



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

CODEVASF 

PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU-MA

DIAGNÓSTICO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

Volume IV

São Luís - MA
2024

MINISTÉRIO DA
INTEGRAÇÃO E DO
DESENVOLVIMENTO
REGIONAL

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

GOVERNO DO
MARANHÃO
TRABALHANDO PARA TODOS

NuGeo 
NÚCLEO GEOAMBIENTAL - UEMA

FAPEAD
FUNDAÇÃO DE APOIO
AO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO



PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU (PRH-ITAPECURU)
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO/NÚCLEO GEOAMBIENTAL - NUGEO/UEMA
DIAGNÓSTICO HIDROSSSEDIMENTOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU (MA)

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO	REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
CARLOS ORLEANS BRANDÃO JUNIOR GOVERNADOR	LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA PRESIDENTE
FELIPE COSTA CAMARÃO VICE GOVERNADOR	GERALDO JOSÉ RODRIGUES ALCKMIN FILHO VICE PRESIDENTE
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA	COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNÁIBA - CODEVASF
WALTER CANALES SANT'ANA REITOR	ANTÔNIO WALDEZ GÓES DA SILVA MINISTRO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL
PAULO HENRIQUE ARAGÃO CATUNDA VICE-REITOR	MARCELO ANDRADE MOREIRA PINTO DIRETOR-PRESIDENTE DA CODEVASF
ILKA MÁRCIA RIBEIRO DE SOUZA SERRA PRÓ-REITORA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS ESTUDANTIS	JOSE VIVALDO SOUZA DE MENDONÇA FILHO DIRETOR DA ÁREA DE REVITALIZAÇÃO E SUSTENTABILIDADE SOCIOAMBIENTAL
MARCELO CHECHE GALVES PRÓ-REITOR DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO	CLOVIS LUÍS PAZ OLIVEIRA SUPERINTENDENTE REGIONAL DA CODEVASF/8ªSR
LUIZ JORGE BEZERRA DA SILVA DIAS COORDENADOR DO CONVENIO N 8.088.00/2016-CODEVASF -UEMA (SICONV N 842341/2016)	ADENILSON KERLISSON CARVALHO DE OLIVEIRA GERENTE DA 8ª GERÊNCIA REGIONAL DE REVITALIZAÇÃO E SUSTENTABILIDADE SOCIOAMBIENTAL
JUCIVAN RIBEIRO LOPES COORDENADOR DO NÚCLEO GEOAMBIENTAL	WELLIAN MOREIRA DOS SANTOS CHEFE DA UNIDADE REGIONAL DE MEIO AMBIENTE DA CODEVASF/8ªSR
ELIENÊ PONTES DE ARAÚJO COORDENADORA DE PROJETOS DO NÚCLEO GEOAMBIENTAL	

EQUIPE TÉCNICA

EQUIPE DE COORDENAÇÃO E PLANEJAMENTO
LUIZ JORGE BEZERRA DA SILVA DIAS (COORDENADOR)
LUIZ CARLOS ARAÚJO DOS SANTOS
PAULO HENRIQUE DE ARAGÃO CATUNDA
ELIENÊ PONTES DE ARAÚJO
JUCIVAN RIBEIRO LOPES
KARINA SUZANA FEITOSA PINHEIRO
ARIADNE ENES ROCHA

DIAGNÓSTICO HIDROSSSEDIMENTOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU (MA)
RONY LOPES LUNGUINHO
KARINA SUZANA FEITOSA PINHEIRO

PROJETO GRÁFICO
LETÍCIA PONTES DE ARAÚJO CAVALCANTE
ELIENÊ PONTES DE ARAÚJO
DANÚBIO CAMPOS PINHEIRO
HAUANEN ARAÚJO ROCHA



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO



**DIAGNÓSTICO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO ITAPECURU (MA)
PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
ITAPECURU**

COORDENAÇÃO E PLANEJAMENTO:

Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias
Luiz Carlos Araújo dos Santos
Paulo Henrique de Aragão Catunda
Elieenê Pontes de Araújo
Jucivan Ribeiro Lopes
Karina Suzana Feitosa Pinheiro
Ariadne Enes Rocha

AUTORES

Rony Lopes Lunguinho
Karina Suzana Feitosa Pinheiro

EDIÇÃO E DESIGN GRÁFICO:

Leticia Pontes de Araújo Cavalcante, Danúbio Campos Pinheiro, Elieenê Pontes de Araújo e Hauanen Araújo Rocha

Diagnóstico Hidrossedimentológico da bacia hidrográfica do rio Itapecuru (Ma). Rony Lopes Lunguinho, Karina Suzana Feitosa Pinheiro - São Luís: UEMA/NUGEO, 2024.
105p: il. color. (Diagnóstico Hidrossedimentológico)

ISBN:

1.Bacia Hidrográfica. 2.Itapecuru. 3. Sedimentoso. I.Lunguinho Rony Lopes. II.Pinheiro, Karina Suzana Feitosa. Título. III.Título. IV. Série.

CDU:

Elaborado por

SUMÁRIO

1	DINÂMICA SEDIMENTOLÓGICA E OS RECURSOS HÍDRICOS	6
2	A MODELAGEM HIDROLÓGICA E SUAS CONCEPÇÕES.....	7
2.1	Ciclo Hidrológico e Balaço Hídrico	8
2.2	Modelos Hidrológicos.....	9
2.2.1	O SWAT	13
2.2.2	Modelagem e Aplicações	18
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	19
3.1	Coleta de Dados	19
3.2	Processamento	25
3.2.1	Geração dos Setores Hidrológicos.....	25
3.2.2	Unidades de Resposta Hidrológicas	27
3.2.3	Dados Climáticos	29
3.2.4	Simulação do Modelo	29
4	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA BACIA DO ITAPECURU.....	30
4.1	Escoamento Superficial	30
4.2	Sedimentos Transportados	36
4.3	Relações Escoamento e Sedimento	42
5	OS REGIMES PLUVIOMÉTRICOS E A HIDROSSEDIMENTOLOGIA.....	44
5.1	Construção dos períodos chuvosos e secos	45
5.1.1	Determinação dos Valores Normais	45
5.1.2	Preenchimento de Falhas.....	46
5.1.3	Análise de Consistência	46
5.1.4	Determinação de Anos Secos, Normais e Chuvosos	47
6	AVALIAÇÃO HIDROSSEDIMENTOLÓGICA.....	49
6.1	Panorama Geral.....	49
6.2	Dinâmica da Precipitação	57

6.3	Comportamento dos Setores Hidrológicos	59
7	AS CHUVAS, A HIDROSSEDIMENTOLOGIA E AS CONSEQUÊNCIAS	74
8	OS DESAFIOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS ATUAIS	81
8.1	PARÂMETROS E PROCESSOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS	82
8.1.1	Climatologia	82
8.1.2	Produtos Geo-Espaciais	84
8.1.3	Escoamento Superficial	86
8.1.4	Transporte de Sedimentos	88
9	ANÁLISE TEMPORAL	90
10	A HIDROSSEDIMENTOLOGIA DE 2020	95
10.1	Comportamento dos Setores Hidrológicos	97
11	Zonas de Atenção	100
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
	REFERÊNCIAS	102

1 DINÂMICA SEDIMENTOLÓGICA E S RECURSOS HÍDRICOS

O processo de monitoramento das dinâmicas de uma bacia hidrográfica é avaliado dentro das condições climáticas e a utilização do uso da terra, o qual podem refletir no comportamento pedológico e vegetação. Dentro desta concepção o estado do Maranhão localizado em uma zona de transição apresenta condições climáticas características de três biomas brasileiros, sendo eles Amazônia, Cerrado e Caatinga (ARAÚJO *et al* 2016) com solos mais desenvolvidos (VALLADARES *et al.*, 2007) e vegetação com presença de florestas evidenciados por suas espécies arbóreas (ARAÚJO *et al* 2016) condicionadas a rios perenes e caudalosos advindo de seu favorecimento pluviométrico de altas precipitações (NASCIMENTO *et al.*, 2017).

A produção agropecuária do estado do Maranhão está entre os maiores contribuidores da economia (SAGRIMA, 2016), condição que implica na dinâmica do uso terra, algo que reflete a essencial necessidade geração de informações hidrológicas e sedimentológicas que possa afetar a bacia hidrográfica. Estas informações auxiliam na gestão, planejamento e execução de medidas que possam mitigar impactos e promover sustentabilidade ambiental e da produção agrícola.

Mediante a estes fatores a bacia hidrográfica do rio Itapecuru em sua importância em fornecimento dos recursos naturais para a produção agrícola e abastecimento de água carece de um plano de gestão, o qual reforce a importância do controle de sedimentos para prover controle erosivo e de assoreamentos com diluição de cheias e enchentes.

O desenvolvimento de mecanismos para compreender o comportamento hidrológico em bacias hidrográficas são utilizados em todas as rotinas de órgãos em gestão de recursos hídricos (MORAES *et al* 2006). Com o advento da tecnologia os órgãos em gestão dos recursos hídricos estabeleceram estratégias para aprimorar o monitoramento da dinâmica das bacias hidrográficas em seus aspectos de escoamento superficial e sedimentos.

Uma das formas de auxílio a gestão é a modelagem hidrológica, onde através de dados de campo é possível estabelecer um quadro do comportamento da bacia hidrográfica em consonância com a dinâmica dos recursos naturais. De posse dos aspectos topográficos, pedológicos, uso da terra, clima e vazão é possível apresentar quadros da distribuição de possíveis impactos decorrentes.

O controle do comportamento no transporte de sedimentos dentro de uma bacia hidrográfica é fundamental para compreender aspectos de deposição e implicações de assoreamento que porventura venha ocorrer em seus canais de drenagem. Para representar este comportamento é necessário observar a contribuição de escoamento perante os elementos topográficos, pedológicos, uso da terra, clima e vazão, os quais em conjunto com a sedimentologia responde o caráter hidrossedimentológico.

A concepção hidrossedimentológica advém da necessidade em compreender a dinâmica dos sedimentos e suas interpretações perante o comportamento hidrológico em uma bacia hidrográfica. Como unidade de gestão (BRASIL, 1997) a bacia hidrográfica compreende dentro de seu ciclo hidrológico elementos que traduzem os aspectos de sedimentos, o qual sofre influência do escoamento superficial.

Dentro do contexto do ciclo hidrológico as características climáticas funcionam como parâmetro de *input* dentro do sistema ambiental, onde irá favorecer a alimentação dos canais de drenagem, algo que através da topografia proporcionara um escoamento superficial contribuindo para o transporte de sedimentos, onde qualquer alteração nos elementos da superfície terrestre implicará em impactos nos canais, seja em qualidade da água ou deposição de sedimentos.

Através de todos os elementos necessários contextualizados anteriormente observa-se as relações da dinâmica hidrossedimentológica e os recursos hídricos, os quais podem auxiliar no planejamento e gestão. Aludido destes fatores, este trabalho apresenta análises preliminares das condições hidrossedimentológicas da bacia hidrográfica do rio Itapecuru através de Modelagem Hidrológica *Soil And Water Assessment Tool* (SWAT).

2. A MODELAGEM HIDROLÓGICA E SUAS CONCEPÇÕES

Quando pensamos em modelos logo nos vem à mente na capacidade de representar um fenômeno, o qual não alcançamos, ou porventura não tenhamos informações suficientes. O ato de modelar dentro da hidrologia, segue estes preceitos, mas sempre baseados na lógica e dinâmica características dos elementos contidos no ciclo hidrológico. Antes de aprofundarmos nesta concepção é necessário compreender o ciclo hidrológico e observar que este modo sistemático

de pensar é essencial para estabelecer parâmetros de análise que colaboram com a bacia hidrográfica.

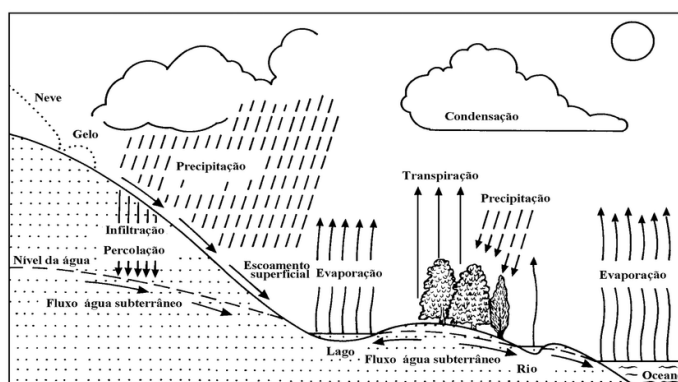
2.1 Ciclo Hidrológico e Balaço Hídrico

A base conceitual para as análises hidrológicas advém do ciclo, onde é possível identificar os elementos compostos e observar suas influências na superfície terrestre e seus reflexos nos recursos naturais.

A compreensão dos elementos do ciclo hidrológico é o que contribui para as análises da dinâmica hidrológica e a geração de fatores de contribuição. De acordo com Tucci (2009) o ciclo hidrológico é um fenômeno global de circulação fechada o qual o principal contribuinte está na atmosfera aonde as condições meteorológicas geradas produzem interações de vapor de água alimentando toda uma condição na superfície terrestre.

De modo geral, os elementos que compõe o ciclo hidrológico estão em precipitação, temperatura e vento, os quais contribuem para o processo de infiltração, evapotranspiração, escoamento superficial e subterrâneo (Figura 1).

Figura 1: Ciclo Hidrológico
Fonte: Tucci (2009)



Atinente ao ciclo hidrológico, o processo que se forma perante a intensidade dos elementos modifica os processos, os quais podem impactar diretamente nas características da bacia, onde o controle deste impacto da intensidade pode ser mensurado através do balanço hídrico.

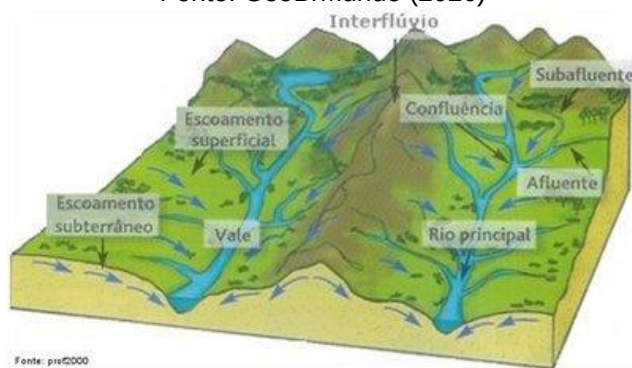
O balanço hídrico corresponde a mensuração do saldo de resposta dos elementos do ciclo hidrológico perante os processos ocorridos. Tucci (2009) expõe a determinação da evaporação, o qual o considera as entradas e saída de água

provendo um controle que possibilita uma clareza nas análises, mas é possível observar e estabelecer uma análise perante a perspectiva em ater-se as inflexões que causam mediante onde estas saídas podem ocorrer por evapotranspiração e escoamento superficial (TOMASELLA e ROSSALTO, 2005).

No que concerne a transporte de sedimentos, ele é impactado mediante a contribuição e velocidade do escoamento, o qual Chow (1964) estabelece a correspondência da quantidade de sedimentos transportados e o total de solo erodido em uma bacia hidrográfica, destacando sua contribuição e impactos na bacia. Dentro desta concepção Chow (1964) ainda destaca a importância da rede drenagem, a qual a partir de um terreno declivoso evidencia o depósito nas vertentes consequentemente transportados pelos canais.

Diante as dinâmicas do ciclo hidrológico e seus reflexos no transporte de sedimentos utilizando o balanço hídrico para interpretar este comportamento no transporte de sedimento, observa-se a bacia hidrográfica como elemento agregador destes processos, em que funciona como uma unidade de gestão de acordo com a Lei 9433/1997 (BRASIL, 1997). Diante disto, Tucci (2009) define:

Figura 2: Bacia Hidrográfica
Fonte: GeoBrMundo (2020)



Bacia Hidrográfica como uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório. (TUCCI, 2009, Pág. 40)

Perante a estes aspectos os modelos hidrológicos foram produzidos na busca de estabelecer correlações através destes padrões que pudessem reproduzir os processos hidrológicos dentro de uma bacia hidrográfica.

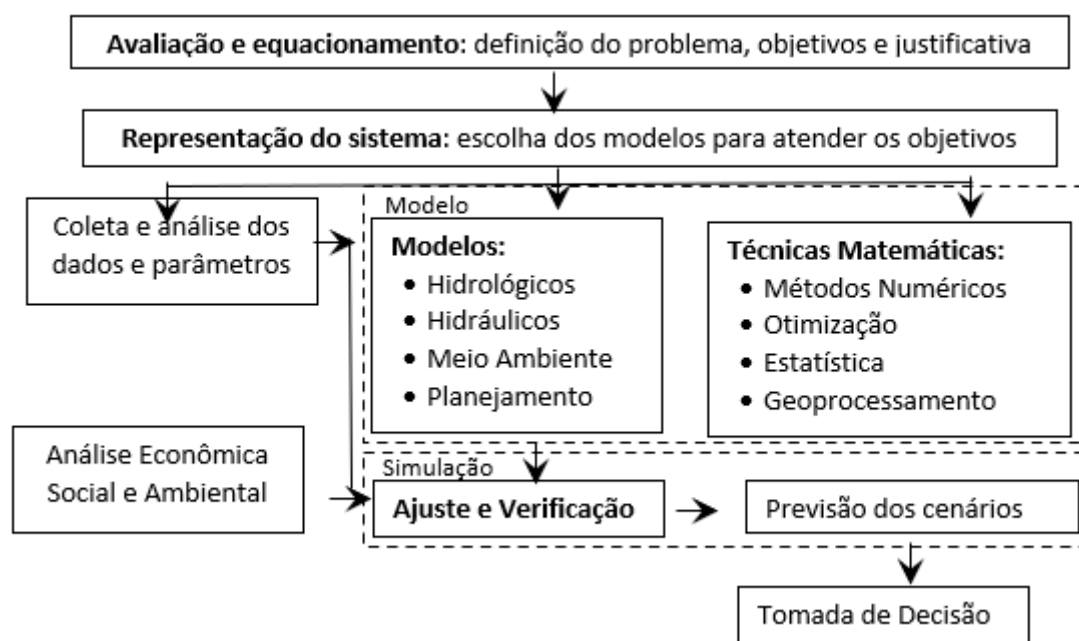
2.2 Modelos Hidrológicos

A implementação de modelos hidrológicos apresentou-se essencial para a produção de informações de gestão e planejamento. Com o advento da tecnologia

houve um aperfeiçoamento, crescimento e maior utilização destes modelos, os quais contabilizam diversos estudos pelo mundo (FOTHERINGHAM e ROGERSON, 1994; MILLER *et al* 2007; SANTOS, 2008)

Dentro do contexto hidrológico os modelos podem ser aplicados a partir de perspectivas de compreensão dos processos que impactam em uma bacia hidrográfica. Poder analisar estes processos e vislumbrar assertivamente seus resultados mediante as características da bacia se tornou um salto nas análises hidrológicas. Tucci (2005) refletindo sobre modelo coloca como uma representação de algum objeto ou sistema em uma linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas. Assim, os modelos dentro da fase de estudos podem ser definidos de acordo com a Figura 3.

Figura 3: O Modelo Dentro das Fases de um Estudo
Fonte: TUCCI (2005)



Observa-se na Figura 3 a necessária definição de seus objetivos em consonância com a representação do sistema ou modelo de sua escolha, os quais estarão dependentes dos dados coletados e analisados. A etapa de modelo e simulação são as fases de processamento, na qual devem ser definidos as perspectivas do modelo e as técnicas, onde vale salientar que cada modelo de sua escolha terá uma técnica matemática de processamento. Com esta primeira fase

concluída é importante simular e observar suas respostas, onde serão ajustadas e verificadas para previsão de cenários e tomadas de decisão.

Baseados nesta sequência de estudo cada modelo é classificado de acordo com seu tipo, o que irá facilitar para determinação dos objetivos pretendidos perante aos dados que você possui. De acordo com Claker (1973) os modelos podem ser definidos por determinístico, estocástico, empíricos, conceituais, concentrados ou distribuídos, conceituados de acordo com a Quadro 1.

Quadro 1: Tipos de Modelos Hidrológicos

Modelos Determinísticos
São aqueles modelos que produzem respostas idênticas para o mesmo conjunto de entradas, mesmo quando uma variável de entrada tiver caráter aleatório.
Modelos Estocásticos
São aqueles modelos quando uma ou mais variáveis envolvidas na modelagem têm um comportamento aleatório, possuindo distribuição de probabilidade.
Modelos Empíricos
São ditos empíricos quando sua formulação não possui nenhuma representação explícita dos processos físicos da bacia, podendo possuir uma característica regionalista.
Modelos Conceituais
Os modelos conceituais são baseados nas equações que descrevem o processo físico conceitual ou hipotético, não sendo necessariamente baseado no processo real.
Modelos Concentrados
Nos modelos concentrados, a área da bacia é representada de forma única, isto é, homogênea, não sendo possível a distribuição das características físicas relacionadas ao solo, à vegetação e à chuva. No seu desenvolvimento são atribuídos valores médios representativos para toda a área de acordo com cada parâmetro do modelo.
Modelos Distribuídos
Estes modelos permitem que toda a área seja dividida em unidades irregulares ou regulares, consideradas como homogêneas, reconhecendo desta forma a distribuição espacial das variáveis e dos parâmetros considerados. Este tipo de modelo permite a manipulação de dados de pluviometria levando em consideração sua variabilidade espacial, sendo, portanto, mais representativa do que real.

Fonte: Almeida e Serra (2017) Apud Clarke (1973)

As aplicações de modelagem baseados nas diversas concepções em seus tipos podem ser observadas mediante ao seu grau de aplicabilidade. Estas concepções advêm das suas características, estrutura e utilização (Quadro 2).

Quadro 2: Tipos de modelos, características e usos na modelagem hidrológica

Nome	Tipo	Estrutura	Características	Usos
Precipitação-Vazão	Determinístico Empírico Conceitual	Comportamento	Calcula a vazão de uma bacia a partir da precipitação.	Extensão de séries de vazão; dimensionamento; previsão em tempo atual; avaliação do uso da terra.
Vazão-Vazão	Determinístico Empírico Conceitual		Calcula a vazão de uma seção a partir de um ponto a montante.	Extensão de séries de vazões; Dimensionamento; previsão de cheia.
Geração estocástica de vazão	Estocástico		Calcula a vazão com base nas características da série histórica.	Dimensionamento do volume de um reservatório.
(fluxo saturado)	Determinístico		Determina o movimento, vazão potencial de águas subterrâneas a partir de dados de realimentação, bombeamento etc.	Capacidade de bombeamento; nível do lençol freático; iteração rio-aquífero etc.
Hidrodinâmico	Determinístico		Sintetiza vazões em rios e rede de canais.	Simulação de alterações do sistema; efeitos de escoamento de jusante.
Qualidade da água (de rios e reservatórios)	Determinístico		Simula a concentração de parâmetros de qualidade da água.	Impacto de efluentes; eutrofização de reservatórios; condições ambientais.
Rede de canais e condutos	Determinístico	Comportamento e otimização	Otimiza o diâmetro dos condutos e verifica as condições de projeto.	Rede de abastecimento de água; rede de irrigação.
(operação de reservatórios)	Estocástico Determinístico		Determina a operação ótima de sistemas de reservatórios.	Usos múltiplos.
Planejamento e gestão de sistemas múltiplos	Estocástico, determinístico	Comportamento, Otimização e planejamento	Simula condições de projeto e operação de sistemas (usa vários modelos).	Reservatórios, canais, estações de tratamento, irrigação, navegação fluvial etc.

Fonte: Fayal (2008) Apud Almeida e Serra (2017)

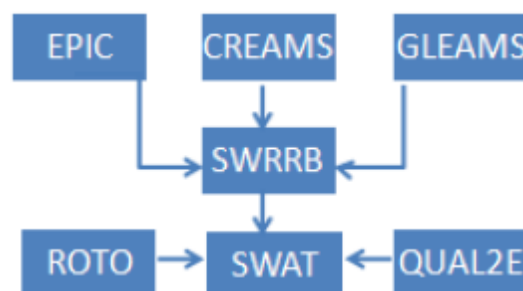
Baseados nestas bases científicas o modelo SWAT surge como uma alternativa as análises hidrológicas concentrando-se seus esforços na área hidrossedimentológica auxiliando na gestão.

2.2.1 O SWAT

O SWAT é um modelo de base física semi-distribuído, onde seu processamento é dependente dos dados de campo contínuo no tempo das modificações no uso da terra e solo (Arnold *et al.*, 2012).

Cerca de 40 anos o SWAT vem sendo desenvolvido pelo *United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service (USDA-ARS)* para fomentar a gestão agrícola nos Estados Unidos. Com a capacidade hidrossedimentológica proporcionou a junção de outros modelos, o qual originam dos modelos *Simulator for Water Resources in Rural Basins (SWRRB)*, *QUAL2E*, *Routing Outputs To Outlets (ROTO)*, sendo os principais de base, onde o SWRRB trouxe as funcionalidades do *Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems (GLEAMS)*, *Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems (CREAMS)* e *Erosion-Productivity Impact Calculator (EPIC)* conforme observa-se na Figura 4.

Figura 4: Origem do Modelo SWAT
Fonte: Guimarães (2011) Apud Gassman (2007)



De modo geral o SWAT possui características que devem ser levadas em consideração ao momento que iniciar o processo de rodagem do modelo. Neitsch (2005) apresenta as seguintes características:

- Trata-se de um modelo de base física que requer informações quanto ao clima, propriedades do solo, topografia, vegetação e práticas de manejo e gerenciamento da terra para a sua devida execução. Esta primeira característica denota sua capacidade de simulação em bacias sem monitoramento, ou seja, sem calibração, favorecendo resultados realistas;
- Utiliza dados normalmente disponíveis;

- Computacionalmente eficiente, é capaz de simular bacias de diferentes tamanhos com estabelecimento de diferentes cenários e estratégias de manejo da terra, por longos períodos, com baixo investimento de capital e tempo e,
- É um modelo contínuo no tempo favorecendo as simulações de longos períodos – até 150 anos (WINCHELL, 2007).

2.2.1.1 Componentes e Equações do Modelo

Para a determinação dos resultados pretendidos o SWAT segue uma composição de componentes que norteiam a geração de suas equações. Assim, existem oito componentes responsáveis por suas simulações designados nos estudos de Dhar (2009):

- Hidrologia: escoamento superficial, percolação, fluxo lateral, fluxo subterrâneo, evapotranspiração, neve e o fluxo da rede de drenagem. Incluindo ainda a análise em reservatórios;
- Aporte de sedimentos: abrange o ciclo hidrossedimentológico utilizando a Equação Universal de Perda do Solo Modificada (MEUPS);
- Clima: precipitação, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar e temperatura do ar;
- Temperatura do solo: o modelo simula diariamente uma temperatura média no centro de cada camada do solo com objetivo do uso nos processos hidrológico e no declínio de resíduos orgânicos;
- Crescimento vegetal;
- Nutrientes: investiga os compostos minerais e orgânicos do nitrogênio e do fósforo;
- Pesticidas e bactérias: investiga o movimento de tais elementos, analisando a biodegradação e transformação dos pesticidas, além do declínio de bactérias. O modelo pode ainda acompanhar a existência de metais pesados, contudo sem analisar possíveis transformações.

- Práticas agrícolas: analisa o cultivo de cultura considerando irrigação e o manejo de resíduos na terra.

Baseados nestes componentes em conjunto com consolidação científica matemática nos estudos hidrológicos que apresentam eficiência na observância do comportamento da dinâmica das bacias hidrográficas constitui-se uma série equacional que orientam os resultados disponibilizados pelo SWAT.

Em seu manual teórico (NEITSCH, 2005) as rotinas são divididas em equações em fase terra e de propagação, onde a fase terra está constituída do balanço hídrico, equação universal de perda de solo modificada, escoamento superficial, vazão de pico, erodibilidade do solo, fator de cobertura do solo, fator topográfico, práticas conservacionistas, fator de fragmentação esparsa, evapotranspiração, armazenamento da copa, transpiração, evaporação do solo, tempo de concentração, retardo do escoamento superficial, percolação, escoamento subsuperficial lateral, água subterrânea, REVAP e crescimento vegetal. Na fase da água ou propagação tem-se propagação de vazão líquida no canal propagação de vazão sólida no canal e reservatórios. Sintetizando as equações aplicadas no SWAT segue em anexo parte do documento do trabalho desenvolvido por Guimarães (2011) que esclarece as execuções matemáticas desenvolvidas para o funcionamento de seu algoritmo.

Uma das funções primordiais dos modelos na contemporaneidade é sua possibilidade de distribuição espacial. Em consonância com estes aspectos a junção com os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tornam-se essenciais para a representação de fenômenos hidrológicos e possíveis impactos em bacia hidrográfica.

2.2.1.2 Integração com o SIG

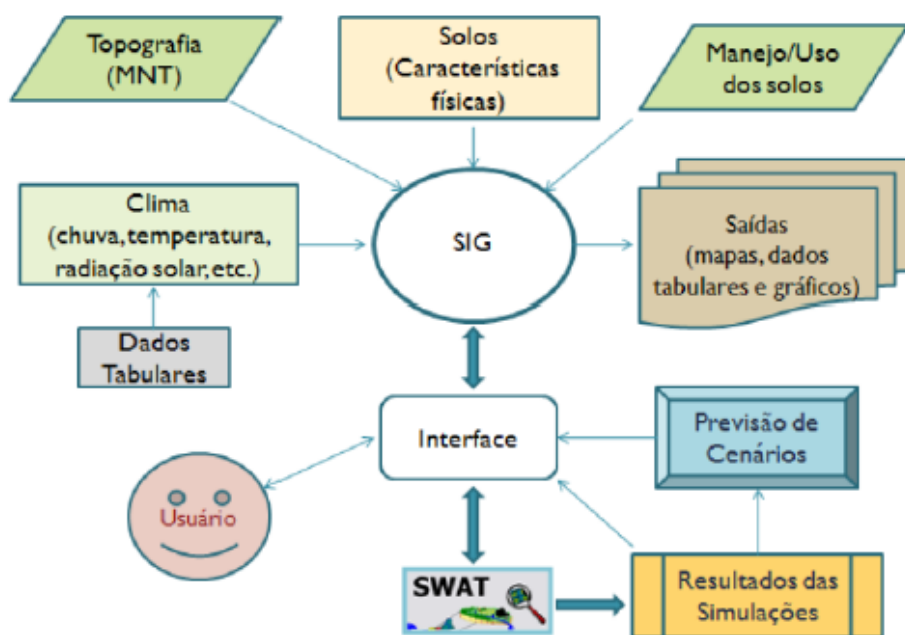
O acoplamento de modelos a SIG's promovem um auxílio na otimização das análises, as quais facilitam a tomada de decisão. Ao longo dos anos alguns pesquisadores vêm desenvolvendo trabalhos dentro deste contexto, o qual demonstram eficiência em suas respostas (WOOLHISER, 1990; GOODCHILD *et al.*, 1992; LOPES, 2003; WHITEAKER, 2004).

Quando se estabelece uma perspectiva temporal e espacial os modelos são constituídos como distribuídos, assim apresenta a relevância dos SIG em capacidade se desenvolver nestas condições. A variação espacial deve ser

avaliadas mediante a critérios específicos que conduzem uma bacia hidrográfica que pode apresentar variações dentro de seu território (TUCCI, 2005; BURROUGH,1998).

Mediante a isto os critérios de dados de entrada, quantidade e capacidade de processamento são os principais entraves a serem superados nas etapas de execução do modelo. Uzeika (2009) apresenta os processos de execução integrados com o SIG, o qual observa-se uma demanda de dados, e os precisam interagir em processamento (Figura 5).

Figura 5: Fluxograma de Execução do Modelo SWAT
Fonte: Uzeika (2009)



A concepção que traz a modelagem diante de suas estruturas, processos e integrações promove o aperfeiçoamento na geração de modelos adequados a determinados estudos os quais necessitam pesquisar. Dentro deste escopo surge o ArcSwat.

2.2.1.3 ArcSwat

O ArcSwat assim como todos os modelos baseados em SIG são denominados de modelos geoespacial. Estes modelos têm a capacidade integrativa de dados

geoespaciais e alfanuméricos. Torna-se uma ferramenta de interface do SWAT que possibilita a execução das tarefas que refletem seus componentes.

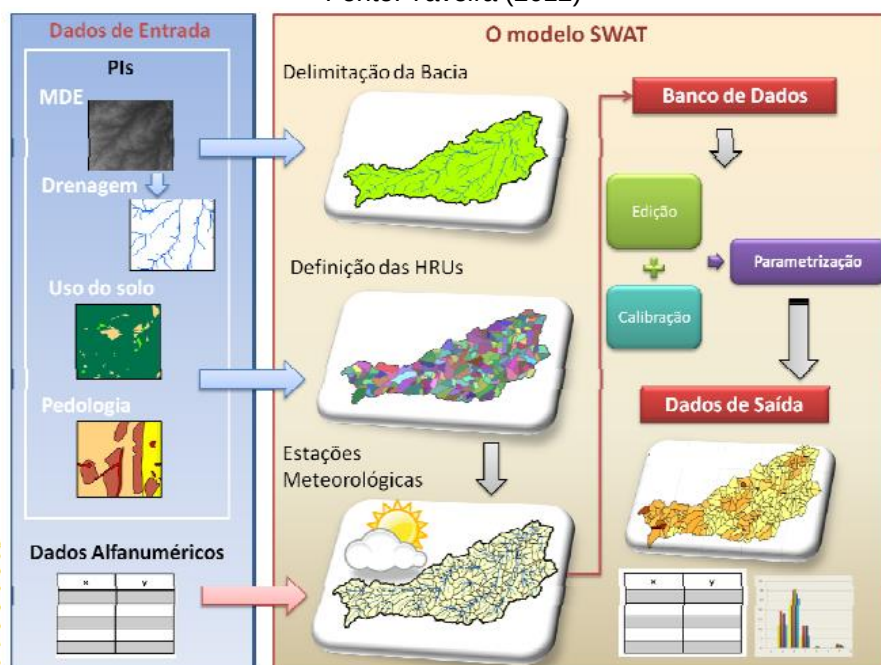
Na contextualização na manipulação dos dados alimenta-se o modelo com dados de entrada sendo divididos em produtos espaciais de topografia proveniente de um Modelo Digital de Elevação (MDE), Drenagem, Uso do Solo e Pedologia. Além disto há a inserção dos dados alfanuméricos climatológicos sendo precipitação, vento, radiação solar, temperatura e umidade relativa.

Dentro do escopo do modelo no momento de processamento é efetuada a delimitação da bacia e geração de suas sub-bacias pelo método algoritmo de oito Direções (D-8) que trata da identificação de uma célula central na qual haverá fluxo superficial para uma das oito células vizinhas, sendo o critério para o escoamento a maior declividade (Lacroix, 2002). Mediante aos dados de entrada e a geração das sub-bacias são determinadas as unidades de resposta hidrológicas denominadas HRU que estabelece uma combinação entre os elementos de entrada diluindo a heterogeneidade, as quais são submetidas a condição climatológica.

