



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO PARÁ



INSTITUTO DE
GEOCIÊNCIAS



FACULDADE DE
OCEANOGRAPHIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LEANDRO DE SOUZA SANTANA

**TRANSPORTE DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO NO BAIXO RIO
XINGU**

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELÉM-PARÁ
2016

LEANDRO DE SOUZA SANTANA

**TRANSPORTE DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO NO BAIXO RIO
XINGU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Faculdade de Oceanografia da Universidade
Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de Bacharel
em Oceanografia.

Orientador: Msc. Maurício da Silva da Costa

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Rollnic

Belém-Pará
2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Santana, Leandro de Souza, 1993 -

Transporte de material particulado em suspensão no baixo rio
Xingu / Leandro de Souza Santana. – 2016
46 f : il.; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador. Maurício da Silva da Costa
Coorientador: Marcelo Rollnic

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade
Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de
Oceanografia, Belém, 2016.

1. Hidrologia - fluxos. 2. Hidrologia - Inundações. 3. Xingu, Rio,
(PA). I. Título.

CDD 22 ed. 551.488098115

LEANDRO DE SOUZA SANTANA

**TRANSPORTE DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO NO BAIXO RIO
XINGU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Faculdade de Oceanografia da Universidade
Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de Bacharel
em Oceanografia.

Data da aprovação: ____ / ____ / ____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Maurício da Silva da Costa – Orientador
Mestre em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Prof. Marcelo Rollnic – Coorientador
Doutor em Oceanografia
Universidade Federal do Pará

Prof. Sury de Moura Monteiro
Doutora em Oceanografia Ambiental
Universidade Federal do Pará

Thaís Angêlica da Costa Borba
Mestre em Geofísica Marinha
Mestre em Engenharia Costeira e
Desenvolvimento de Portos
Universidade Federal do Pará

À Deus fonte da minha inspiração, em especial a
minha família (incluindo o Lab e amigos), fonte do meu incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por colocar pessoas maravilhosas em meu caminho que têm ajudado na minha formação acadêmica e pessoal. Dentre elas, destaco meu orientador Maurício Costa que contribuiu sobremaneira para esse trabalho ser concluído, sem ele estaria perdido! Agradeço a oportunidade de trabalhar ao seu lado, sua valiosa orientação e paciência.

Destaco também o meu co-orientador Marcelo Rollnic, que sempre arranja tempo para me ajudar e que muito contribuiu para a realização deste trabalho. Agradeço o seu esforço e incentivo para sempre publicarmos algo.

Sem dúvida não poderia esquecer a contribuição de Thaís Borba, que forneceu partes dos dados necessários para a realização deste trabalho. Sem ela, não sei o que aconteceria, meu sincero muito obrigado!

Agradeço aos meus amigos Heriton Kevin Silva, Gabriela Gomes, Pamela Lima, Thiago Monteiro, Lizandra Baia que contribuíram demais para a melhoria deste trabalho.

Meus agradecimentos aos meus amigos do Laboratório de Oceanografia Física (LOF), Carol Mascarenhas, Ian Vieira, Adriel e aos demais constituintes. Nossa união faz a diferença!

Agradeço aos amigos do Laboratório de Geofísica Marinha (Geofmar), Renan Rosário, “Piolho” (Arthur Santos), Fabiola Mota, que sempre me incentivaram e ajudaram na melhoria deste trabalho.

Agradeço a todos os profissionais e colaboradores que trabalharam no projeto Amazon, de onde parte dos dados foram tirados, muito obrigado!

Agradeço aos meus colegas e amigos do curso de oceanografia que colaboraram direta e indiretamente para a melhoria deste trabalho, muito obrigado!

RESUMO

O rio Xingu é um dos principais tributários da margem direita do rio Amazonas, situado parte no Estado de Mato Grosso e parte no Estado do Pará. O objetivo do trabalho foi determinar o transporte de material particulado em suspensão no período chuvoso e indentificar a variabilidade sazonal dos níveis de turbidez no baixo Xingu. A aquisição das amostras foi efetuada em quatro campanhas, com duas referentes ao período seco dos anos de 2011 e 2012 e duas referentes ao período chuvoso de 2013 e 2014. Foram feitos transectos transversais ao rio a cada uma hora para coleta dos dados de turbidez, na margem esquerda (ME), Centro (C) e margem direita (MD), nos anos de 2011, 2013 e 2014, além de um transecto longitudinal no ano de 2012, através de perfis verticais com o auxílio de um sensor OBS (Optical Backscatter Sensor), durante um período de ± 13 horas que corresponde aproximadamente a um ciclo de maré. Foram calculados a concentração de sólidos em suspensão (MPS), utilizando a metodologia de Baumgarten de 1996 e o transporte de volume e maré foram gerados a partir de modelo hidrodinâmico e a partir da equação de Colby de 1957 modificada por Costa de 2014 foi calculado o transporte de MPS. O rio Xingu é um rio de águas claras de baixa hidrodinâmica com regime de micromaré. A maré possui variação média de 1,1 m assimétrica com o período de vazante superior ao de enchente, ocorrendo ligeira inversão de corrente. O seu regime hidrológico, no contexto de vazão, apresenta significativa variação temporal de caráter sazonal, chegando a diminuir cerca de 59,3% entre período chuvoso e seco. Os valores de transporte de volume foram satisfatórios, o rio Xingu atuou como exportador em todos os anos estudados em ambos os período climáticos, com exceção do período seco de 2011, desta forma considera-se que este rio tende sempre a ser exportador. Os padrões para os perfis verticais de turbidez foram uniformes ao longo da coluna d'água para todos os anos. O rio Xingu não apresentou variação significativa da turbidez sazonalmente. A influência do rio Amazonas na turbidez e MPS deste rio ficou restrito a sua foz. Em relação ao transporte de MPS, o rio Xingu se comportou como exportador em ambos os anos estudados, demonstrando a predominância da componente fluvial sobre a maré. Foi estimado o transporte de MPS para o período chuvoso em $5,7 \cdot 10^6$ toneladas, que contribuirá na descarga final de MPS do rio Amazonas.

Palavras - chave: Sazonal. Vazão. Material particulado em suspensão. Rio Xingu.

ABSTRACT

The Xingu River is one of the main tributaries direct bank of the Amazon River, situated part in the State of Mato Grosso and part of the state of Pará. The objective was to determine the transport of suspended particulate matter in the rainy season, and to identify the seasonal variability the turbidity levels in the lower Xingu. The acquisition of the samples was performed in four campaigns, with two for the dry period of the years 2011 and 2012 and two for the rainy season of 2013 and 2014. Cross transects were made to the river every hour to collect the turbidity data, on the left bank (ME), center (C) and right margin (MD) in the years 2011, 2013 and 2014, plus a longitudinal transect in 2012, through vertical profiles with the aid of an OBS sensor (Optical Backscatter sensor) over a period of ± 13 hours approximately corresponds to a tide cycle. We calculated the concentration of suspended solids (MPS) using the method of Baumgarten (1996) and the transport volume and tidal were generated from hydrodynamic model and from the Colby Equation, 1957 modified by Costa, 2014 was calculated transporting MPS. The Xingu River is a river of clear water with low hydrodynamics microtidal regime. The tide has an average change of 1.1 m asymmetrical with the ebb period greater than the flood, occurring slight reverse current. Its hydrological regime in the flow context presents significant temporal variation of seasonal character, coming to decline by around 59.3% between rainy and dry season. The transport volume values were satisfactory, the Xingu River served as exporter in all years studied in both climate period, except for the dry period to 2011, thus it is considered that this river always tends to be exporter. standards for vertical turbidity profiles were uniform throughout the water column for every year. The Xingu river did not change significantly the seasonal turbidity. The influence of the Amazon River in turbidity and MPS of the river was restricted to its mouth. Regarding the transport of MPS, the Xingu river behaved like exporter in both years studied, demonstrating the dominance of fluvial component of the tide. It has been estimated the MPS transportation to the rainy season in $5.7 \cdot 10^6$ tonnes, which will in the final discharge MPS Amazon.

