30-31/01/2015, os registros de sedimentos em suspensão de frequência horária apresentaram comportamento diferente em relação aos registros do mês anterior, principalmente pela distribuição do evento pluviométrico que, neste mês, ocorreu no segundo dia. No dia 30/01/2015 a diferença de sedimento em suspensão entre as bacias foi inexpressiva, com a bacia Pecuária apresentando 1,24% a mais em relação à bacia Floresta. Já no dia 31/01/15 as taxas de sedimento em suspensão voltaram a subir, reposta do evento pluviométrico de 44,6 mm, distribuídos em nove horas (Figura 36). A bacia Pecuária apresentou taxa de sedimento em suspensão 122,3% superior em relação à bacia Floresta, o que equivale à resposta direta do evento pluviométrico.

Os dois eventos pluviométricos registrados em dezembro de 2014 e janeiro de 2015 mostram uma boa relação dos eventos pluviométricos com as taxas de sedimento em suspensão. O evento pluviométrico de dezembro de 2014 apresentou valor acumulado de 69 mm e média de 1.908,94 ton/ano para a bacia Floresta e 2.961,9 ton/ano para a bacia Pecuária; já no evento pluviométrico de janeiro de 2015, cujo valor acumulado foi de 44,6 mm, o registro de sedimento em suspensão na bacia Floresta foi de 796,8 ton/ano e da bacia Pecuária foi de 1.721,23 ton/ano. Ou seja, o evento pluviométrico de 31/01/2015, correspondendo a 64,63% do evento pluviométrico de 20/12/2014, levou a uma diferença de sedimento em suspensão entre os dois eventos de 139,57% na bacia Floresta e de 72,08% na bacia Pecuária (Quadro 10).

Comparando-se os valores de sedimento em suspensão com os eventos pluviométricos, verificaram-se diferenças significativas em relação a outras bacias. Conforme trabalho de López-Tarazón et al. (2010), as chuvas mais concentradas em sua área de estudo não apresentaram valores significativos em relação a esse estudo, o que evidencia a sensibilidade das bacias estudadas neste trabalho, bem como a intensidade das chuvas da região amazônica.

Por fim, verifica-se que a concentração de sedimentos em suspensão para as bacias pareadas estudadas eleva-se com a intensificação do uso de pastagem. Diferenças de 37% a mais de carga sedimentar em suspensão durante os meses

monitorados (2013-2015) mostram que as respostas hidrossedimentológicas tendem a elevar seus valores no decorrer da expansão da pastagem. As amostragens por eventos pluviométricos mostram um cenário ainda mais grave, pois apresentam diferenças bastante significativas que variam em virtude da magnitude dos eventos. São valores que chegam a ultrapassar 315% de aumento em comparação com as bacias pareadas. Bacias desse porte tendem a ser mais sensíveis, mesmo em eventos pluviométricos menos intensos e melhor distribuídos temporalmente.

Quadro 10 – Cálculos do aporte sedimentar em suspensão anual e por eventos das bacias pareadas (Floresta X Pecuária) do rio Mutum-Paraná.

2013-2015		Vol (g) / m3/s	kg/min	kg/hora	kg/dia	kg/mês	kg/ano	ton/ano /m3	vazão medida m3/s	g/m3/s x vazão medida	kg/min	kg/hora	kg/dia	kg/mês	kg/ano	ton/ano
Floresta		10,30	0,62	37,072	889,72	26692	324747	325	1,00	10,28	0,62	37,01	888,25	26647,38	324209,81	324,21
Pecuária		15,74	0,94	56,656	1359,7	40792	496302	496	1,06	16,70	1,00	60,11	1442,68	43280,29	526576,89	526,58
Mutum-Paraná		17,36	1,04	62,489	1499,7	44992	547405	547	3,02	52,35	3,14	188,46	4523,14	135694,13	1650945,30	1650,95

Novembro		Vol (g) / m3/s	kg/min	kg/hora	kg/dia	kg/mês	kg/ano	ton/ano /m3	vazão medida m3/s	g/m3/s x vazão medida	kg/min	kg/hora	kg/dia	kg/mês	kg/ano	ton/ano
Floresta	15/11/2014	7,00	0,42	25,21	605,05	18151	220842	221	0,50	3,54	0,21	12,73	305,44	9163,32	111487,05	111,49
	16/11/2014	8,33	0,50	30,002	720,06	21602	262821	263	0,35	2,90	0,17	10,43	250,29	7508,75	91356,45	91,36
Pecuária	15/11/2014	12,58	0,75	45,295	1087,1	32612	396783	397	0,58	7,34	0,44	26,42	634,02	19020,73	231418,93	231,42
	16/11/2014	11,92	0,72	42,905	1029,7	30891	375846	376	0,39	4,61	0,28	16,61	398,71	11961,22	145528,20	145,53

Dezembro		Vol (g) / m3/s	kg/min	kg/hora	kg/dia	kg/mês	kg/ano	ton/ano /m3	vazão medida m3/s	g/m3/s x vazão medida	kg/min	kg/hora	kg/dia	kg/mês	kg/ano	ton/ano
Floresta	20/12/2014	27,28	1,64	98,202	2356,8	70705	860250	860	2,22	60,53	3,63	217,92	5229,97	156899,08	1908938,85	1908,94
	21/12/2014	6,52	0,39	23,46	563,04	16891	205510	206	1,06	6,91	0,41	24,86	596,71	17901,18	217797,63	217,80
Pecuária	20/12/2014	30,65	1,84	110,32	2647,7	79432	966421	966	3,06	93,92	5,64	338,12	8114,80	243443,89	2961900,67	2961,90
	21/12/2014	16,12	0,97	58,026	1392,6	41779	508308	508	1,78	28,69	1,72	103,28	2478,71	74361,34	904729,62	904,73