Com o modelo compreendendo estas condições da bacia é gerado um banco de dados que pode ser editado para execução de parametrização e calibração que provenha de dados de campo que contribua a validar, onde teremos dados de saída tabulares e espaciais, conforme exposto na Figura 6.

Figura 6: Processo de Funcionamento do Modelo SWAT.

Fonte: Taveira (2012)



2.2.2 Modelagem e Aplicações

Estabelecendo um parâmetro com a temporalidade do SWAT de 40 anos de estudos difundidos ao redor do mundo, observa-se um alcance de objetivos diferenciados que atestam a capacidade em obter resultados satisfatórios.

Baseado na necessidade de desenvolver informação para a produtividade agrícola, o SWAT atendeu diversas demandas ao longo deste período se tornando instrumento primordial nas bases hidrológicas para a produção. Nesta perspectiva Williams e Dyke (1984) apresentavam a eficácia do modelo perante as relações entre erosão e produtividade do solo, o qual identificaram o aumento da erosão pôde ser prejudicial a produção, assim sendo possível a identificação da probabilidade de erosão pode diluir os impactos e direcionar a produção perante a prática do cuidado com o solo. Dentro desta perspectiva Allen *et al.* (1999) observam as perspectivas que o processo erosivo pode provocar mediante a identificação dos canais de drenagem. Tais estudos são essenciais pois reforçam a importância do escoamento superficial e os reflexos no transporte de sedimentos, o qual são evidenciados por Aragão *et al.* (2013) em estudos na sensibilidade dos parâmetros em contribuir para a dinâmica da bacia, sendo essenciais no transporte de sedimento no nordeste brasileiro.

Atualmente o SWAT vem sendo utilizado não somente para estudos rurais, mas urbanos (LIN *et al.* 2019) devido a sua contribuição e permitir a entrada de dados que possibilitam o refino das análises. Assim desenvolver o refino destes parâmetros está o grande desafio do SWAT, pois é através deles que se desenham quadros mais próximos da realidade evidenciando seu caráter de gestão de planejamento (HUANG *et al.*, 2020; SHRESTHA *et al.*, 2021).

No que corresponde aos estudos aplicados no Brasil evidencia-se estudos aprofundados desde 2003 voltados para a compreensão do comportamento do transporte de sedimentos (MACHADO e VETTORAZZI, 2003), sendo o norte e nordeste contribuidores destes estudos (GUIMARÃES, 2011; TAVEIRA, 2012; NUNES, *et al.* 2019).

No que concerne aos estudos desenvolvidos dentro do SWAT é possível observar uma larga experiência que atesta a eficiência na produção informações que exploram suas diversas potencialidades do comportamento hidrológico e seus impactos em bacias hidrográficas.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Respeitando a sequência base do ArcSwat exposto na Figura 6, o desenvolvimento deste trabalho baseou-se na coleta de dados, processamento e geração dos produtos.

3.1 Coleta de Dados

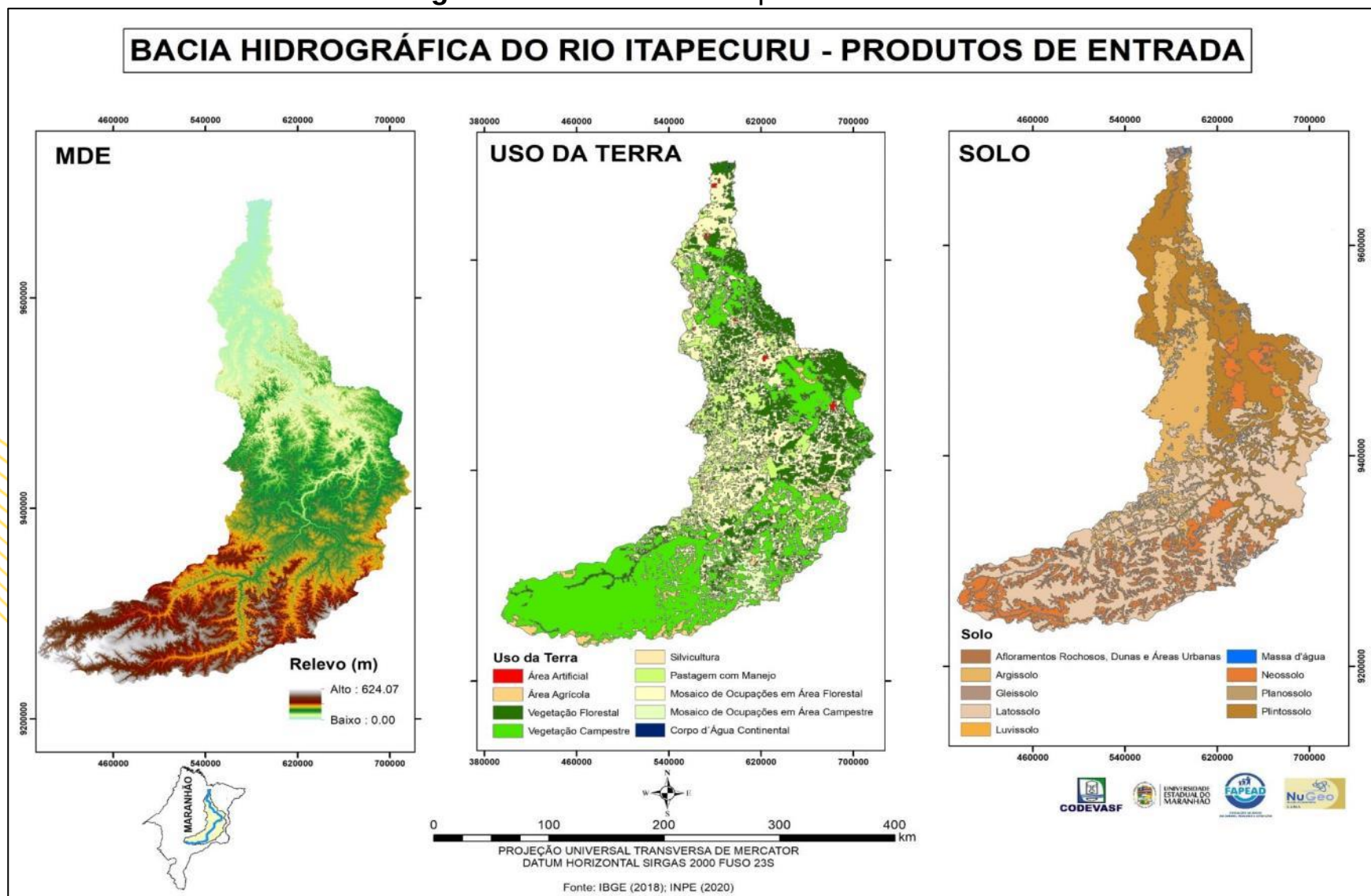
Os dados geoespaciais utilizados foram MDE, Drenagem, Uso do Terra e Pedologia. O Modelo Digital de Elevação (MDE) de entrada como elemento norteador da topografia em seu relevo e declividade proveu do projeto TOPODATA (VALERIANO, 2004) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) onde consiste na oferta de dados topográficos e suas derivações básicas em cobertura nacional, ora elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo *U.S. Geological Survey* (USGS). Estes dados foram refinados da resolução espacial original de 3 arcos segundos (~90m) para 1 arco-segundo (~30m) por uma técnica conhecida como krigagem (do inglês kriging). Estes dados são, declividade, orientação de vertentes, curvatura vertical, curvatura horizontal, forma do terreno, delineamento de microbacias, além de arquivos em formato “.TIF”, este último utilizado neste trabalho.

Os dados de drenagem foram obtidos do banco de dados da Agência Nacional de Água (ANA) disponibilizado na plataforma de aquisição de dados geoespaciais, onde posteriormente foram selecionados os canais principais para adequação dos caminhos de drenagem como auxílio na geração de um MDE mais consistente.

O produto de Uso da Terra utilizado foi obtido do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) proveniente do sistema de cobertura e uso da terra disponível em sua plataforma digital, o qual suas classes estão definidas como Área Artificial (Área Urbana), Área Agrícola, Vegetação Florestal, Vegetação Campestre, Silvicultura, Pastagem com Manejo, Mosaico de Ocupações em Áreas Florestais, Mosaico de Ocupações em Áreas Campestre e Corpo d'Água Continental.

O dado pedológico também foi obtido na mesma plataforma do IBGE com as respectivas classes de Afloramentos Rochosos, Dunas e Área Urbana, Argissolos, Gleissolos, Latossolos, Luvisolos, Massa d'Água, Neossolos, Planossolos, Plintossolos. Segue os produtos geoespaciais de entrada exposto na Figura 7.

Figura 7: Produtos Geoespaciais de Entrada



Com os produtos geoespaciais definidos foram obtidos os dados alfanuméricos climáticos divididos em precipitação, vento, umidade relativa, temperatura e radiação solar. Os dados climáticos são provenientes da plataforma *Global Weather* do consorcio *Texas A&M Univesity* e demais órgãos que disponibilizam dados de 1979 a 2014 configurados no formato adequado de entrada para o SWAT.

Estes dados são modelados através das observações das características físicas e ambientais, além dos postos climáticos do mundo de dados abertos, o qual provém uma cadeia quadricular de distribuição das condições climáticas em um recorte espacial provenientes pela plataforma digital do sistema do consorcio (Figura 8).

Foram selecionados 259 postos no entorno da bacia hidrográfica conforme as coordenadas de recorte exposto na tabela 1.

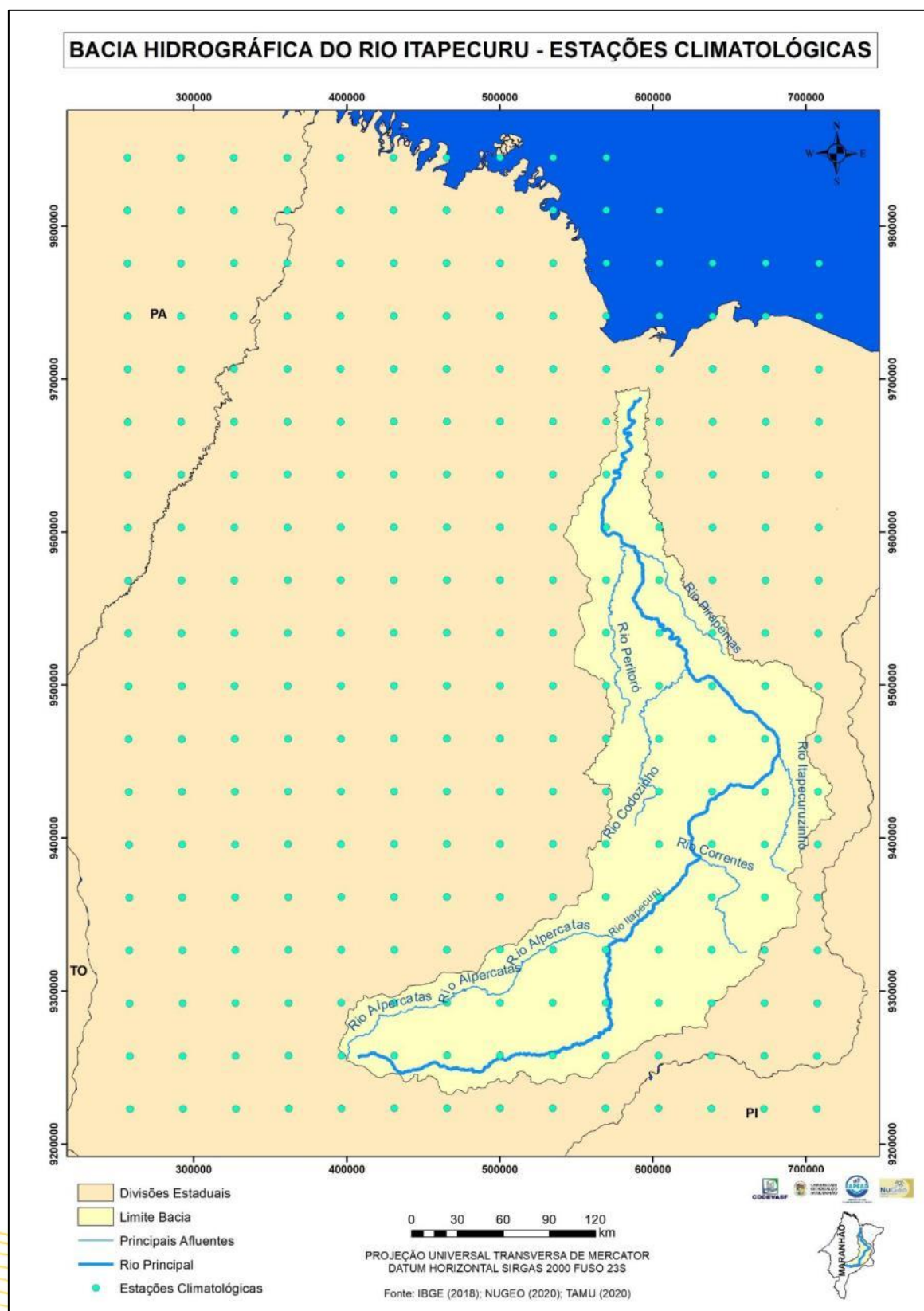
Tabela 1: Retângulo Envolvente das Estações Climatológicas

GMS	
Latitude Leste	-7.2778
Longitude Oeste	-47.4816
Latitude Norte	-1.2329
Longitude Leste	-42.9772

A partir dos dados de drenagem da ANA definiu-se os rios principais baseados no seu grau de monitoramento fluviométrico, assim além do Rio Principal (Rio Itapecuru), Rio Alpercatas, sendo este seu principal afluente e segue-se o Rio Correntes, Rio Itapecuruzinho, Rio Codozinho, Rio Peritoró e Rio Pirapemas com importância.

Estes seis afluentes correspondem a uma contribuição significativa por sofrerem impactos de grandes municípios e produções agropecuárias. O Rio Alpercatas nasce proximalmente do Rio Itapecuru com aproximadamente 200 km, sendo Colinas um de seus principais municípios. O Rio Correntes entorno aos seus 50 km de extensão nasce no município de Lagoa do Mato e tem em Buriti Bravo e Parnarama seus principais municípios. O Rio Itapecuruzinho com aproximadamente 93 km, nasce no município de Parnarama passando por Matões desaguando em Caxias um dos maiores municípios do estado. O Rio Codozinho com 90 km nasce no município de Governador Eugênio Barros passando em Codó desaguando no Rio Itapecuru neste mesmo município. O Rio Peritoró nasce em Capinzal do Norte passando em Coroatá desaguando em Cantanhede com um pouco mais de 100 km, sendo impactado pelo município de Coroatá. Por fim, o rio Pirapemas com extensão de 95 km nascendo no município de Codó desaguando em Pirapemas.

Figura 7: Estações Climatológicas *Global Weather*



A definição dos rios principais além das estabelecidas de importância regional tem-se sua relevância hidrológica. O controle de vazão é o parâmetro de verificação do comportamento hidrológico da bacia baseado em sua área por unidade de tempo o que favorece respaldar os demais elementos estudados, sendo um deles o sedimento.

Mediante a esta importância estabeleceu-se um levantamento dos dados fluviométricos da bacia hidrográfica do rio Itapecuru pesquisados na plataforma HidroWeb da ANA, o qual apresentou 16 estações com dados de vazão, mas devido a operacionalização do modelo utilizou-se 11 estações distribuídas em seus rios principais Figura 9.

As estações do alto curso localizam-se no exutório do rio Alpercatas e no Rio Itapecuru. No que corresponde o médio curso tem-se 3 estações compreendidas no rio Correntes e 2 no curso do rio Itapecuru. O baixo curso é o que contém o maior número de estações sendo 6 distribuídas no exutório do rio Codozinho e Peritoró, enquanto as demais encontram-se ao longo do Rio Pirapemas e Itapecuru.

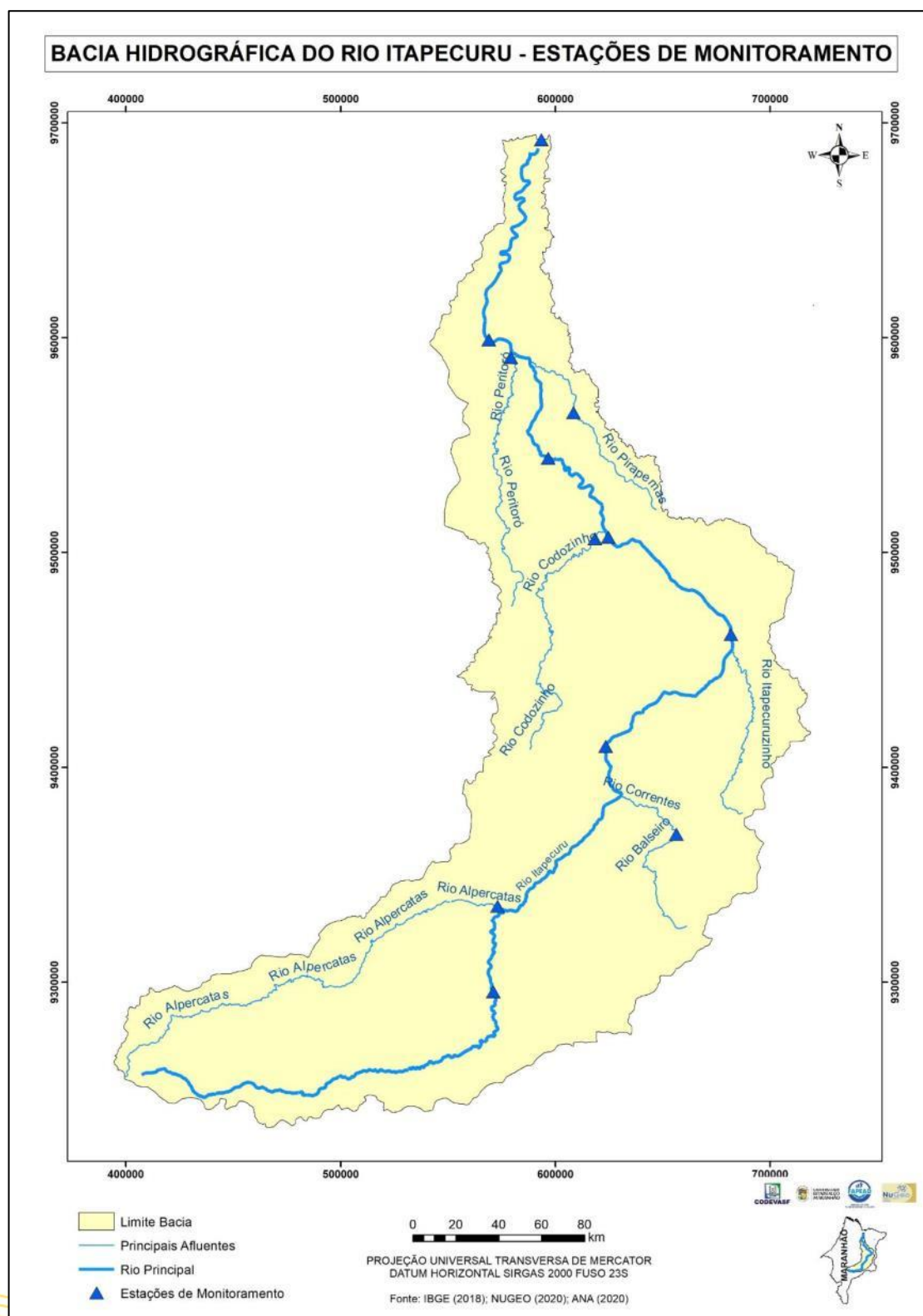
O SWAT as denomina como estações de monitoramento, o qual serão responsáveis por gerir as informações de controle. Mediante a isto há uma execução que permite que através desses pontos gerem-se sub-bacias, ou setores hidrológicos que possibilitam que a partir deles sejam representadas as análises, algo que será analisado mais à frente.

A determinação destes setores através dos pontos de monitoramento é relevante para a necessidade de análise de impactos que podem advir destes afluentes. Estes impactos são identificados mediante ao uso da terra, topografia e tipo de solo, o qual é representado por sua capacidade de escoamento em transportar os sedimentos.

Dentro desta contextualização, pode-se observar que pela grandeza da bacia suas extensões favorecem impactos diretos no rio Principal, caso não tenham grandes modificações no uso da terra.

Portanto, o fato de existir um controle destes trechos reforça o caráter de melhor precisão ao analisar possíveis resultados advindo do ArcSwat, pois sua representação estará associada a resposta dos dados observados de campo. Quando as relações dos dados observados com os dados gerados são comparadas é possível observar o grau de eficiência do modelo, o qual esse processo denomina-se parametrização, calibração e validação, o qual será realizado futuramente.

Figura 9: Estações de Monitoramento



3.2 Processamento

Os procedimentos de tratamento dos dados de entrada consistem em adequar ao SIG em sistema de coordenadas estabelecendo um padrão cartográfico, neste caso o *software* ArcGis. As fases de processamento consistem em geração dos setores hidrológicos ou sub-bacias, geração das unidades de resposta hidrológicas ou HRU, inserção dos dados de clima e simulação do modelo.

3.2.1 Geração dos Setores Hidrológicos

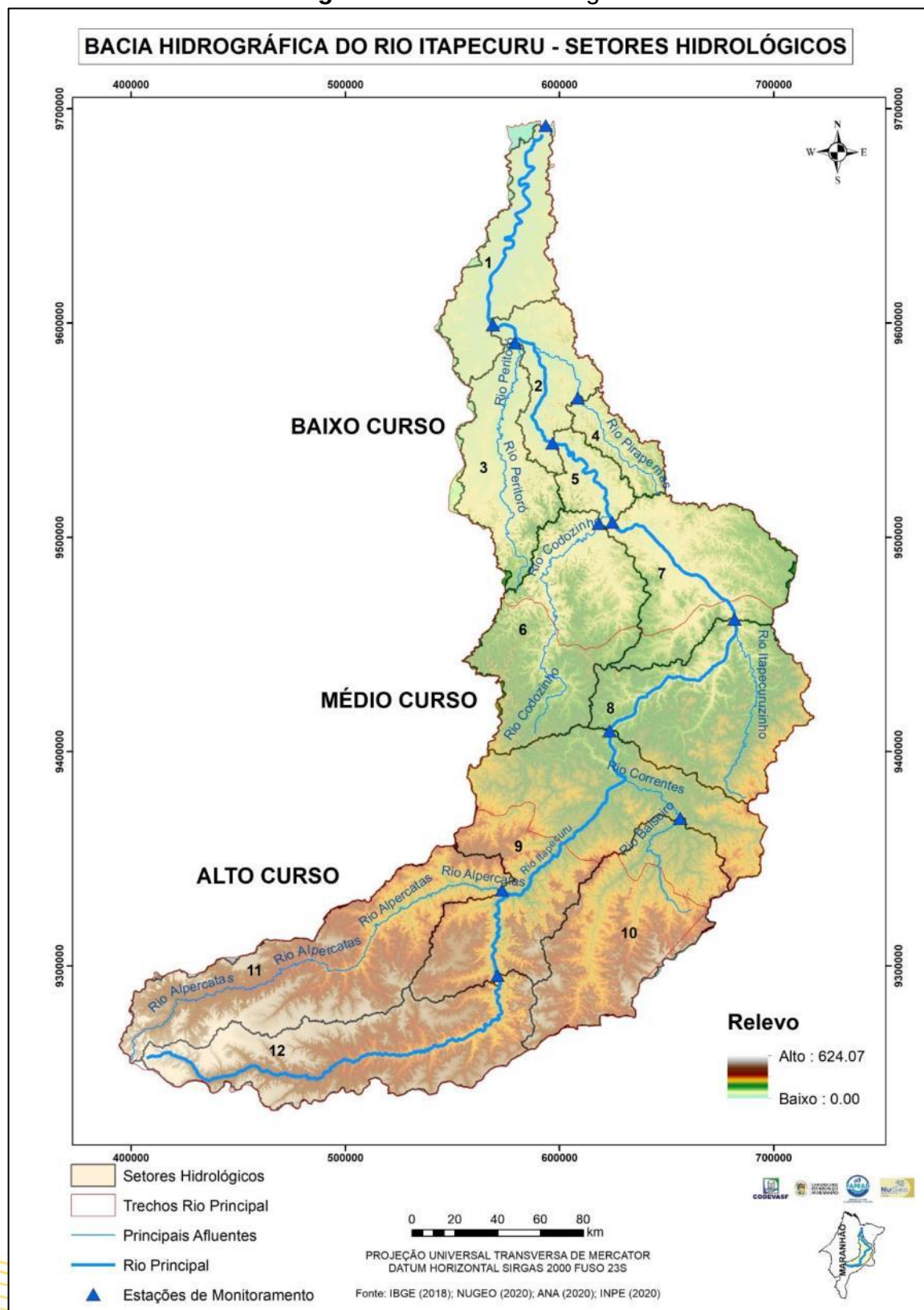
A primeira etapa do ArcSwat está em definir as sub-bacias mediante a identificação dos pontos de monitoramento. A nomenclatura sub-bacias não foi adotada mediante a ausência de conceituação clara da definição de bacia hidrográfica que exige um ponto de entrada (Nascente) e de saída (Exutório), onde os pontos de exutório são constituídos a partir da localização dos pontos de monitoramento que em alguns casos estão localizados no curso do rio, assim será denominado de setores hidrológicos.

Através do MDE foi aplicado o método das 8 direções (D-8) (Lacroix, 2002), o qual funciona como plano de fundo pela ferramenta Hydrology do ArcGis com um nível de detalhe de 20000 para a geração da direção de fluxo. Para a adequação dos setores hidrológicos baseados no MDE foi executado um processo denominado de *Burn in* (queima) que através de inserção do produto geoespacial dos canais de drenagem dos rios principais favorece na identificação no MDE os locais dos canais que são as cotas menos elevadas, assim contribui para melhor adequação topográfica.

Após a configuração dos parâmetros de geração da direção de fluxo processa-se a função *Stream* (Canais), onde em cima destes definiu-se o exutório da bacia principal e dos setores hidrológicos conforme exposto na Figura 9. Com a definição dos exutórios gerou-se os 12 setores hidrológicos, sendo os setores 11 e 12 completamente no alto curso e parte do 9 e 10 que adentra no médio curso com o setor 8 completamente neste trecho. O baixo curso apresenta parte dos setores 6 e 7 que também se encontram no médio, mas com os setores 1, 2, 3, 4 e 5 completamente neste trecho (Figura 10).

Além dos setores hidrológicos observa-se na Figura 10 a topografia representada por maiores elevações no trecho de alto curso e diminuindo a média que alcança o baixo curso.

Figura 8: Setores Hidrológicos



A partir da determinação dos setores hidrológicos procedeu-se a configuração dos dados pedológicos e de uso da terra para a geração das unidades de resposta hidrológicas.

3.2.2 Unidades de Resposta Hidrológicas

As unidades de resposta hidrológicas ou HRU são unidades de mapeamento homogêneas dos fatores de solo, uso da terra e topografia, as quais são evidenciados seus reflexos perante a execução do cálculo dos resultados expressos no modelo. Através destas unidades é fácil predizer a capacidade e a dinâmica dos elementos gerados pela bacia.

No caso deste estudo foram geradas 99 HRU distribuídos nos setores hidrológicos de acordo com a tabela 2.

Tabela 2: Quantidade de HRU nos Setores Hidrológicos

Setores Hidrológicos	HRU
1	4
2	10
3	10
4	4
5	13
6	10
7	8
8	8
9	13
10	10
11	4
12	5

Para a geração dessas HRU foram configurados os dados de uso da terra, solo e topografia. A ArcSwat funciona com um banco de dados para a configuração dos dados de entrada com informações de diversos tipos de uso, perante isto adaptou-se as configurações com as classes de uso da terra do IBGE utilizado neste trabalho.

As classes do ArcSwat que converge com o IBGE são Residenciais, Agricultura, Pastagem, Residencial de Baixa Densidade, Floresta Mista, Floresta Decidual, Gramas, Residencial de Media Densidade e Água (Quadro 3).

Quadro 3: Correlações de Uso da Terra

Classes IBGE	Classes ArcSwat	Nomenclatura (ArcSwat)
Área Artificial	Residenciais	URBN
Área Agrícola	Agricultura	AGRL
Pastagem com Manejo	Pastagem	PAST
Mosaico de Ocupações em Área Florestal	Residencial de Baixa Densidade	URLD
Silvicultura	Floresta Mista	FRST
Vegetação Florestal	Floresta Decidual	FRSD
Vegetação Campestre	Gramas	RNGE
Mosaico de Ocupações em Área Campestre	Residencial de Media Densidade	URML
Corpo d' Água Continental	Água	WATR

Do mesmo modo do uso da terra os solos foram configurados baseados ao baco de dados do ArcSwat que está baseado na classificação da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO). Observou-se 12 classes de solo, os quais sua correspondência perante a distribuição espacial dos solos convergiu com a localidade das classes de solo do dado espacial do IBGE conforme o quadro 4.

Quadro 4: Correspondência Solos

FAO Order	SIBICS Order	FAO Legend	Locais de Correspondência
Rock	Afloramentos Rochosos, Dunas e Áreas Urbanas	Rock	-----
Acrisols	Argissolo	Orthic Acrisols	Ceará
Gleysols	Gleissolo	Dystric Gleysols	Maranhão
Ferrasols	Latossolo	Acric Ferrasols	Maranhão
Luvisols	Luvissolo	Ferric Luvisols	Maranhão
Water Bodies	Massa d' Água	Water Bodies	-----
Fluvisols	Neossolo	Thionic Fluvisols	Bahia
Planosols	Planossolo	Solodic Planosols	Tocantins
Plinthosols	Plintossolo	Plinthis Acrisols	Maranhão

Com as correspondências de uso da terra e solos efetuados determinou-se a classificações de relevo a partir do MDE, sendo divididos em declividades de 0 - 8%, 20 - 45%, 45 - 75%, > 75%, semelhante a Embrapa (2006).

As configurações estabelecidas são necessárias definir as HRU em múltiplas distribuições dentro dos setores hidrológicos, o qual de acordo com diversos estudos

de modelagem (BALDISSERA, 2005; GUIMARÃES, 2011; TAVEIRA, 2012) a melhor porcentagem para cada elemento foi distribuída em 12% em uso da terra, 15% em solo e declividade facilitando o processo de homogeneidade.

3.2.3 Dados Climáticos

Os dados climáticos são provenientes do *Global Weather* sendo divididos em precipitação, temperatura, vento, umidade relativa e radiação. Conforme especificado anteriormente foram selecionadas 259 estações no período de 1979 a 2014.

No contexto do ArcSwat para a implementação dos dados climáticos é inserido o arquivo de clima global no banco de dados do Swat, já que o mesmo está configurado apenas para os Estados Unidos. Após esta modificação é possível através de arquivos de texto executáveis acionar todas as estações utilizadas. Nesta etapa o período de rastreamento determinado foi diário, para que convirja com o modelo.

3.2.4 Simulação do Modelo

Os procedimentos de simulação no ArcSwat são determinados a partir do período estipulado de 35 anos no período de 1979 a 2014, sendo que os 3 primeiros anos serão descartados para o processo determinado de queima, o qual o modelo aquece para verificar o padrão das informações.

Com a constituição destas definições encaixa-se o modelo para diário e escolhe-se os arquivos de saída dos elementos desejados. Para este trabalho foram selecionados os elementos de sedimentos, escoamento por setores hidrológicos.

Os produtos gerados compõem as informações tabulares acerca dos elementos selecionados por setores hidrológicos do período modelado, o qual foram integrados aos dados geoespaciais das sub-bacias já geradas.

Os resultados gerados provenientes desta estrutura de procedimentos alimentam uma percepção da dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, onde estes dados podem ser interpretados partindo da observação de seus dados de entrada e conhecimento dos impactos inerentes que possam ter ocorridos.

4 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA BACIA DO ITAPECURU

Os resultados preliminares apresentam dois quadros que refletem as discussões acerca do transporte de sedimentos, o qual se direcionam em escoamento superficial e contribuição sedimentológica nos canais. Mediante a estes quadros serão observados os comportamentos perante a dicotomia climática nos períodos mais chuvosos e menos chuvosos na cabeceira da bacia destacada em seu alto curso.

4.1 Escoamento Superficial

As análises do escoamento superficial têm como função observar o comportamento de contribuição do fluxo de água nos canais de drenagem da bacia hidrográfica. Mediante a esta concepção é possível indicar as probabilidades de transporte de sedimentos e alimentação dos mananciais.

No período de 32 anos que compreende os estudos, observa-se menores escoamentos no trecho que compreende o alto curso da bacia, sendo o setor hidrológico 10 com maior escoamento.

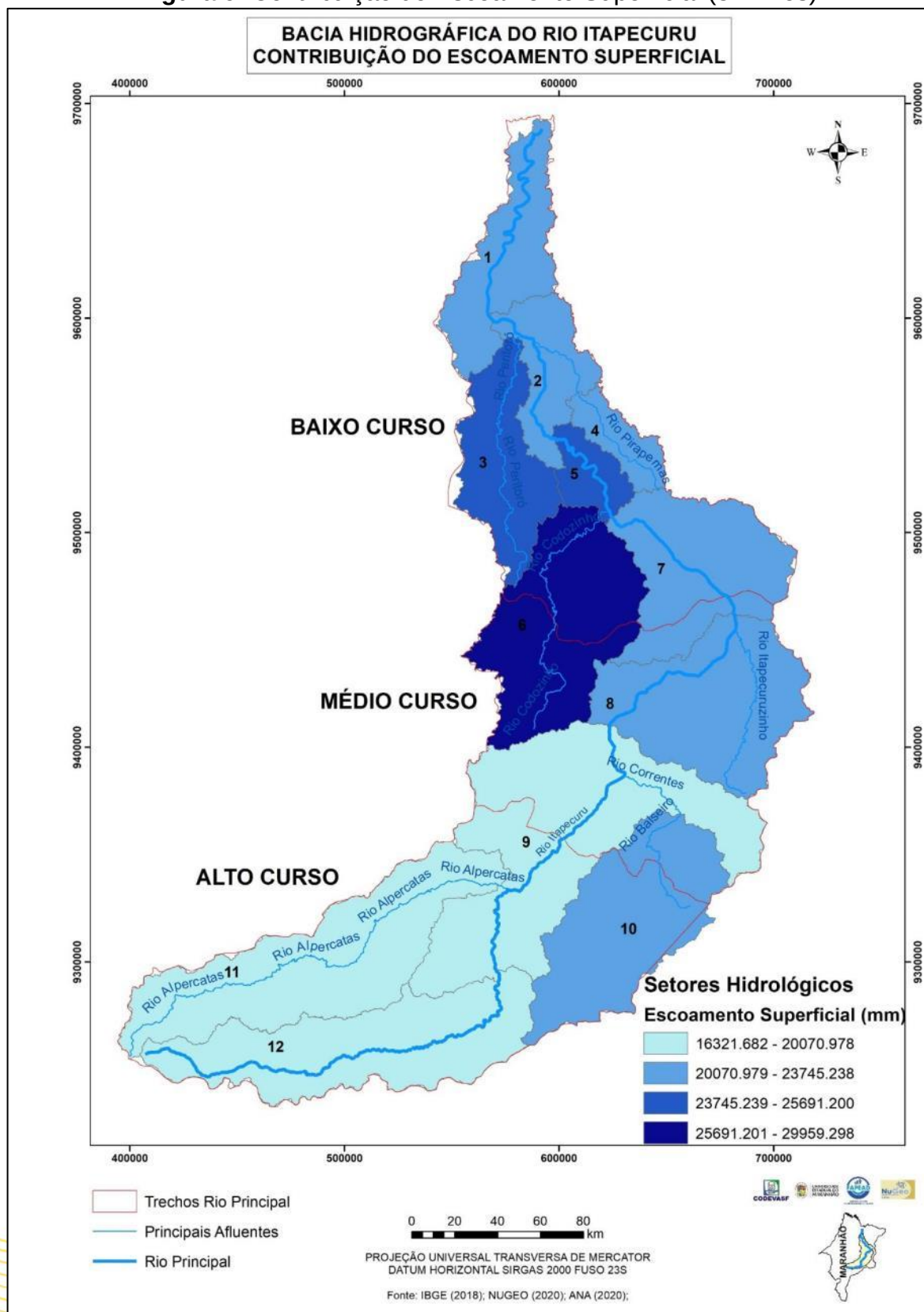
No trecho de médio curso apresenta maiores escoamento no setor de transição com o baixo curso, onde destaca-se o setor 6 como o de maior escoamento, enquanto o restante do baixo curso apresenta valores médios e altos (Figura 11).