Keywords: Seasonal, Suspended particulate matter. Xingu river.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo e pontos de coleta.	14
Figura 2- Bacia Hidrográfica do Xingu e sua compartimentação em Alto, médio e Baixo Xingu	15
Figura 3- Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do rio Xingu.....	18
Figura 4- Série histórica da precipitação no rio Xingu: A) Porto de Moz (Baixo Xingu); B) São Félix do Xingu (Médio Xingu); C) Diamantino (Alto Xingu). Etb: Evapotranspiração.....	20
Figura 5- Variação longitudinal da vazão e disponibilidade hídrica do rio Xingu.....	22
Figura 6- Variação da maré no período seco e chuvoso gerados por simulação hidrodinâmica nos anos de 2011, 2012 2013 e 2014.....	29
Figura 7- Precipitação média mensal do rio Xingu nos anos de 2011, 2012, 2013 e 2014.	31
Figura 8- Série histórica da vazão em Belo Monte – rio Xingu.....	32
Figura 9- Rio Xingu; variação transversal da turbidez para os anos de 2011 (A) e 2013 (B).....	33
Figura 10- Rio Xingu; variação transversal da turbidez em 2014.....	34
Figura 11- Rio Xingu; variação longitudinal da turbidez para o período seco de 2012.	35
Figura 12- Rio Xingu; Variação transversal do MPS.	37
Figura 13- Rio Xingu; Variação longitudinal do MPS para o período seco de 2013. .	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVO	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3 ÁREA DE ESTUDO	14
3.1 Caracterização da área de estudo	14
3.1.1 Alto Xingu	15
3.1.2 Médio Xingu	16
3.2 Baixo rio Xingu	16
3.2.1 Geologia	16
3.2.2 Clima	19
3.2.3 Vazão	21
4 MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1 Amostragem	23
4.2 Procedimentos laboratoriais	24
4.2.1 Quantificação do material particulado em suspensão	24
4.2.2 Cálculo de transporte de volume (vazão)	24
4.2.3 Cálculo de transporte de MPS.....	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1 Maré e transporte de volume.....	28
5.2 Perfis de turbidez	32
5.2.1 Transecto transversal	32
5.2.2 Transecto longitudinal	35
5.3 Material particulado em suspensão (mps)	36
5.4 Transporte de MPS.....	39

6 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Uma característica fundamental da geologia e biogeoquímica do nosso planeta, é o transporte através dos rios do sedimento gerado a partir do intemperismo do continente (MEDEIROS et al, 2007). Esse transporte ocorre como carga de fundo e em suspensão na coluna d'água.

O material particulado em suspensão (MPS) é um parâmetro natural aos corpos d'água, variando principalmente em função do aporte sedimentar, hidrodinâmica e fatores biológicos (NITTROUER et al, 1983). Funciona como agente transportador de metais pesados e matéria orgânica por possuir propriedade adsorssiva.

O MPS compreende partículas orgânicas, inorgânicas e minerais que estão na coluna d'água, sendo de fundamental importância para a criação e manutenção dos ambientes costeiros e ecossistemas aquáticos. Um dos seus efeitos é a atenuação da luz incidente, pelos processos de espalhamento e absorção da luz (MANTOVANELLI, 1999), essa atenuação é chamada de turbidez, sendo utilizada na estimativa do MPS nos corpos d'água.

A região Amazônica concentra grande quantidade de corpos d'água fluviais, que são a base para a dinâmica geomorfológica e econômica desta região. Nesse contexto está inserida a área de estudo que compreende o baixo Xingu próximo a sua foz, este rio apresenta uma Bacia Hidrográfica com cerca de 509.000 Km², que apesar de ser em grande parte protegida por Unidades de Conservação e terras indígenas, sofre forte pressões antrópicas ocasionadas principalmente pela monocultura de soja nas áreas de cabeceira e pela construção da hidrelétrica de Belo Monte (HBM) na chamada 'Volta Grande do Xingu', próxima à sede do município de Altamira-PA no baixo rio Xingu (SILVA, 2012).

Os estudos feitos por Holeman (1968) no rio Amazonas; Medeiros et al. (2007) no rio São Francisco demonstram que o represamento é a principal ação antrópica que causa a diminuição do fluxo de MPS. Tendo em vista, que as barragens têm grande potencial para o aprisionamento do sedimento em seu interior, além de serem utilizadas na regularização da vazão para a otimização da produção de energia, acarretando impactos como a redução da variabilidade sazonal e magnitude da vazão.

Com o maior represamento das águas do rio Xingu no período seco, para regularização da vazão na usina hidrelétrica de Belo Monte, as águas do rio Amazonas possivelmente adentraram mais ainda o rio Xingu do que o observado pelo presente estudo, alterando os níveis de MPS e hidrodinâmica, consequentemente alterando os parâmetros biogeoquímicos e geomorfológicos da região da sua foz.

Com a construção da usina hidrelétrica de Belo Monte, além da ocupação do homem seja para habitação ou uso do solo para agricultura e pecuária, o rio Xingu sofrerá expressivas mudanças em seus parâmetros hidrossedimentológicos, gerando impactos em sua estrutura física, química, geomorfológica e biológica ao longo de seu curso. Por isso, são necessários estudos contínuos desse sistema fluvial. Logo, este trabalho busca fornecer informações pertinentes de caráter hidrológico e de transporte do MPS, no intuito de fornecer conhecimentos científicos anteriores à construção da HBM, para comparação com futuras pesquisas, de modo a serem utilizadas para o melhor gerenciamento do rio Xingu, visando uma boa gestão dos recursos hídricos sob a ótica sustentável. A fim de se evitar maiores problemas, como se tem visto na maioria dos rios que sofreram barramentos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Determinar o transporte de material particulado em suspensão no período chuvoso e indentificar a variabilidade sazonal dos níveis de turbidez no baixo Xingu.

2.2 Objetivos específicos

Determinar os níveis de turbidez transversalmente e longitudinalmente ao rio.

Análise da maré.

Determinar o transporte de volume.

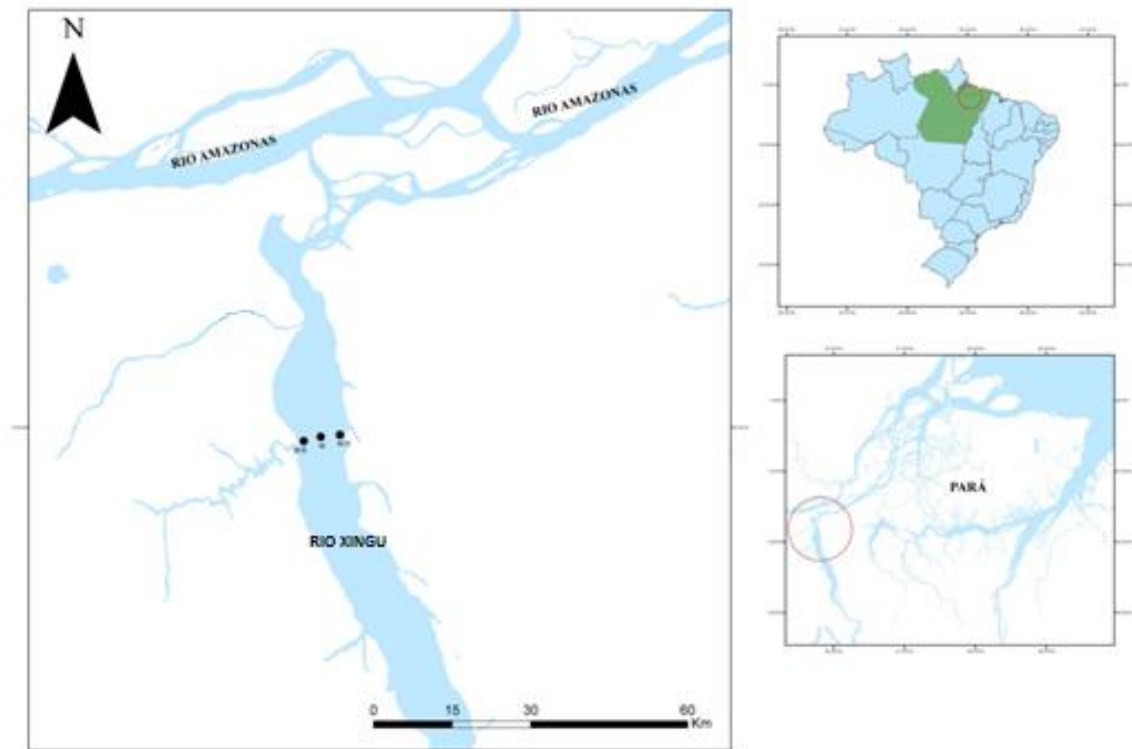
Quantificar a concentração de material particulado em suspensão transversalmente e longitudinalmente ao rio.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada no baixo rio Xingu, mais especificamente, em sua foz próximo ao rio Amazonas (Figura 1).

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo e pontos de coleta (em preto).