Janeiro		Vol (g) / m3/s	kg/min	kg/hora	kg/dia	kg/mês	kg/ano	ton/ano /m3	vazão medida m3/s	g/m3/s x vazão medida	kg/min	kg/hora	kg/dia	kg/mês	kg/ano	ton/ano
Floresta	30/01/2015	9,27	0,56	33,366	800,77	24023	292282	292	1,59	14,78	0,89	53,21	1277,03	38310,92	466116,21	466,12
	31/01/2015	14,18	0,85	51,061	1225,5	36764	447295	447	1,78	25,27	1,52	90,96	2183,01	65490,36	796799,41	796,80
Pecuária	30/01/2015	13,26	0,80	47,746	1145,9	34377	418259	418	1,13	14,96	0,90	53,87	1292,91	38787,15	471910,34	471,91
	31/01/2015	29,28	1,76	105,42	2530,1	75903	923489	923	1,86	54,58	3,27	196,49	4715,69	141470,63	1721226,05	1721,23

Fonte: Organizado pelo autor.

6 CONCLUSÕES

Com um grande crescimento das áreas de pastagem no Estado de Rondônia, algumas questões referentes aos impactos ambientais ocasionados principalmente sobre os recursos hídricos da região, tornam-se cada vez mais necessários. Modificações na paisagem e, conseqüentemente, nos processos hidrossedimentológicos promovem resultados significativos no que se refere à produção de sedimentos. A fim de compreender o comportamento hidrossedimentológico e, mais especificamente, a concentração de sedimentos em suspensão em bacias pareadas (Floresta X Pecuária), a elaboração da presente pesquisa pôde identificar, parcialmente, a complexidade da dinâmica do aporte sedimentar em bacias hidrográficas nesta escala.

O estudo de bacias pareadas – Floresta e Pecuária – comparando a influência do uso e cobertura da terra na produção de sedimentos em suspensão foi o que norteou a elaboração desta pesquisa. As bacias pareadas correspondem às áreas experimentais com características ambientais similares, bem como parâmetros morfométricos que envolvem a caracterização do relevo.

Para atender o objetivo geral da pesquisa, que foi de analisar o aporte de sedimentos em suspensão de bacias pareadas do rio Mutum-Paraná/RO com base na relação chuva-vazão-sedimento-turbidez, a partir da predominância local do uso e cobertura da terra, consideraram-se alguns questionamentos que deram suporte ao desenvolvimento da tese, dentre os quais: (1) qual o comportamento pluviométrico das bacias; (2) qual a quantidade de sedimentos em suspensão para cada bacia experimental e suas respectivas vazões; (3) qual a correlação dos dados de vazão, quantidade de sedimentos e turbidez de cada bacia com relação aos aspectos do relevo (geomorfológicos); e, (4) uso da terra. Conseqüentemente, surge a hipótese do trabalho de que a produção de sedimentos em suspensão está diretamente ligada à intensificação do uso e ocupação da terra, neste caso a predominância de pastagem, apresentando respostas significativas nos valores quantificados.

A partir dos questionamentos levantados na proposta deste trabalho, podemos perceber resultados que explicam um pouco do comportamento

hidrossedimentológico das bacias pareadas analisadas. A similaridade dos elementos físicos da área de estudo proporcionou boa análise dos padrões físicos, em virtude, principalmente, dos critérios estabelecidos de bacias pareadas, conforme metodologia. Tais definições facilitam a interpretação e o entendimento das relações das especificidades de cada elemento, promovendo melhores resultados na integração de dados hidrológicos e hidrossedimentológicos.

Para sustentar teórica e metodologicamente a tese, dentre as referências, destacam-se duas cujo enfoque geomorfológico trabalhado tem por característica principal a forma integrada e sistemática de abordagem. São, respectivamente, as propostas geomorfológicas de Ab'Saber (1969), com seus três níveis de tratamento em geomorfologia: compartimentação topográfica regional com descrição detalhada das formas (geometria); conhecimento das estruturas e formas; e compreensão da fisiologia da paisagem, e de Tricart (1977) que, por sua vez, incorpora à análise em geomorfologia o conceito ecológico, permitindo, assim, o estudo mais detalhado de vários componentes do sistema ambiental e suas relações.

Os resultados obtidos confirmam a hipótese do trabalho: as variações de sedimentos em suspensão em virtude da predominância de determinado uso da terra (neste caso com uso de pecuária) são bem maiores em comparação com bacias de predominância de floresta, principalmente no que se refere aos valores registrados durante eventos pluviométricos significativos.

O comportamento pluviométrico das bacias, na série histórica de 21 anos, caracterizou-se com chuvas intensas em todas as estações do ano, mas com recorrências bem distribuídas de acordo com os meses secos e chuvosos. Como característico da região, as maiores recorrências de chuvas são entre novembro e março, com índices acima de 200 mm mensais. Os meses de abril-maio e setembro-outubro caracterizam-se como períodos de transição entre as estações, podendo sofrer atrasos ou adiantamentos de eventos pluviométricos. Já os meses de junho, julho e agosto são de pouca ocorrência de chuvas, mas com intensidades de eventos similares ou até mesmo superiores a períodos mais chuvosos.

Quanto à quantificação de sedimentos em suspensão, de acordo com o período de registros (2013-2015), as concentrações foram moderadas. Na bacia Pecuária o maior registro foi de 35,48 mg/l em janeiro de 2015, e na bacia Floresta foi de 27,44 mg/l em dezembro de 2014, expressando picos em períodos distintos. Com

aproximadamente 50% da sua área desmatada, a bacia Pecuária apresentou valor médio de 15,7 mg/l, ou seja, 35% a mais de sedimento em suspensão em relação à bacia Floresta, cujo valor foi de 10,3 mg/l e área desmatada de 15%.