Diante deste quadro indica-se parte do médio e baixo curso maiores contribuidores de escoamento neste período, o que pode indicar maior produção de sedimentos e contribuição aos mananciais de canais de drenagem, em contraponto o alto curso.

Áreas com maior escoamento carecem de atenção, pois a depender de sua velocidade pode ocorrer cheias e enchentes, reforçando o caráter de controle de assoreamentos provocados por deposição nos rios.

Salienta-se que a depender os tipos de solos distribuídos os efeitos do escoamento superficial podem ser diferenciados. A apresentação de solos mais arenosos e profundos desfavorecem o escoamento superficial, enquanto os solos mais argilosos com capacidade de reter água e menos profundo favorecem o escoamento.

Figura 9: Contribuição do Escoamento Superficial (32 Anos)



Sintetizando os resultados apresentados no mapa, observa-se o grau de contribuição de cada setor hidrológico com escoamento (Tabela 3).

Tabela 3: Contribuição de Escoamento Setores Hidrológicos

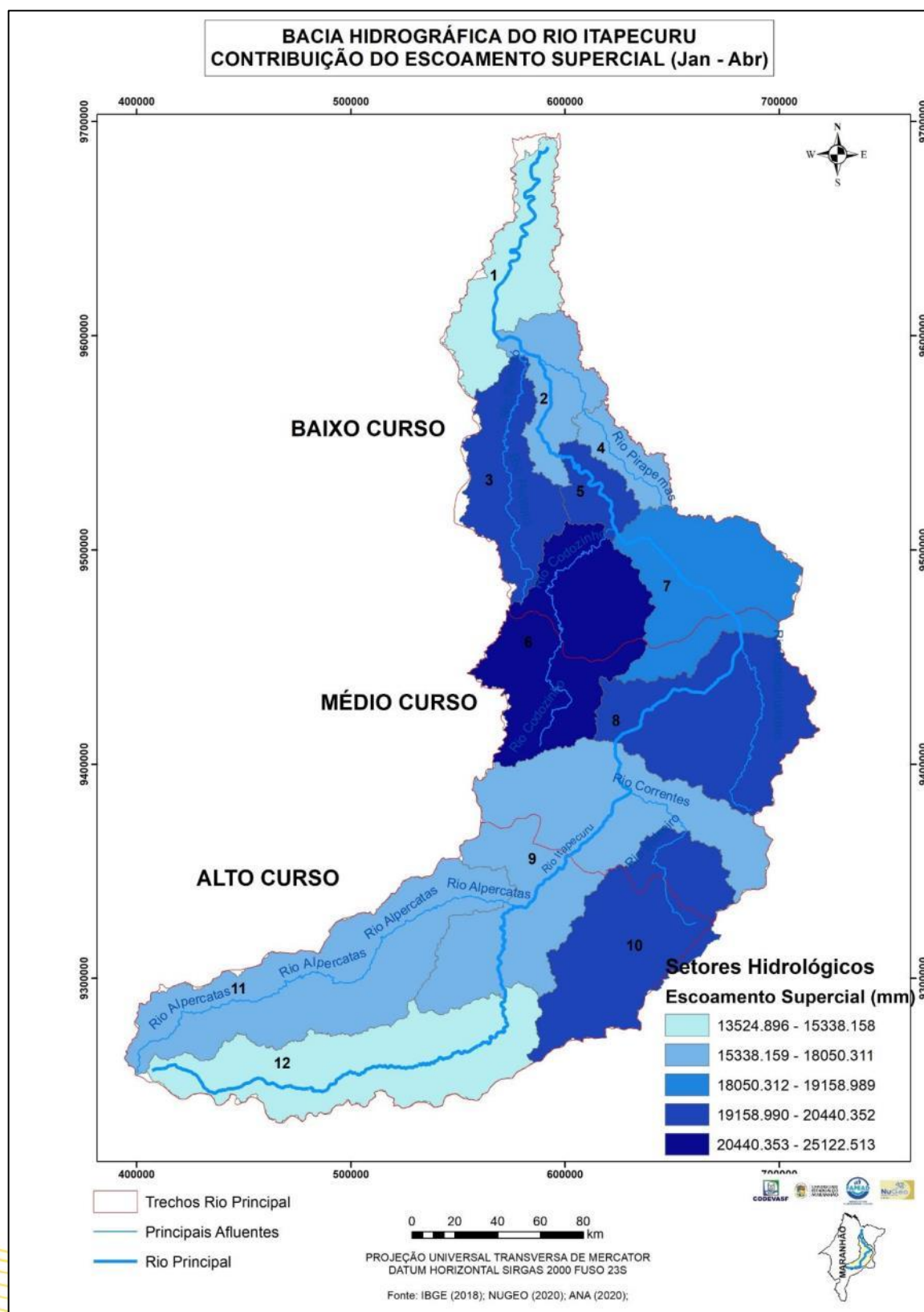
Setores Hidrológicos	Escoamento Superficial (mm)	% Escoamento
1	23722.392	8.603
2	23745.238	8.612
3	25539.890	9.263
4	22419.408	8.131
5	25691.200	9.317
6	29959.298	10.865
7	23086.271	8.373
8	23686.040	8.590
9	18908.454	6.857
10	22583.446	8.190
11	20070.978	7.279
12	16321.682	5.919
TOTAL	275734.30	100.000

Baseado na tabela 3 tem-se os setores 6, 5 e 3 como maiores contribuidores, os quais estão situados no baixo curso, enquanto os menores apresentam-se nos setores 12, 9 e 11 localizados no alto curso.

Estas diferenciações por setores são importantes para compreender a dependência das condições climáticas locais e o quanto pode influenciar nos solos, assim é necessário observar os períodos de maiores e menores precipitações, o qual pode contribuir para análises das implicações na dinâmica da bacia.

A Figura 12 apresenta a dinâmica de escoamento da bacia em suas contribuições no período de janeiro a abril de maiores precipitações no alto curso conforme estudos do Laboratório de Meteorologia (LabMet) do Núcleo Geoambiental (NUGEO). Mediante comparações ao mapa geral do período representado na Figura 11 tem-se um aumento de escoamento no setor hidrológico 11 compreendido pela bacia do Rio Alpercatas provocando um aumento nos demais setores, exceto o setor 1 que apresenta menores valores.

Figura 12: Contribuição do escoamento superficial (Jan-Abr)



Dentre os setores hidrológicos observa-se os setores 6, 3 e 8 como maiores contribuidores, enquanto os setores 12, 1 e 11 são os menores (Tabela 4)

Tabela 4: Contribuição de Escoamento Setores Hidrológicos (Período Chuvoso)

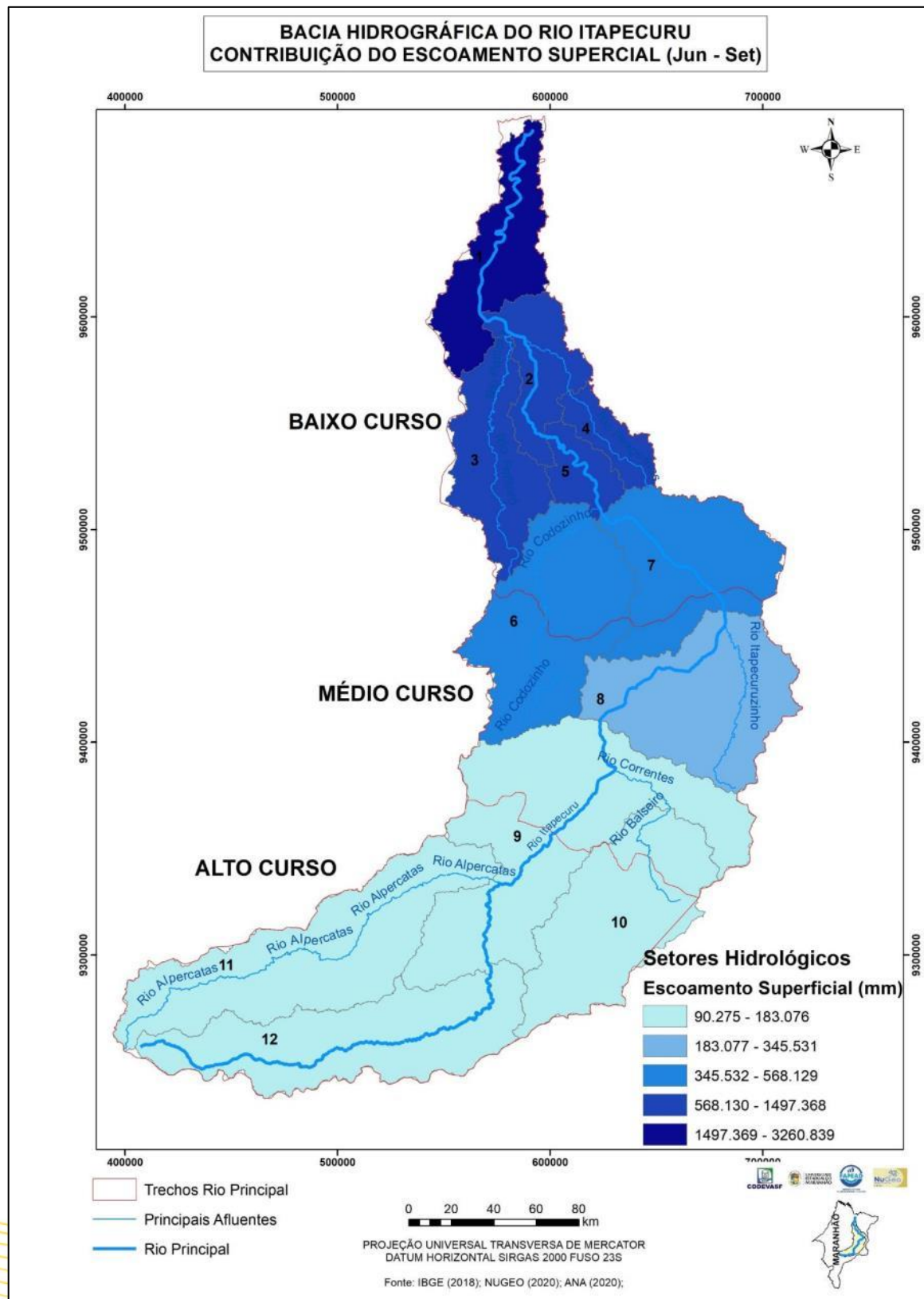
Setores Hidrológicos	Escoamento Superficial (mm)	% Escoamento
1	15338.158	6.839
2	18050.311	8.048
3	20440.352	9.114
4	17734.565	7.908
5	20083.885	8.955
6	25122.513	11.202
7	19158.989	8.543
8	20381.575	9.088
9	17395.845	7.757
10	20146.894	8.983
11	16895.229	7.533
12	13524.896	6.031
TOTAL	224273.211	100.000

Com as análises descritas no período completo de estudo e no mais chuvoso, observa-se ainda uma baixa contribuição do alto curso, evidenciando cada vez mais em termos de escoamento a relevância do médio e baixo curso.

Este tipo de parâmetro é importante para destacar dentro destes períodos quais as diretrizes podem se tomar para gestão da bacia com implicações em preservação e demandas e outorgas de água nestes momentos.

Dentro deste contexto observa-se na Figura 13 o comportamento do escoamento no período menos chuvoso, onde reflete sua baixa contribuição no alto curso em contrapartida ao médio e alto curso com altas contribuições.

Figura 10: Contribuição do Escoamento Superficial (Jun - Set)



Resumindo as contribuições dos setores hidrológicos no período menos chuvosos observa-se na Tabela 5 os setores 1, 2 e 4 com maiores contribuições localizados no baixo curso, enquanto os localizados no alto curso apresentam os menores representados nos setores 12, 11 e 10.

Tabela 5: Contribuição de Escoamento Setores Hidrológicos (Período Menos Chuvoso)

Setores Hidrológicos	Escoamento Superficial (mm)	% Escoamento
1	3260.839	32.942
2	1497.368	15.127
3	971.341	9.813
4	1060.939	10.718
5	1109.682	11.210
6	567.834	5.736
7	568.129	5.739
8	345.531	3.491
9	100.361	1.014
10	143.316	1.448
11	183.076	1.850
12	90.275	0.912
TOTAL	9898.691	100.000

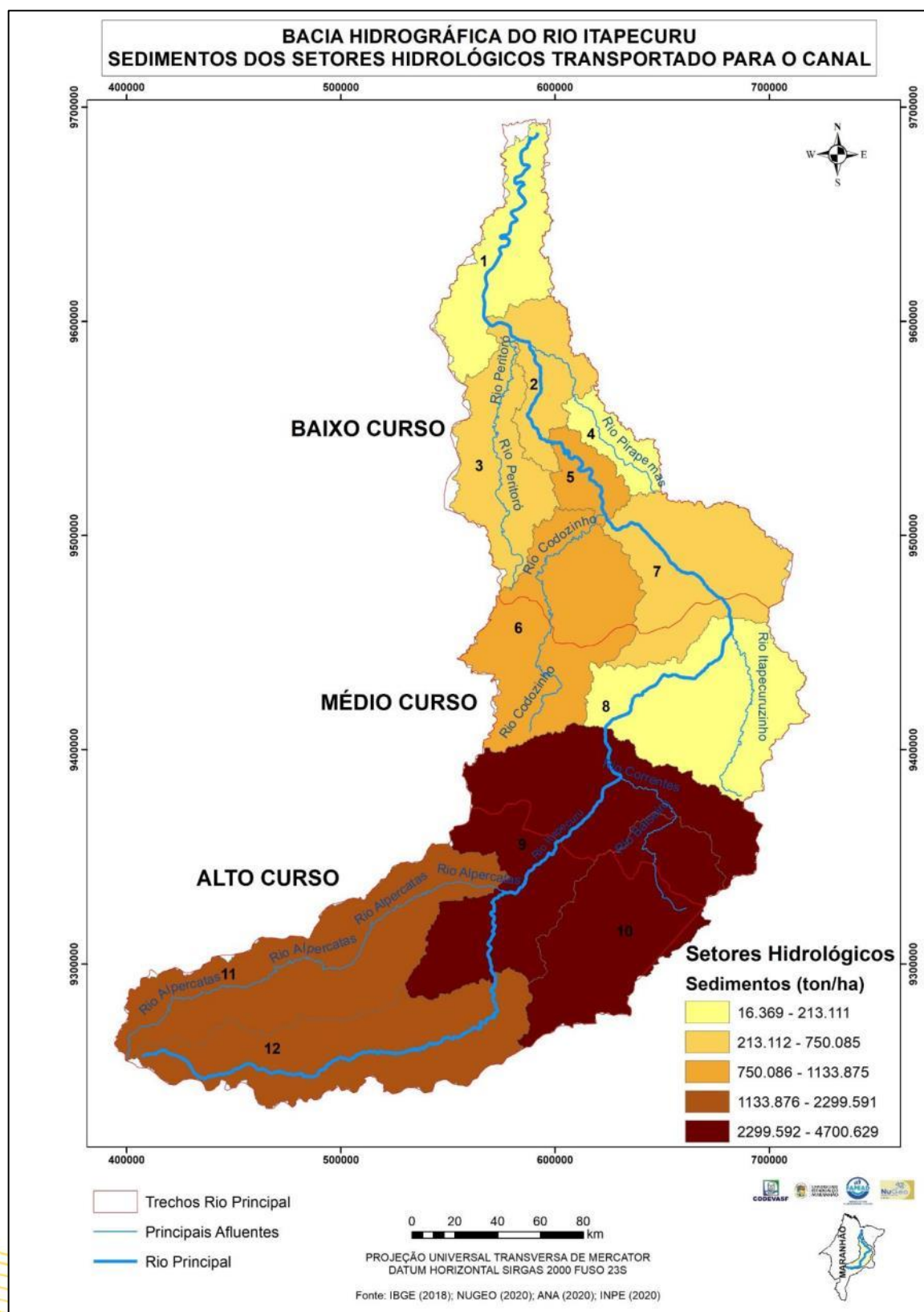
Aludido dos resultados do escoamento superficial observa-se seus reflexos na contribuição dos sedimentos.

4.2 Sedimentos Transportados

O objetivo em analisar a contribuição dos sedimentos transportados para os canais proporcionam observar a probabilidade de ocorrência de deposição de material o que pode ocasionar assoreamentos provocando impactos de enchentes e cheias. Vale salientar que a depender dos sedimentos transportados os mesmos podem influir na qualidade da água.

De acordo com a Figura 14 observa-se no período de estudo maiores contribuições de sedimento aos canais no alto curso, o qual podem ser favorecidos pela topografia mediante ao seu acentuado grau de declividade, enquanto o restante da bacia tem variações de médio para baixo.

Figura 14: Sedimentos transportados para o canal (32 anos)



Este quadro configura-se que apesar do baixo escoamento que ocorre no alto curso ele provoca altos índices de transporte de sedimentos com a condição climática local. Assim, um aumento das chuvas nas cabeceiras pode contribuir para uma carga de sedimentos para o restante da bacia hidrográfica.

Existe a possibilidade de a bacia do Alpercatas ser grande influenciadora na carga de sedimentos nos setores hidrológicos 9 e 10, o qual em conjunto com Rio Correntes/Balseiro favorecem esta concentração.

Dentro do médio e baixo curso destacam-se os setores hidrológicos 6 e 8 com maiores contribuição de sedimentos através do rio Codozinho.

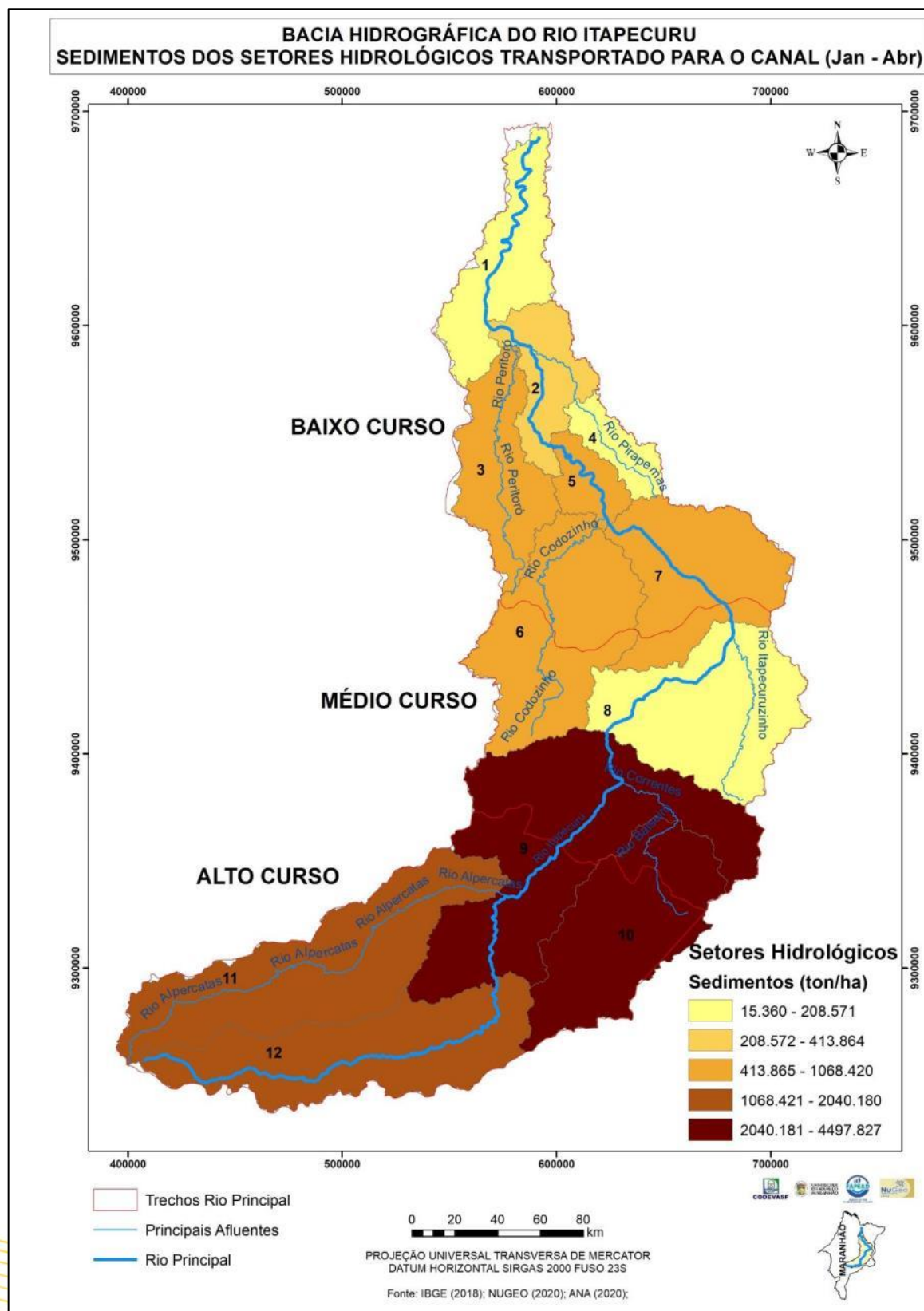
Os menores valores de sedimentos concentram-se nos setores 1, 2 e 8 localizados no alto curso e médio respectivamente.

Tabela 6: Contribuição de Sedimentos Setores Hidrológicos

Setores Hidrológicos	Sedimentos (ton/ha)	% Sedimentos
1	16.639	0.092
2	446.500	2.471
3	750.085	4.150
4	102.878	0.569
5	994.910	5.505
6	1133.875	6.274
7	723.852	4.005
8	213.111	1.179
9	4424.888	24.483
10	4700.629	26.009
11	2266.253	12.539
12	2299.591	12.724
TOTAL	18073.212	100.000

Diante desta perspectiva observa-se o período chuvoso da bacia hidrográfica e seus reflexos nos sedimentos transportados. De acordo com a Figura 15 tem-se poucas modificações no que concerne o mapa do período de estudo a uma pequena mudança nos setores 3 (sub-bacia do rio Peritoró) e 7 situados no baixo curso.

Figura 15: Sedimentos transportado para o canal (Jan-Abril)



Advindo de poucas modificações dentro da contextualização espacial entre o período de estudo e o período chuvoso, observa-se em termos de valores que os setores 9 e 10 concentram-se as maiores contribuições, enquanto os setores 1, 4 e 8 são as menores (Tabela 7).

Tabela 7: Contribuição de Sedimentos Setores Hidrológicos (Período Chuvoso)

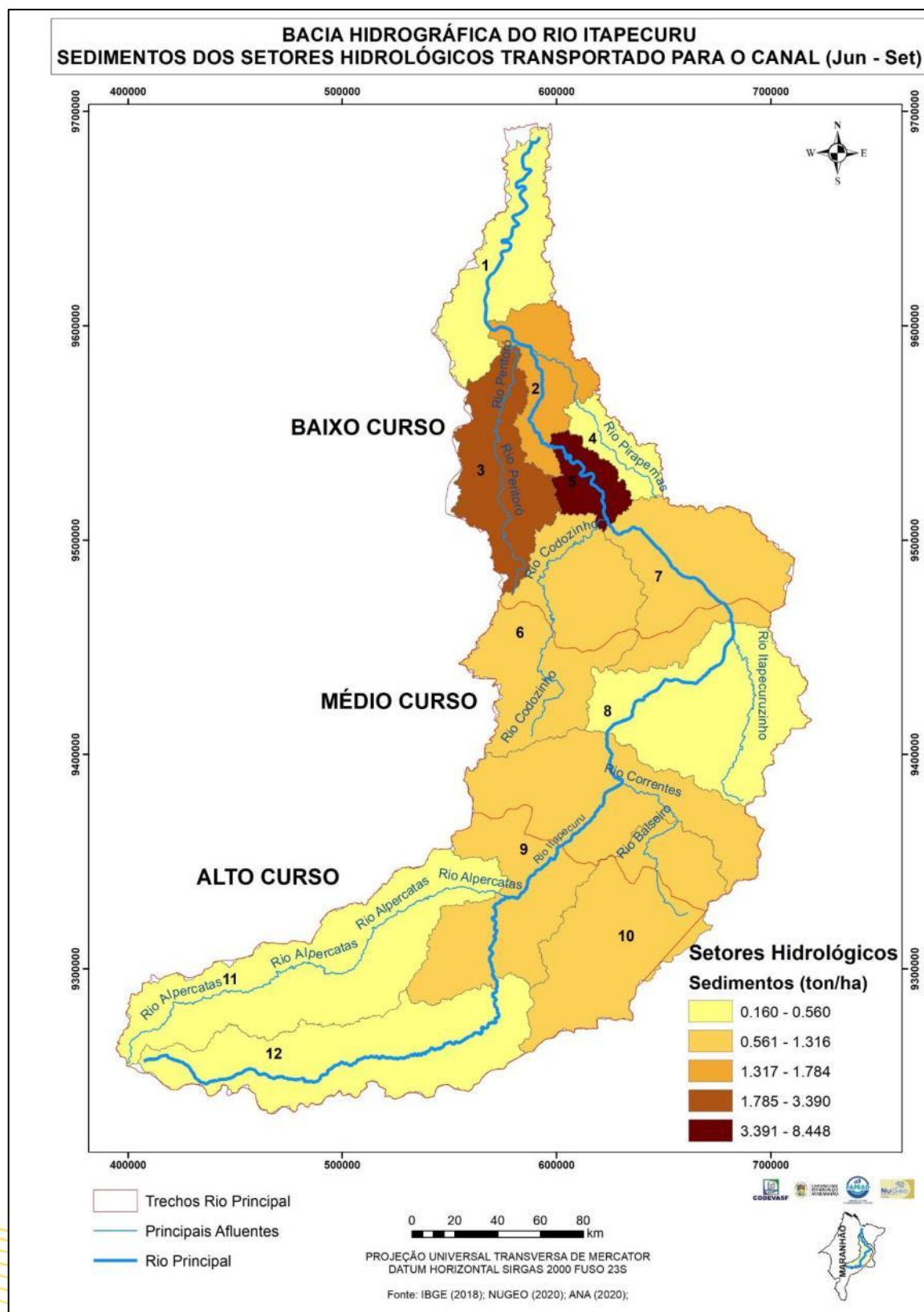
Setores Hidrológicos	Sedimentos (ton/ha)	% Sedimentos
1	15.360	0.091
2	413.864	2.447
3	695.706	4.113
4	100.303	0.593
5	887.349	5.246
6	1068.420	6.316
7	684.810	4.048
8	208.571	1.233
9	4283.562	25.322
10	4497.827	26.589
11	2040.180	12.060
12	2020.281	11.943
TOTAL	16916.234	100.000

O período menos chuvoso apresenta significativa mudança nos sedimentos transportados, onde há baixa contribuição de sedimentos com apenas 5, 3 e 2 com maiores contribuições.

Apesar de ser pertinente, pelos baixos índices pluviométricos, os setores 10, 9, 6 e 7 ainda ficam em níveis médios e apenas os setores 11, 12, 8, 4 e 1 com os menores.

De modo geral, tem-se o médio curso como principal contribuidor, o que pode ter acarretado um aumento de sedimentos nos setores do alto conforme a Figura 16 apresenta.

Figura 16: Sedimentos transportado para o canal (Jun-Set)



As contribuições dos setores hidrológicos apresentam-se discretas, mas destacam-se os setores 5 e 3 como maiores, enquanto o setor 8 se tornou o menor em contribuição. (Tabela 8)

Tabela 8: Contribuição de Sedimentos Setores Hidrológicos (Período Menos Chuvoso)

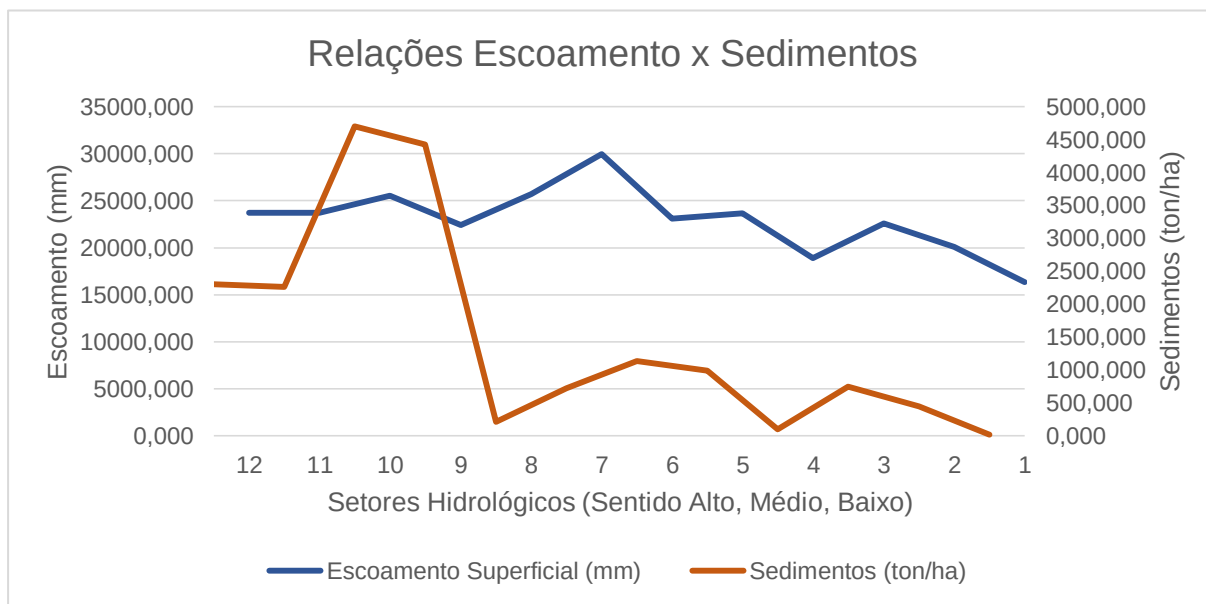
Setores Hidrológicos	Sedimentos (ton/ha)	% Sedimentos
1	0.342	1.738
2	1.784	9.067
3	3.390	17.226
4	0.295	1.500
5	8.448	42.931
6	1.316	6.686
7	0.944	4.798
8	0.160	0.814
9	1.087	5.525
10	1.023	5.201
11	0.560	2.847
12	0.328	1.668
TOTAL	19.677	100.000

Diante dos quadros de escoamento e sedimentos apresentados se faz necessário analisar as relações entre estes dois elementos de interpretação da dinâmica hidrológica da bacia.

4.3 Relações Escoamento e Sedimento

A produção de sedimentos está diretamente relacionada com o escoamento superficial, a média que se observa a Figura 17 tem-se no alto curso uma produção de sedimentos advinda dos altos níveis de escoamento na bacia, enquanto a média que o fluxo do rio alcança os trechos médio e baixo tem-se uma diminuição desta condição. Assim, a depender o padrão de precipitações, é fato que o alto curso se torna um produtor de sedimentos neste período de 32 anos de estudo.

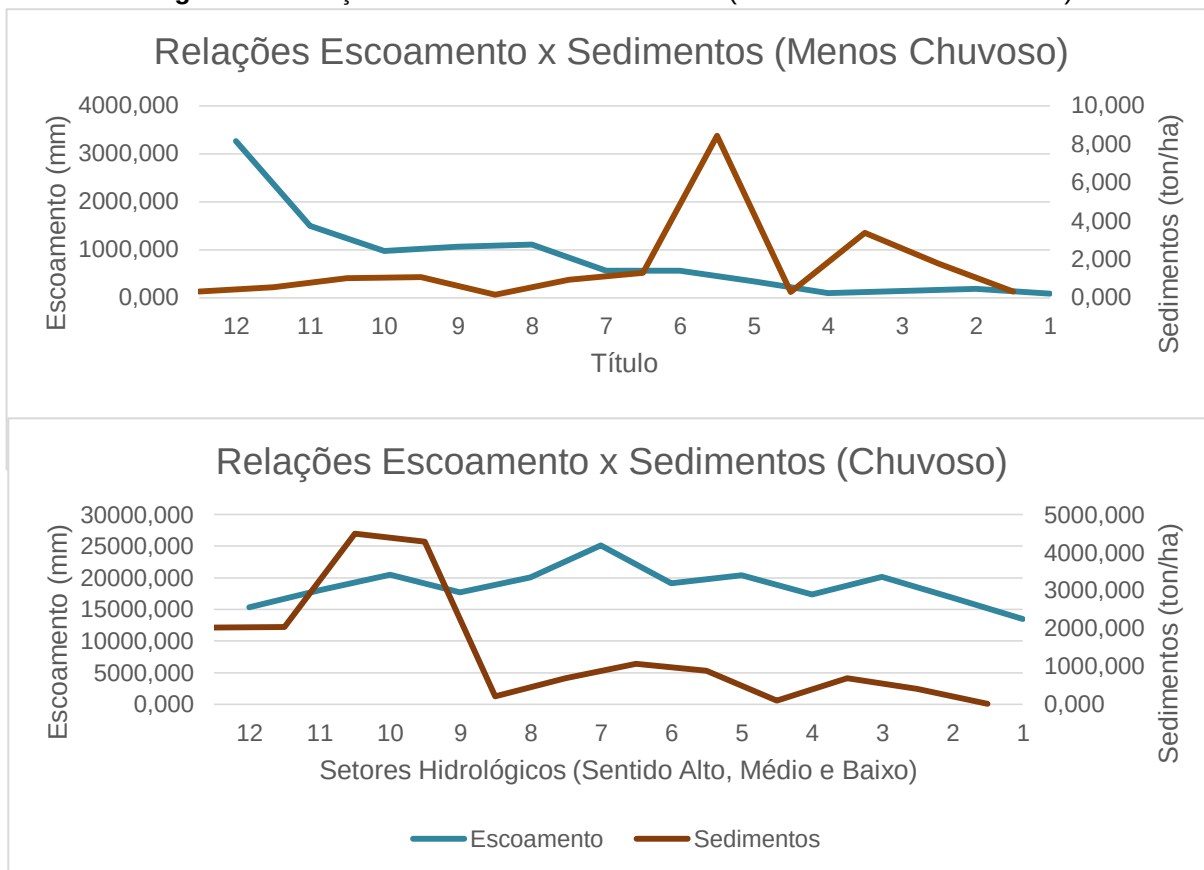
Figura 11: Relações Escoamento e Sedimentos (32 Anos)



No que corresponde aos períodos chuvosos e menos chuvosos (Figura 18) denota-se no período menos chuvoso menores contribuições do sedimento em relação ao escoamento nos trechos do alto curso que segue nos setores 12 a 10, enquanto no trecho do médio tem-se as mesmas condições, apenas iniciando uma modificação em termos de sedimentos nos setores 6 e 3 do baixo curso.