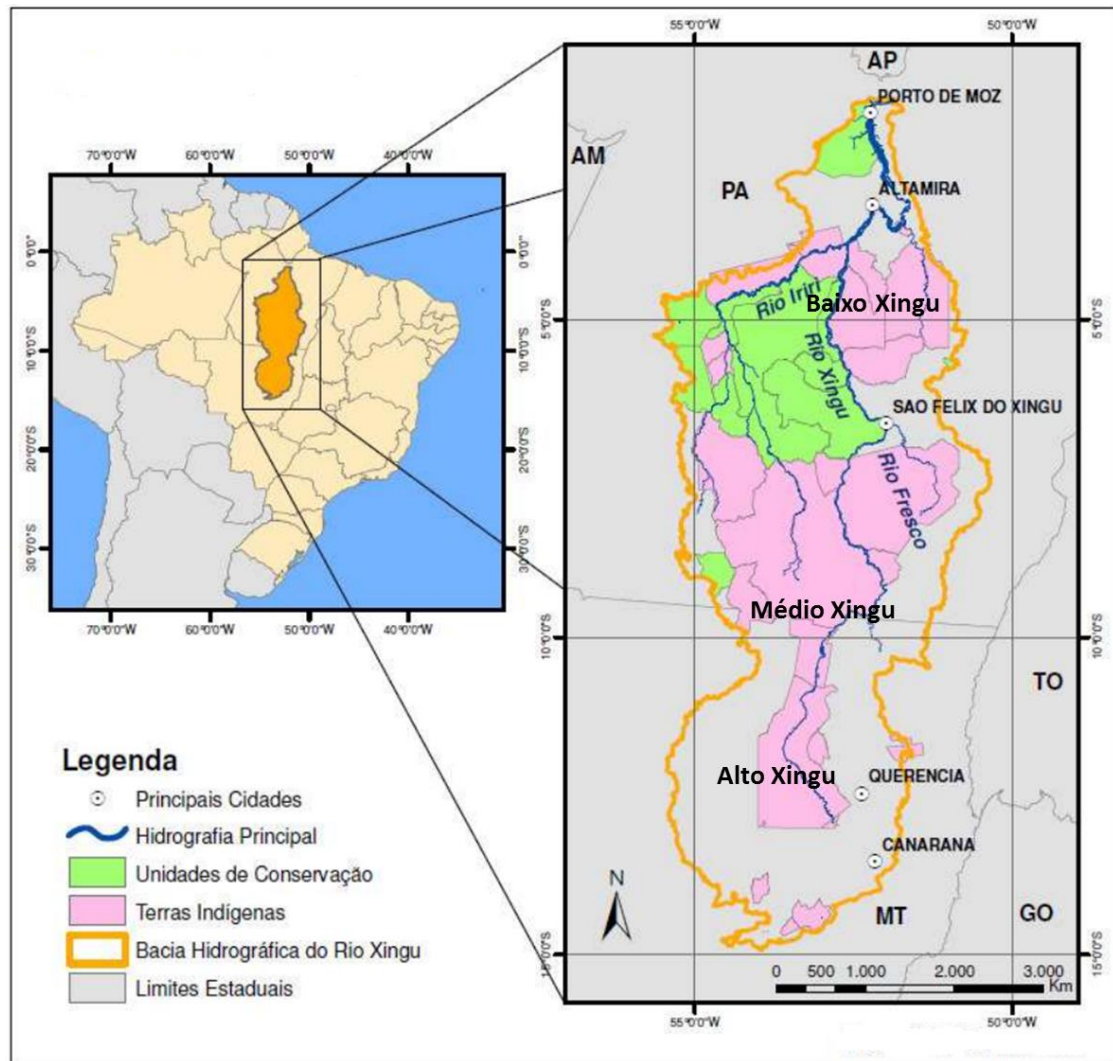
Fonte: Do autor

O rio Xingu apresenta diversas ilhas e barras arenosas ao longo de seu curso, exibindo grande quantidade de padrões fluviais de drenagem, desde canais com megalinuosidade à canais retilíneos, apresentando desnível topográfico acentuado existente entre sua porção de montante à jusante, mais evidente em sua região média (SILVA, 2012). Sua Bacia Hidrográfica é dividida em alto, médio e baixo Xingu (CONSÓRCIO NACIONAL DE ENGENHEIROS CONSULTORES-CNEC, 1988; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA, 2013).

A Bacia Hidrográfica do rio Xingu tem área total aproximada de 509.000 Km² e se desenvolve no sentido sul-norte desde a região Centro-Oeste, aproximadamente no paralelo 15°S até o paralelo 3°S, na região norte (Figura 2). Está limitada pela Bacia Hidrográfica do rio Tapajós à oeste, e a leste pela bacia dos rios Araguaia -Tocantins (ELETROBRÁS, 2009). Está inserida na bacia Amazônica,

considerada a maior bacia hidrográfica do mundo com aproximadamente $6,1 \cdot 10^6$ Km², que recebe precipitações médias anuais de 2460 mm. A descarga líquida média do rio Amazonas é estimada em 209.000 m³/s, e seus principais afluentes são os rios Solimões, Negro, Madeira, Xingu, Trombetas e Tapajós (ABDO et al, 1997).

Figura 2- Bacia Hidrográfica do Xingu e sua compartimentação em Alto, médio e Baixo Xingu.



Fonte: Silva (2012).

3.1.1 Alto Xingu

Nesse trecho inicial da bacia hidrográfica predominam formações de transição entre as savanas, que caracterizam as áreas das nascentes, e as extensas florestas ombrófilas presentes no médio e baixo curso. É nesse setor que a agropecuária, principalmente as culturas cíclicas tecnificadas, têm maior expressão, notadamente

no sul/sudoeste da bacia, próximo à BR-163, polarizada por Sinop e por Cuiabá (CNEC, 1988).

Os vetores de ocupação se expandem às áreas de nascentes e aos altos cursos dos formadores do rio Xingu. Avançam em direção as terras indígenas aí presentes, em um processo de crescente utilização dos recursos naturais principalmente a exploração da madeira, consumo de nutrientes e de água para produção de grãos e pecuária (CNEC, 1988).

3.1.2 Médio Xingu

Desenvolvendo-se em direção norte, o rio Xingu apresenta nesse trecho canal com ilhas e pedrais, que formam corredeiras e cachoeiras. As planícies fluviais são estreitas e descontínuas com canais abandonados, lagoas e alagadiços. Esse padrão ocorre na maior parte do canal principal do rio Xingu, entre a cachoeira de Von Martius e Belo Monte, incluindo a região da Volta Grande, parte do rio Iriri e do seu afluente rio Curuá.

Todo esse trecho da bacia, correspondente ao médio curso, situa-se na Depressão da Amazônia Meridional. Caracterizado pelo contínuo florestal e ocupado em grande parte por terras Indígenas e Unidades de Conservação, este amplo espaço geográfico encontra-se fragmentado na altura da cidade de São Félix do Xingu devido à ocupação antrópica, onde se destaca a pecuária extensiva. A BR-158, que se desenvolve longitudinalmente a leste da bacia hidrográfica, corresponde ao principal vetor da ocupação, polarizada por Marabá no que se refere ao escoamento bovino de maior escala (CNEC, 1988).

3.2 Baixo rio xingu

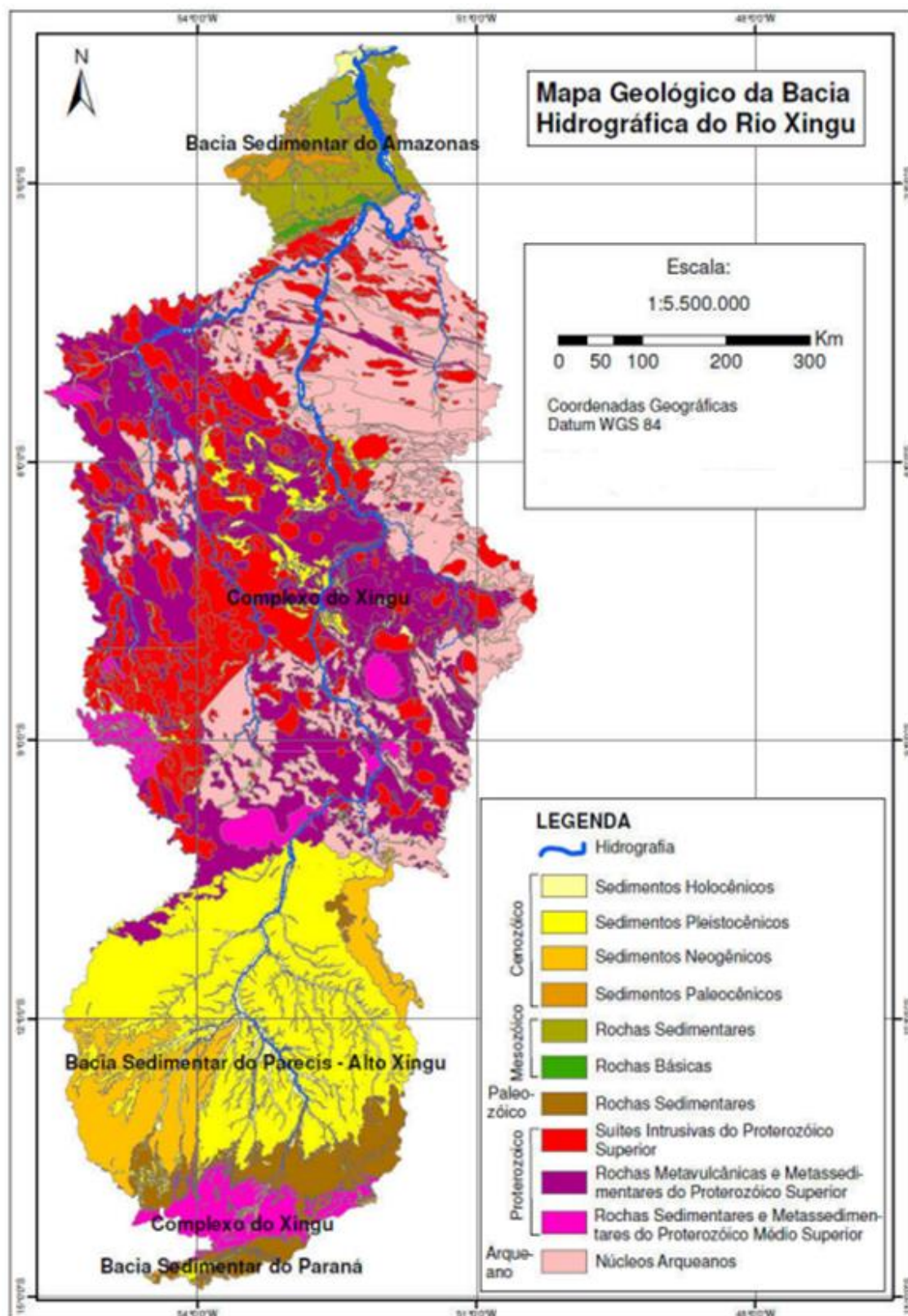
No curso inferior o rio Xingu recebe seu principal afluente, o rio Iriri e nas imediações da cidade de Altamira sofre uma acentuada deflexão formando a chamada Volta Grande, com grandes corredeiras, e desnível de 85 m em 160 km. No fim desse trecho à altura da localidade de Belo Monte, o rio se alarga consideravelmente, apresentando baixa declividade até a sua foz e sofrendo, inclusive, efeitos de remanso provocados pelo rio Amazonas (CNEC, 1988).