Entre as variáveis analisadas, verificou-se que na bacia Pecuária as correlações caracterizam-se como moderadas entre as variáveis *Vazão x Sedimento* e *Vazão x Turbidez*. Já as variáveis *Sedimento em Suspensão x Turbidez* apresentaram forte correlação ($R^2=0,88$), o que denota dependência entre as variáveis. Na bacia Floresta a correlação entre as variáveis *Vazão x Sedimento* foi considerada baixa ($R^2=0,39$), passando para moderada entre *Vazão x Turbidez* ($R^2=0,55$) e forte para as variáveis *Sedimento em Suspensão x Turbidez* ($R^2=0,71$).

Ao analisar as médias anuais de sedimentos em suspensão carregados para as bacias, verificam-se diferenças percentuais significativas. A bacia Pecuária apresentou 37,58% a mais de sedimento em suspensão em relação à bacia Floresta, valor significativo quando consideradas as condições das bacias analisadas. Com aproximadamente 50% de uso da terra predominante da bacia Pecuária e cerca de 15% da bacia Floresta, a diferença no aporte sedimentar tende a ser progressiva e as taxas ultrapassarem valores acima de 100%.

Verifica-se, portanto, que a concentração de sedimentos em suspensão para as bacias pareadas estudadas eleva-se com a intensificação do uso de pastagem. A contribuição sedimentar das bacias mostrou-se diferente, tanto nas comparações das análises mensais quanto nas análises durante eventos pluviométricos extremos. Para os dois eventos pluviométricos registrados em dezembro de 2014 e janeiro de 2015 verificou-se boa relação com as taxas de sedimento em suspensão. O evento pluviométrico de dezembro de 2014 apresentou valor acumulado de 69 mm, com média de 1.908,94 ton/ano para a bacia Floresta e de 2.961,9 ton/ano para a bacia Pecuária. Já o evento pluviométrico de janeiro de 2015, cujo valor acumulado foi de 44,6 mm, promoveu uma taxa de sedimento em suspensão na bacia Floresta de 796,8 ton/ano, enquanto que na bacia Pecuária foi de 1.721,23 ton/ano.

Por fim, a bacia Floresta apresentou regularidade hidrossedimentológica, sempre com valores inferiores entre as variáveis turbidez e sedimentos em suspensão. Notadamente, a bacia Pecuária apresentou aporte sedimentar mais elevado em comparação à bacia Floresta, mesmo tendo área de contribuição inferior de 12 Km², denotando que o uso da terra influencia consideravelmente nas taxas de

sedimento em suspensão. Salientam-se, neste sentido, que os valores registrados e analisados são estimativas, creditados neste trabalho como representativos, mas podem apresentar discrepâncias em relação a outros estudos mais detalhados.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. A. de. A teoria geomorfológica e sua edificação: análise crítica. **Rev. Instituto Geográfico**, São Paulo, v. 4, n. 1/2, p. 5-53, 1983.

AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 18, p. 1-23, 1969.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema de Informações Hidrológicas** – HidroWeb. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 16 jan. 2014.

ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. **Rev. Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 8, n. 21, p. 46-58, jun. 2007.

BATALLA, R. J.; SALA, M. Temporal variability of suspended sediment transport in a mediterranean sandy gravel-bed river. From variability in stream erosion and sediment transport. **IAHS Publication**, n. 224, p. 299-305, 1994. Disponível em: <http://hydrologie.org/redbooks/a224/iahs_224_0299.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2014.

BECKINSALE, R. P. River regimes. In: CHORLEY, R. J. (ed.). **Introduction to Physical Hydrology**. Canadá: Bungay, Methuen & Co. Ltd., 1973.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1993.

BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. **Pesq. Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 9, p. 1453- 1458, 1994. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/4195>>. Acesso em: 15 set. 2014.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003.

BOGEN, J.; BERG, H.; SANDERSEN, F. The contribution of gully erosion to the sediment budget of the River Leira. **Internat. Association of Hydrological Sciences Publication**, n. 224, p. 307-315, 1994. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/237261444_The_contribution_of_gully_erosion_to_the_sediment_budget_of_the_River_Leira>. Acesso em: 25 maio 2014.

BOSCH, J. M.; HEWLETT, J. D. A review of catchment experiment to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **J. Hydrology**, v. 55, n. 1-4, p. 3-23, 1982.

BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. 2. ed. Rio de Janeiro: DG/CRNEA, 2006.

BRASIL. Departamento Nacional de Pesquisa Mineral. **Projeto RADAMBRASIL. Folha SC 20 Porto Velho: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1978.

BROWN, A. E. et al. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. **J. Hydrology**, v. 310, p. 28-61, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169404005906>>. Acesso em: 21 ago. 2014.

BRUIJNZEEL, L. A. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. Paris: **IHP-UNESCO**, 1990.

CABRAL, J. B. P. et al. Concentração de sedimentos suspensão: reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG, Brasil. **Mercator**, n. 16, p. 233-253, 2009. Disponível em: <<http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/view/25/222>>. Acesso em: 04 set. 2014.

CARVALHO, N. de O. et al. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. rev., atual. e ampl. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. 2005. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

CAVALCANTE, M. M. A. **Transformações territoriais no Alto rio Madeira: hidrelétricas, tecnificação e (re)organização**. Porto Velho: 2008. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Rondônia.

CHORLEY, R. J. Geomorphology and general systems theory. **U.S. Geol. Survey Prof. Paper**, (500-B): p. 1-10, 1962. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/pp/0500b/report.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. A mecânica do transporte fluvial. **Geomorfologia**, n. 51, p. 1-42, 1977.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

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

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1999.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Instituto de Geociências/UNICAMP, 1992.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **A questão ambiental:** diferentes abordagens. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

DAVIS, W. M. The geographical cycle. **The Geographical J.**, v. 14, n. 5, p. 481-504, nov. 1899. Disponível em: <http://geomorphology.sese.asu.edu/Papers/Davis_1899.pdf>. Acesso em: 23 out. 2014.