A área da bacia hidrográfica do rio Itapecuru tem um padrão de chuva intenso, o qual se atesta no gráfico do período mais chuvoso que segue semelhança ao do período de estudo, isto reforça que a condição da bacia em proporcionar uma dinâmica hidrológica em seus processos hidrossedimentológico favorável.

Figura 12: Relações Escoamento e Sedimentos (Chuvoso e Menos Chuvoso)



5. OS REGIMES PLUVIOMÉTRICOS E A HIDROSSEDIMENTOLOGIA

O comportamento climatológico do estado do Maranhão apresenta um regime de precipitações elevadas provendo uma dinâmica hídrica favorável ao armazenamento de água. No que compreende as águas superficiais observa-se rios caudalosos com eficiente recarga, mas sujeitos a assoreamentos que podem conduzir impactos ambientais e sociais caso não sejam devidamente manejados (ARAÚJO *et al.* 2016). A Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru apresenta esta condição característica do estado, onde através destes regimes pluviométricos devem ser exemplificados suas dinâmicas hidrossedimentológica nos seus respectivos trechos alto, baixo e médio.

A influência dos regimes pluviométricos nos processos hidrossedimentológicos colaboram para a compreensão do comportamento da bacia hidrográfica na produção de cheias e enchentes (BALDISSERRA, 2005). Em consonância com os regimes pluviométricos a caracterização do uso da terra e

pedológica exercem um papel fundamental de dinamizar as águas recebidas da precipitação, o qual altera a resposta de sedimentos e escoamento.

As análises desenvolvidas dentro deste contexto podem colaborar para observações acerca dos efeitos produzidos em anos mais secos ou chuvosos, o qual conduzem a aspectos no escoamento e transporte de sedimentos divergentes.

Mediante ao quadro de dinâmica pluviométrica este trabalho tem como objetivo reproduzir o comportamento hidrossedimentológico da bacia hidrográfica do rio Itapecuru em seu ano seco e chuvoso considerando os regimes pluviométricos característicos, onde suas respostas podem conduzir a impactos ambientais causando reflexos no âmbito social.

Para contextualizar as respostas apresentadas pela bacia, serão observados os processos de construção do período seco e chuvoso avaliando as condições hidrossedimentológica com um panorama geral da bacia no ano mais seco e chuvoso dentro do período de estudo de 1982 a 2014 (32 anos) e dos setores hidrológicos responsáveis pela produção de transporte de sedimentos aos canais.

Estabelecendo uma relação precipitação, escoamento e sedimentos é possível evidenciar aspectos de orientação a gestão, onde nestes períodos de maiores e menores precipitações será necessário tomadas de decisão perante ao que pode ocorrer.

5.1 Construção dos períodos chuvosos e secos

Os procedimentos exercidos para a obtenção dos anos secos e chuvosos provém na identificação do padrão pluviométrico devido a sua climatologia local, onde existem anos normais e anos que destoam deste padrão. Mediante a estes fatores determinou-se estes anos destoantes de seco com baixa pluviosidade além do normal e chuvoso com alta pluviosidade além do normal.

Na busca para a determinação destas 3 fases (Seco, Normal e Chuvoso) procedeu-se a identificação dos valores normais com a aplicação da metodologia de preenchimento de falhas realizando análises de consistências.

5.1.1 Determinação dos Valores Normais

A manipulação estatística seguiu normativa do Documento Técnico da Organização Meteorológica Mundial WMO-TD/No. 341 (OMM, 1989), que orienta a

criação de normais climatológicas padronizadas e provisórias. Após o levantamento dos dados, catalogação das estações climatológicas e organização matricial dos dados foram realizadas as análises estatísticas de preenchimento de falhas e consistência, utilizando como base o trabalho de Tucci (2001). Mediante a estes procedimentos aplicou-se o conceito de região homogênea de precipitação do estado do Maranhão, descrita e realizada por Menezes (2009), para fazer as distinções dos postos com seus regimes pluviométricos.

5.1.2 Preenchimento de Falhas

Para a homogeneização dos dados mensais de precipitação pluviométrica foi aplicado o método da ponderação regional, que permitiu preencher as falhas observadas na série histórica de dados para o período analisado. O método utiliza as estações próximas e pertencentes a uma região homogênea para estimar o valor faltante, conforme descrito na expressão (1).

$$Pf = 1/3 \left(\frac{P_1}{P_{1M}} + \frac{P_2}{P_{2M}} + \frac{P_3}{P_{3M}} \right) PfM \quad (1)$$

Onde:

Pf – Precipitação faltante;

P1, P2, P3 - Precipitações correspondentes ao mês ou ano que se deseja corrigir a falha nas 3 estações vizinhas e pertencentes a mesma região homogênea;

P1M, P2M, P3M – Precipitação média histórica nas estações vizinhas correspondentes ao mês ou ano que se deseja corrigir a falha;

PfM – Média histórica da estação que se deseja corrigir a falha para o correspondente mês ou ano que deseja corrigir a falha.

5.1.3 Análise de Consistência

Após o preenchimento de falhas, avaliou-se a homogeneidade dos dados por meio da análise de consistência num contexto regional, comparando-se estações vizinhas onde os dados são confiáveis. Foi utilizado o método de Dupla Massa, que permite identificar se houve mudanças no comportamento da série ao longo do tempo, ou em função da localidade onde foram realizadas as observações. As

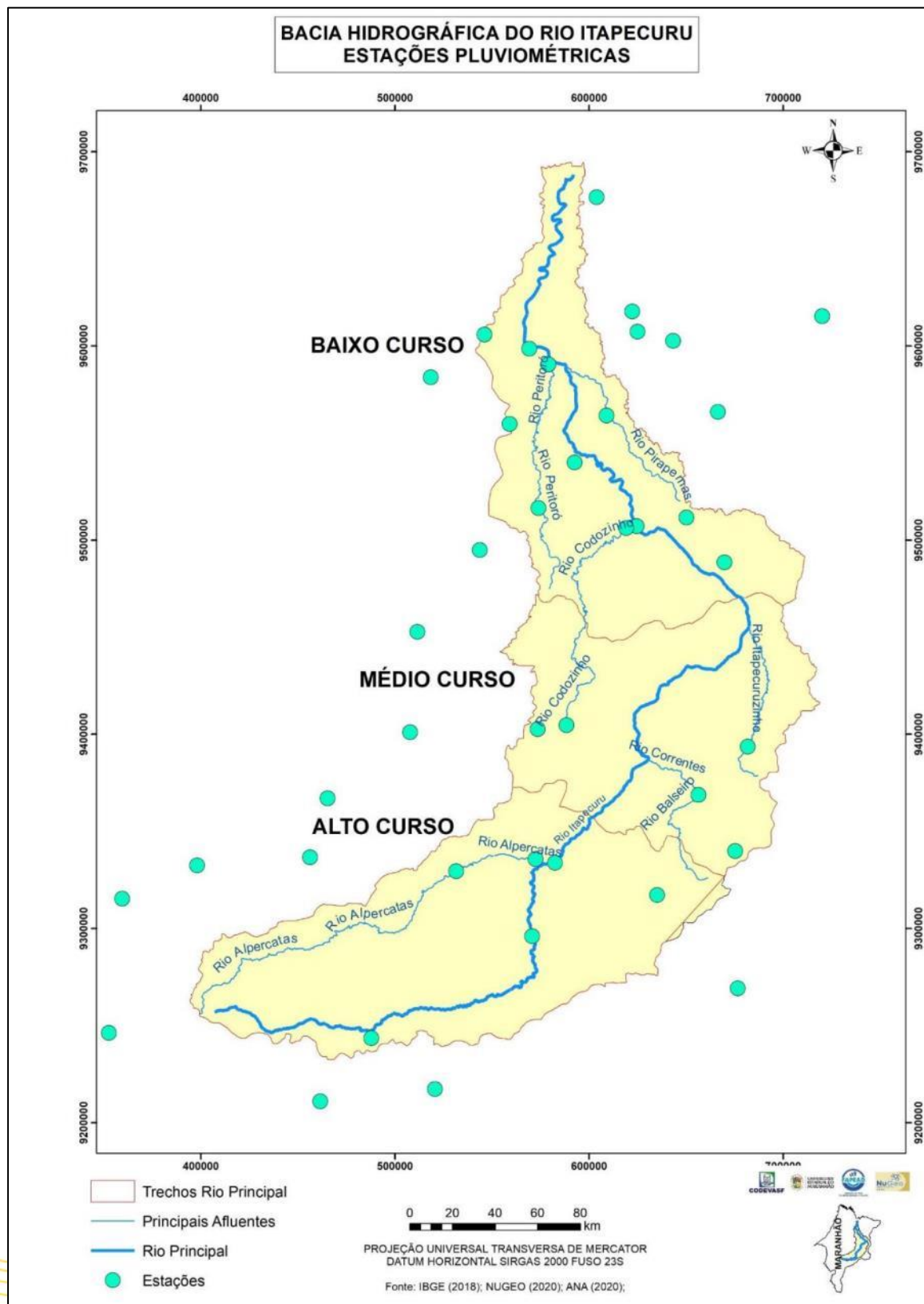
estações foram enquadradas em regiões homogêneas de precipitação (MENEZES, 2009), em que foi identificado o posto de referência para a análise do posto a ser consistido.

Para a determinação do ano seco e chuvoso foram utilizados dados de precipitação pluviométrica diários e mensais do intervalo de 1987 e 2016, adquiridos do acervo de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Totalizou-se 38 estações distribuídas no interior e no entorno da bacia do rio Itapecuru (Figura 19).

5.1.4 Determinação de Anos Secos, Normais e Chuvosos

Para a determinação de anos secos, normais e chuvosos, os dados foram submetidos a análise de frequência e teste de normalidade. O teste foi aplicado aos totais anuais de precipitação pluvial para cada localidade, sendo constatado o ajuste aproximado dos dados a distribuição normal, verificado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 95%, sendo esta utilizada na definição dos anos secos, normais e chuvosos. Foi adotada a probabilidade de 25% para a definição de anos secos e 75% para anos chuvosos; o intervalo entre esses dois níveis de probabilidade consiste em anos normais ou regulares com relação aos totais anuais de chuvas.

Figura 19: Distribuições das Estações Pluviométricas



6 AVALIAÇÃO HIDROSSEDIMENTOLÓGICA

As análises do comportamento hidrossedimentológico da bacia do rio Itapecuru aos eventos de precipitação foram avaliados perante o ano mais seco (1990) e mais chuvoso (2009) com o objetivo de estabelecer o caráter de seu funcionamento a prováveis ocorrências de eventos extremos.

Considerando os anos em questão observou-se o comportamento da bacia de modo geral e detalhando os doze setores hidrológicos inerentes ao determinado na modelagem hidrológica, onde salienta-se que em alguns destes compreende a sub-bacias de afluentes importantes ao rio Itapecuru. Advindo deste quadro estabeleceu as relações perante as precipitações ocorridas destacando o comportamento divergente de alguns setores hidrológicos.

Posteriormente foi possível evidenciar os aspectos hidrossedimentológico que proveram análises comparativas dos dados dos setores mediante aos seus trechos a partir das precipitações exercidas.

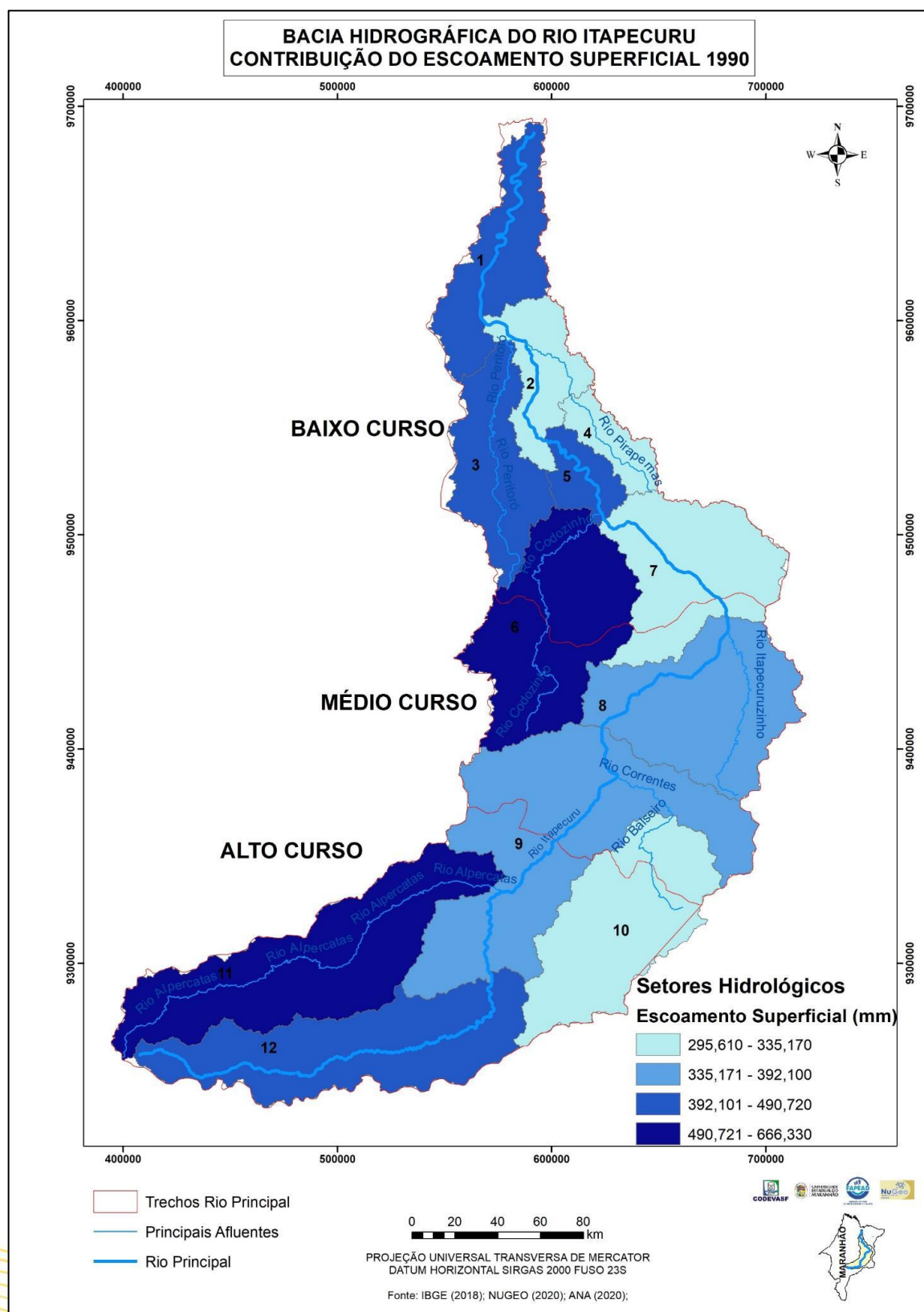
6.1 Panorama Geral

O panorama geral correspondente ao ano mais seco e chuvoso do período de estudo apresenta aspectos divergentes em escoamento e sedimentos. No que concerne ao ano mais seco representado em 1990 observa-se um acúmulo de escoamento de 5107 mm enquanto o ano mais chuvoso em 2009 apresenta 8680,83 mm o que caracteriza uma diferença de 3573,83 mm.

Esta diferença significativa aponta o volume de água escoado perante a precipitação exercida como relevante para as análises produzidas, onde independente de período a produção será sempre alta, mas tendendo sempre a maiores volumes em anos mais chuvosos. É necessário exemplificar que o comportamento hidrossedimentológico deve ser analisado mediante aos diferentes setores da bacia.

Aludido de uma precipitação de 18018,80 mm acumulado na bacia hidrográfica do rio Itapecuru observa-se o comportamento do escoamento superficial no ano seco de 1990 na Figura 20.

Figura 20: Escoamento Superficial Ano Seco - 1990



No que se estabelece no escoamento superficial promovido no ano seco de 1990 observa-se maiores produções nos setores hidrológicos 11 e 6 seguido pelos setores 12, 5, 3 e 1 enquanto os demais apresentam menores produções. Mediante a estes fatores indica-se que em ano seco as sub bacia hidrográficas do rio Alpercatas representada pelo setor hidrológico 12 e a sub bacia do rio Codozinho representada pelo setor hidrológico 6 tem relevância dentro da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, podendo assim ser desperta maiores atenções.

As maiores produções de escoamento advêm de diversos fatores, sendo o topográfico de maior destaque o que indica uma contribuição aos setores hidrológicos subsequentes. Observando pelo sentido de fluxo da bacia hidrográfica desde o alto curso passando pelo médio e chegando no baixo verse-a que apesar do escoamento do setor hidrológico 9 estar abaixo dos setores 11 e 12 o mesmo recebe menor contribuição do setor 10 representados pelos rios Balseiro e Correntes. Esta menor contribuição deste setor condicionou o setor 9 a uma média contribuição o que se refletiu nos setores 8 e 7, sendo este com baixa contribuição.

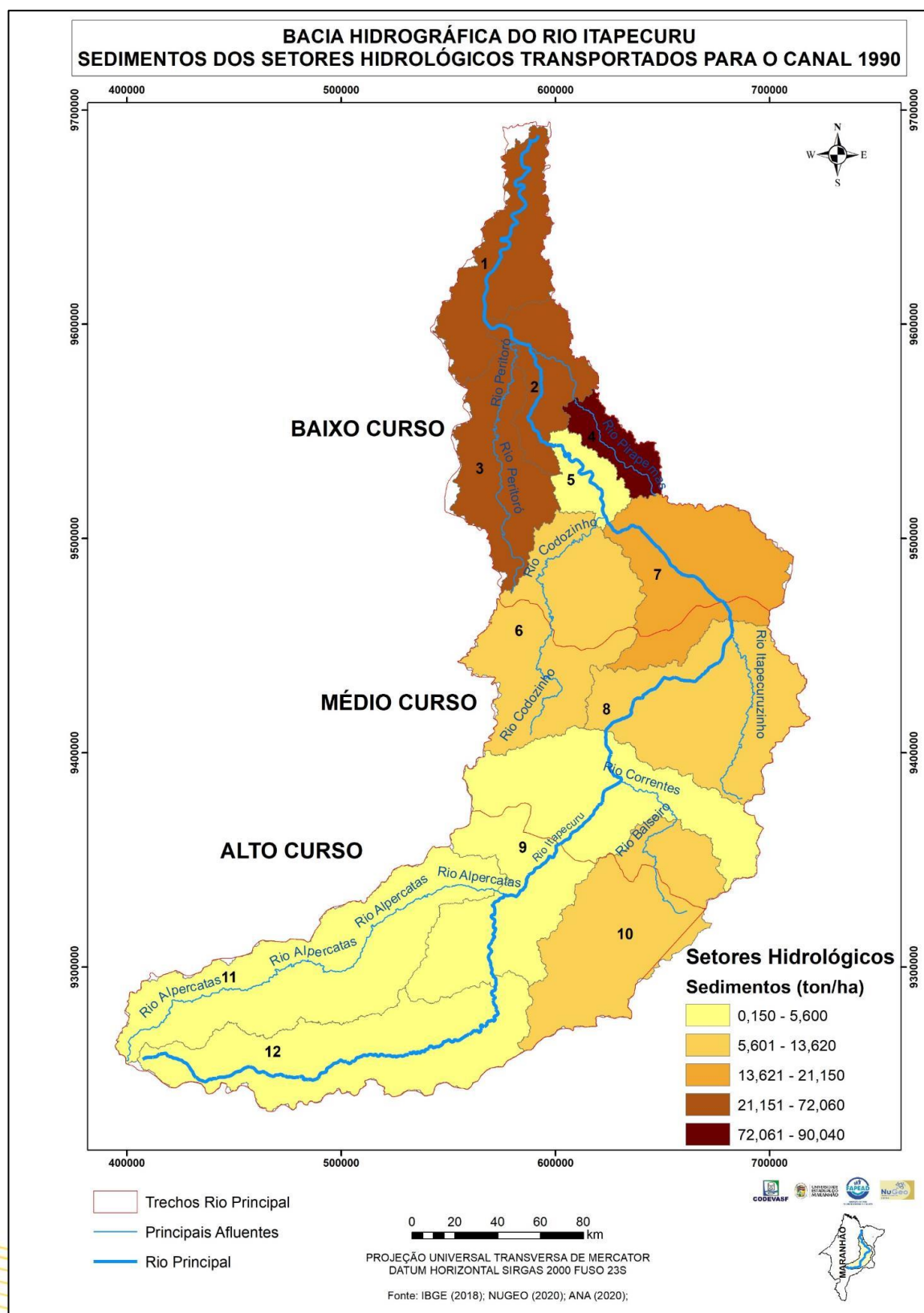
A maior contribuição proporcionada pelo setor hidrológico 6 (sub bacia do rio Codozinho) exerce influência nos setores 5 e 2 que por sua vez desencadeiam no setor 1. Em contrapartida, em conjunto com o setor hidrológico 6 tem-se o setor 3 (sub bacia do rio Peritoró) que perfaz desencadeamento de escoamento exercendo relevância nos setores hidrológicos a jusante.

Portanto, o ano mais seco de 1990 esclarece que a cabeceira da bacia hidrográfica representada pelos setores hidrológicos 11 (sub bacia rio Alpercatas) e 12 são os que devem denotar maiores atenções em preservação e manejo, já que uma ausência de políticas neste sentido pode auxiliar no desencadeamento de processos de aceleração do escoamento promovendo cheias e enchentes, mas em todo caso revela-se que setores preponderantes como o setor hidrológico 6 (sub bacia rio Codozinho) de eminente contribuição.

Com relação ao transporte de sedimentos destaca-se uma produção na bacia de 345,43 ton/ha no ano mais seco de 1990, enquanto no ano mais chuvoso de 2009 tem-se 488,33 ton/ha com uma diferença de 142,9 ton/ha.

Apesar da pequena diferença, mediante ao tamanho da bacia observa-se a correspondência de aumento no transporte de sedimentos no ano mais chuvoso a despeito do ano mais seco, o qual representa-se na Figura 21.

Figura 21: Transporte de sedimentos Ano Seco – 1990



A despeito do escoamento superficial o transporte de sedimentos apontou menores produções em praticamente todos os setores hidrológicos da bacia hidrográfica, onde devem ser destacados os setores 4, 3, 2 e 1 localizados no baixo curso cujo é um trecho de menor declividade topográfica.

Os setores 11 e 12 a montante da bacia representando a cabeceira apresentam influências direta no alto curso apesar de baixos valores de transporte de sedimentos o que indica baixa contribuição aos setores subsequentes, a despeito do setor hidrológico 10 com contribuição maior dentro deste trecho de alto curso.

O médio curso apesar de apresentar parte do setor 9 com baixo valor de transporte tem-se os setores 6 e 8 maiores, o qual condicionam ascensões nos setores hidrológicos subsequentes.

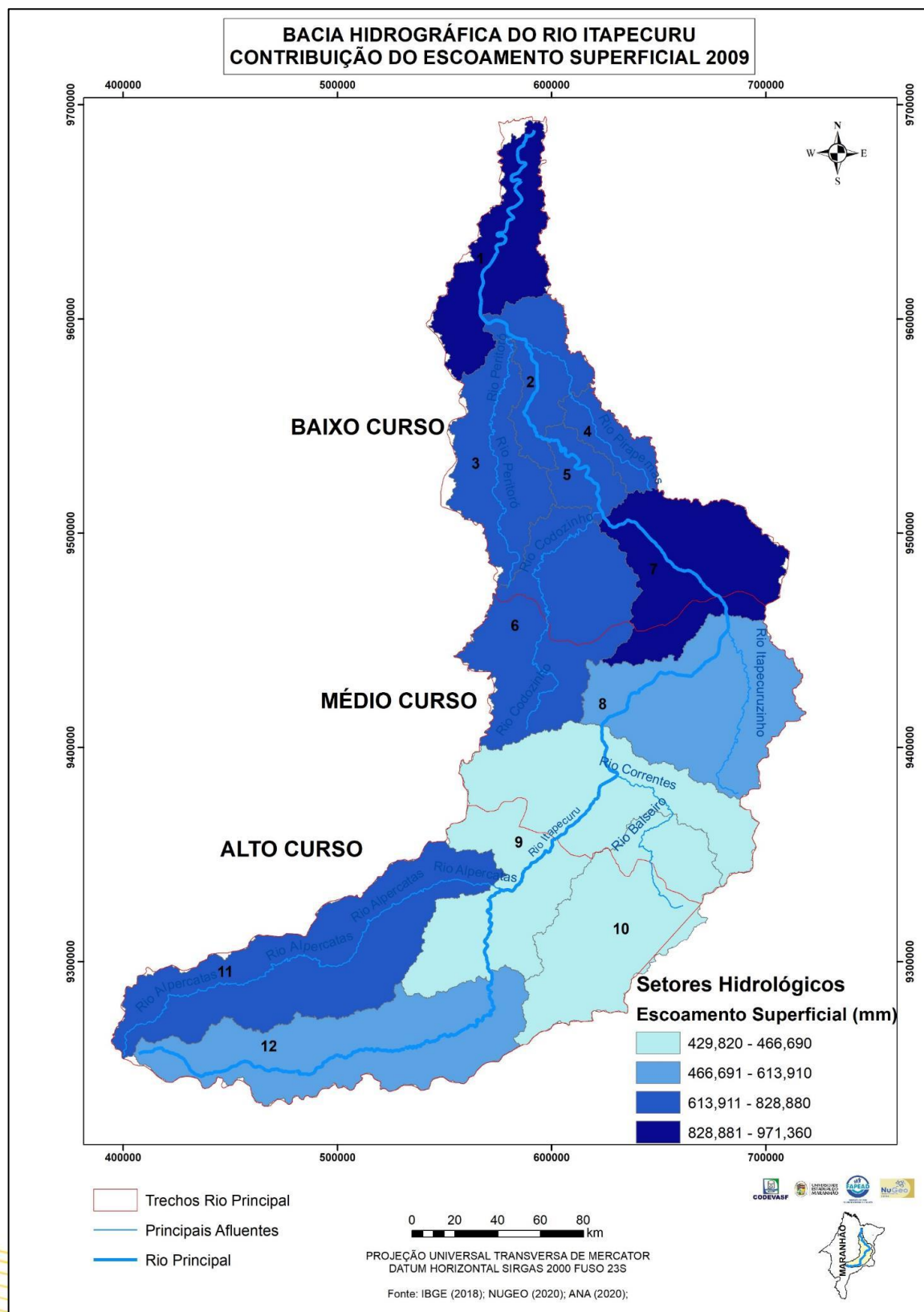
O baixo curso apresenta a maior contribuição de transporte de sedimentos, no qual pode ser compreendido como trecho que revela volumes pluviométricos um pouco maiores em contrapartida ao restante da bacia. Devido a dinâmica pluviométrica, o qual será apresentada posteriormente, mas em todo caso reflete também os aspectos de contribuição dos demais setores, podendo provir impactos inerentes a dinâmica hídrica local. Dentro deste contexto destacam-se o setor hidrológico 3 representado pela sub bacia do rio Peritoró e o setor hidrológico 4 representado por parte da sub bacia do rio Pirapemas, as quais são responsáveis a jusante pelo crescimento na produção de sedimentos.

De modo geral, as relações escoamento superficial e transporte de sedimentos no ano seco representado por 1990 caracteriza-se por baixo transporte de sedimentos mediante ao seu escoamento, mas indica-se que seu potencial de escoamento a montante na cabeceira da bacia pode provocar um transporte mesmo que discreto a contribuir a jusante em seu baixo curso.

Apesar das menores precipitações o ano seco apresenta características que podem desencadear uma série de aumentos de escoamento e produção de sedimentos dentro dos canais que refletem na dinâmica hídrica, mas divergente do ano chuvoso. Para exemplificar tais dicotomias apresenta-se observações sobre o ano chuvoso representado por 2009.

Com uma precipitação de 27998, 20 mm acumulada, o ano chuvoso apresenta aspectos de escoamento superficial que destacam as contribuições relevantes nos trechos do médio e baixo curso com apenas dois setores hidrológicos com valores baixos (Figura 22).

Figura 22: Escoamento Superficial Ano Chuvoso- 2009



Analisando o sentido do fluxo observa-se que o alto curso representado por suas cabeceiras nos setores hidrológicos 11 (sub bacia do rio Alpercatas) e 12 exercem um papel de contribuição médio a alto, o qual devido sua condição topográfica de significativa declividade indicam uma velocidade de escoamento o qual podem contribuir para os setores hidrológicos subsequentes.

Adverso a estas características, os setores hidrológicos 9 e 10 são os menores da bacia favorecendo até a parte central do trecho de médio curso, algo que modifica ao final do trecho no início dos setores 8 e 6 (sub bacia do rio Codozinho).

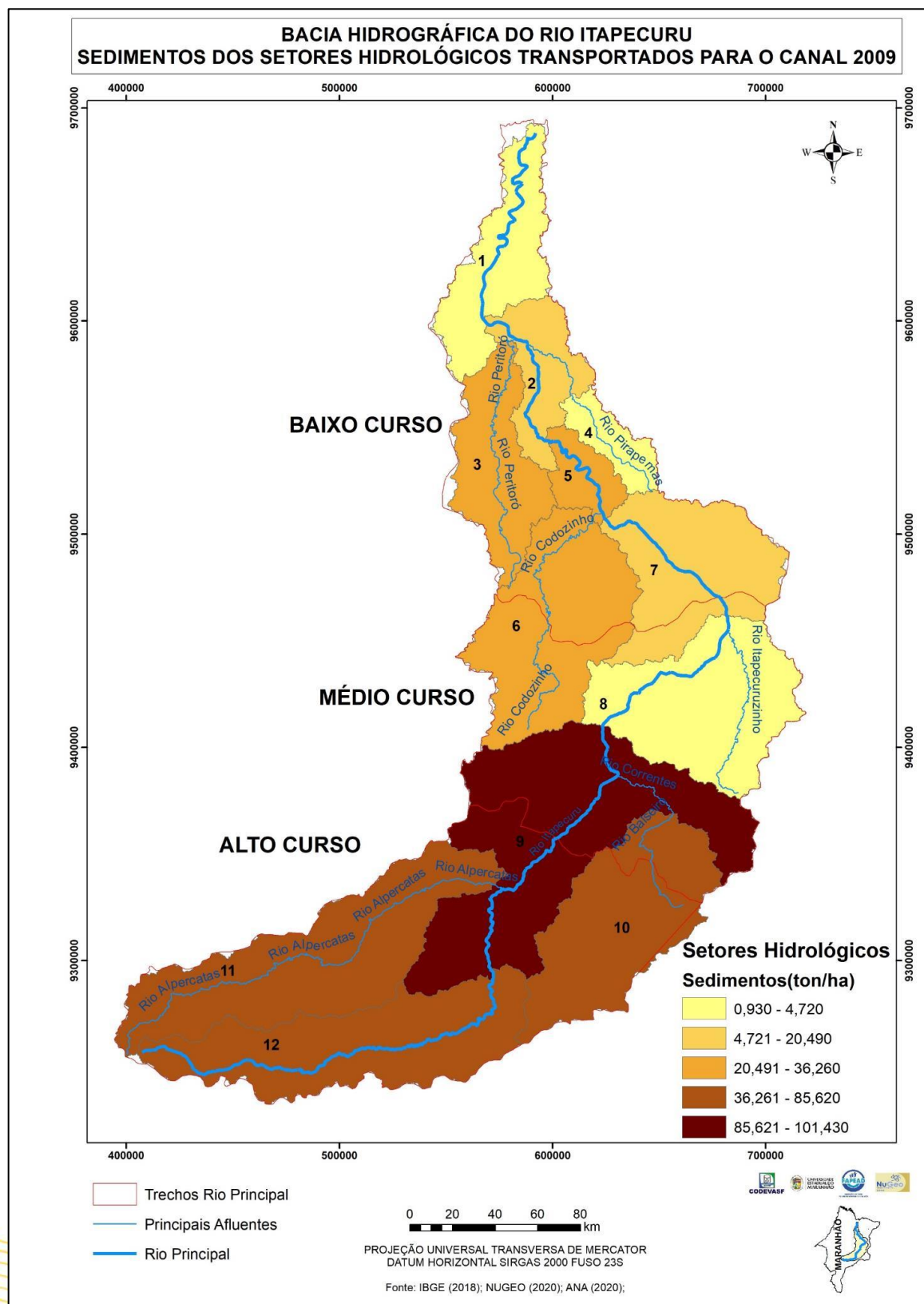
O baixo curso do rio Itapecuru no ano chuvoso de 2009 apresenta valores altos de escoamento, sendo destaque os setores hidrológicos 1 e 7. O setor hidrológico 7 representado por um recorte do rio Itapecuru, sofre influência do setor 8 representado pelo Rio Itapecuruzinho e o restante da bacia a montante, o qual reflete trecho importante que deve ser observado e monitorado.

Em consonância com os aspectos do setor hidrológico 7 a contribuição de escoamento provocado advindo dos setores 6, 5, 4, 3 e 2 demandam uma alta no setor 1, o qual indica que em períodos de chuva há uma acentuação nessa região podendo provocar prováveis impactos.

Conforme observado nas análises no ano seco o escoamento colabora para a compreensão das relações do transporte de sedimentos, onde os mesmos devem ser analisados em uma dinâmica de fluxo de montante a jusante, assim mediante a esta condição observa-se um quadro adverso no transporte de sedimentos, onde tem-se um reflexo de maiores produções no alto curso e menores produções no médio e baixo curso (Figura 23). Apesar desta condição, as áreas de médio e baixo recebem os impactos advindos da produção no alto curso a montante da bacia, assim os impactos a jusante representados no baixo curso podem provir relevâncias significativas.

O baixo curso ao estabelecer no período chuvoso uma alta contribuição de escoamento provocado pelos seus próprios setores (Figura 4) e baixo transporte de sedimentos (Figura 23) sofre influência do que é provocado a montante (alto curso) com alta contribuição desencadeando assim todos os processos que podem consistir em impactos. Assim a alta no transporte de sedimentos no alto curso aliados ao alto escoamento superficial no baixo curso se torna o fator preponderante de prováveis impactos a jusante.