3.2.1 Geologia

No baixo Xingu, a geologia apresenta grande extensão de áreas do cretáceo superior, que predominam praticamente em todo o território da foz. Nessa área destacam-se algumas unidades geológicas como o complexo Xingu, formado por rochas granito-gnaíssicas e migmatíticas; Super-grupo Uatamã com seus componentes vulcânicos: Formações Iriri e Sobreiro, Velho Guilherme, de natureza intrusiva e ainda Formações Gorotire e Triunfo, de natureza sedimentares. A área de estudo situa-se na Bacia Sedimentar do Amazonas, formada por rochas de granulometria silte-arenosa depositadas no holoceno (CPRM, 2004), (Figura 3). A geologia apresenta grande influência sobre a disponibilidade hídrica em uma bacia, pois afeta o escoamento superficial, a infiltração da água no subsolo e seu comportamento em subsuperfície. Além disso, o substrato geológico influencia os tipos de solos, já que os diferentes tipos de rochas têm diferentes comportamentos com relação ao intemperismo, às formas de relevo, ao padrão da drenagem e ao potencial de recursos minerais (ANA, 2013).

Sioli (1968) relacionou a cor da água às condições das áreas de drenagem dos rios amazônicos, estabelecendo três tipos de águas para a Amazônia: águas brancas, águas claras e águas pretas. Os rios de águas claras carregam pouco material em suspensão e têm aparência cristalina. Estes rios têm suas nascentes nos sedimentos terciários da Bacia Amazônica ou no escudo do Brasil Central. O rio Xingu e Tapajós são caracterizados como rios de águas claras (ANA, 2013).

Figura 3- Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do rio Xingu.



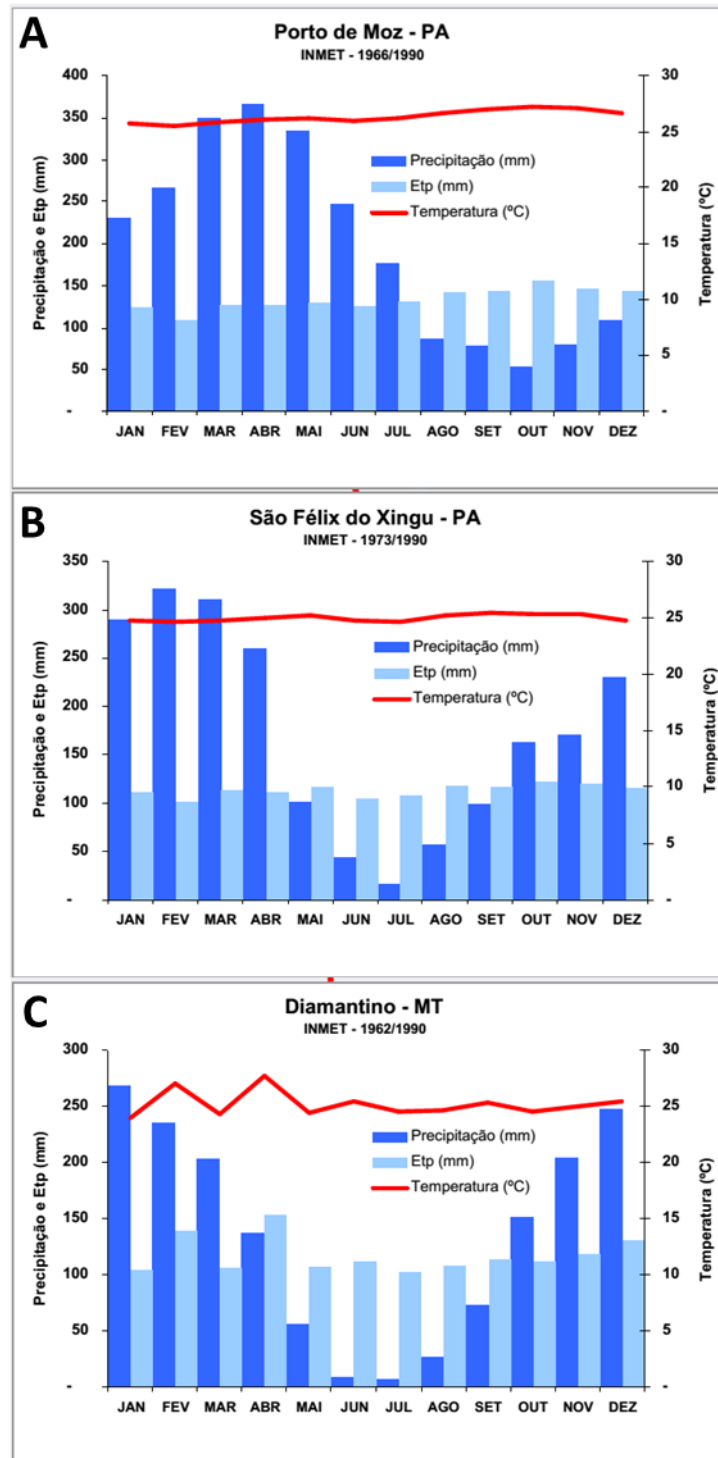
Fonte: Silva (2012).

3.2.2 Clima

Para a área de estudo, a variabilidade temporal das precipitações da região é determinada predominantemente pela dinâmica da zona de convergência intertropical (ZCIT), que avança sobre o Hemisfério Sul no verão e provoca aumento das precipitações na região Norte do Brasil. Ao recuo da ZCIT, no inverno austral, ocorre a diminuição das precipitações, sentida com maior intensidade nas porções mais ao sul da região (nascentes do rio Xingu) (ANA, 2013; FRANCO et al, 2015). Assim, observa-se na figura 4, 5 e 6 um caráter sazonal nas precipitações, de modo que há uma estação seca e chuvosa bem definida, com os menores valores ocorrendo de julho a novembro, enquanto os maiores valores de janeiro a maio, para o Baixo Xingu. Para o Médio Xingu os meses com menores precipitações ocorrem de maio a outubro e os meses com os maiores valores de dezembro a abril. Para o Alto Xingu os meses com menores precipitações ocorrem de maio a setembro e os meses com os maiores valores de novembro a maio.

Para o Porto de Moz a precipitação média do mês mais seco é de 55 mm e do mês mais chuvoso é de 365 mm (Figura 4). Para São Félix do Xingu a precipitação média no mês mais seco é de 20 mm e o mês mais chuvoso 325 mm (Figura 5). Já para Diamantino a precipitação média do mês mais seco foi de 10 mm e para o mês mais chuvoso 270 mm (Figura 6). A medida que se avança para a montante do rio Xingu a estação seca diminui sua média de precipitação. As temperaturas observadas são típicas de clima tropical, nessa região sempre esteve acima dos 25°C. A amplitude é pequena em termos de médias mensais, a diferença entre o mês mais frio e o mês mais quente para São Feliz do Xingu - PA foi de apenas 0,8°C e para Diamantino – MT foi de 3,7°C (ANA, 2013).

Figura 4- Série histórica da precipitação no rio Xingu: A) Porto de Moz (Baixo Xingu); B) São Félix do Xingu (Médio Xingu); C) Diamantino (Alto Xingu). Etp: Evapotranspiração.



Fonte: ANA (2013).