DULEY, F. L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, n. 4, p. 60-69, 1939. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/4/C/SS00400C0060?access=0&view=pdf>>. Acesso em: 12 set. 2014.

DUVERT, C. et al. Drivers of erosion and suspended sediment transport in three headwater catchments of the Mexican Central Highlands. **Geomorphology**, v. 123, n. 3-4, p. 243-256, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X10003296>>. Acesso em: 13 set. 2014.

EDER, A. et al. Comparative calcn of suspended sediment loads with respect to hysteresis effects (in the Petzenkirchen catchment, Austria). **J. Hydrology**, n. 389, p. 168-176, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169410003288>>. Acesso em: 10 out. 2014.

ESTRANY, J.; GARCIA, C. J.; BATALLA, R. Groundwater control on the suspended sediment load in the Na Borges River, Mallorca, Spain. **Geomorphology**, v. 106, p. 292-303, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X08005175>>. Acesso em: 04 jan. 2015.

FEARNSIDE, P. M. **Ocupação humana de Rondônia: impactos, limites e planejamento.** Relatórios de Pesquisa n. 5. Brasília: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), 1989.

FRANGIPANE, A.; PARIS, E. Long-term variability of sediment transport in the Ombrone River basin (Italy). **IAHS Proceedings and Reports**, v. 224, 1994. Disponível em: <http://hydrologie.org/redbooks/a224/iahs_224_0317.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2014.

FURLAN, D. N. **Variabilidade temporal e espacial das chuvas e do balanço hídrico no estado de Rondônia: caracterização e análise de tendência.** Piracicaba: 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

FURNAS. **Estudos de Impacto Ambiental do Rio Madeira – RO.** Definição das áreas de influência, legislação e caracterização dos empreendimentos. TOMO A, v. 1. Furnas, 2005.

GANGYAN, Z., ZHIAN, X. Sediment transport in the Yangtze Basin. **IAHS Publication**, n. 224, p. 291, 1994. Disponível em: <http://hydrologie.org/redbooks/a224/iahs_224_0291.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2014.

GENTILE, F. et al. Monitoring and analysis of suspended sediment transport dynamics in the Carapelle torrent (Southern Italy). **Catena**, n. 80, p. 1-8, 2010. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816209001581>>. Acesso em: 02 maio 2014.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

GUIMARÃES, E. C. **Avaliação dos níveis basais de mercúrio na área de influência da UHE Jirau – Rio Madeira/Amazônia.** Goiânia: 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado

em Ciências Ambientais e Saúde) – Programa de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Rondônia.

HACK, J. T. Interpretation of erosional topography in humid-temperate regions. **American J. Science**, New Haven, n. 258-A, p. 80-97, 1960. Disponível em: http://earth.geology.yale.edu/~ajs/1960/ajs_258A_11.pdf/80.pdf. Acesso em: 04 maio 2014.

HORNBECK, J. W. et al. Long-term impacts of forest treatments on water yield: a summary for northeastern USA. **J. Hydrology**, n. 150, p. 323-344, 1993. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/002216949390115P>>. Acesso em: 06 jun. 2014.

ISHIHARA, J. H. **Avaliação quantitativa e espacial da precipitação na Amazônia brasileira (Amazônia legal) no período de 30 anos, de 1978 a 2007**. Belém: 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará.

KOHLER, H. C. A escala na análise geomorfológica. **Rev. Bras. Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 21-33, 2001.

LIBAULT, A. Os quatro níveis da pesquisa geográfica. Métodos em questão 1. **IGEOUSP**, São Paulo, n. 1, p. 1-14, 1971.

LIMA, J. E. F. W. et al. **Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia Araguaia-Tocantins**. Planaltina: Embrapa Cerrados/Brasília: ANA/ANEEL, 2003.

LINHARES, D. P. **Mercúrio em solos e sedimentos na sub-bacia Mutum-Paraná/Rondônia**. Porto Velho: 2009. 98 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Universidade Federal de Rondônia.

LÓPEZ-TARAZÓN, J. A. et al. Rainfall-runoff-sediment transport relations in a large mountainous catchment: the river Isábena (Ebro basin). **Catena**, n. 82, p. 23-34, 2010.

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento da Amazônia brasileira**. Brasília: Banco Mundial, 2003.

MATIAS, F. O. **Ocupação, políticas públicas e gestão ambiental de Unidade de Conservação do Estado de Rondônia**: o estudo de caso do Parque Estadual de Guajará Mirim. Rio Claro: 2001. 225 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

MELLO, E. L et al. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido à chuva simulada. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v. 27, p. 901-909, 2003. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000500015>>. Acesso em: 11 ago. 2013.

MORAIS, L. F. B.; COGO, N. P. Comprimentos críticos de rampa para diferentes manejos de resíduos culturais em sistema de semeadura direta em um Argissolo Vermelho na Depressão Central-RS. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, n. 25, p. 1041-1051, 2001. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v25n4/26.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2014.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

NUNES, D. D. **Hidrovia do Madeira: (re)configuração, integração e meio ambiente**. Pará: 2004. 379 f. Tese (Doutorado em Ciências Socioambientais-NAEA) – Universidade Federal do Pará.

NUNES, D. D. **Vulnerabilidade natural a erosão da bacia do rio Mutum Paraná – Porto Velho-RO (2009-2011)**. Relatório de Pesquisa. Porto Velho: CNPq (MCT/CNPq/CT-Amazônia), 2012.