Figura 23: Transporte de sedimentos Ano Chuvoso – 2009



No que corresponde ao transporte de sedimentos nos trechos do rio Itapecuru observa-se na Figura 5 o alto curso com maiores produções de transporte de sedimentos, sendo o setor hidrológico 9 o mais alto, qual além de sua própria produção sofre influência dos setores hidrológicos 10, 11 (sub bacia do rio Alpercatas) e 12.

No médio curso observa-se uma contribuição no início proveniente do final do setor hidrológico 9, mas uma diminuição nos setores subsequentes deste trecho, com uma pequena alta no setor hidrológico 6 (sub bacia do rio Codozinho), onde se estende aos setores 3 e 5 no baixo curso.

Esta condição de escoamento superficial e transporte de sedimentos discernida de modo geral sobre o ano seco e chuvoso preponderante da bacia hidrográfica do rio Itapecuru deve ser ressaltado perante sua precipitação, onde a mesma funciona como elemento de entrada para a ocorrência de todos os processos hidrossedimentológicos.

Em decorrência deste quadro é necessário exemplificar a dinâmica da precipitação, o qual produzirá elementos de análises dos setores hidrológicos preponderantes na produção de escoamento superficial e transporte de sedimentos.

6.2 Dinâmica da Precipitação

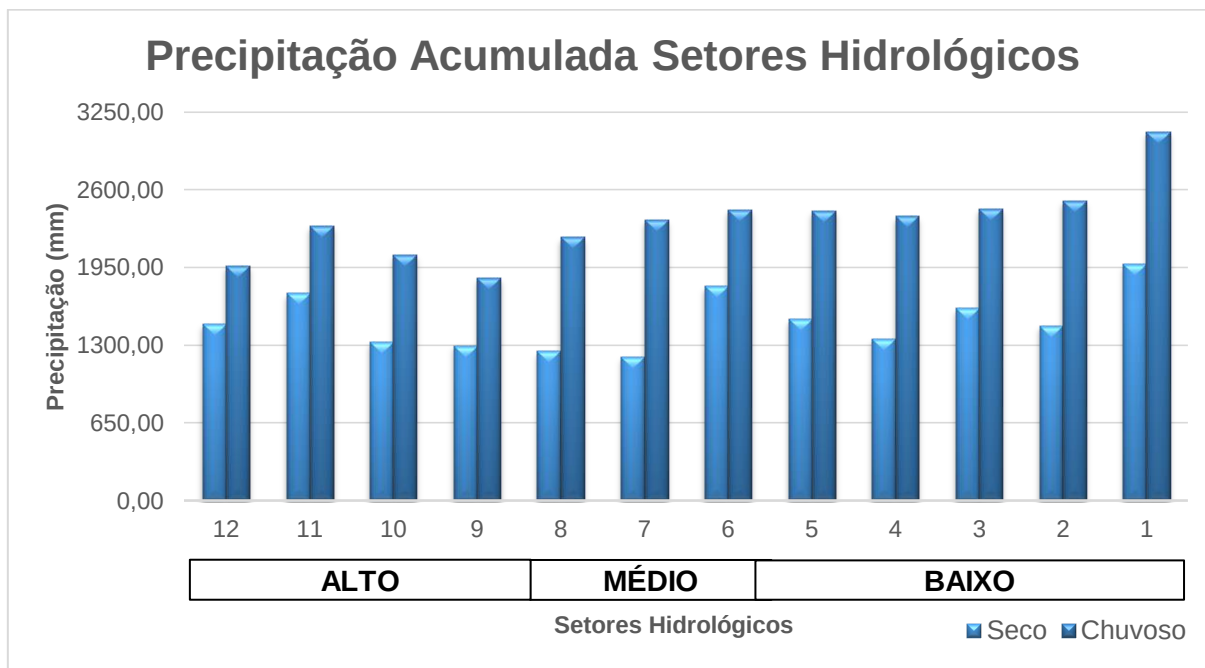
Na busca de evidenciar os reflexos provocados no comportamento hidrossedimentológico na bacia hidrográfica do rio Itapecuru se faz necessário observar as dinâmicas da precipitação representados no recorte da pluviosidade no ano seco (1990) e chuvoso (2009).

No que compreende ao acúmulo da precipitação observa-se poucas variações em relação aos dois anos, mas tem-se uma diferença em volume precipitado, o qual o ano chuvoso apresenta sobreposição ao ano seco, onde os setores de 1 a 6 tiveram os maiores volumes, enquanto os demais estiveram um pouco abaixo (Figura 24).

Baseados neste mesmo comportamento no ano seco observa-se maiores variações nos setores hidrológicos 1, 6 e 11, enquanto os demais permaneceram abaixo. A partir deste contexto o ano chuvoso apresenta em média uma precipitação

de 2363,60 mm, enquanto o ano seco 1472,30 mm, o que expõe uma diferença de 891,30 mm, algo que abrange um alto volume de discrepância entre os dois anos.

Figura 24: Distribuição da Precipitação Acumulada - Ano Seco e Ano Chuvoso



Mediante a uma precipitação acumulada 27998,20 mm no ano chuvoso e 18018,80 mm no ano seco que estabelece uma diferença de 9979,40 mm observa-se a relevância do volume de precipitação empreendido na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, onde através da Figura 6 reflete o comportamento das precipitações praticamente semelhantes, mas divergentes em volumes empregados na bacia.

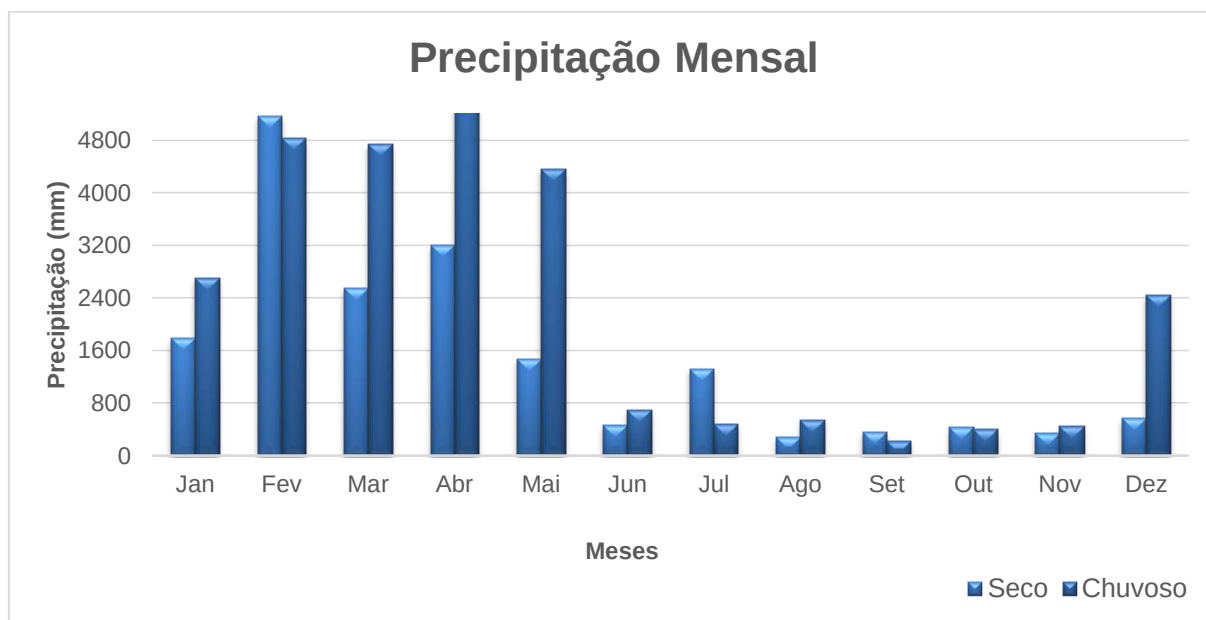
De modo geral, pode-se observar que os trechos alto, médio e baixo independente do ano correspondem a mesma dinâmica, mas são recebidos por um aumento de volume significativo de um ano seco para um ano chuvoso.

Para estabelecer uma melhor compreensão da precipitação observa-se o comportamento pluviométrico mensal o qual reproduz uma percepção da dinâmica da precipitação (Figura 25).

Os meses de janeiro a maio são os meses de maiores precipitações na bacia, onde em contrapartida os demais meses são os anos menores. Dentre os meses mais chuvosos observa-se o mês de fevereiro como o de maior precipitação independente em ser ano seco ou ano chuvoso. O mês de dezembro se destaca, pois o ano chuvoso se desprende com maior precipitação (2447,2 mm) em relação

ao ano seco (568 mm) de modo considerável, ao que indica este momento apresenta o início da estação chuvosa na bacia.

Figura 25: Distribuição da Precipitação Mensal - Ano Seco e Ano Chuvoso



Acerca do contexto da pluviosidade exercida na bacia hidrográfica do rio Itapecuru observa-se o comportamento hidrossedimentológico mediante aos aspectos da dinâmica mensal nos setores hidrológicos correspondentes, o qual colaboram para a compreensão da importância em retratar separadamente cada setor dentro de suas características.

6.3 Comportamento dos Setores Hidrológicos

Conforme estabelecido nas análises preliminares de desenvolvimento neste estudo, a bacia hidrográfica do rio Itapecuru está descrita em doze setores hidrológicos discriminados em trechos do rio principal e afluentes de importante contribuição ao contexto dos recursos hídricos e de uso da terra, onde alguns destes setores são compreendidos por sub-bacias.

As análises consistiram em observar o comportamento hidrossedimentológico divididos em escoamento superficial e transporte de sedimentos, o qual expressam respostas que refletem as possibilidades em contribuição ao rio principal provocando prováveis alterações.

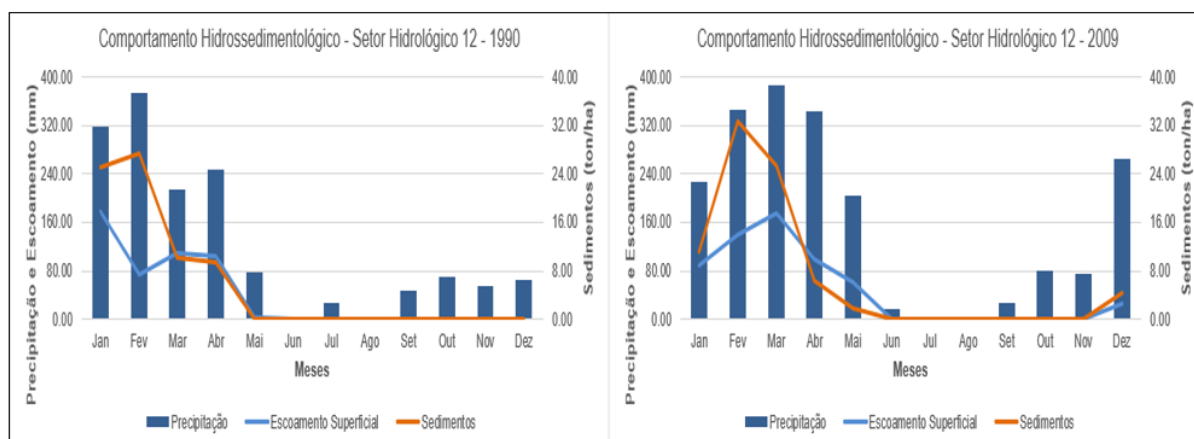
Ressalta-se que os estudos destes setores permitem focar em escala detalhada aspectos pontuais revelando uma provável influência nos setores hidrológicos subsequentes, assim serão analisados em sentido de fluxo de 12 a 1.

➤ Setor Hidrológico 12

Localizado no alto curso o setor hidrológico 12 representa trecho de cabeceira do rio Itapecuru desde sua nascente, o qual compreende importante contribuição em consonância com o rio Alpercatas.

Em uma área de cabeceira da bacia o mesmo compreende a declividades mais acentuadas favorecendo a velocidade de escoamento podendo contribuir com o transporte de sedimentos, onde torna-se importante aos contextos de ano seco e ano chuvoso, conforme exemplificado na Figura 26.

Figura 26: Comportamento Hidrossedimentológico Setor Hidrológico 12 - Ano Seco e Ano Chuvoso



Observa-se que em termos de pluviosidade o ano seco de 1990 proporcionou nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril maiores volumes, enquanto os demais diminuíram consideravelmente. Este contexto proporcionou maiores escoamento e transporte de sedimentos nestes meses, exceto o mês de fevereiro que proporcionou uma diminuição de escoamento superficial, algo que indica provável comprometimento de assoreamento neste momento.

No que corresponde ao ano chuvoso de 2009 tem-se os maiores volumes pluviométricos nos mesmos meses correspondentes ao ano seco, com exceção de maio que está acima. Em termos hidrossedimentológico tem-se uma ascensão de

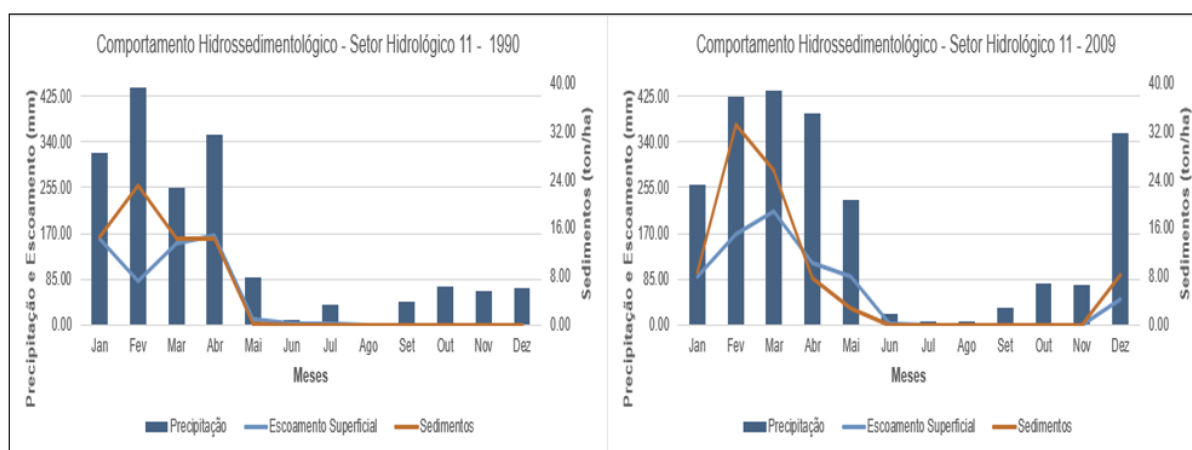
transporte de sedimentos no mês de fevereiro em detrimento de um menor escoamento superficial, o que revela que o acúmulo de janeiro aliado o de fevereiro torna-se suficiente para esta produção sedimentológica.

➤ Setor Hidrológico 11

Localizado no alto curso o setor hidrológico 11 representa a sub-bacia hidrográfica do rio Alpercatas, o qual compreende ao principal afluente do rio Itapecuru.

Sendo um setor de cabeceira o mesmo compreende a declividades mais acentuadas favorecendo a velocidade de escoamento podendo contribuir com o transporte de sedimentos, onde torna-se importante aos contextos de ano seco e ano chuvoso, conforme exemplificado na Figura 27.

Figura 27: Comportamento Hidrossedimentológico Setor Hidrológico 11 - Ano Seco e Ano Chuvoso



Do mesmo modo que o setor hidrológico 12, este setor compreende em ano seco (1990) pluviosidades com maiores volumes nos meses janeiro a abril, mas menores em relação ao ano chuvoso com considerável volume no mês de maio.

No que corresponde ao comportamento hidrossedimentológico no ano seco (1990) observa-se o comportamento do escoamento superficial decair no mês de fevereiro assim como no setor hidrológico 12, o qual torna-se um indicativo de processo de assoreamento local advindo de uma alta no transporte de sedimentos.

O ano chuvoso (2009) apresenta consonância em escoamento superficial e transporte de sedimentos, o qual indica que a velocidade de escoamento

proporcionada mediante as precipitações impostas um aumento de locais assoreados a despeito de um ano seco.

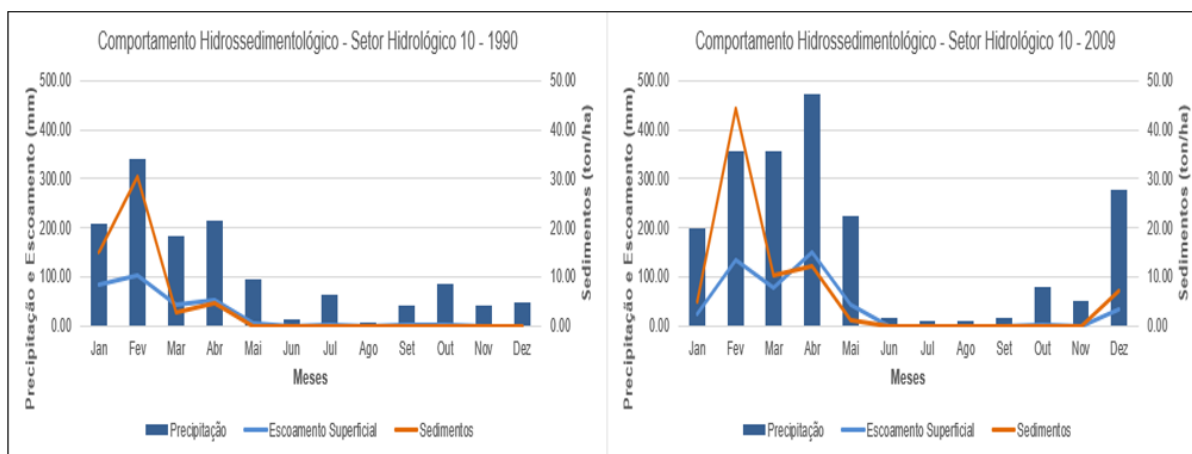
Os processos ocorridos nas bacias de cabeceiras representadas pelos setores hidrológicos 12 e 11 podem desencadear consequências nos setores subsequentes, mediante a isto é importante observar os demais setores e ao mesmo tempo estabelecer referências ao que foi ocorrido.

➤ Setor Hidrológico 10

Localizado em parte no alto curso e o restante no médio curso o setor hidrológico 10 representa parte da sub-bacia do rio Balseiro, o qual compreende sua contribuição ao rio Correntes tornando um trecho de importante afluente do rio Itapecuru.

Sendo um setor próximo das cabeceiras o mesmo compreende médias declividades favorecendo em condições a agropecuária local. Com maior contraste na pluviosidade entre o ano seco (1990) e chuvoso (2009) observa-se análises hidrossedimentológicas a serem destacadas conforme exemplificado na Figura 28.

Figura 28: Comportamento Hidrossedimentológico Setor Hidrológico 10 - Ano Seco e Ano Chuvoso



O ano seco (1990) apresenta maiores volumes pluviométricos nos meses de janeiro a abril, sendo o mês de fevereiro o de maior contribuição, a despeito dos demais. No que concerne as condições hidrossedimentológicas observa-se uma alta contribuição de transporte de sedimentos, mesmo com uma discreta alta de volume

de escoamento superficial, mas leva-se que em consideração a contribuição de janeiro. Baseados neste contexto o transporte de sedimentos e o escoamento superficial tende a diminuir nos meses de maio a dezembro à medida que a precipitação acompanha.

O ano chuvoso (2009) acompanha a dinâmica do ano seco, mas com maiores volumes, onde destacando o mês de fevereiro observa-se uma diferença de contribuição sedimentológica de 13,86 ton/ha, o qual a contribuição de escoamento superficial em torno de 30 mm contribui para o aumento significativo no transporte de sedimentos.

Conforme especificado nas análises da dinâmica da precipitação é provável que o ano de dezembro seja o início do período de chuvas, o qual inicia-se a ascensão dos processos hidrossedimentológicos tendo seu ponto alto o mês de fevereiro.

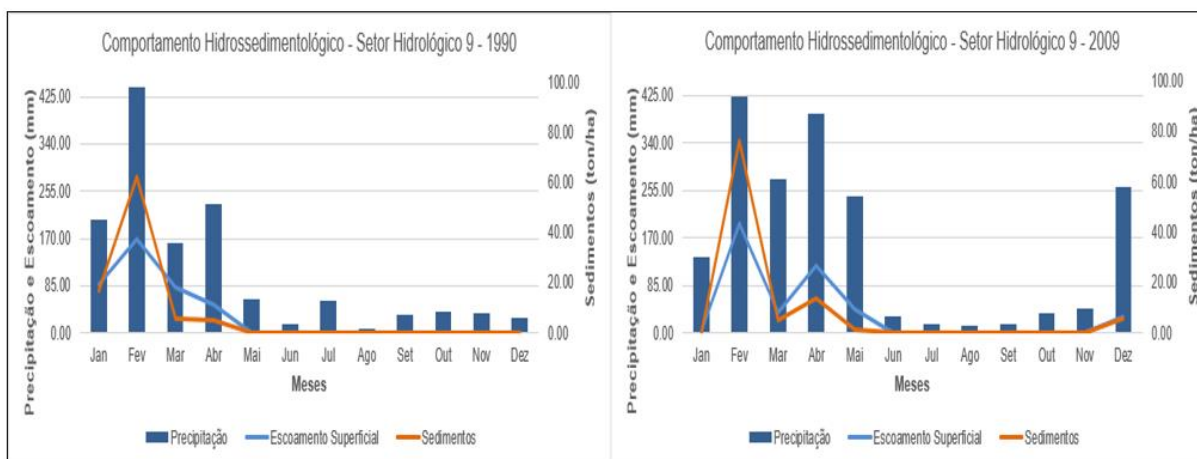
Baseados nas condições pluviométricas já discutidas serão avaliados os setores hidrológicos subsequentes, o qual contribuirá em interpretações acerca de prováveis impactos.

➤ **Setor Hidrológico 9**

Localizado em parte no alto curso e o restante no médio curso o setor hidrológico 9 representa trecho de monitoramento do rio Itapecuru, o qual é contribuído pelo setor hidrológico 12, 11 e 10.

De mesmas características de declividade do setor hidrológico 10 observa-se a influência dos setores contribuintes proporcionando relevância na contextualização das análises hidrossedimentológicas, conforme exemplificado na Figura 29.

Figura 29: Comportamento Hidrossedimentológico Setor Hidrológico 9 - Ano Seco e Ano Chuvoso



Observa-se que o ano seco (1990) do setor hidrológico 9 apresenta menores pluviosidades em relação ao ano chuvoso (2009), exceto o mês de fevereiro atípico. No que corresponde aos processos hidrossedimentológicos tem-se a ascensão de sedimentos no mês de fevereiro com queda brusca aos meses que se seguem, algo também recorrente no ano chuvoso (2009).

O ano chuvoso (2009) expressa os mesmos padrões, com destaque ao mês de abril, o qual tem-se um aumento dos processos hidrossedimentológicos advindos do volume precipitado.

É importante salientar que nos setores hidrológicos até então analisados observa-se nos meses de março a maio uma sobreposição do escoamento superficial em relação ao transporte de sedimentos, o qual indica-se um processo de estabilização que apesar ainda está ocorrendo transporte de sedimentos em menor proporção o volume de escoamento superficial condiciona a dinâmica do fluxo em um provável aumento de velocidade, já que o mesmo está menos impactado pela menor quantidade de sedimentos a ser transportado, o qual pode apontar assoreamentos.

➤ Setor Hidrológico 8

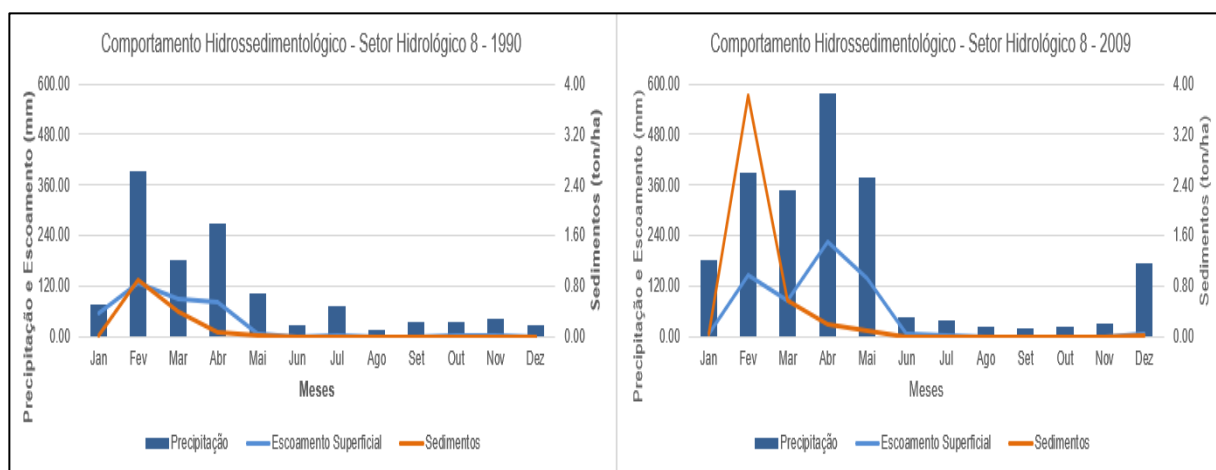
Localizado no médio curso o setor hidrológico 8 representa parte do rio Itapecuru e a sub-bacia do rio Itapecuruzinho, o qual compreende a importante afluente do rio Itapecuru, sendo um setor que compreende médias declividades favorecendo em condições a agropecuária local.

Com maior contraste na pluviosidade entre o ano seco (1990) e chuvoso (2009) observa-se respostas hidrossedimentológicas a serem destacadas conforme exemplificado na Figura 30.

Observa-se no comportamento pluviométrico no ano seco (1990) o mês de janeiro e março estão bem abaixo em contrapartida aos meses de fevereiro e abril, o qual proporcionou baixas produções de escoamento superficial e transporte de sedimentos.

No que compreende ao ano chuvoso (2009) observa-se uma considerável dinâmica nos processos hidrossedimentológicos mediante aos aspectos pluviométricos proporcionados nos meses chuvosos de janeiro a maio, o qual abril tornou-se o de maior volume.

Figura 30: Comportamento Hidrossedimentológico Setor Hidrológico 8 - Ano Seco e Ano Chuvoso



Aludido das dinâmicas correspondente aos setores hidrológicos anteriores, tem-se o no ano chuvoso (2009) o início de aumento da pluviosidade no mês de dezembro o qual proporciona aumento nos processos hidrossedimentológicos de

escoamento superficial e transporte de sedimentos. Dentro deste contexto afirma-se o mês de fevereiro como o de maior incidência na produção de sedimentos, o qual o acúmulo de volume escoado, associado as condições físicas da bacia (topografia, uso da terra e pedologia) faz-se com que haja uma maior velocidade neste transporte sedimentológico.

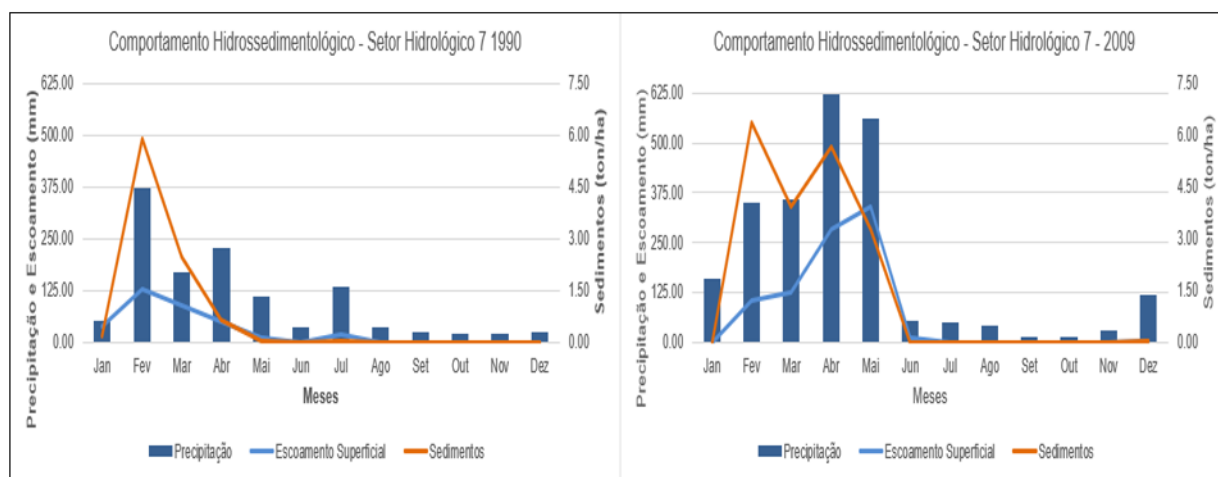
Ao que tudo indica, apesar da alta precipitação ocorrida no mês de abril a mesma já encontra-se com o arcabouço de volume transportado de sedimentos no canal advindo do mês de fevereiro, algo que adverte provável potencial de assoreamento incorrendo em cheias e enchentes a partir deste momento.

➤ Setor Hidrológico 7

Tendo seu início no médio curso e grande parte no baixo, o setor hidrológico 7 representa parte do rio Itapecuru sendo submetido a influência direta do setor hidrológico 8 que compreende médias a baixas declividades.

Com maior contraste na pluviosidade entre o ano seco (1990) e chuvoso (2009) observa-se respostas hidrossedimentológicas a serem destacadas conforme exemplificado na Figura 31.

Figura 31: Comportamento Hidrossedimentológico Setor Hidrológico 7 - Ano Seco e Ano Chuvoso



O comportamento pluviométrico compreendido no ano seco (1990) apresenta pluviosidades abaixo de 375 mm sendo representado pelo mês de fevereiro com maior volume. Em relação aos demais comportamentos pluviométricos dos setores

hidrológicos anteriores observa-se o mês de julho apresentando um volume atípico para o período.

Ao que compreende os processos hidrossedimentológicos o ano seco (1990) apresenta apenas o mês de fevereiro como destaque alcançando 6 ton/ha com um escoamento superficial produzido de 125 mm. Este comportamento apresentado no ano seco (1990) é divergente ao expresso no ano chuvoso (2009).

O ano chuvoso (2009) apresenta um dinâmica de ascensão pluviométrica do mês de janeiro a abril e praticamente se mantendo em maio. Mediante a este quadro observa-se um aumento nos volumes de escoamento superficial produzindo um patamar de produção de transporte de sedimentos de fevereiro a abril.

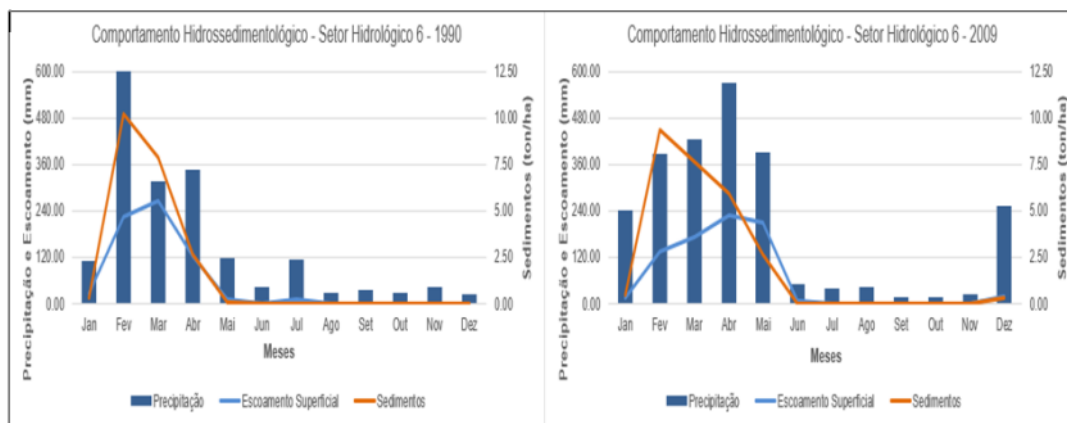
Este contexto indica uma suscetibilidade do setor hidrológico 7 a prováveis assoreamentos e consequências de enchentes e cheias, onde estes meses de patamar seriam os mais críticos.

➤ Setor Hidrológico 6

Localizado no médio e baixo curso o setor hidrológico 6 representa a sub-bacia hidrográfica do rio Codozinho, o qual compreende ao principal afluente do rio Itapecuru no baixo curso.

Sendo um setor de proximidade a jusante o mesmo compreende a declividades menos acentuadas favorecendo a diminuição da velocidade de escoamento podendo contribuir com o transporte de sedimentos, onde torna-se importante aos contextos de ano seco e ano chuvoso, conforme exemplificado na Figura 32.

Figura 32: Comportamento Hidrossedimentológico Setor Hidrológico 6 - Ano Seco e Ano Chuvoso



O ano seco (1990) apresenta maiores volumes pluviométricos nos meses de fevereiro, março e abril, o qual o mês de fevereiro corresponde com maior volume. Nos processos hidrossedimentológicos observam-se uma crescente do escoamento superficial acompanhado pela produção do transporte de sedimentos com maiores produções no mês de fevereiro. Nos meses que se seguem observa-se uma queda continua acompanhada entre os dois fatores.

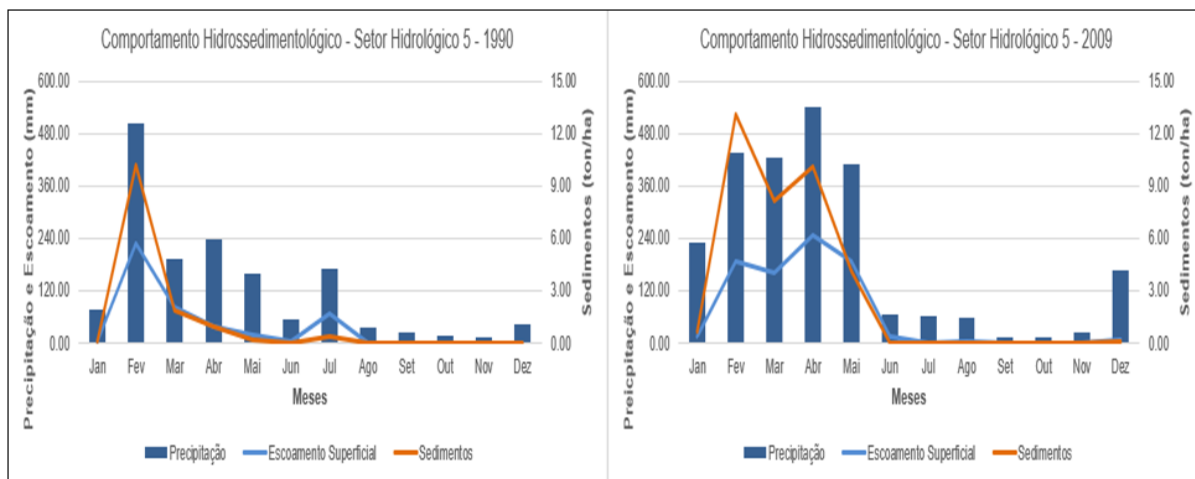
O ano chuvoso (2009) com comportamento pluviométrico de volumes acentuados de janeiro a maio com destaque no mês de abril. Os processos hidrossedimentológicos provocados pela pluviometria mostrou-se alto em fevereiro com decréscimo nos meses subsequentes, onde a precipitação de abril provocou um aumento do escoamento superficial e diminuição no transporte de sedimentos já saturado dos meses anteriores provocando prováveis enchentes e cheias.