Segundo a classificação proposta por Koppen e atualizada por Kottek et al (2006), considerando dados de temperatura e precipitação de 1951 a 2000, a área das bacia do rio Xingu é abrangida integralmente pelo tipo climático A – tropical,

megatérmico úmido ou subúmido. A classificação de Koeppen considera a subdivisão do tipo climático “A” em quatro subtipos, sendo que dois deles estão presentes na região da bacia hidrográfica do Xingu. Os tipos climáticos presentes são o Am: monônico, com curta estação seca, abrangendo os trechos médios e baixos do rio Tapajós e Xingu e o Aw: tropical de savana, com inverno seco, que inclui o alto Tapajós e alto Xingu.

3.2.3 Vazão

Segundo ANA, 2013 a bacia do rio Xingu tem uma vazão média de longo termo (Q_{MLT})¹ de 8.548 m³/s e disponibilidade hídrica (Q_{95})² de 1.184 m³/s (figura 5). A tabela 1 reúne as vazões Q_{MLT} e Q_{95} desta bacia em vários pontos do rio. A Figura 5 relaciona a vazão com a distância da foz, demonstrando ainda a variação altimétrica deste rio, fator que proporciona ao rio Xingu capacidade de aproveitamento hidrelétrico. A medida que se aproxima da foz aumenta a vazão e disponibilidade hídrica, o inverso ocorre com a altitude. Nesta figura, mostra-se a grande contribuição do rio Fresco e do rio Iriri, que complementam a vazão do rio Xingu.

Tabela 1- Q_{MLT} = vazão média de longo termo; Q_{95} = vazão com permanência de 95%.

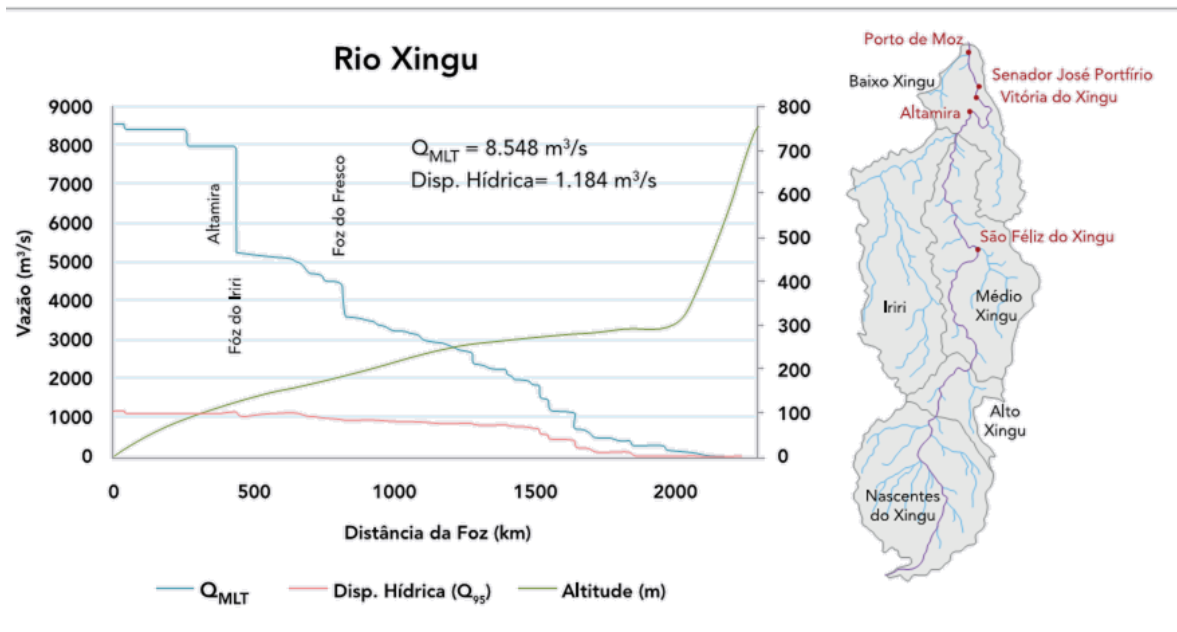
UPH	Área (km ²)	Q_{MLT} (m ³ /s)	Disponibilidade hídrica (Q_{95}) (m ³ /s)
Nascentes do Xingu	138.554	1.952	787
Alto Xingu	33.118	2.664	861
Médio Xingu	130.865	5.236	1.079
Iriri	142.079	2.704	71
Baixo Xingu	65.070	8.548	1.184
Total	509.685	8.548	1.184

Fonte: ANA (2013).

¹ Vazão média de longo termo – Q_{MLT} (m³/s) – definida pela média aritmética das vazões diárias de todo o período da série disponível.

² Disponibilidade hídrica (vazão de estiagem) Q_{95} (m³/s) – vazão que é igualada ou excedida em 95% do tempo (obtida com base na série disponível de vazões diárias).

Figura 5- Variação longitudinal da vazão e disponibilidade hídrica do rio Xingu



Fonte: ANA (2013).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Amostragem

Os dados deste trabalho foram obtidos a partir do projeto *Amazon* e cedidos pelo Laboratório de Oceanografia Física (LOF). A aquisição das amostras foi efetuada em quatro campanhas, com duas referentes ao período seco dos anos de 2011 e 2012 e duas referentes ao período chuvoso de 2013 e 2014, realizadas em maré de quadratura, com exceção de 2012 que foi em maré de sizígia (Tabela 2). Foram feitos transectos transversais ao rio a cada uma hora para coleta dos dados de turbidez, na margem esquerda (ME), Centro (C) e margem direita (MD) (Figura 1), nos anos de 2011, 2013 e 2014, além de um transecto longitudinal no ano de 2012.

Foram feitos perfis verticais com o auxílio de um sensor OBS (Optical Backscatter Sensor), da marca Infinity-Turbi ATU75W-USB programado com frequência de medição de um registro por segundo, durante um período de ± 13 horas que corresponde aproximadamente a um ciclo de maré. Este sensor fornece dados de turbidez em duas unidades, o PPM mais apropriados para altas concentrações de MPS, e o FTU (Formazine Turbidity Unit), mais apropriados para baixas concentrações de MPS, sendo esta última utilizada neste trabalho por ser mais adequada para o estudo em questão. A largura entre as margens é de aproximadamente 9 km, por isso optou-se por coletas nas margens e centro do rio. O transecto longitudinal foi realizado para verificar a entrada da pluma do Amazonas no rio Xingu.

A aquisição das amostras de água foi realizada simultaneamente à coleta da turbidez, com uma garrafa tipo Van Dorn na subsuperfície e próximo ao fundo. Entretanto, as amostras de água utilizadas correspondem apenas ao período chuvoso (2013 e 2014), por não haver fornecimento de amostras de outros anos.

Tabela 2- Período das campanhas realizadas no rio Xingu.

RIO XINGU	
SECO	CHUVOSO
25/08/2011	17/06/2013
03/11/2012	23/03/2014

Fonte: Do autor.

4.2 Procedimentos laboratoriais

4.2.1 Quantificação do material particulado em suspensão

Para a quantificação do material particulado em suspensão usou-se a metodologia de Baumgarten (1996), a qual baseia-se em uma técnica gravimétrica por volatilização, que consiste em filtrar um volume conhecido da amostra para retenção do material particulado em suspensão total.

Inicialmente, pesou-se o filtro para determinação do seu peso sem material filtrado (P1), seguida pela utilização deste para filtração de 250 mL das amostras com o auxílio de uma bomba a vácuo acoplada ao sistema de filtração. O filtro após a sua utilização é devidamente condicionado na estufa com uma temperatura de 50°C por duas horas, ficando o mesmo período no dessecador para retirada da umidade, a fim de o valor obtido corresponder à massa seca do material total em suspensão adicionada à massa do filtro, depois da retirada da umidade o filtro é novamente pesado (P2).

A diferença entre as massas dos filtros antes sem material filtrado (P1) e após a filtração e retirada da umidade (P2) dividido pelo volume filtrado, proporciona os valores para o material particulado em suspensão total, que serão apresentados em miligramas por litro. Foram utilizados filtros de fibra de vidro que foram armazenados em envelopes de papel alumínio. O cálculo do MPS total é demonstrado na equação abaixo:

$$MPS = \frac{(P2 - P1) * 10^6}{250}$$

Onde:

P1 = peso do filtro (g);

P2 = peso do filtro com material particulado retido (g);

250 = volume da amostra filtrada (ml);

10^6 = fator de conversão em mg;

4.2.2 Cálculo de transporte de volume (vazão)

Os dados de transporte de volume bem como os de maré, foram fornecidos pelo Laboratório de Geofísica Marinha (Geofmar). Estes dados foram gerados a

partir de um modelo apresentado por Borba (2014), que utilizou o pacote de simulação hidrodinâmica D-Flow FM (Delft3D) com o domínio abrangendo os pontos de coleta. Os dados gerados foram dos anos de 2011, 2012, 2013 (período seco e chuvoso) e 2014 apenas período chuvoso, todos com frequência de medição de um registro a cada dez minutos. Optou-se que o sinal de (+) indica-se transporte em direção a jusante (exportação) e o sinal (-) indica-se transporte em direção a montante (importação).