OLIVEIRA, F. A. de. **Estudo do aporte sedimentar em suspensão na Baía da Babitonga sob a ótica da geomorfologia**. São Paulo: 2006. Tese (Doutorado em

Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

OLIVE, L. J. et al. Spatial variation in suspended sediment transport in the Murrumbidgee River, New South Wales, Australia. **IAHS Publication**, n. 224, p. 95-103, 1994.

PIÉGAY, H.; SCHUMM, S. A. System approaches in fluvial geomorphology. In: KONDOLF, G. M.; PIÉGAY, H. **Tools in Fluvial Geomorphology** (eds.). Chichester: John Wiley & Sons, 2003.

PIÉGAY, H. et al. Contemporary changes in sediment yield in an alpine mountain basin due to afforestation (the upper Drôme in France). **Catena**, n. 55, p. 183-212, 2004.

QUADROS, M. L. E. S.; RIZZOTTO, G. J. (org.). **Geologia e recursos minerais do Estado de Rondônia: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do Estado de Rondônia – Escala 1:1.000.000**. Porto Velho: CPRM, 2007.

RODRIGUES, S. et al. In-channel woody vegetation controls on sedimentary processes and the sedimentary record within alluvial environments: a modern example of an anabranch of the River Loire, France. **Sedimentology**, n. 54, p. 223-242, 2007.

RONDÔNIA, **Plano Agroflorestal de Rondônia – PLANAFLORO**. Relatório Técnico. Porto Velho: TECNOSSOLOS, 2001.

RONDÔNIA, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). **Boletim climatológico de Rondônia**. Porto Velho, 2007.

SANTOS, I. et al. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.

SCHRODER, P. H. **Análise espaço-temporal do processo de ocupação do município de Corumbiara – Rondônia.** Florianópolis: 2008. 119 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina.

SILVA, A. M. et al. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas.** São Carlos: RiMa, 2004.

SILVA FILHO, E. P. da. **Estudo da degradação dos solos em áreas de pastagens no município de Porto Velho (RO).** Rio Claro: 2009. 159 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente - IGCE) – Universidade Estadual Paulista.

SCHULTZ, G. B.; SIEFERT, C. A. C.; SANTOS I. D. Avaliação do ARCMUSLE para estimativa da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do alto rio negro, região sul brasileira. **Boletim de Geografia**, v. 31, p. 131-141, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi: 10.4025/bolgeogr.v31i2.13367>>. Acesso em: 14 jul. 2014.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, n. 67, p. 597-646, 1956. Disponível em: <<http://gsabulletin.gsapubs.org/content/67/5/597.short7>>. Acesso em: 22 ago. 2013.

SINGH, V. P. Watershed modelling. In: SINGH, V. P. (ed.). **Computer models of watershed hydrology.** Colorado: Water Resources Publication, 1995.

SOLER, M.; LATRON, J.; GALLART, F. Relationships between suspended sediment concentrations and discharge in two small research basins in a mountainous Mediterranean area (Vallcebre, Eastern Pyrenees). **Geomorphology**, n. 98, p. 143-152, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1016/j.geomorph.2007.02.032>>. Acesso em: 16 ago. 2014.

SPREAFICO, M.; LEHMANN, C. Sediment transport observations in Switzerland. Proceedings of the Canberra Symposium. **IAHS Publication**, n. 224, p. 259-268,

1994. Disponível em: <http://hydrologie.org/redbooks/a224/iahs_224_0259.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2014.

STEDNICK, J. D. Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. **J. Hydrology**, n. 176, p. 79-95, 1996. Disponível em: <[http://dx.doi:10.1016/0022-1694\(95\)02780-7](http://dx.doi:10.1016/0022-1694(95)02780-7)>. Acesso em: 08 set. 2013.

STRAHLER, A. N. Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis. Part I e II. **American J. Science**, v. 248, p. 800-814, 1950.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Geophysical Union Trans.**, v. 38, p. 912-920, 1957.

SUDO, H. Metodologia de classificações climáticas. **Boletim do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 4/5/6, p. 57-81, 1974.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. 2. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1990.

TENA, A. et al. Suspended sediment dynamics in a large regulated river over a 10-year period (the lower Ebro, NE Iberian Peninsula). **Geomorphology**, n. 125, p. 73-84, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.07.029>>. Acesso em: 06 abr. 2014.

TRICART, J. **Método de estudos hidrológicos**. Salvador: Publicações da Universidade da Bahia, 1960.

TRICART, J. **Principes et methodes de la geomorphologie**. Paris: Masson, 1965.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN, 1977.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2001.

VANACKER, V. et al. Spatial variation of suspended sediment concentrations in a tropical Andean river system: The Paute River, southern Ecuador. **Geomorphology**, n. 87, p. 53-67, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.042>>. Acesso em: 01 ago. 2013.

VERICAT, D., BATALLA, R. J. Sediment transport in a large impounded river: the lower Ebro, NE Iberian Peninsula. **Geomorphology**, n. 79, p. 72-92, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.09.017>>. Acesso em: 17 out. 2013.

VERTESSY, R. A. Impacts of plantation forestry on catchment runoff. In: LOUGHLIN, O. E.; NAMBIAR, E. K. S. (eds.). **Plantations, farm forestry and water**. Kingston: CSIRO/RIRDC: 2000. p. 1-9.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw Hill, 1975.

WASSON, R. J. Annual and decadal variation of sediment yield in Australia, and some global comparisons. **IAHS Publication**, n. 224, p. 269-279, 1994. Disponível em: <http://hydrologie.org/redbooks/a224/iahs_224_0269.pdf>. Acesso em 19 mar. 2014.

WATANABE, M. **Análise integrada da paisagem da bacia do rio Mutum-Paraná**. Porto Velho: 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Rondônia.