➤ Setor Hidrológico 5

Localizado no baixo curso, o setor hidrológico 5 representa o menor em dimensão, sendo submetido a influência direta dos setores hidrológicos 7 e 6 que compreende a baixas declividades.

Com maior contraste na pluviosidade entre o ano seco (1990) e chuvoso (2009) observa-se respostas hidrossedimentológicas a serem destacadas conforme exemplificado na Figura 33.

Figura 33: Comportamento Hidrossedimentológico Setor Hidrológico 5 - Ano Seco e Ano Chuvoso



Observa-se que no ano seco (1990) a maioria dos meses apresentam volumes pluviométricos abaixo de 240 mm, onde apenas o mês de fevereiro está acima. No que corresponde aos processos hidrossedimentológicos o transporte de sedimentos apresenta-se em alta apenas no mês de fevereiro com decréscimo nos demais meses, mas ressalta-se que a pequena pluviosidade do mês de julho proporcionou um discreto aumento do escoamento superficial e transporte de sedimentos.

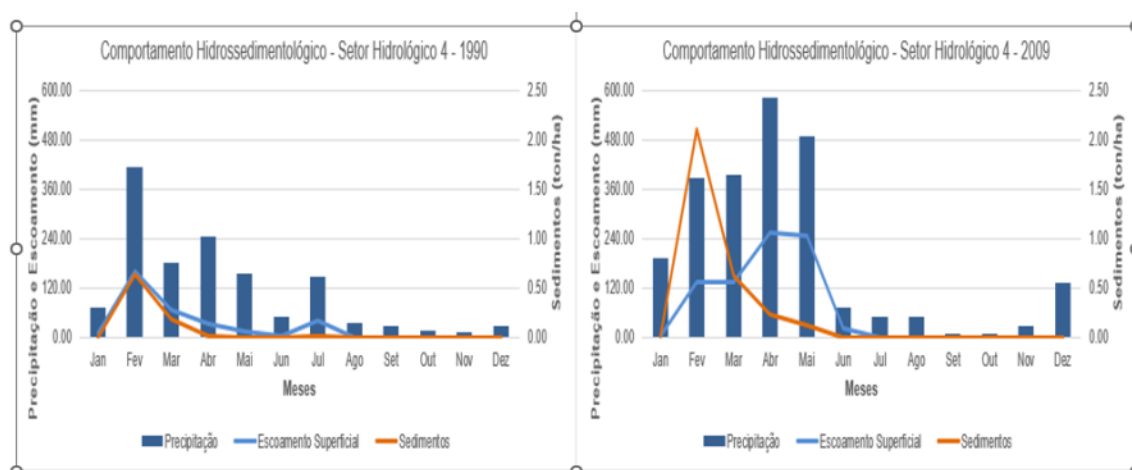
O ano chuvoso (2009) com seus cinco primeiros meses chuvosos de janeiro a maio provocou uma manutenção na produção de transporte de sedimentos variando de 4 a 13 ton/ha, mediante a um escoamento superficial de 247,95 mm ocorrido no mês de abril. Apesar deste contexto, os meses de maio a junho mostram discreta sobreposição de escoamento a sedimentos, o qual deve-se destacar este local caso haja precipitações atípicas da dinâmica pluviométrica.

➤ **Setor Hidrológico 4**

Localizado no baixo curso o setor hidrológico 4 representa a sub-bacia hidrográfica do rio Pirapemas em seu trecho alto e médio, o qual compreende ao principal afluente do rio Itapecuru no baixo curso, sendo fonte de monitoramento.

Sendo um setor de proximidade a jusante o mesmo compreende a declividades menos acentuadas favorecendo a diminuição da velocidade de escoamento podendo contribuir com o acúmulo de sedimentos, onde torna-se importante aos contextos de ano seco e ano chuvoso, conforme exemplificado na Figura 34.

Figura 34: Setor Hidrológico 4 - Comportamento Hidrossedimentológico Ano Seco e Ano Chuvoso



No ano seco (1990) tem-se volumes pluviométricos abaixo de 240 mm, exceto o mês de fevereiro com volume acima de 360 mm, onde observa-se que os processos hidrossedimentológicos produzidos seguem na mesma proporção, onde deve ser destacado a alta no mês de fevereiro, mas com sobreposição do escoamento superficial ao transporte de sedimentos nos meses subsequentes.

Este contexto caracteriza que mesmo em período seco a um limiar neste setor hidrológico que pode provocar constantes fatores de cheias e enchentes.

O ano chuvoso (2009) apresenta volumes pluviométricos acentuados nos meses de abril e maio. De acordo com observado nas caracterizações dos processos hidrossedimentológicos dos demais setores, tem-se um volume alto de transporte de sedimentos no mês de fevereiro, onde a um decréscimo posterior. No caso deste ano neste setor há uma manutenção do volume escoado sendo os meses de abril e maio os mais críticos para prováveis impactos.

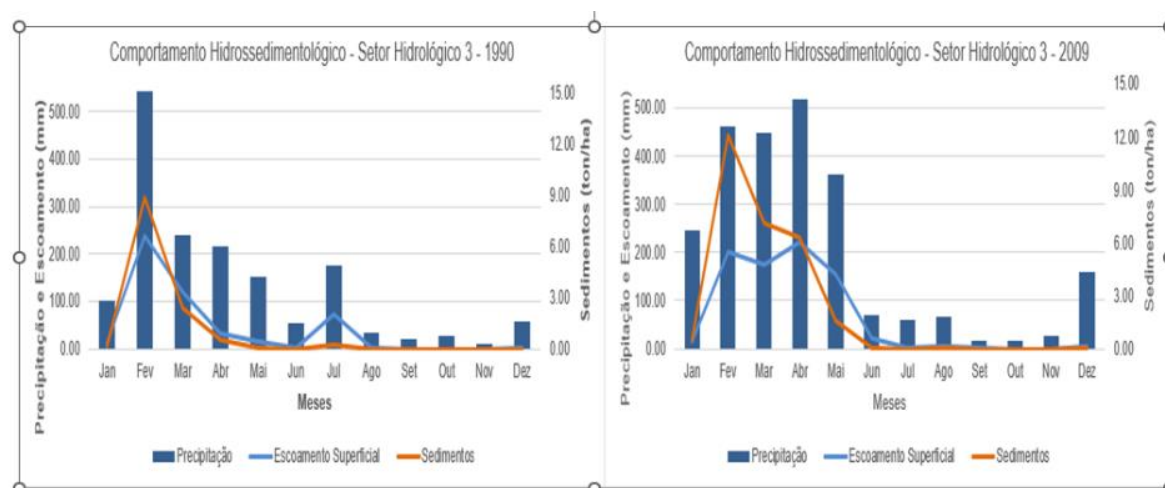
➤ Setor Hidrológico 3

Localizado no baixo curso, o setor hidrológico 3 representa a sub-bacia hidrográfica do rio Peritoró, o qual compreende um dos principais afluentes do rio Itapecuru no baixo curso.

Sendo um setor de proximidade a jusante o mesmo compreende a declividades menos acentuadas favorecendo a diminuição da velocidade de escoamento podendo contribuir com o acúmulo de sedimentos, onde torna-se

importante aos contextos de ano seco e ano chuvoso, conforme exemplificado na Figura 35.

Figura 35: Comportamento Hidrossedimentológico Setor Hidrológico 3 - Ano Seco e Ano Chuvoso



Mediante ao regime dos volumes pluviométricos o setor hidrológico 3 em seu ano seco (1990) apresenta pluviosidades menores que 300 mm, em contrapartida apenas o mês de fevereiro acima dos 500 mm. Os processos hidrossedimentológicos mantem-se contínuo, com alta no mês de fevereiro com pequena variação em uma precipitação atípica no mês de julho.

A despeito do ano seco (1990), o ano chuvoso (2009) apresentou volumes pluviométricos acentuados nos meses de fevereiro a maio, onde se destaca a produção de escoamento superficial mantida estável nos meses de fevereiro a abril, algo que provocou a sobreposição sobre o transporte de sedimentos nos meses subsequentes, o qual se estabilizou em julho.

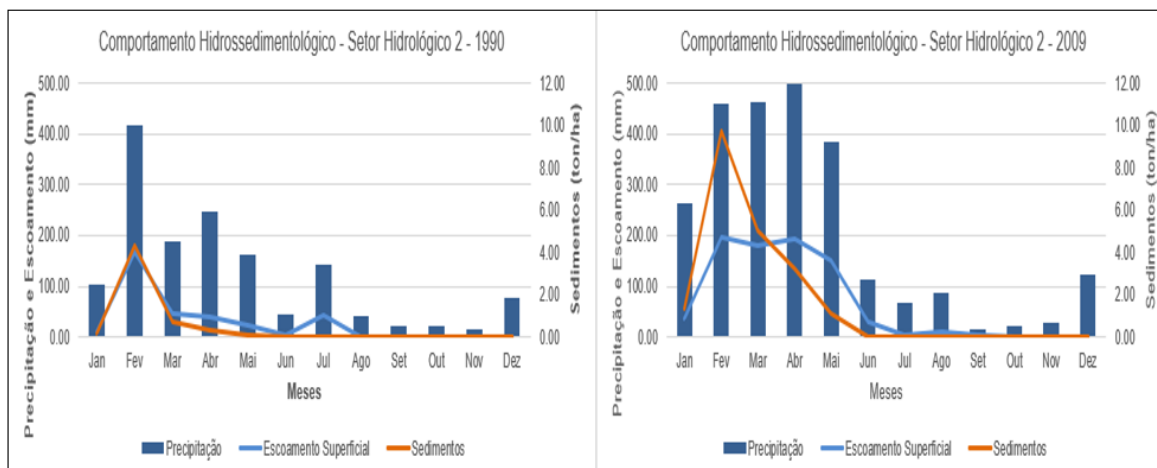
➤ Setor Hidrológico 2

Localizado no baixo curso, o setor hidrológico 2 representa um trecho monitorado do rio Itapecuru, o qual sofre influência direta dos setores 5 e 4.

Sendo um setor de proximidade a jusante o mesmo compreende a declividades menos acentuadas favorecendo a diminuição da velocidade de escoamento podendo contribuir com o transporte de sedimentos, onde torna-se

importante aos contextos de ano seco e ano chuvoso, conforme exemplificado na Figura 36.

Figura 36: Comportamento Hidrossedimentológico Setor Hidrológico 2 - Ano Seco e Ano Chuvoso



Ao analisar os regimes pluviométricos do ano seco (1990) observa-se baixos potenciais nos volumes de escoamento superficial e produção de transporte de sedimentos com alta no mês de fevereiro e sobreposição nos meses de março a julho, este com pequena alta no escoamento superficial.

No que concerne ao ano chuvoso (2009) observa-se o padrão de maiores volumes representados nos meses de fevereiro a maio com processos hidrossedimentológicos de alta no transporte de sedimento em fevereiro e queda nos meses subsequentes com estabilidade em escoamento superficial nos meses de fevereiro a maio.

As sobreposições de escoamento superficial em relação a sedimento iniciam-se no final do mês de março e se estendo a julho, algo que deve ser refletido acerca dos prováveis impactos que possam advir.

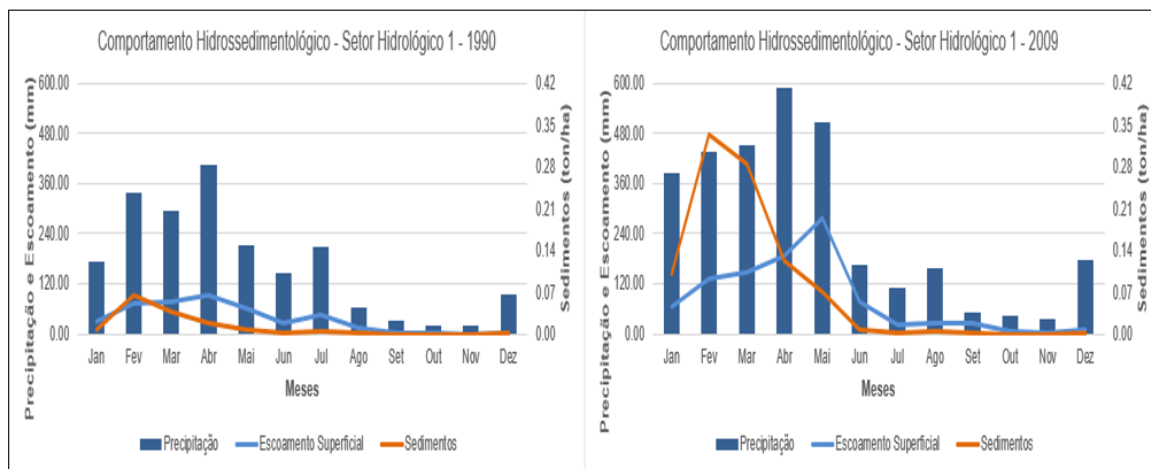
➤ Setor Hidrológico 1

Localizado no baixo curso, o setor hidrológico 1 representa um trecho monitorado do rio Itapecuru, o qual sofre influência direta de todos os setores.

Sendo o setor de jusante o mesmo compreende a declividades menos acentuadas favorecendo a diminuição da velocidade de escoamento podendo

contribuir com o acúmulo de sedimentos, onde torna-se importante aos contextos de ano seco e ano chuvoso, conforme exemplificado na Figura 37.

Figura 37: Comportamento Hidrossedimentológico Setor Hidrológico 1 - Ano Seco e Ano Chuvoso



Em um ano seco (1990) o setor hidrológico 1 corresponde a baixos volumes pluviométricos, o qual reflete processos hidrossedimentológicos discretos com pequena alta de transporte de sedimento em fevereiro e sobreposição de escoamento superficial de março a agosto, onde estes seis meses são destacados para monitoramento da bacia.

Ao que corresponde ao ano chuvoso (2009) tem-se os regimes padrões de janeiro a maio de altos volumes pluviométricos com processos hidrossedimentológicos que se destacam.

Os processos hidrossedimentológicos advindos do ano chuvoso (2009) apresenta uma alta no transporte de sedimento além de fevereiro para o mês de março promovendo uma queda no mês posterior, mas com uma ascensão do escoamento superficial em abril e maio devido ao aumento pluviométrico, onde a sobreposição escoamento em relação a transporte de sedimentos se estende abril a outubro.

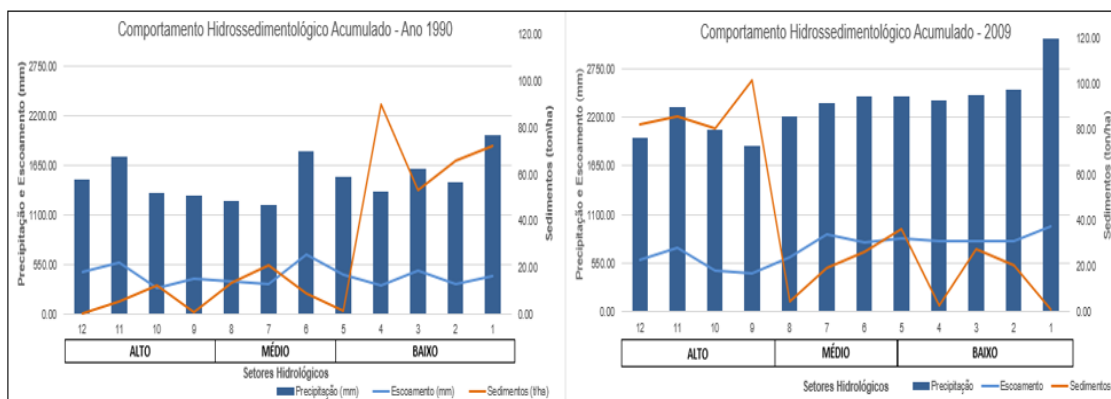
Com análises discriminadas dos setores hidrológicos observa-se comportamentos padrões que podem ser observados em toda a bacia o qual podem provocar consequências reproduzidas em impactos ambientais depositados na sociedade pertencente a região do rio Itapecuru.

7 AS CHUVAS, A HIDROSSEDIMENTOLOGIA E AS CONSEQUÊNCIAS

Mediante as análises anteriores observam-se fatores que o volume de precipitação condiciona ao processo hidrossedimentológico prováveis impactos, os quais desencadeiam dependência dos setores hidrológicos no universo da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.

Os trechos alto, baixo e médio foram determinados de acordo com os limites municipais respeitando os aspectos de gestão e pertencimento regional, os quais apesar de não estabelecer relações hidrológicas esta divisão colabora para compreendermos as regiões da bacia acerca dos impactos ambientais. A Figura 38 apresenta a condição hidrossedimentológica geral da bacia perante os regimes pluviométricos do ano seco (1990) e ano chuvoso (2009).

Figura 38: Comportamento Hidrossedimentológico Acumulado - Ano Seco e Ano Chuvoso



É possível observar que a dinâmica das chuvas não estabelece diferenças entre os setores hidrológicos, mas divergem em volumes, o qual o ano chuvoso (2009) apresenta maiores valores.

O ano seco (1990) apresenta maiores valores pluviométricos nos setores 11, 6, 3 e 1 em torno de 1650 mm, onde destes os setores 6, 3 e 1 estão localizados no médio e alto curso. Está ocorrência pluviométrica contribui para que a partir do setor 6 inicie um aumento no transporte de sedimentos a despeito da manutenção contínua do escoamento superficial e com pequenas variações praticamente em toda a bacia.

Assim, salienta-se que em ano seco a produção de escoamento superficial continua em torno de 550 mm é suficiente para produzir transporte de sedimentos com aumento de volume a partir do médio curso.

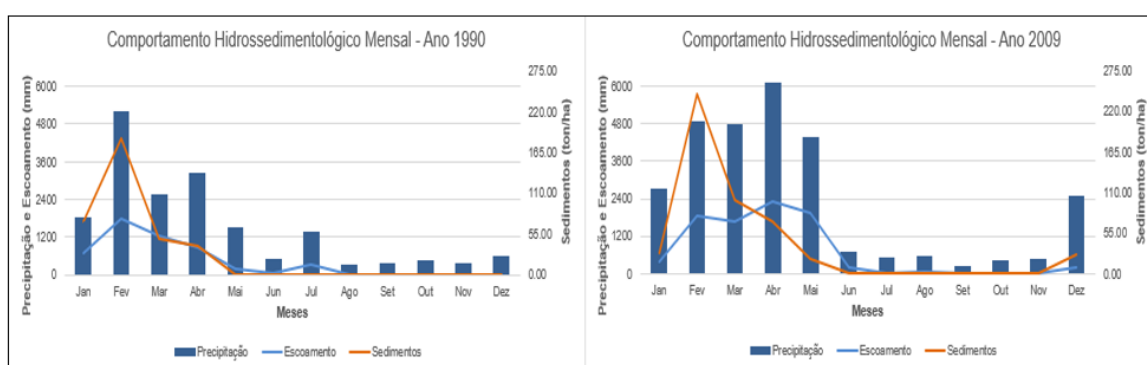
O ano chuvoso (2009) com maiores volumes pluviométricos apresenta aumento no volume de sedimentos no alto curso da bacia, onde parte desses sedimentos é transportado no curso do rio principal, o qual tem uma queda no médio curso evoluindo dos setores 7 a 5. No baixo curso ocorre uma queda no setor 4, mas um restabelecimento nos setores subsequentes.

As implicações do escoamento superficial neste quadro de transporte de sedimentos evoluem a partir do médio curso com um volume de 870,32 mm a partir do setor 7, o que corresponde a 320,32 mm maior que o ano seco (1990).

Conforme exemplificado o volume de precipitação é um dos fatores condicionantes a esta produção hidrossedimentológica, mas vale salientar que se deve refletir acerca das características de uso e ocupação da terra em consonância com os tipos de solos, o qual colaboram como barreiras neste dinâmica.

A partir das observações nos trechos da bacia é importante ressaltar os aspectos gerais mensais conforme exemplificado na Figura 39.

Figura 39: Comportamento Hidrossedimentológico Mensal - Ano Seco e Ano Chuvoso



O ano seco (1990) apresenta volume pluviométrico destoante apenas no mês de fevereiro com 4800 mm, onde abaixo tem-se em seguida os meses de janeiro, março e abril entre em torno de 1200 e 2700 mm.

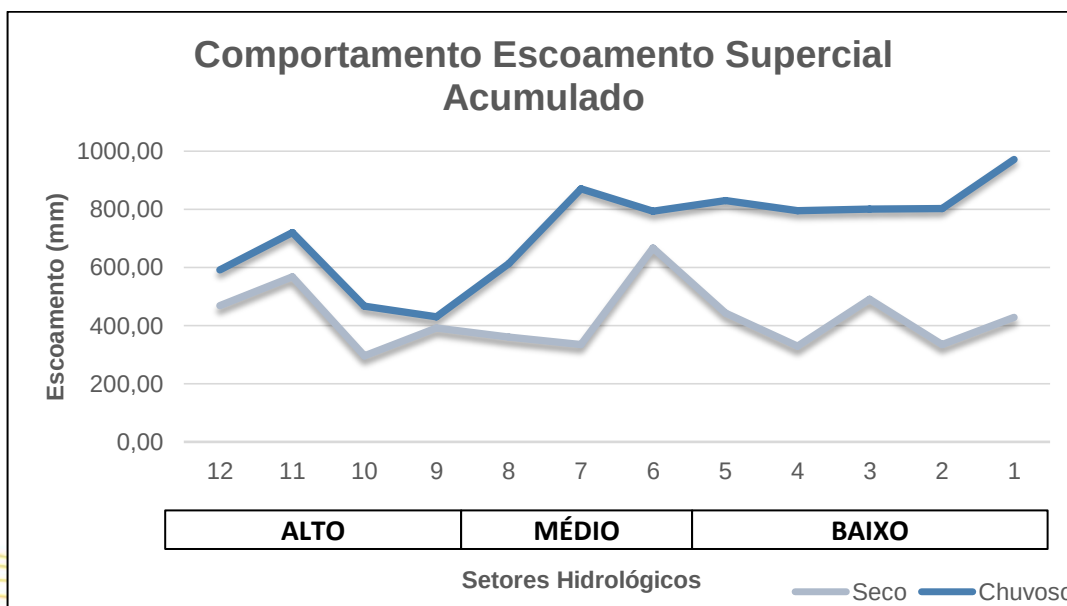
Conforme característica exemplificada de períodos de maiores precipitações nos meses de janeiro a maio tem-se no ano seco (1990) produções hidrossedimentológicas significativas a partir do mês de fevereiro o qual em

seqüência tem-se uma queda em consonância com o escoamento superficial com discreta alta no mês de julho. Em contrapartida o ano chuvoso (2009) apresentou a mesma característica, mas com maiores volumes pluviométricos entre 2400 a 6000 mm nos meses chuvosos (janeiro a maio), onde as respostas hidrossedimentológicas se diferenciaram.

Observa-se que no ano chuvoso (2009) houve um alcance de sedimentos no mês de fevereiro de 243,56 ton/ha, a despeito de ano seco de 184,27 ton/ha, onde está diferença de 59,29 ton/ha, advém dos volumes pluviométricos o qual produziram um escoamento superficial de 1870,32 mm no mês de fevereiro e 2322,42 mm no mês de abril, o qual manteve-se um aporte de sedimentos a despeito do aumento do escoamento superficial que se sobrepôs nos meses de abril a junho, sendo esses meses potenciais críticos a impactos na bacia.

Expressando um olhar apenas as condições hidrossedimentológicas, observa-se contextualizações as quais colaboram para compreensão mediante ao ano seco e chuvoso. No que corresponde ao escoamento superficial atuando nos trechos do rio (alto, médio e baixo), observa-se uma ascendência nos volumes no ano chuvoso (2009), enquanto o ano seco (1990) apresenta descendência após uma alta no setor hidrológico 6 (médio curso) (Figura 40).

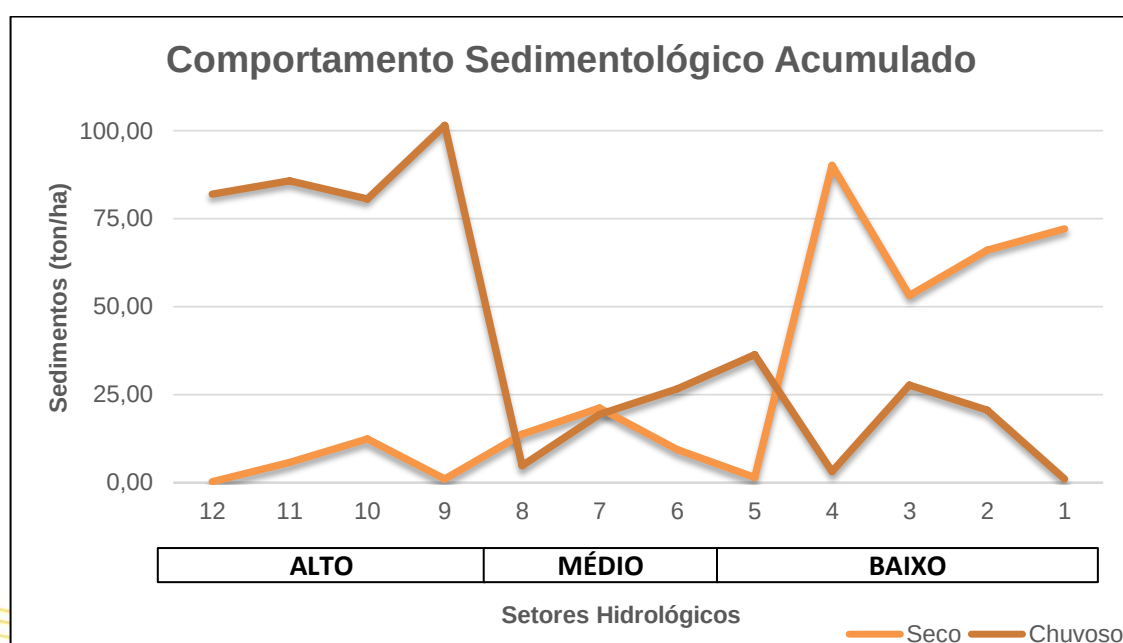
Figura 40: Comportamento do Escoamento Superficial Acumulados



Os maiores volumes no final do médio e baixo curso no ano chuvoso (2009) tende a indicar uma alta no transporte de sedimentos, mas não é o que ocorre na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, algo que carece análise mediante ao uso de terra exercido e as características físicas do solo. Observa-se que o ano seco e chuvoso se divergem, enquanto no alto curso há maiores produções no ano chuvoso (2009), já no ano seco (1990) indica-se que as precipitações ocorridas neste trecho não foram suficientes para produzir escoamento superficial suficiente ao aumento de volume no transporte de sedimentos para os canais.

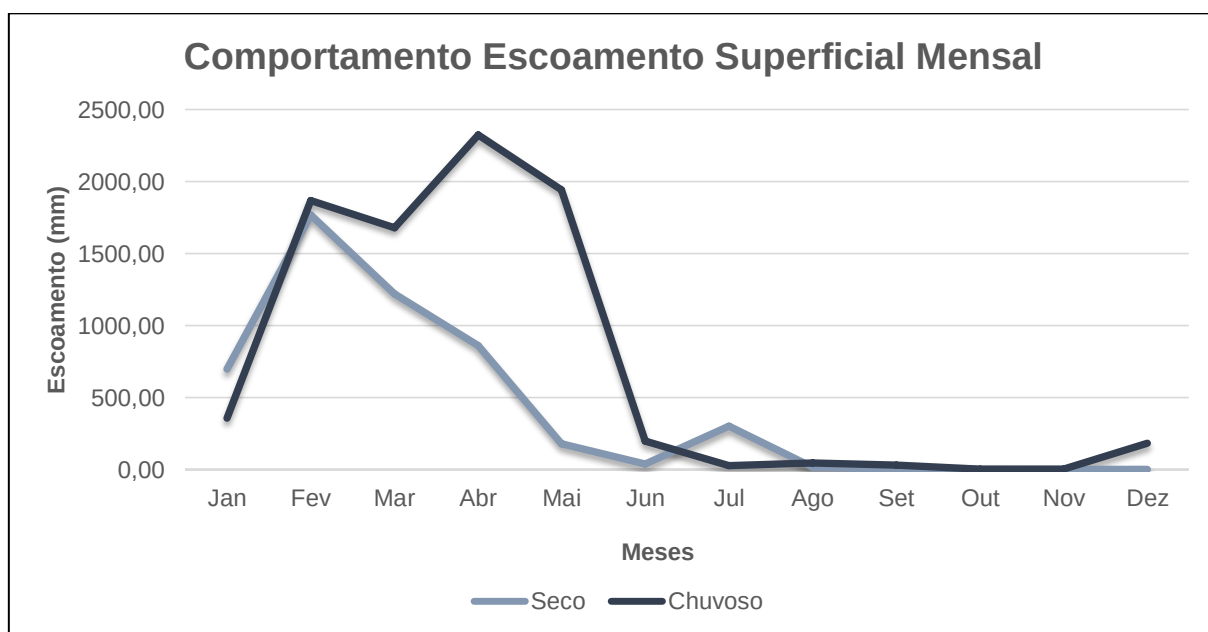
A produção de sedimentos no ano chuvoso (2009) decai consideravelmente praticamente se estabilizando nos trechos subsequentes, onde destaca-se os setores 6 e 3 com altas, o qual devem ser analisados suas características pedológicas e de uso da terra. No ano seco (1990) a produção de sedimentos no alto e médio curso apresenta-se em baixa com pequenas altas nos setores hidrológicos 10 e 7. A mudança significativa ocorre no baixo curso a partir do setor 4, algo que pode ser avindo das contribuições do setor 6 com o aumento do escoamento superficial (Figura 41).

Figura 4113: Comportamento Hidrossedimentológico Acumulado - Ano Seco e Ano Chuvoso



Ao realizar uma avaliação perante a dinâmica de fluxo da bacia é importante ressaltar o comportamento mensal dos processos hidrossedimentológicos. Dentro das condições dos regimes pluviométricos o escoamento superficial favorece na compreensão dos períodos que podem impactar no fluxo da bacia, conforme expõe a Figura 42.

Figura 42: Comportamento Escoamento Superficial Mensal - Ano Seco e Ano Chuvoso



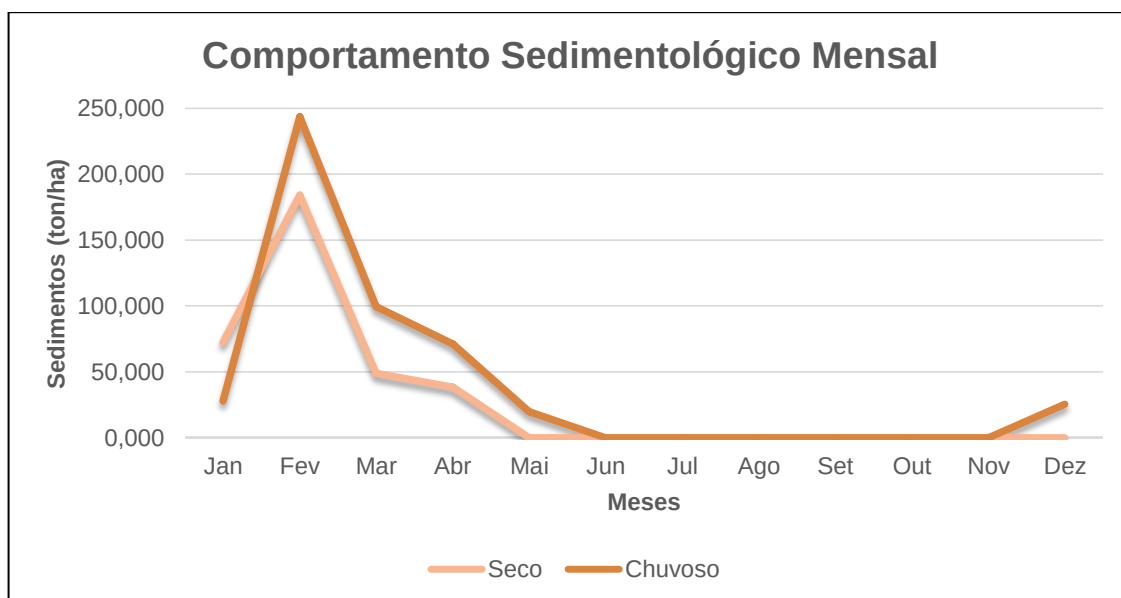
O comportamento do escoamento superficial mensal entre os anos seco (1990) e chuvoso (2009) apresenta o padrão no início do ano com o mês de fevereiro produzindo os maiores valores de volume de escoamento, mas o ano seco (1990) decai rapidamente se estabilizando e com uma pequena alta no mês de julho.

O ano chuvoso (2009) nos meses de março a maio se mantém em alta com seu máximo em maio, onde este mês apresenta chuvas significativas apenas em anos chuvosos, o qual se destaca como um ponto importante na dinâmica do escoamento.

A partir deste contexto é possível observar o comportamento no transporte de sedimentos, o qual apresenta o mesmo padrão com divergência apenas nos volumes produzidos (Figura 43).

O quadro sedimentológico mensal reforça a relevância dos meses de fevereiro a abril se tornando o trimestre mais importante na produção de sedimentos, onde as análises das particularidades de cada setor hidrológico devem ser consideradas para ser possível estabelecer análises de gestão da bacia hidrográfica.

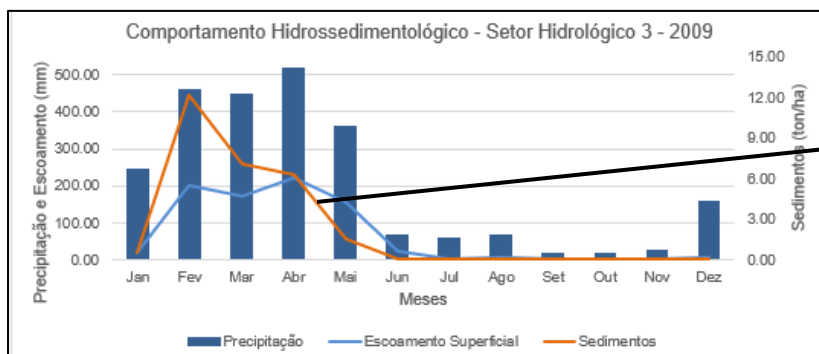
Figura 43: Comportamento Hidrossedimentológico Mensal - Ano Seco e Ano Chuvoso



Mediante as análises é importante destacar que ocorrem impactos inerentes ao comportamento das condições pluviométricas refletidas no escoamento superficial e transporte de sedimentos. Através de um levantamento realizado de alguns impactos ocorridos é possível conhecer os limites hidrossedimentológicos capazes de causar riscos.