Tabela 3- Amostra de dados de transporte de volume gerados a partir do modelo hidrodinâmico utilizados no transporte de MPS.

2013			2014		
Data	Hora	Vazão (m³/s)	Data	Hora	Vazão (m³/s)
17/06/2013	00:10:00	23003,7	23/03/2014	00:10:00	47267
17/06/2013	01:00:00	29059,5	23/03/2014	01:00:00	46179,3
17/06/2013	02:00:00	28827,3	23/03/2014	02:00:00	44334,7
17/06/2013	03:00:00	27086,8	23/03/2014	03:00:00	37934,9
17/06/2013	04:00:00	23695,2	23/03/2014	04:00:00	20721
17/06/2013	05:00:00	16321,4	23/03/2014	05:00:00	-5100,55
17/06/2013	06:00:00	2560,53	23/03/2014	06:00:00	-22296,4
17/06/2013	07:00:00	-14106,4	23/03/2014	07:00:00	-22722,6
17/06/2013	08:00:00	-22814,2	23/03/2014	08:00:00	-11736,6
17/06/2013	09:00:00	-18478,5	23/03/2014	09:00:00	1470,57
17/06/2013	10:00:00	-9014,45	23/03/2014	10:00:00	20075,7
17/06/2013	11:00:00	1887,69	23/03/2014	11:00:00	39302,8
17/06/2013	12:00:00	16057,3	23/03/2014	12:00:00	46690,1
17/06/2013	13:00:00	27278,1	23/03/2014	13:00:00	46276
17/06/2013	14:00:00	29549	23/03/2014	14:00:00	44976,7
17/06/2013	15:00:00	27939	23/03/2014	15:00:00	42163,6
17/06/2013	16:00:00	25870,1	23/03/2014	16:00:00	36369,2
17/06/2013	17:00:00	21159,8	23/03/2014	17:00:00	22817,1
17/06/2013	18:00:00	11176,4	23/03/2014	18:00:00	3194,04
17/06/2013	19:00:00	-6527,89	23/03/2014	19:00:00	-10171,3
17/06/2013	20:00:00	-22245,7	23/03/2014	20:00:00	-9356,45
17/06/2013	21:00:00	-25934,8	23/03/2014	21:00:00	-146,698
17/06/2013	22:00:00	-18169,9	23/03/2014	22:00:00	10425,5
17/06/2013	23:00:00	-8205,67	23/03/2014	23:00:00	25184,6

Fonte: Do autor.

4.2.3 Cálculo de transporte de MPS

O transporte de material particulado em suspensão pode ser calculado pela equação de Colby (1957), demonstrada abaixo:

$$Q_{ss} = 0,0864 * Q * C_{ss}$$

Onde:

0,0864 = fator de conversão para tonelada por dia;

Q = transporte de volume - vazão (m³/s);

C_{ss} = concentração de MPS (mg/L);

Para obtenção do transporte de material particulado em suspensão usou-se a equação de Colby modificada por Costa (2014), que inclui a ação da maré, visto que a equação original pressupõe um movimento unidirecional, considerando que o sedimento se movimenta com a velocidade da corrente em toda a seção transversal, se igualando ao produto do transporte de volume pela concentração de MPS. Dessa maneira, foi incluído o tempo de ação da maré enchente e/ou vazante, discriminada na seguinte equação:

$$Q_{ss} = \frac{t * Q * C_{ss}}{10^6}$$

10⁶ = fator de conversão de miligramas para toneladas;

t = tempo de medição em segundos do transecto;

Q_{ss} = transporte de sedimento em suspensão por seção;

Q = Transporte de volume - vazão (m³/s);

C_{ss} = média da concentração do MPS por seção (mg/L).

Posteriormente ao cálculo de transporte de MPS na enchente e vazante, calculou-se o transporte resultante para um ciclo de maré, converteu-se a unidade do transporte de sedimento para toneladas por ciclo de maré (T/CM) através da seguinte equação:

$$RQ_{ss} = -\sum Q_{ss}(e) + \sum Q_{ss}(v)$$

Q_{ss} (e) = transporte de MPS na enchente;

Q_{ss} (v) = transporte de MPS na vazante;

RQ_{ss} = Transporte resultante

O transporte resultante é a diferença entre o transporte de enchente e de vazante em um ciclo de maré, fornecido em toneladas (T/CM). O sinal de (+) indica exportação (direção a jusante) e o sinal (-) indica importação (direção a montante).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Maré e transporte de volume

A curva de maré do rio Xingu no período chuvoso de 2011 oscilou de 1,6 a 2,4 m, apresentando altura de 0,8 m. No período seco do ano supracitado, a maré oscilou de 1,2 a 2,6 m exibindo altura de 1,4 m (Figura 6).

Para o ano de 2012 no período chuvoso a curva de maré oscilou de 1,5 a 2,3 m, apresentando altura de 0,8 m. Já para o período seco, a variação da maré foi de 1,1 a 2,5 m, exibindo altura de 1,4 m (Figura 6).

No período chuvoso de 2013 a curva de maré oscilou de 1,8 a 2,9 m, apresentando altura de 1,1 m. No período seco do mesmo ano, a curva de maré oscilou de 0,8 a 1,8 m, exibindo altura de 1 m (Figura 6).

A curva de maré no período chuvoso de 2014 oscilou de 1,8 a 3 m, exibindo altura de 1,2 m (Figura 6).

No período chuvoso de 2011 o transporte de volume médio foi de $22,5 \cdot 10^3$ m³/s. O volume transportado na vazante em direção a jusante foi de $30 \cdot 10^5$ m³, na enchente em direção à montante o volume transportado foi de $3,9 \cdot 10^5$ m³. Para o mesmo ano no período seco, o transporte de volume médio foi de $8,0 \cdot 10^3$ m³/s. O volume transportado na vazante foi de $2,7 \cdot 10^5$ m³ para jusante, na enchente em direção à montante o volume foi de $2,8 \cdot 10^5$ m³ (Tabela 4).

No período chuvoso de 2012 o transporte de volume médio foi de $21,7 \cdot 10^3$ m³/s. O volume transportado na vazante em direção a jusante foi de $29,8 \cdot 10^5$ m³, na enchente em direção a montante o volume foi de $1,5 \cdot 10^5$ m³. No período seco do mesmo ano, o transporte de volume médio foi de $12 \cdot 10^3$ m³/s. O volume transportado na vazante para jusante foi de $27,2 \cdot 10^5$ m³, já na enchente em direção à montante foi de $26,5 \cdot 10^5$ m³ (Tabela 4).

Para o período chuvoso de 2013 o transporte de volume médio foi de $23,1 \cdot 10^3$. O volume transportado na vazante para jusante foi de $34,1 \cdot 10^5$ m³, na enchente em direção a montante o volume foi de $8,9 \cdot 10^5$ m³. O período seco do mesmo ano, apresentou transporte de volume médio de $7,2 \cdot 10^3$ m³/s. O volume transportado na vazante para jusante foi de $18,6 \cdot 10^5$ m³, na enchente em direção à montante o volume foi de $16,3 \cdot 10^5$ m³ (Tabela 4).

Para o período chuvoso de 2014 o transporte de volume médio foi de $27 \cdot 10^3$ m³/s. O volume transportado na vazante para jusante foi de $35,3 \cdot 10^5$ m³, já na enchente para montante o volume transportado foi de $10,6 \cdot 10^5$ m³ (Tabela 4).

Figura 6- Variação da maré no período seco e chuvoso gerados por simulação hidrodinâmica nos anos de 2011, 2012, 2013 e 2014.