YU, B.; NEIL, D. Temporal and spatial variation of sediment yield in the Snowy Mountains region, Australia. **IAHS Publication**, n. 224, p. 281-289, 1994. Disponível em: <http://hydrologie.org/redbooks/a224/iahs_224_0281.pdf>. Acesso em: 27 set. 2014.

ANEXOS

Anexo 1: Totais anuais de precipitação entre 1984 e 2004

	Ariquemes	Escola Caramuru	Faz. Rio Branco	Guajará-Mirim	Jurené	Mineração Jacundá	Mineração Ponte Massangana	Nova Califórnia	Pedreiras	Santo Antônio	Vista Alegre	Média
1984		1722,0	2377,1	1941,0		2874,2	2348,9	1974,1	2104,6	1900,0	2707,6	2216,6
1985		2030,2	1836,8	1817,3		2816,4	1674,1	1679,6	2021,8	2315,0	2267,0	2050,9
1986	2120,1	2457,9	1951,5	1816,7		2335,0	2306,8	2353,5	2384,2	2053,2	2277,6	2205,7
1987	1859,4	2069,9	2010,2	1471,9		2378,7	1994,8	2133,8	1831,2	2404,1	1906,5	2006,1
1988	1959,7	1796,9	1862,0	1457,0		2373,1	2324,2	1964,1	2088,9	2559,3		2042,8
1989	2222,9	2074,4	2126,5	1622,7		2308,4	1646,5	2031,1	2214,6	2259,5		2056,3
1990	2489,4			1124,1		2776,4		1637,5	1846,8	2273,5	2048,9	2028,1
1991	1742,2		2252,1	1588,0		2973,0		1991,1	1869,0	1996,6		2058,9
1992	1980,1		2162,1	1360,4		2226,9	1513,8	1849,1	2413,0	2103,9		1951,2
1993	1769,5	2108,8	2422,8			2356,5	2233,7	1648,9	1930,2	2449,5	2150,6	2118,9
1994	2084,0	2671,9	2476,7		1301,7	2021,3	2163,4	1804,5	1872,9	2673,1		2118,8
1995	1908,6	2882,6	1949,6		1431,9	1956,4	1578,5	1953,2	2022,9	2148,7		1981,4
1996	1971,8	2253,9	2296,8	1120,4	1123,9	2409,7	1561,5	2174,4	1604,9	2255,1	2136,0	1900,8
1997	2438,2	1997,5	2152,0	1477,6	1550,4	2512,2	2093,9	2367,3	1681,8	2255,3	2387,2	2083,0
1998	2138,4	1718,1	2102,7	1603,1	1715,1	1903,4	1727,0	1762,2	1532,2	1739,5	2386,6	1848,0
1999	1966,7	1962,4	2195,1	1630,1	1633,2	2101,6	1703,2	1915,0	1848,3	2099,1	1841,7	1899,7
2000	1832,6	2027,1	1770,6	1512,1	1423,1	2260,5	1770,8	2033,8	1788,7	1914,9	2419,0	1886,7
2001	2398,7	2284,2	2230,0	1831,7	1753,6	2627,2	2389,6	2107,9	1436,0	2078,8	2853,7	2181,0
2002	1570,7	2473,4	2059,6	1646,7	1584,8	2248,5	1984,4	2000,1	1329,0	2233,7	2196,8	1938,9
2003	2066,6	1583,8	1940,3	1708,2	2214,6	2240,3	2063,3	2105,4	1327,5	2042,7	2857,6	2013,7
2004	1830,4	2517,8	1813,4	2012,1	1983,3	1959,6	1633,4	2418,9	1206,2	2216,0	2584,3	2015,9

Anexo 2 – Registros diários de precipitação da estação hidrométrica na bacia do rio Mutum-Paraná