Partindo como exemplo o ano chuvoso (2009) que indica prováveis ocorrência de impactos observa-se o setor hidrológico 3 (sub bacia do rio Peritoró). Este setor apresenta uma sobreposição do volume de escoamento a estabilidade dos sedimentos gerados, o qual pode provocar cheias (Figura 44)

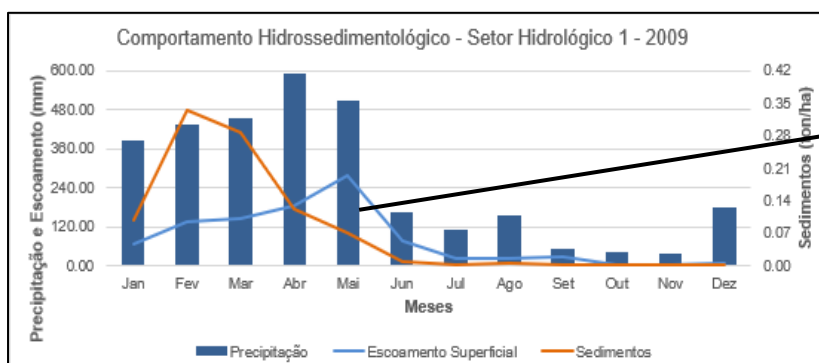
Figura 44: Consequências ao Comportamento Hidrossedimentológico - Setor Hidrológico 3



Fonte: Defesa Civil - MA

O que ilustra as condições hidrossedimentológicas como fatores de análises de ocorrência de prováveis impactos são seus reflexos no baixo curso da bacia, onde é representado pelo setor hidrológico 1. Com o acúmulo dos processos decorrentes nos demais setores hidrológicos o setor 1 recebe a carga de sedimentos ocorridos o qual podem acelerar os processos de assoreamento, assim observa-se no ano chuvoso (2009) (Figura 45).

Figura 45: Consequências ao Comportamento Hidrossedimentológico - Setor Hidrológico 1



Fonte: CPRM

Foram observados 4 eventos de risco proporcionados na bacia hidrográfica do rio Itapecuru no ano de 2009, o qual favorecido pelos fatores decorrentes dos processos hidrossedimentológicos ocorridos mediante aos volumes precipitados, sendo o maior ano em 30 de levantamento de dados conforme explicitado neste trabalho.

A relevância destes estudos provoca reflexões acerca de uma compreensão da bacia e suas dicotomias embasados em análises hidrológicas e climatológicas.

8 OS DESAFIOS HIDROSSSEDIMENTOLÓGICOS ATUAIS

Compreender os aspectos que envolvem as análises hidrossedimentológicas estão demonstrados na atualização dos parâmetros utilizados e desenvolvimento de resultados que expressam o comportamento da bacia hidrográfica diante dos processos sucedidos.

Com o avanço dos estudos de mudanças climáticas tem-se a necessidade de promover avanços nos estudos hidrológicos com o objetivo de estabelecer as dinâmicas que envolvem a bacia hidrográfica que podem refletir em impactos ambientais que aflijam a sociedade. Diante disto, os desafios a serem perseguidos compõe estabelecer análises dos processos atuais mediante ao clima e averiguar os aspectos de uso da terra para controle futuro.

Analisar a contemporaneidade remete a proximidade com as dinâmicas atuais a partir dos processos de escoamento superficial e transporte de sedimentos, no qual representa o quadro hidrossedimentológico. Fatores do presente podem suscitar até onde chegamos mediante aos aspectos de uso da terra, impactos ambientais e mudanças climáticas que provoca prováveis processos de assoreamentos, cheias e enchentes.

Os problemas sociais são resultantes da devastação que os recursos hídricos podem prover a partir de impactos ambientais sofridos (assoreamentos, cheias e enchentes). Estes impactos podem ser monitorados colaborando com sistema de alerta e controle das dinâmicas hidrográficas e ambientais. Assim, os estudos hidrossedimentológicos auxilia suprir a demanda de informações necessárias de colaboração no controle e análise dos estudos de impactos ambientais.

Portanto, ao referir a controle, planejamento e monitoramento os padrões hidrossedimentológicos é extremamente elucidativo na gestão de bacias hidrográficas, onde este estudo compreende a análise do comportamento hidrossedimentológicos contemporâneo (2011 – 2020) na bacia hidrográfica do rio Itapecuru estabelecendo uma apreciação espaço temporal e reflexões do ano de 2020. Será possível observar as dinâmicas perante a amplitude das precipitações destacando áreas dentro da bacia hidrográfica a serem consideradas para controle e monitoramento.

8.1 PARÂMETROS E PROCESSOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS

Os processos hidrossedimentológicos são determinados por parâmetros de entradas que são distribuídos em climatológico, uso da terra e solos. A partir destes dados baseados nos dados de climatologia dos anos de 2011 a 2020 foi possível convergir respostas contemporâneas aos processos hidrossedimentológicos.

8.1.1 Climatologia

Os dados climatológicos foram obtidos na plataforma *Power Data Access* do *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) para os anos de 2011 a 2020 correspondentes a precipitação, vento, temperatura do ar, umidade do ar e radiação. No que concerne à radiação observou nos dados da NASA lacunas que necessitavam ser preenchidas, diante disto utilizou-se os dados das estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para as datas correspondentes a serem substituídas (Figura 46).

Utilizou-se 76 estações da NASA distribuídas internamente e no entorno da bacia hidrográfica, no qual foi possível obter uma dinâmica climática de todo o contexto regional. Dentre os dados climatológicos a precipitação é o principal fator de influência na dinâmica hidrossedimentológica, onde apresentou um comportamento nestes anos de estudo (2011 – 2020) de concentrações de precipitações elevadas com destaque aos anos de 2011 e 2020 (Figura 1). No comportamento mensal é possível observar uma concentração elevada nos meses de janeiro a maio e menores de junho a dezembro (Figura 47).

Figura 46: Distribuição Pluviométrica

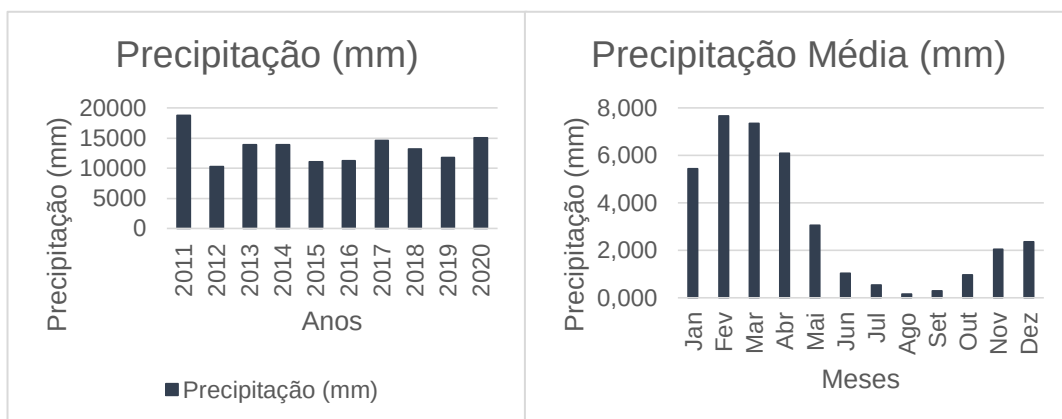
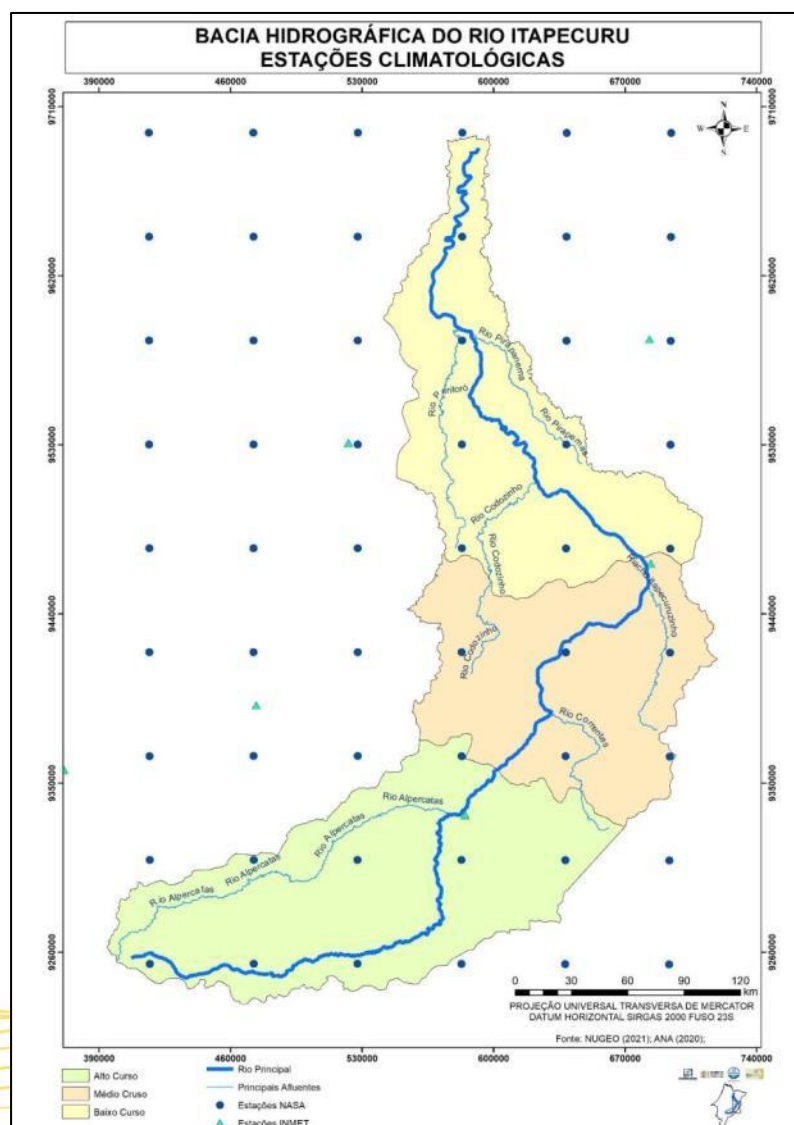


Figura 47: Estações Climatológicas



8.1.2 Produtos Geo-Espaciais

Para a geração dos processos hidrossedimentológicos é necessário que os dados Geoespaciais demonstrem a distribuição superficial espacial sendo representados por Modelo Digital de Elevação (MDE), Uso da Terra e Solos.

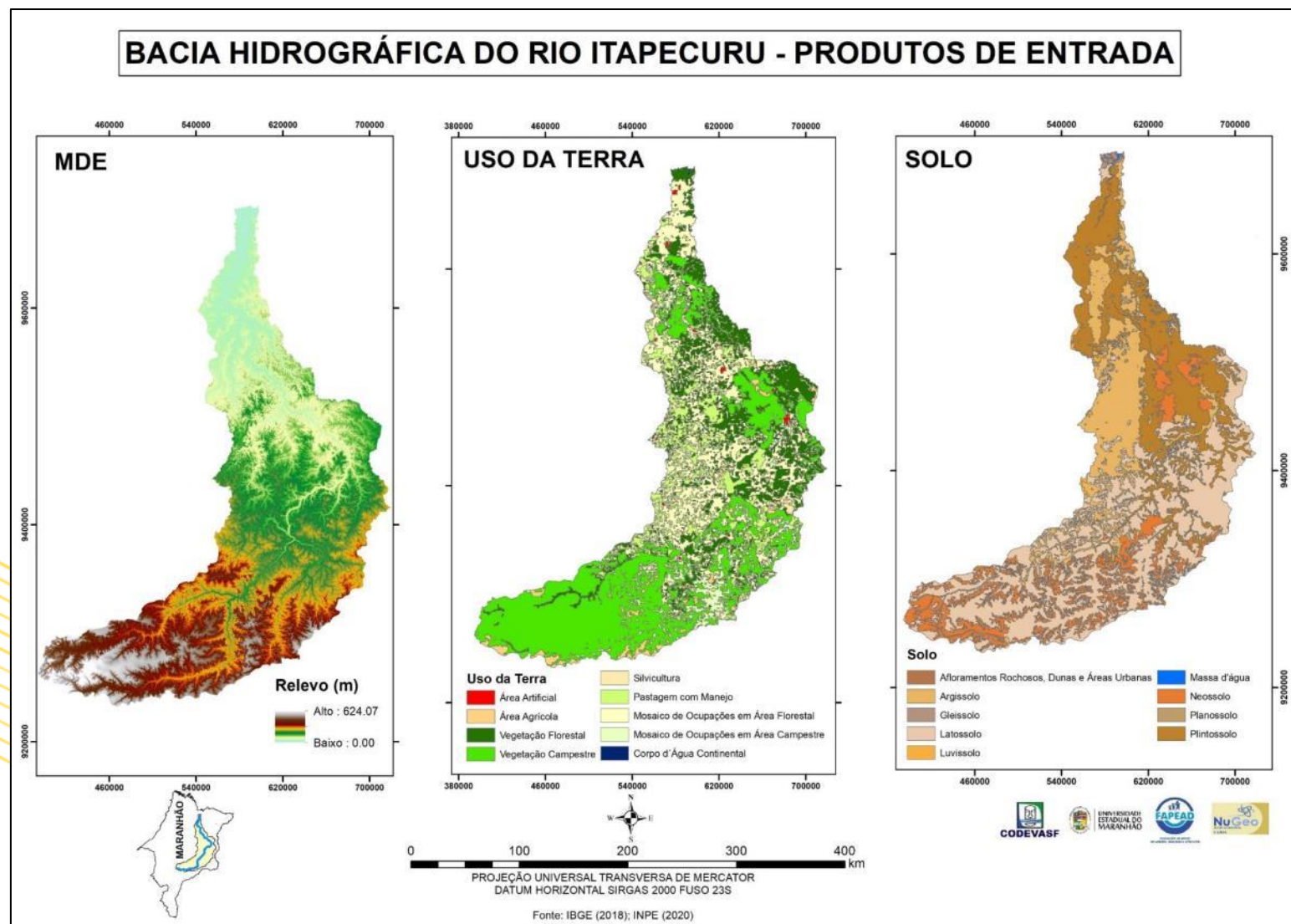
Os dados Geoespaciais utilizados foram MDE, Drenagem, Uso do Terra e Pedologia. O Modelo Digital de Elevação (MDE) de entrada como elemento norteador da topografia em seu relevo e declividade proveu do projeto TOPODATA (VALERIANO, 2004) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) onde consiste na oferta de dados topográficos e suas derivações básicas em cobertura nacional, ora elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo *U.S. Geological Survey* (USGS). Estes dados foram refinados da resolução espacial original de 3 arcos segundos (~90m) para 1 arco-segundo (~30m) por uma técnica conhecida como krigagem (do inglês kriging). Estes dados são, declividade, orientação de vertentes, curvatura vertical, curvatura horizontal, forma do terreno, delineamento de microbacias, além de arquivos em formato “.TIF”, este último utilizado neste trabalho.

Os dados de drenagem foram obtidos do banco de dados da Agência Nacional de Água (ANA) disponibilizado na plataforma de aquisição de dados Geo-espaciais, onde posteriormente foram selecionados os canais principais para adequação dos caminhos de drenagem como auxílio na geração de um MDE mais consistente.

O produto de Uso da Terra utilizado foi obtido do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) proveniente do sistema de cobertura e uso da terra disponível em sua plataforma digital, o qual suas classes estão definidas como Área Artificial (Área Urbana), Área Agrícola, Vegetação Florestal, Vegetação Campestre, Silvicultura, Pastagem com Manejo, Mosaico de Ocupações em Áreas Florestais, Mosaico de Ocupações em Áreas Campestre e Corpo d'Água Continental.

O dado pedológico também foi obtido na mesma plataforma do IBGE com as respectivas classes de Afloramentos Rochosos, Dunas e Área Urbana, Argissolos, Gleissolos, Latossolos, Luvisolos, Massa d'Água, Neossolos, Planossolos, Plintossolos. Segue os produtos geoespaciais de entrada exposto na Figura 48.

Figura 48: Produtos Geoespaciais



8.1.3 Escoamento Superficial

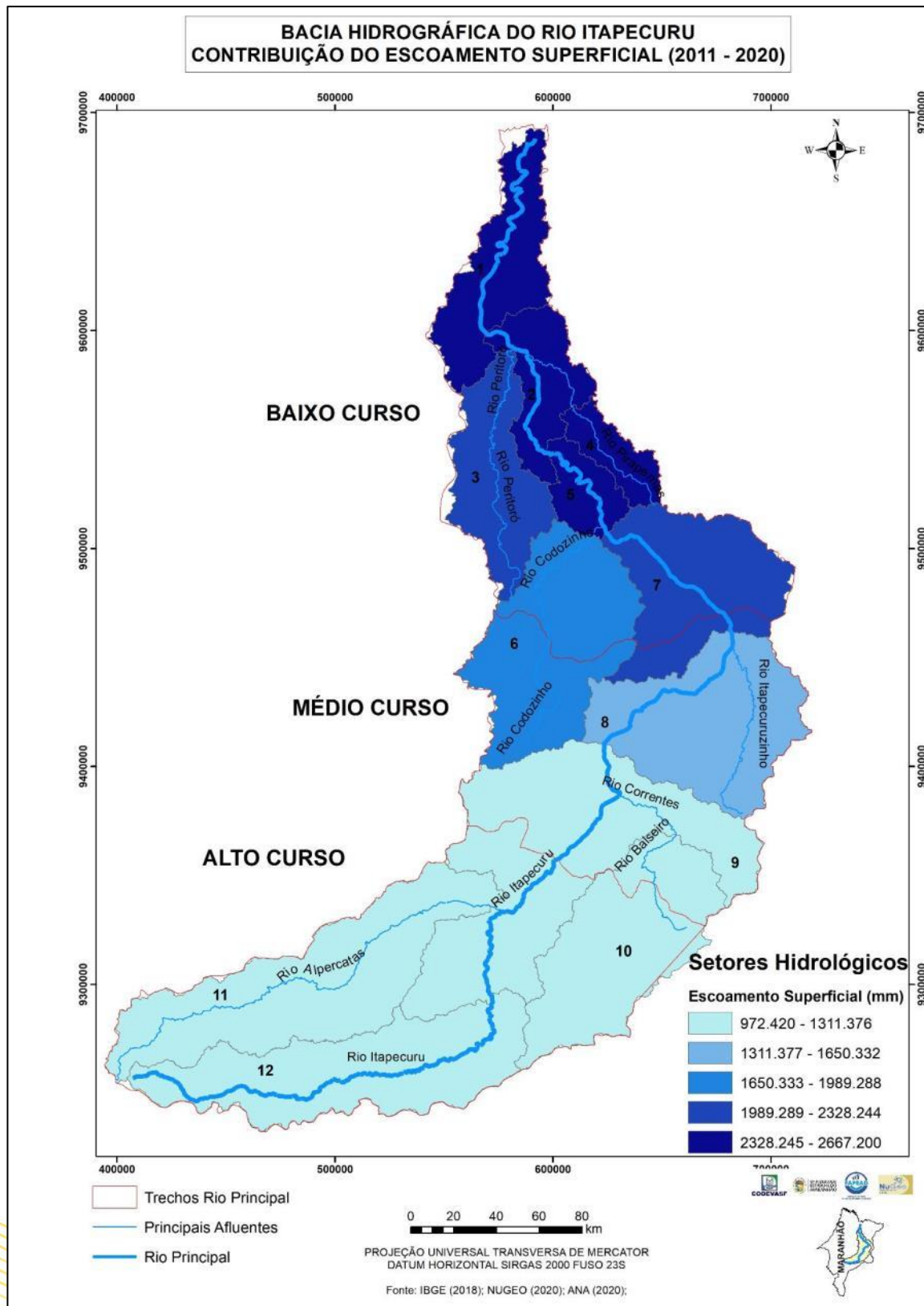
A dinâmica de escoamento superficial representa um componente alimentador da bacia hidrográfica, sendo refletido nos elementos pedológicos, geológicos e vegetativos. A partir do ciclo hidrológico remetido as condições climáticas é possível observar um nível de escoamento superficial de 972.420 mm a 2667.200 mm nos anos de 2011 a 2020 na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, onde as menores concentrações estão no alto curso, subindo gradativamente até o baixo curso (Figura 4).

Destacando os setores hidrológicos observa-se no alto curso representados pelos setores hidrológicos 12, 11 e 10 a predominância de escoamento variando de 972.420 mm a 1311.376 mm, sendo os menores valores do período (2011 – 2020). O médio curso representado pelos setores 9, 8 e 7 apresentam uma variação de 972.420 mm a 2328.244 mm, o que condiciona um crescimento à medida que se aproxima do baixo curso. Neste trecho tem-se a presença dos setores 6, 5, 4, 3, 2 e 1 condicionados a um escoamento de 1650.333 mm a 2667.200 mm refletindo seu ápice.

Destacando os principais afluentes de influência em escoamento superficial é possível observar quatro principais atuantes neste período (2011 – 2020). No médio curso o rio Itapecuruzinho (Setor Hidrológico 8) com variação de 1311.377 mm a 1650.332 e o rio Codôzinho (Setor Hidrológico 6) com variação de 1650.33 mm a 1989.288 mm que adentra no baixo curso. No trecho de baixo curso destaca-se o rio Peritoró (Setor Hidrológico 3) com variação de 1989.269 mm a 2328.244 mm e o rio Pirapemas (Setor Hidrológico 4 e 2) com variação de 2328.245 mm a 2667.200 mm.

Diante deste quadro é possível destacar em termos de escoamento superficial um índice elevado mediante aos níveis de precipitação apresentados (Figura 49). Destaca-se que o comportamento de escoamento superficial reflete no transporte de sedimentos podendo incorrer um aumento nos impactos de assoreamento, cheias e enchentes.

Figura 49: Escoamento Superficial (2011 - 2020)



8.1.4 Transporte de Sedimentos

O transporte de sedimentos é caracterizado pela quantidade que é depositado no canal podendo ser decorrentes de ações antrópicas. A partir do escoamento superficial é possível inferir alguns aspectos do transporte de sedimentos, mas as caracterizações pedológicas e de uso da terra são os grandes fatores de resposta a dinâmica sedimentológica.

Nos anos de 2011 – 2020 a bacia hidrográfica do rio Itapecuru apresentou um intervalo de 12.956 ton/ha a 197.746 ton/ha, onde as menores concentrações estão em parte no médio e baixo curso (Figura 50).

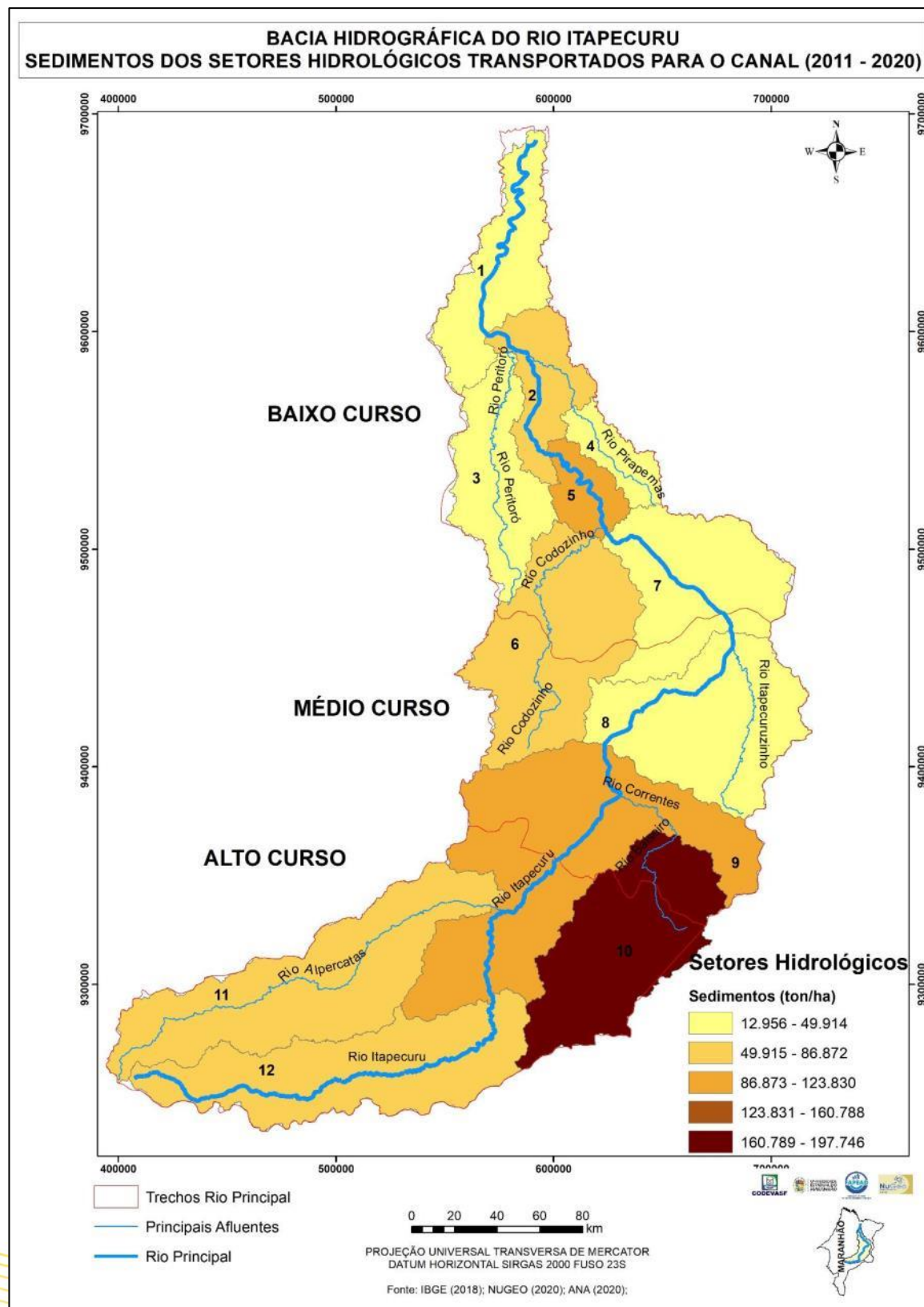
Destacando os setores hidrológicos observa-se no alto curso representados pelos setores hidrológicos 12, 11 e 10 a predominância de sedimentos variando de 49.915 ton/ha a 123.830 ton/ha, com apenas no setor hidrológico 10 desprendendo para valores mais altos de 160.789 ton/ha a 197.746 ton/ha. O médio curso representado pelos setores 9, 8 e 7 apresenta uma variação de 12.956 ton/ha a 123.83 ton/ha, onde apenas o setor hidrológico 10 se diferencia conforme no alto curso. Neste trecho tem-se a presença dos setores 6, 5, 4, 3, 2 e 1 condicionados a um acúmulo de sedimentos de 12.956 ton/ha a 123.830 ton/ha.

Destacando os principais afluentes de influência em transporte de sedimentos é possível observar no alto curso o rio Alpercatas (Setor Hidrológico 11) com variação 49.915 ton/ha a 88.872 ton/ha, enquanto que o rio Balseiro (Setor Hidrológico 10) transportou maiores cargas ao rio Correntes no período de 2011 a 2020 com variação de 160.789 ton/ha a 197.746 ton/ha.

No médio curso parte do comportamento do rio Balseiro apresenta influência provocando no rio Correntes (Setor Hidrológico 9) uma variação de 86.873 ton/ha a 123.83 ton/ha. Os outros dois principais afluentes deste trecho com menores variações estão identificados pelo rio Codôzinho (Setor Hidrológico 6) com 49.915 ton/ha a 86.872 ton/ha e o rio Itapecuruzinho (Setor Hidrológico 8) com variação de 12.956 ton/ha a 49.914 ton/ha.

No baixo curso parte do rio Codôzinho ainda exerce influência, sendo seguido por dois rios em destaque. O rio Peritoró (Setor Hidrológico 3) com variação de sedimentos de 12.956 ton/ha a 49.914 ton/ha e o rio Pirapemas (Setor Hidrológico 4 e 2) com variação de 12.956 ton/ha a 86.872 ton/ha.

Figura 140: Transporte de Sedimentos (2011 - 2020)



9 ANÁLISE TEMPORAL

As análises temporais possibilitam compreender as dinâmicas dos processos hidrossedimentológicos dentro de um determinado intervalo. De acordo com a Figura 51 no período de 2011 a 2020 o escoamento superficial apresenta maior concentração no ano de 2011 e menor no ano de 2012, onde as variações são de 26.093 mm a 484.845 mm.

Os anos de 2013 a 2015 apresentou pequenas oscilações, onde em 2013 os setores hidrológicos 10 e 11 apresentaram maiores valores em detrimento aos anos de 2014 e 2015. Em contrapartida diferencial o ano de 2015 apresentou uma baixa de escoamento no setor hidrológico 8.

O ano de 2016 teve uma baixa nos níveis de escoamento superficial em quase toda bacia, exceto nos setores hidrológicos 5, 3, 2 e 1 com pequeno aumento, enquanto o ano subsequente de 2017 parte do médio e baixo curso tiveram um considerável aumento em relação ao ano anterior.

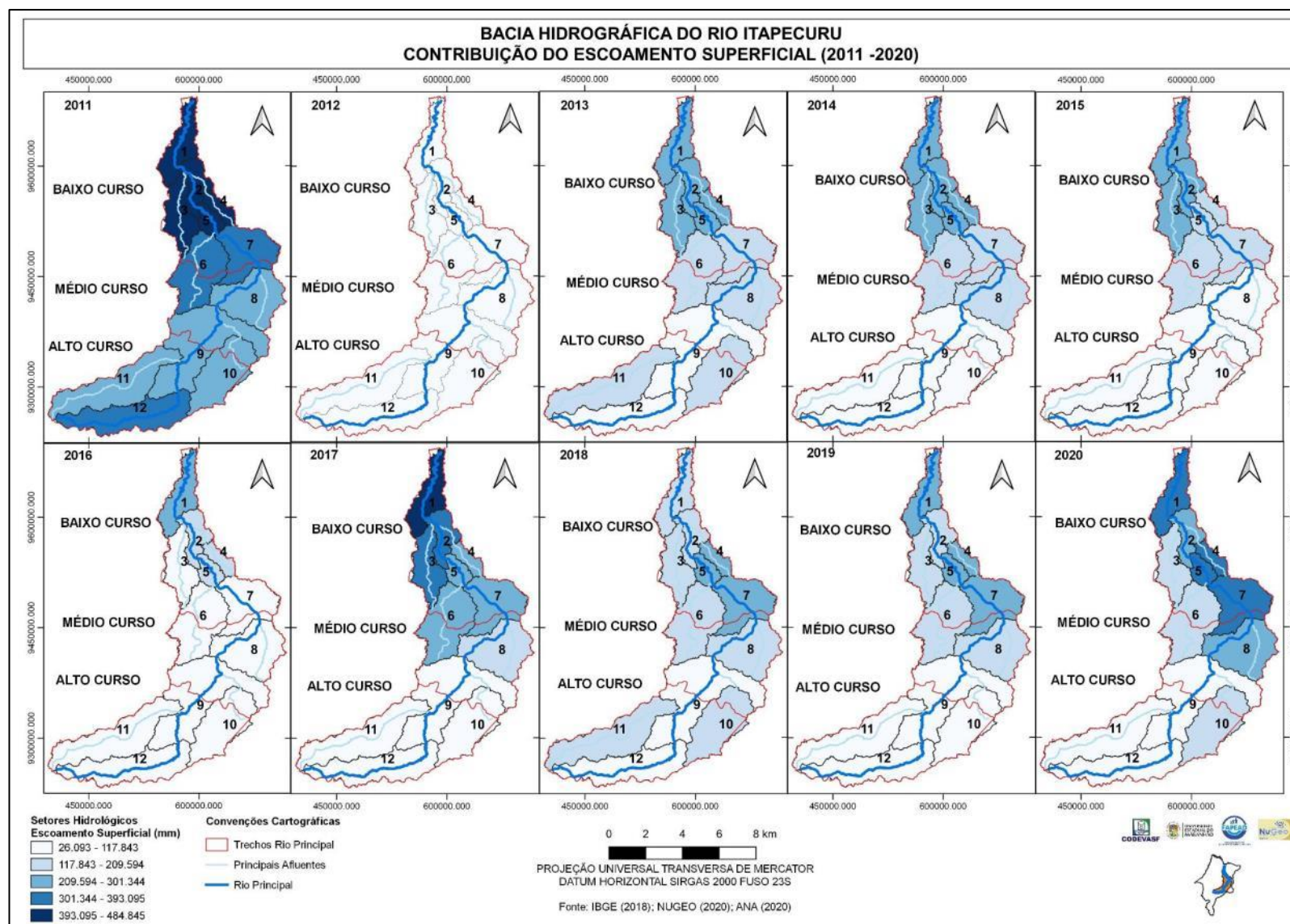
Nos anos de 2018 a 2020 houve praticamente uma estabilização nos níveis de escoamento superficial na bacia, onde destaca-se uma oscilação nos setores hidrológicos 10 e 11 e aumento nos setores 7, 5, 4 e 1 em 2020.

Ao que corresponde aos trechos da bacia hidrográfica observa-se uma maior dinâmica de escoamento superficial no médio e baixo curso, enquanto o alto curso apresentou oscilações representados principalmente nos setores 11 (Rio Alpercatas) e 10 (Rio Balseiro e Correntes).

Dentro deste contexto espaço temporal podem ser destacados os afluentes a leste da bacia, sendo compreendidos pelo do setor hidrológico 10 (Rio Balseiro e Correntes) setor hidrológico 8 (Rio Itapecuruzinho) e setor hidrológico 4 (Rio Pirapemas) atuantes em quase todos os anos. Enquanto a oeste o setor hidrológico 11 (Rio Alpercatas) atua de modo discreto na maioria dos anos, em contrapartida aos rios Codôzinho (Setor Hidrológico 6) e Rio Peritoró (Setor Hidrológico 3).

Portanto, o médio e baixo curso devem ser devotados de um pouco de atenção, mas com controle no alto curso que pode promover alimentação dos mananciais a jusante aumentando o escoamento superficial. Ao observar o ano de 2011 evidencia este fator, onde destacando o setor hidrológico 1 o mesmo sempre manteve as variações de níveis de escoamento superficial mais elevadas.

Figura 51: Distribuição Temporal Escoamento Superficial (2011 - 2020)



O transporte de sedimentos apresenta de modo espaço temporal uma variação de 0.323 ton/ha a 53.699 ton/ha no qual a maior concentração encontra-se no ano de 2011 e menor em 2016 (Figura 52), enquanto os demais apresentaram variações nos diversos setores hidrológicos.

O ano de 2011 com maiores concentrações de sedimentos para o canal no alto curso destaca-se os setores hidrológicos 12, 10 e 9, enquanto o médio e baixo curso apresentam uma diluição com discreto aumento nos setores 6, 5 e 2.