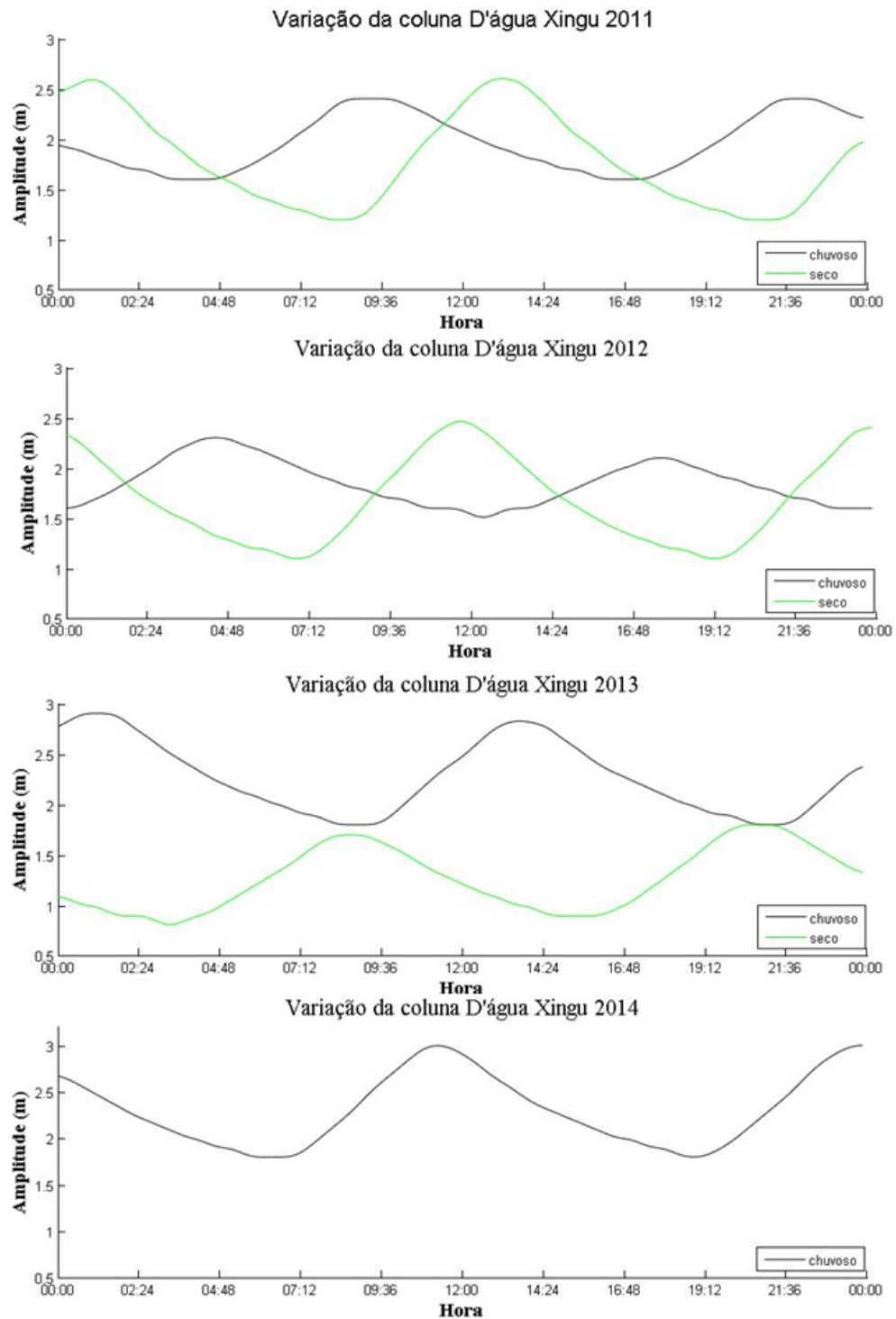


Tabela 4- Exportação e importação do transporte de volume no período seco e chuvoso para os anos de 2011, 2012, 2013 e 2014.

	Média (m ³ /s)	Exportação (m ³)	Importação (m ³)
2011 (chuvoso)	22,5*10 ³	30*10 ⁵	3,9*10 ⁵
2011 (seco)	8,0*10 ³	2,7*10 ⁵	2,8*10 ⁵
2012 (chuvoso)	21,7*10 ³	29,8*10 ⁵	1,5*10 ⁵
2012 (seco)	12*10 ³	27,2*10 ⁵	26,5*10 ⁵
2013 (chuvoso)	23,1*10 ³	34,1*10 ⁵	8,9*10 ⁵
2013 (seco)	7,2*10 ³	18,6*10 ⁵	16,3*10 ⁵
2014 (chuvoso)	27*10 ³	35,3*10 ⁵	10,6*10 ⁵

Fonte: Do autor.

O transporte de volume em conjunto com a maré oferece o diagnóstico da capacidade e competência do rio em transportar MPS (COSTA, 2014). O rio Xingu apresenta micromaré assimétrica com um período aproximado de vazante de 8 horas e enchente de 5 horas. Há oscilação da maré, porém ocorre assimetria de corrente de 10 horas com o fluxo de água em direção a jusante de 3 horas com o fluxo em direção à montante, a inversão de corrente é restrita a poucas horas (± 3 horas), sendo vencida pelo fluxo fluvial que predomina nesse local, apresentando sempre um transporte resultante positivo.

A altura de maré é ligeiramente maior no período seco, bem como a assimetria de vazante no período chuvoso. A diferença entre o volume transportado na vazante e enchente durante o período seco entre os quatro anos estudados foi de $-10 \times 10^3 \text{ m}^3$ em 2011, $70 \times 10^3 \text{ m}^3$ em 2012 e de $230 \times 10^3 \text{ m}^3$ em 2013. No período chuvoso a diferença entre os volumes importado e exportado foi de $270 \times 10^3 \text{ m}^3$ em 2011, $2830 \times 10^3 \text{ m}^3$ em 2012, $2520 \times 10^3 \text{ m}^3$ em 2013 e $2470 \times 10^3 \text{ m}^3$ em 2014. Logo, o rio Xingu atuou como exportador em todos os anos estudados no período seco e chuvoso, com exceção do período seco de 2011 que comportou-se como importador.

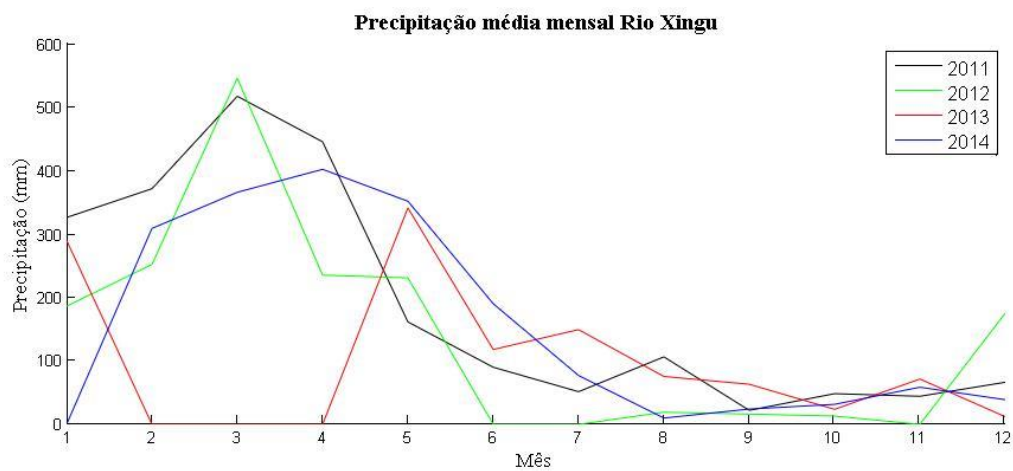
Os valores de transporte de volume foram satisfatórios, a vazão média estimada para o rio Xingu a partir dos dados modelados foi de $8485 \text{ m}^3/\text{s}$.

Filizola e Guyot (2009) estimaram a vazão média do rio Xingu na localidade de Altamira em 8720 m³/s que corroboram com os levantamentos hidrológicos feito pela ANA (2013) de 8548 m³/s e com o presente trabalho.

Os rios amazônicos apresentam variação sazonal da vazão, com picos máximos entre fevereiro, março e abril e mínimos em setembro, outubro e novembro (COSTA, 2016; FILIZOLA et al, 2011.; MORTATTI et al., 1994). Para o rio Xingu o pico da vazão ocorre no mês de março, que corresponde ao pico de cheia deste rio e o valor mínimo é encontrado em setembro, correspondente ao pico de estiagem (Figura 8). Isso ocorre devido a vazão está fortemente ligada a precipitação e o rio estudado é marcado pela forte sazonalidade na quantidade de chuva entre o período seco e chuvoso, além de possuir relevante variação interanual (Figura 7).

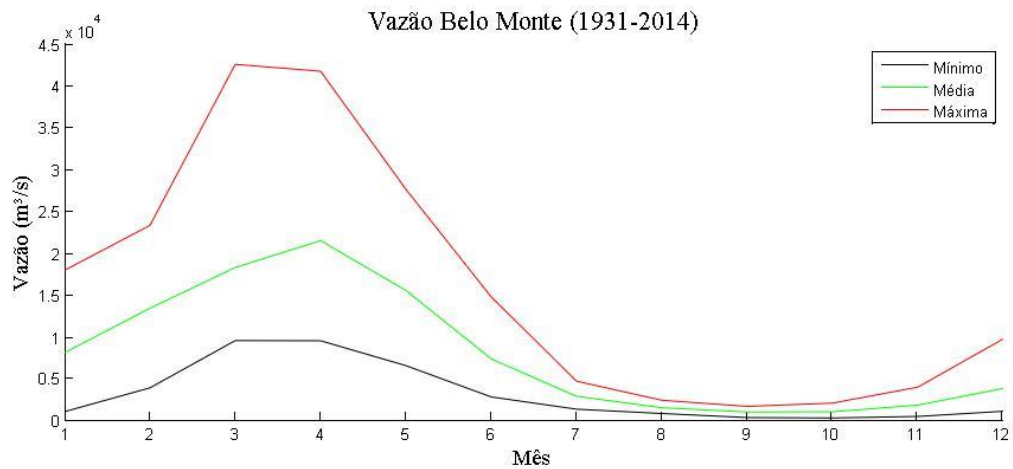
Segundo Filizola e Guyot (2011) há uma irregularidade moderada na vazão do rio Xingu, ocasionada pela variação sazonal da precipitação em sua bacia (Figura 7). Está mudança na quantidade de chuva pode diminuir em até 59,3% a vazão do rio Xingu durante o período seco, evidenciado pela Figura 8.