Janeiro	Precipitação	Fevereiro	Precipitação	Março	Precipitação	Abril	Precipitação	Maio	Precipitação	Junho	Precipitação	Julho	Precipitação	Agosto	Precipitação	Setembro	Precipitação	Outubro	Precipitação	Novembro	Precipitação	Dezembro	Precipitação
01/01/2013	2,4	01/02/2013	4	01/03/2013	0	01/04/2013	1	01/05/2013	0	01/06/2013	0	01/07/2013	3,6	01/08/2013	0	01/09/2013	0	01/10/2013	18,4	01/11/2013	10,6	01/12/2013	6,6
02/01/2013	2,4	02/02/2013	33,8	02/03/2013	0,8	02/04/2013	0,8	02/05/2013	0,8	02/06/2013	0	02/07/2013	30,1	02/08/2013	0	02/09/2013	0	02/10/2013	6,2	02/11/2013	0	02/12/2013	4
03/01/2013	1,2	03/02/2013	6	03/03/2013	38,6	03/04/2013	13	03/05/2013	17,4	03/06/2013	0	03/07/2013	0	03/08/2013	0	03/09/2013	0	03/10/2013	0,4	03/11/2013	0	03/12/2013	0,8
04/01/2013	3	04/02/2013	5,6	04/03/2013	0,4	04/04/2013	27,2	04/05/2013	0,4	04/06/2013	0	04/07/2013	0	04/08/2013	0	04/09/2013	0	04/10/2013	2,8	04/11/2013	0	04/12/2013	1,4
05/01/2013	0,8	05/02/2013	1,6	05/03/2013	0	05/04/2013	0,8	05/05/2013	1,2	05/06/2013	4,4	05/07/2013	0	05/08/2013	0,6	05/09/2013	0	05/10/2013	10,2	05/11/2013	0	05/12/2013	0
06/01/2013	13,8	06/02/2013	4,6	06/03/2013	3	06/04/2013	0	06/05/2013	0	06/06/2013	0	06/07/2013	0	06/08/2013	38,6	06/09/2013	0	06/10/2013	5,4	06/11/2013	0	06/12/2013	0
07/01/2013	1	07/02/2013	51,2	07/03/2013	0	07/04/2013	0,4	07/05/2013	15,4	07/06/2013	2,4	07/07/2013	0	07/08/2013	0	07/09/2013	0	07/10/2013	0,4	07/11/2013	21,6	07/12/2013	0
08/01/2013	1,2	08/02/2013	6,6	08/03/2013	0	08/04/2013	1	08/05/2013	0	08/06/2013	3,4	08/07/2013	0	08/08/2013	0	08/09/2013	0	08/10/2013	3,8	08/11/2013	13,6	08/12/2013	7,2
09/01/2013	15,2	09/02/2013	9,6	09/03/2013	0	09/04/2013	20,8	09/05/2013	3	09/06/2013	0	09/07/2013	0	09/08/2013	0	09/09/2013	4,2	09/10/2013	3,8	09/11/2013	1,6	09/12/2013	3,2
10/01/2013	55,4	10/02/2013	20,4	10/03/2013	33,8	10/04/2013	10,4	10/05/2013	10,4	10/06/2013	0	10/07/2013	0	10/08/2013	2,6	10/09/2013	36,8	10/10/2013	5	10/11/2013	2,4	10/12/2013	0,4
11/01/2013	4,6	11/02/2013	1,2	11/03/2013	17,6	11/04/2013	11	11/05/2013	0,8	11/06/2013	0	11/07/2013	0	11/08/2013	0	11/09/2013	0	11/10/2013	2,8	11/11/2013	0	11/12/2013	0
12/01/2013	19,6	12/02/2013	1,2	12/03/2013	1,2	12/04/2013	2,8	12/05/2013	0,4	12/06/2013	0	12/07/2013	0	12/08/2013	0	12/09/2013	0	12/10/2013	9,4	12/11/2013	3,6	12/12/2013	0
13/01/2013	26,6	13/02/2013	8,2	13/03/2013	15,2	13/04/2013	0,4	13/05/2013	1	13/06/2013	0	13/07/2013	0	13/08/2013	0	13/09/2013	0	13/10/2013	35,2	13/11/2013	7,4	13/12/2013	8,4
14/01/2013	16	14/02/2013	35,4	14/03/2013	9	14/04/2013	0	14/05/2013	0	14/06/2013	0	14/07/2013	0	14/08/2013	0	14/09/2013	0	14/10/2013	30,8	14/11/2013	0	14/12/2013	6,6
15/01/2013	21,4	15/02/2013	0,4	15/03/2013	5,2	15/04/2013	0	15/05/2013	1	15/06/2013	0	15/07/2013	0	15/08/2013	0	15/09/2013	0	15/10/2013	1,2	15/11/2013	1,4	15/12/2013	0,4
16/01/2013	12,2	16/02/2013	0	16/03/2013	6	16/04/2013	0	16/05/2013	21	16/06/2013	0	16/07/2013	0,4	16/08/2013	0	16/09/2013	0	16/10/2013	5,2	16/11/2013	13,6	16/12/2013	0
17/01/2013	5	17/02/2013	1,6	17/03/2013	1,2	17/04/2013	2,2	17/05/2013	1,6	17/06/2013	0	17/07/2013	0	17/08/2013	1,4	17/09/2013	0	17/10/2013	1,4	17/11/2013	1,2	17/12/2013	0,4
18/01/2013	3	18/02/2013	10,2	18/03/2013	0	18/04/2013	0	18/05/2013	0	18/06/2013	0	18/07/2013	4,2	18/08/2013	0	18/09/2013	18	18/10/2013	0	18/11/2013	0	18/12/2013	9,4
19/01/2013	0	19/02/2013	0,4	19/03/2013	0,4	19/04/2013	0	19/05/2013	0	19/06/2013	19,2	19/07/2013	0	19/08/2013	0	19/09/2013	0	19/10/2013	5	19/11/2013	13,4	19/12/2013	23,6
20/01/2013	7	20/02/2013	12,6	20/03/2013	20,4	20/04/2013	7,6	20/05/2013	0	20/06/2013	1,4	20/07/2013	0,4	20/08/2013	0,4	20/09/2013	0	20/10/2013	0	20/11/2013	2,6	20/12/2013	0
21/01/2013	10,2	21/02/2013	8,8	21/03/2013	0,4	21/04/2013	0	21/05/2013	0	21/06/2013	0,4	21/07/2013	0	21/08/2013	1,4	21/09/2013	0	21/10/2013	1,4	21/11/2013	11,6	21/12/2013	17,2
22/01/2013	0	22/02/2013	0,4	22/03/2013	0,4	22/04/2013	0	22/05/2013	22,4	22/06/2013	17,6	22/07/2013	0	22/08/2013	43,6	22/09/2013	0	22/10/2013	4,6	22/11/2013	3,2	22/12/2013	12,8
23/01/2013	1,4	23/02/2013	6,6	23/03/2013	14	23/04/2013	0	23/05/2013	14	23/06/2013	0,8	23/07/2013	0,4	23/08/2013	0,8	23/09/2013	0	23/10/2013	25,2	23/11/2013	2,4	23/12/2013	31,4
24/01/2013	2,6	24/02/2013	0,4	24/03/2013	0,4	24/04/2013	0	24/05/2013	5,4	24/06/2013	0	24/07/2013	0	24/08/2013	4,8	24/09/2013	0	24/10/2013	0,4	24/11/2013	29,6	24/12/2013	30
25/01/2013	1,4	25/02/2013	0	25/03/2013	0	25/04/2013	4,4	25/05/2013	0	25/06/2013	0,4	25/07/2013	0	25/08/2013	0	25/09/2013	0	25/10/2013	1,2	25/11/2013	32,4	25/12/2013	1,6
26/01/2013	14,4	26/02/2013	4,2	26/03/2013	26,4	26/04/2013	5,2	26/05/2013	0	26/06/2013	0	26/07/2013	0	26/08/2013	0	26/09/2013	0	26/10/2013	2	26/11/2013	25	26/12/2013	0
27/01/2013	2,4	27/02/2013	79,6	27/03/2013	28	27/04/2013	0,6	27/05/2013	0,6	27/06/2013	0,6	27/07/2013	0	27/08/2013	0	27/09/2013	0	27/10/2013	89	27/11/2013	37,2	27/12/2013	0,4
28/01/2013	0	28/02/2013	31,4	28/03/2013	28,4	28/04/2013	0	28/05/2013	2,8	28/06/2013	0	28/07/2013	0	28/08/2013	0	28/09/2013	0	28/10/2013	0,4	28/11/2013	2,8	28/12/2013	0
29/01/2013	0	29/02/2013	0	29/03/2013	0	29/04/2013	1,8	29/05/2013	0	29/06/2013	7	29/07/2013	0	29/08/2013	0	29/09/2013	0	29/10/2013	0	29/11/2013	8,4	29/12/2013	0
30/01/2013	0,4	30/02/2013	0	30/03/2013	2,6	30/04/2013	5,6	30/05/2013	5,9	30/06/2013	0	30/07/2013	0	30/08/2013	0	30/09/2013	1,8	30/10/2013	0,4	30/11/2013	0,6	30/12/2013	0,8
31/01/2013	2,6	31/02/2013	2,4	31/03/2013	0	31/04/2013	0	31/05/2013	5	31/06/2013	0	31/07/2013	0	31/08/2013	0	31/09/2013	0	31/10/2013	4,2	31/11/2013	0	31/12/2013	39,8