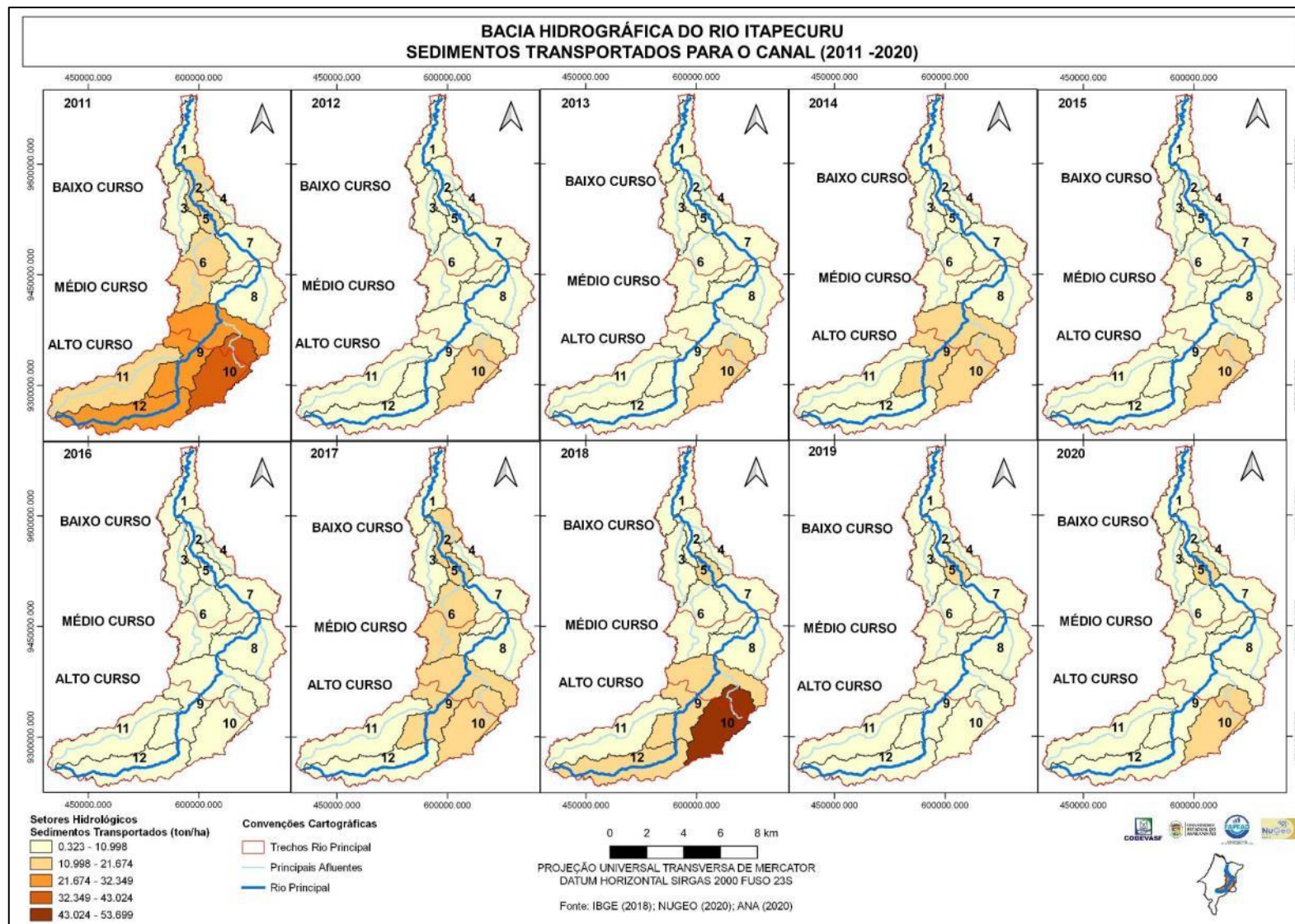
Os anos de 2012 e 2015 mantiveram-se nos mesmos níveis com destaque apenas ao setor hidrológico 10, mas no ano de 2014 apenas o setor hidrológico 9 apresentou aumento.

Conforme especificado, o ano de 2016 apresentou níveis baixos de transporte de sedimentos com algumas oscilações nos anos subsequentes. No ano de 2017 observou-se um aumento dos níveis nos setores hidrológicos 10, 9, 6, 5 e 2 com perda de níveis no ano de 2018 concentrando-se nos setores 12, 10, 9 e 5. Destaca-se que o setor hidrológico 10 apresentou o maior aumento desde 2011. Os anos de 2019 a 2020 continuaram discreto no transporte de sedimentos, sendo níveis um pouco maiores nos setores 10 e 5.

De modo geral, os trechos mais dinâmicos são o alto e médio curso, onde para refletir nos demais setores hidrológicos é necessário valores maiores que 21.674 ton/ha. Ao que corresponde a atuação dos afluentes observa-se que o setor hidrológico 10 representado pelo Rio Balseiro e Correntes tem os maiores níveis, onde à medida que há um aumento no alto curso a faixa oeste da bacia apresenta maiores níveis representados pelos rios Codôzinho (Setor Hidrológico 6) e rio Peritoró (Setor Hidrológico 3).

Afim de avaliar as relações hidrossedimentológicas é necessário verificar o comportamento da precipitação no escoamento superficial e transporte de sedimentos, onde é possível compreender dinâmicas perante as questões climatológicas.

Figura 52: Distribuição Temporal Transporte de Sedimentos (2011 - 2020)



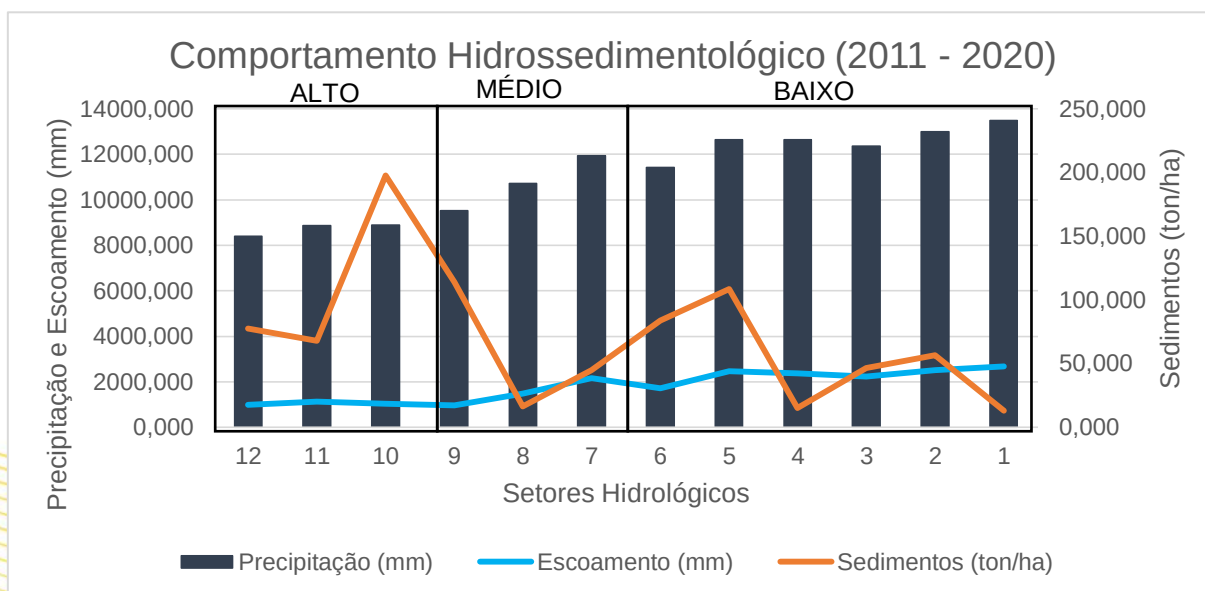
No período de estudo é possível observar que o comportamento hidrossedimentológico apresenta oscilações com picos sedimentológicos no alto e baixo curso (Figura 53).

A precipitação apresenta-se praticamente constante com pequenas oscilações de maiores valores no setor hidrológico 7 em diante, algo que reflete nas pequenas variações no escoamento superficial, onde há uma discreta ascendência conforme a precipitação.

No que corresponde o transporte de sedimentos ao canal observa-se no alto curso o setor hidrológico 10 compreendido pelos rios Balseiro e Correntes com uma considerável contribuição a despeito dos demais, onde um outro aumento irá haver apenas no setor hidrológico 5 no baixo curso compreendido por um segmento do rio Itapecuru (Rio Principal) e setor hidrológico 2 advindo de um trecho do rio Itapecuru contribuído pelo Rio Pirapemas do setor hidrológico 4.

Este quadro expressa que o aporte de sedimentos no alto curso é consideravelmente diminuído no setor hidrológico 10 (alto curso) até o setor hidrológico 8 (médio curso), onde o início do aumento das precipitações e consequentemente do escoamento superficial acentuam o retorno da ascensão do transporte de sedimentos, mas não aos níveis do alto curso mesmo com precipitações maiores. Este fato pode estar condicionado ao relevo, uso da terra e características do solo.

Figura 53: Comportamento Hidrossedimentológico (2011 - 2020)



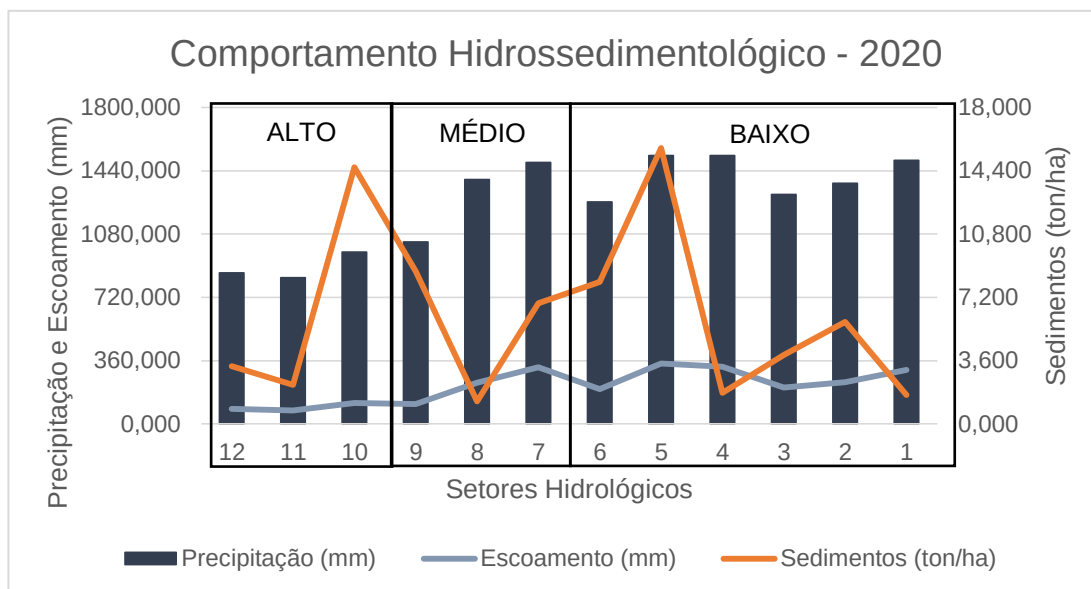
10 A HIDROSSEDIMENTOLOGIA DE 2020

O objetivo em realizar um diagnóstico do ano de 2020 corresponde a uma aproximação da temporalidade de execução do projeto e vislumbrar problemáticas mais atuais, mediante a reflexões a períodos anteriores já destacados.

De acordo com a Figura 54 o ano de 2020 apresenta maiores variações de precipitações nos setores hidrológicos, onde os maiores valores estão concentrados nos setores hidrológicos 7 (médio curso), 5 (baixo curso) e 4 (baixo curso), enquanto os menores encontram-se nos setores 11, 12 e 10 (alto curso). Dentro das conformidades da precipitação o escoamento superficial acompanha as variações com ascensões no médio curso representados pelos setores hidrológicos 8 e 7 e no baixo curso nos setores 5 e 4.

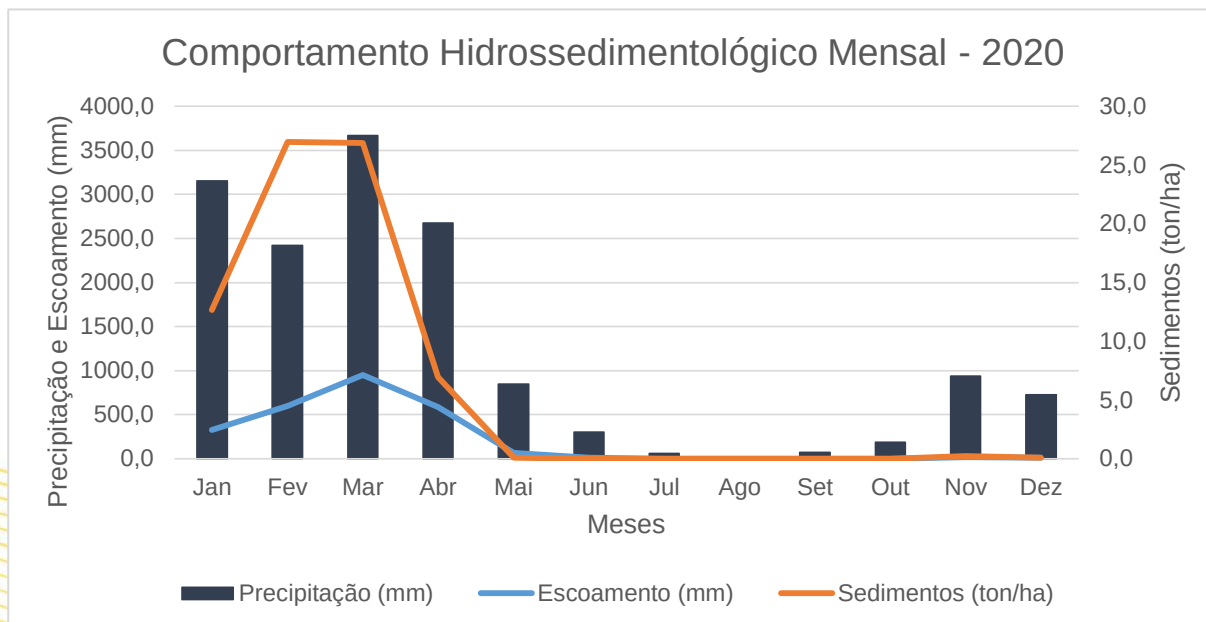
O transporte de sedimentos apresenta picos nos setores hidrológicos 10 (alto curso), 5 (baixo curso) e 2 (baixo curso). Estas ascensões destes picos estão relacionadas as dinâmicas dos elementos que contribuem para o quadro hidrossedimentológico, sendo clima, uso da terra, relevo e solo. Observando os elementos de precipitação observa-se que para um aumento do transporte de sedimentos um acumulo de precipitação de 700 00 mm a 1080 mm é suficiente para elevar esta potencialidade no alto curso, enquanto que o médio pode atender a outros fatores que não a precipitação elevada no transporte de sedimentos como relevo, uso da terra e solo. Nos setores do baixo curso em seu início expressam um aumento que diluem nos setores subsequentes.

Figura 54: Comportamento Hidrossedimentológico do Setores Hidrológico - 2020



De modo geral a bacia hidrográfica do rio Itapecuru no ano de 2020 do ponto de vista climatológico é influenciado pelas precipitações de janeiro a abril (Figura 55), de modo que a um aumento do transporte de sedimentos nesses meses em consonância com o escoamento superficial, enquanto a tendencia é que nos demais meses haja uma manutenção baixa nos níveis hidrossedimentológicos mediante a diminuição da precipitação.

Figura 15: Comportamento Hidrossedimentológico Mensal - 2020

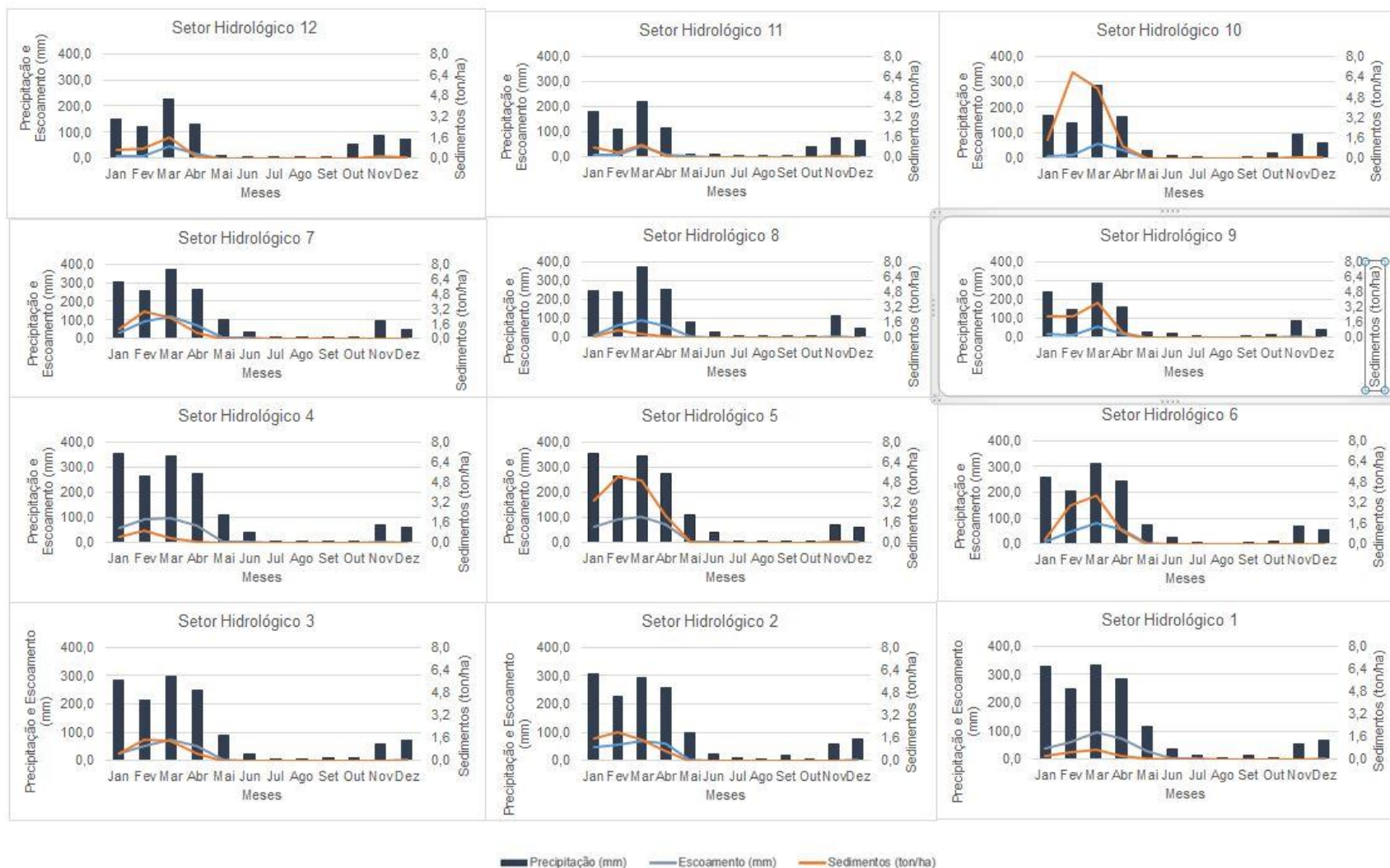


Com objetivo de observar se existe um padrão deste comportamento anual tem-se os setores hidrológicos e suas dinâmicas (Figura 56), onde poderá apresentar sua uniformidade perante o clima.

10.1 Comportamento dos Setores Hidrológicos

De modo geral os setores hidrológicos são constituintes de áreas de atuação de determinados afluentes e trechos do rio principal. Assim, a Figura 56 apresenta em sequência do alto, médio e baixo curso os setores hidrológicos e suas dinâmicas hidrossedimentológicas. A primeiro momento observa-se uma manutenção do padrão apresentado na Figura 55, mas com diferenças no comportamento nas relações de escoamento superficial e transporte de sedimentos.

Figura 56: Gráficos Temporais Setores Hidrológico – 2020



Os setores hidrólogos do alto curso apresentam proximidades nos parâmetros hidrossedimentológicos nos setores 12 (Rio Itapecuru) e 11 (Rio Alpercatas), enquanto o setor 10 apresenta (Rio Balseiro e Correntes) um aumento no transporte de sedimentos. Observa-se que não há muita diferença nos níveis de precipitação e escoamento, onde as condições de uso da terra e pedológica necessitam ser analisadas.

O médio curso em seu setor hidrológico 9 (rio Balseiro e Rio Correntes) apresenta um aumento no transporte de sedimentos em relação ao escoamento superficial, algo que se inverte no setor hidrológico 8 (Rio Itapecuruzinho), onde a um maior alcance de escoamento superficial em detrimento dos sedimentos. Ao analisar esta condição refletida nos setores hidrológicos 7 (Rio Itapecuru) e 6 (Rio Codôzinho) verse-a uma ascensão do transporte de sedimentos nestes setores.

A partir deste quadro do médio curso o baixo curto tem um ápice de transporte de sedimentos no setor hidrológico 5 (trecho do rio Itapecuru), o qual diminui este aporte nos demais setores (4, 3, 2 e 1). Ressalta-se que nos setores hidrológicos 3 (Rio Peritoró), 2 (Rio Itapecuru) e 1 (Rio Itapecuru) o escoamento superficial se sobressai ao transporte de sedimentos.

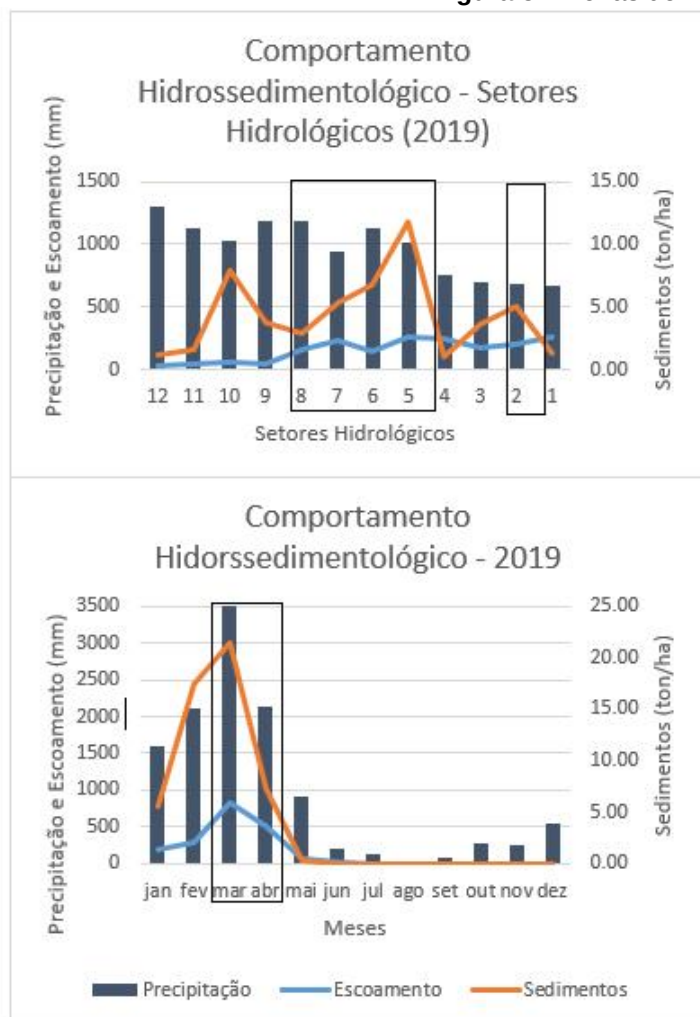
Devido as características físicas de uso da terra e solo podem haver potenciais de transporte de sedimentos e escoamento superficial diferenciados em cada setor hidrológico, onde apesar da precipitação ser indutor nas variações, os aspectos que um se sobressai ao outro vai depender das barreiras encontradas ao logo do fluxo de escoamento na bacia. Assim, o quadro aponta um padrão em termos climatológicos representado pelas precipitações, algo que pode reger todo o contexto hidrossedimentológico, mas ressalta-se que a influência dos meios físicos poderá indicar uma mudança a depender dos setores hidrológicos estudados.

11 Zonas de Atenção

Através de análise dos eventos recorrentes de cheias e enchentes na bacia hidrográfica do rio Itapecuru foi possível observar alguns pontos que carecem de atenção. Estes locais apresentam constantes eventos no qual o mês de abril no ano de 2019 se destaca por afligir a população e produzirem impactos ambientais.

Quando se analisa o intervalo no período de dez anos (2011 – 2020) o ano de 2019 não se torna relevante nos níveis hidrossedimentológicos, mas ao analisar o comportamento apenas neste ano verse-a a dinâmica mediante a influência da precipitação. Alguns setores da bacia apresentaram eventos de cheias e enchentes, os quais podem ser resultantes de suas características físicas de uso da terra e solo, além do caráter do comprometimento em assoreamento (Figura 57).

Figura 57: Zonas de Atenção



Caxias - Setor Hidrológico 7



Fonte: Globo (2022)

Codó - Setor Hidrológico 5



Fonte: G1 (2022)

Cantanhede - Setor Hidrológico 2



Fonte: Meinformo (2022)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru no período de 2011 a 2020 apresenta padrões de precipitação semelhantes em toda a sua área, no qual as dinâmicas de escoamento superficial atendem a contribuições a medidas que estas precipitações são potencializadas.

Aludido dos resultados de escoamento superficial observa-se o baixo e médio curso produtores de maiores contribuições principalmente nos setores hidrológicos 7, 6, 5, 4, 3, 2 e 1. No que corresponde ao transporte de sedimentos o alto curso apresenta-se maiores produções que indicam acarretar a toda a bacia, onde apesar que a jusante produzem menores níveis, os mesmos irão receber tudo que é recebido pelo alto curso a montante.

O ano de 2020 apesar de contribuir com maiores índices de escoamento superficial o mesmo não foi capaz de produzir consideráveis transporte de sedimentos ao canal, algo que evidencia que os casos de cheias e enchentes que porventura venham a ocorrer são dependentes dos sedimentos a montante, algo característico evidenciado pelo setor hidrológico 5.

Dentre os setores hidrológicos deve ser destacado o setor 6 (sub-bacia do rio Codozinho) o qual apresentou produção de sedimento no ano seco no mês de fevereiro maior que o ano chuvoso devido a uma chuva atípica, mas além deste fator, o mesmo apresenta-se com relevância em todos os potenciais hidrossedimentológicos.

No que corresponde as análises comparativas observa-se que a baixa produção de sedimentos no médio e baixo curso no ano chuvoso (2009) indica que apesar da alta de escoamento superficial o mesmo não produziu maiores sedimentos devido a estabilidade causada pelo transporte já ocorrido no alto curso, algo que no ano seco se inverte.

Portanto, os elementos hidrossedimentológicos analisados em regimes pluviométricos seco ou chuvosos devem ser interpretados de modo a favorecer uma contribuição as condicionantes de gestão dos recursos hídricos (BRASIL, 1997) determinados nas políticas ambientais.

REFERÊNCIAS

ALLEN, P; ARNOLD, J; JAKUBOWSKI, E. Prediction of Stream Channel Erosion Potential. Environmental and Engineering Geoscience (1999) V (3): 339–351.

ARAGÃO, R; CRUZ, M; AMORIM, J; MENDONÇA, L; FIGUEIREDO, E; SRINIVASAN, V. Análise de Sensibilidade dos Parâmetros do Modelo SWAT e Simulação dos Processos Hidrossedimentológicos em uma Bacia no Agreste Nordeste. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.37, 2013.

ARAÚJO, L; BAYMA, G; TORRESAN, F; VICTORI, D; BOLFE, L; MANZATTO, C. Conservação da Biodiversidade do Estado do Maranhão: Cenário Atual em Dados Geoespaciais Embrapa Meio Ambiente Jaguariúna, SP 2016 - 28 p. il. (Documentos / Embrapa Meio Ambiente).

ARNOLD, J. G.; MORIASI, D. N.; GASSMAN, P. W.; ABBASPOUR, K. C.; WHITE, M. J.; SRINIVASAN, R. et al. SWAT: Model use calibration and validation. Transactions of ASABE, v. 55, n. 4, p. 1494-1508, 2012.

ALMEIDA, L; SERRA, J. Modelos Hidrológicos, Tipos e Aplicações mais Utilizadas. e v. F A E, C u r i t i b a, v. 20, n. 1, p. 129 - 137, 2017.

BALDISSERA, G. Aplicabilidade do Modelo de Simulação Hidrológica SWAT (SOIL WATER ASSESSMENT TOOL), para a Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá/MT. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Física e Meio Ambiente) Universidade Federal do Mato Grosso, 2005.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF 09/01/1997, P. 470. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm Acesso em: 15/11/2020.

BURROUGH, P.A. "Dynamic modelling and geocomputation". Longley, P.A.; BROOKS, S.M. 1998;

CHOW, V.T. Handbook of applied hydrology: a compendium of water-resources technology. New York: MacGraw-Hill Book Co., 1964. 1v.

CLARKE, R.T., "A review of some mathematical models used in hydrology with observations on their calibration and use", Journal of Hydrology, 19,1-20, 1973.

DHAR, Sujana; MAZUMDAR, Asis (2009). Hydrological modelling of the Kangsabati river under changed climate scenario: case of study in India. Hydrological Processes, vol 23, 2394 – 2406 pp.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação dos solos. Rio de Janeiro, 2006.

FOTHERINGHAM, A. S.; ROGERSON, P. A. (1994). "Spatial analysis and GIS". London: Taylor & Francis.

G1. Após Codó entra em alerta para riscos de enchentes após início das chuvas. Disponível em: <https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2019/04/08/codo-entra-em-alerta-para-os-riscos-de-enchentes-apos-o-inicio-de-chuvas.ghtml> Acesso em: 16 de Agosto de 2022

GLOBO. Após Chuva Rio Itapecuru Transborda em Caxias. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/6655879/> Acesso em: 16 de Agosto de 2022

GEOBRMUNDO. Tudo Sobre Geografia Física e Humana do Brasil e do Mundo. Acesso em: <<http://geobrmundo.blogspot.com/2015/05/principais-bacias-hidrograficas-mundo.html>>, Acesso em: 14/11/2020.

GOODCHILD, M. F.; HAINING, R.; WISE, S. "Integrating GIS and spatial data analysis: Problems and possibilities". International Journal of Geographical Information Systems, 6, p. 407- 423, 1992.

GUIMARÃES, J. Simulação Hidrossedimentológica da Bacia do Riacho dos Namorados com o Modelo SWAT. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) Universidade Federal de Campina Grande, 2011.

HUANG, S; SHAH, H; NAZ, B; SHRESTHA, N; MISHRA, V; DAQQUPATI, P; GHMIRE, U; VETTER, T. Impacts of hydrological model calibration on projected hydrological changes under climate change—a multi-model assessment in three large river basins. Climatic Change, 2020.

LACROIX, Martin P. et all (2002). Using digital terrain analysis modeling techniques for the parameterization of hydrologic model. Environmental Modelling and Software, v17,127 – 136.

LIN, C; LIOU, K; LEE, M; TECHIUEH, P. Impacts of urban water consumption under climate change: An adaptation measure of rainwater harvesting system. Journal of Hydrology, v. 572, p. 160-168, 2019

LOPES, W. Efeito de Escala na Modelagem Hidrossedimentológica na Região Semiárida da Paraíba. Dissertação (Mestrado Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande – PB, 2003.

NUNES, H; SOUSA, A; SANTOS, J; Simulation of Flow in the Capim River (PA) using the SWAT. Floresta e Ambiente 2019.

MACHADO, R; VETTORAZZI, C. Simulação da Produção de Sedimentos para a Microbacia Hidrográfica do Ribeirão dos Marins (sp). Revista Brasileira de Ciência do Solo. V., 2003.

ME INFORMO. Cantanhede: Nível das águas do Rio Itapecuru subiu e deixa moradores e autoridades em alerta. Disponível em: <https://meinformo.com.br/2019/04/cantanhede-nivel-das-aguas-do-rio-itapecuru-subiu-e-alerta-moradores-e-autoridades/> Acesso em: 16 de Agosto de 2022

MILLER, S. N; GODRICH, D.C.; HERNANDEZ,M; SEMMENS, D. J.; MILLER, R. C.; KEPNER, W. G.; GUERTIN, D. P. The Automated Geospatial Watershed Assessment Tool. Revista Environmental Modelling & Software, v.22, n.3, p. 365-377. 2007.

MORAES, M; CIRILO, J; SAMPAIO, Y; ROCHA, S. Gestão de recursos hídricos usando modelagem econômico-hidrológica integrada na identificação de alocação ótima de água entre usos múltiplos. REGA – Vol. 3, no. 1, p. 29-44, 2006.

NASCIMENTO, F; BRAGA, C; ARAÚJO. Análise Estatística dos Eventos Secos e Chuvosos de Precipitação do Estado do Maranhão. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 32, n. 3, 375-386, 2017

NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. (2005) Soil And Water Assessment Tool – Theoretical Documentation. Temple: Blackland Research Center, Soil and Water Research Laboratory. 494p.

SAGRIMA (2016) Perfil da Agricultura Maranhense – Boletim Informativo.

SANTOS, Laercio. Modelagem Hidrossedimentológica e Avaliação Comparativa de Três Modelos em Pequenas Sub-Bacias na Região Semiárida Paraibana. Dissertação (Mestrado de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, 2008, Paraíba.

SHRESTHA, K; RUDRA, R; DAGGUPATI, P; GOEL, P; SHUKLA, R. A comparative evaluation of the continuous and event-based modelling approaches for identifying critical source areas for sediment and phosphorus losses. Journal of Environmental Management, 2021.

TAVEIRA, I. Avaliação de Alternativas de Uso do Solo Através da Simulação Hidrossedimentológica da Bacia Representativa de Sumé com o modelo SWAT. Dissertação (Mestrado de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, 2012, Paraíba.

TUCCI, C. E. M. (2009) Hidrologia: ciência e aplicação. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – ABRH. 4ª Edição. Porto Alegre, 943 p.

TUCCI, C. E. M. (2005) Modelos Hidrológicos. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – ABRH. 2ª Edição. Porto Alegre, 678 p.

UZEIKA, Talita (2009). Aplicabilidade do Modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na simulação da produção de sedimentos em pequena bacia hidrográfica rural. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 144p.

VALLADARES, G; QUARTAROLI, C; HOTT, M; MIRANDA, E; NUNES, R; KLEPKER, D; LIMA, G. Mapeamento da Aptidão Agrícola das Terras do Estado do Maranhão. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento – Embrapa Monitoramento por Satélite, 2007.

VALERIANO, Márcio. Modelo Digital de Elevação com Dados SRTM Disponíveis para a América do Sul, In: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.

WINCHELL, M.; SRINIVASAN, R.; LUZIO, M.; ARNOLD, J. (2007). ArcSWAT Interface for SWAT 2005 – User's guide. Temple: Blackland Research Center, Soil and Water Research Laboratory. 436p.

WHITEAKER, T.; MAIDMENT D. R. "Geographically Integrated Hydrologic Modeling Systems". Dissertation. The University of Texas at Austin, 2004. CRWR Online Report 04-04.

WILLIAMS, J; JONES, C; DYKE, P. A Modeling Approach to Determining the Relationship Between Erosion and Soil Productivity. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 1984.

WOOLHISER, D. A.; SMITH, R. E.; GOODRICH, D.C. KINEROS. A Kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and USER Manual. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-77, 130 p.