Janeiro	Precipitação	Fevereiro	Precipitação	Março	Precipitação	Abril	Precipitação	Maio	Precipitação	Junho	Precipitação	Julho	Precipitação	Agosto	Precipitação	Setembro	Precipitação	Outubro	Precipitação	Novembro	Precipitação	Dezembro	Precipitação
01/01/2014	0,8	01/02/2014	25,4	01/03/2014	9,6	01/04/2014	3,2	01/05/2014	1	01/06/2014	0	01/07/2014	0	01/08/2014	0	01/09/2014	12,8	01/10/2014	0,4	01/11/2014	16,4	01/12/2014	0
02/01/2014	13,8	02/02/2014	46,2	02/03/2014	3,8	02/04/2014	0	02/05/2014	0	02/06/2014	0	02/07/2014	0	02/08/2014	0	02/09/2014	4,8	02/10/2014	0,4	02/11/2014	9,2	02/12/2014	1,2
03/01/2014	19,6	03/02/2014	0,4	03/03/2014	10,8	03/04/2014	12,8	03/05/2014	0	03/06/2014	0	03/07/2014	0	03/08/2014	0	03/09/2014	4,8	03/10/2014	3,4	03/11/2014	10,2	03/12/2014	28,8
04/01/2014	46,6	04/02/2014	3,6	04/03/2014	6,4	04/04/2014	0,4	04/05/2014	0,4	04/06/2014	0	04/07/2014	0	04/08/2014	0	04/09/2014	0	04/10/2014	4,8	04/11/2014	1,8	04/12/2014	0,4
05/01/2014	3	05/02/2014	2,8	05/03/2014	6,9	05/04/2014	3,2	05/05/2014	3,8	05/06/2014	2,6	05/07/2014	0	05/08/2014	0	05/09/2014	0	05/10/2014	10,2	05/11/2014	13,6	05/12/2014	18,2
06/01/2014	6,4	06/02/2014	1	06/03/2014	0,4	06/04/2014	0,4	06/05/2014	0	06/06/2014	0,4	06/07/2014	0	06/08/2014	0	06/09/2014	0	06/10/2014	0,4	06/11/2014	7,6	06/12/2014	0,4
07/01/2014	6	07/02/2014	4,2	07/03/2014	11,4	07/04/2014	0	07/05/2014	3,8	07/06/2014	0	07/07/2014	6,6	07/08/2014	18	07/09/2014	21,6	07/10/2014	0,4	07/11/2014	0,4	07/12/2014	0,8
08/01/2014	6,4	08/02/2014	0	08/03/2014	4,4	08/04/2014	0	08/05/2014	0	08/06/2014	2,8	08/07/2014	50,2	08/08/2014	17	08/09/2014	2,6	08/10/2014	0	08/11/2014	15,2	08/12/2014	0,4
09/01/2014	5,8	09/02/2014	6,4	09/03/2014	3,4	09/04/2014	8,4	09/05/2014	4,6	09/06/2014	25,2	09/07/2014	0	09/08/2014	0	09/09/2014	0	09/10/2014	0,4	09/11/2014	0,4	09/12/2014	0,4
10/01/2014	13,6	10/02/2014	6,2	10/03/2014	0,4	10/04/2014	0,4	10/05/2014	0,4	10/06/2014	0	10/07/2014	0	10/08/2014	0	10/09/2014	0	10/10/2014	0,4	10/11/2014	21,8	10/12/2014	35,2
11/01/2014	93,8	11/02/2014	1,4	11/03/2014	11,4	11/04/2014	1,2	11/05/2014	0	11/06/2014	0	11/07/2014	0	11/08/2014	0	11/09/2014	0	11/10/2014	0	11/11/2014	22	11/12/2014	7,8
12/01/2014	11	12/02/2014	1,2	12/03/2014	0	12/04/2014	0	12/05/2014	0	12/06/2014	0	12/07/2014	0	12/08/2014	17,4	12/09/2014	9	12/10/2014	0	12/11/2014	0	12/12/2014	0
13/01/2014	9,4	13/02/2014	8,2	13/03/2014	7,2	13/04/2014	4,8	13/05/2014															