Figura 7- Precipitação média mensal do rio Xingu nos anos de 2011, 2012, 2013 e 2014. Os meses de junho e julho de 2012, fevereiro, março e abril de 2013 não possui valores registrados.



Fonte: ANA (2015)

Figura 8- Série histórica da vazão em Belo Monte – rio Xingu.



Fonte: ANA (2015)

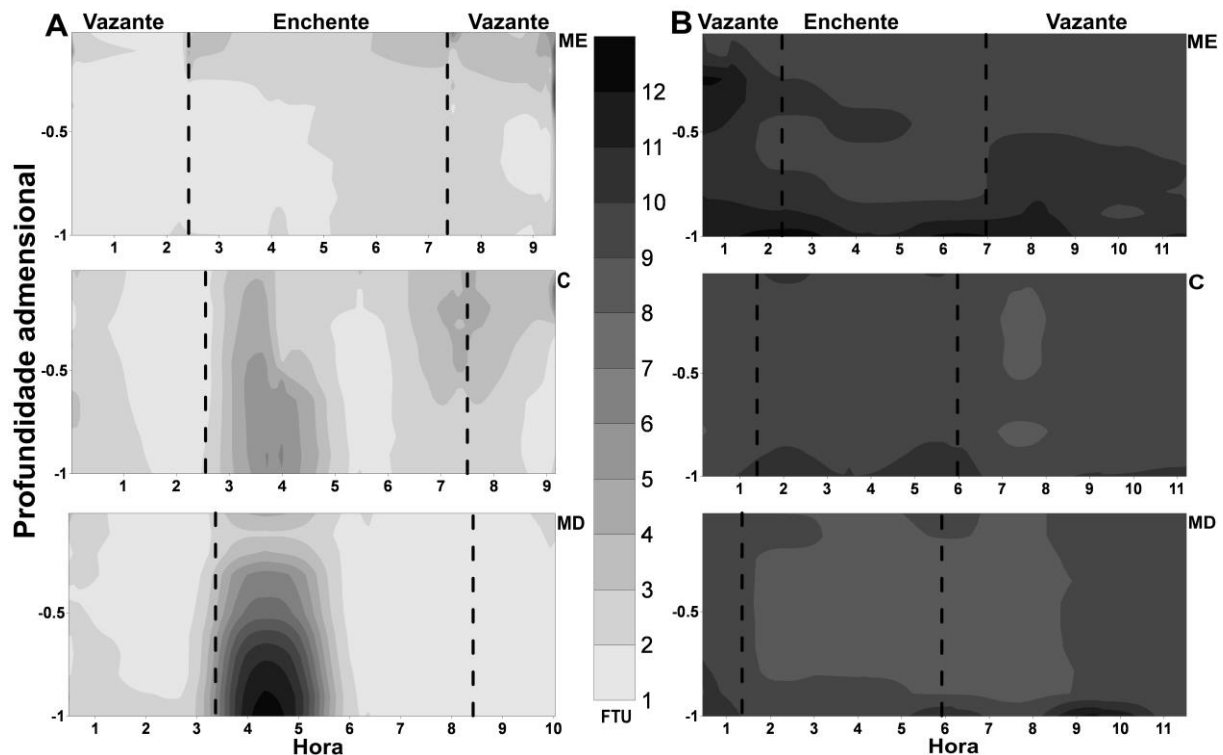
5.2 Perfis de turbidez

5.2.1 Transecto transversal

Para o período seco de 2011 o valor médio geral foi de 3 FTU (desvio padrão 2,6), variando de 1 a 12,4 FTU, com o máximo encontrado na MD e o mínimo se repetindo nos três pontos de amostragem. Na ME a média foi de 2,2 FTU (desvio padrão 1,8) e a máxima de 11,5 FTU. No C a média foi de 2,7 FTU (desvio padrão 1,86) e a máxima de 8,4 FTU. Na MD a média foi de 2,9 FTU (desvio padrão 3,4) é o máximo de 12,4 FTU (Figura 9A). Não foi observada relevante variação na turbidez em função da maré, tão pouco entre as margens e centro, para este período.

Para o período chuvoso em 2013 (Figura 9B), a média geral do perfil latitudinal foi de 10,2 FTU (desvio padrão 0,75), os níveis de turbidez oscilaram de 8,6 a 12,4 FTU com o menor valor encontrado na MD e o maior na ME. A média para a ME foi de 10,1 FTU (desvio padrão 0,85), apresentando o menor valor de 9,2 FTU. No C a média foi de 9,6 FTU (desvio padrão 0,4) e a turbidez máxima de 10,6 FTU e a mínima foi de 8,8 FTU. Na MD a média foi de 9,2 FTU (desvio padrão 0,6) e máxima 12,3 FTU e a menor 8,7 FTU. Não houve relevante variação na turbidez entre as margens e centro e em função da maré, tão pouco entre as margens e centro, para este período.

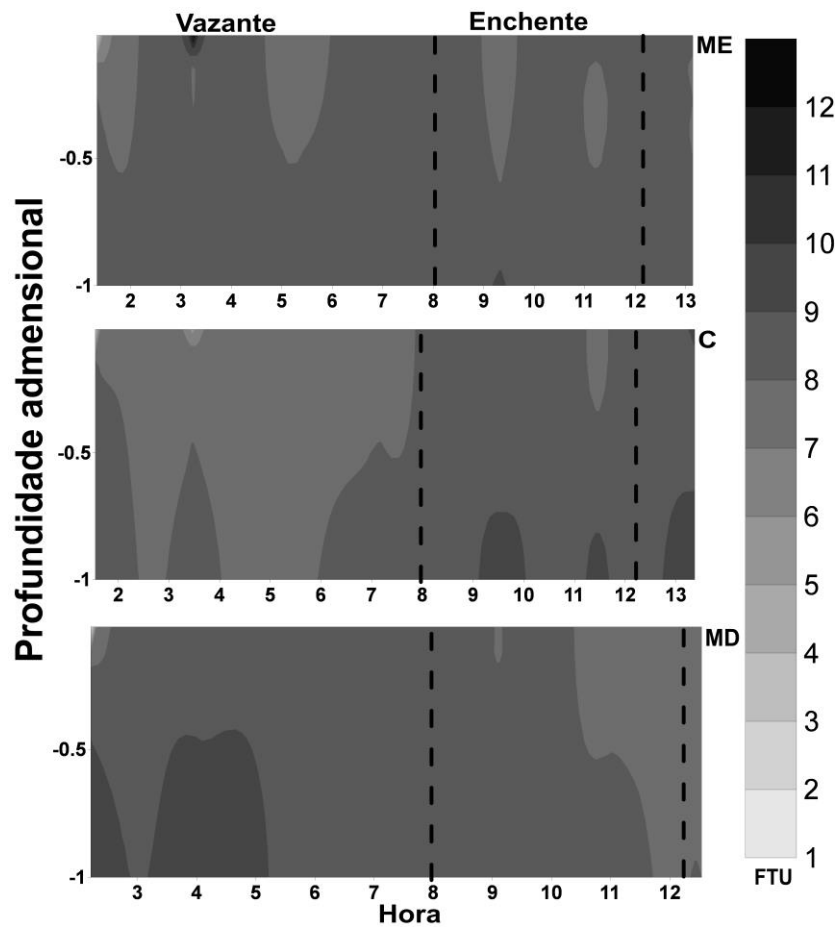
Figura 9- Rio Xingu; variação transversal da turbidez para os anos de 2011 (A) e 2013 (B).



Fonte: Do autor.

Para o período chuvoso, 2014 (Figura 10), o valor médio foi de 8,1 FTU (desvio padrão 1,1) e variou de 2,1 a 12,2 FTU. Na ME o valor máximo foi de 12,2 FTU e o mínimo 3 FTU e a média foi de 8,2 FTU (desvio padrão 1,1). No C a turbidez máxima foi de 10,1 FTU e mínima de 3,7 FTU, e a média para esse local foi de 8,2 FTU (desvio padrão 1,3). Na MD a maior turbidez foi de 10 FTU e a mínima 2,1 FTU, e a média foi de 8,3 FTU (desvio padrão 0,9). Não foi observado relevante variação da turbidez em função da maré, tão pouco entre as margens e centro, para este período.

Figura 10- Rio Xingu; variação transversal da turbidez em 2014.



Fonte: Do autor.

No período de seco de 2011 não houve significativa variação espaço-temporal da turbidez. Na margem direita do rio observa-se isolinhas de turbidez convexas que demonstram o processo de ressuspensão do sedimento de fundo, que gera uma fraca estratificação na coluna d'água, este fenômeno provavelmente está associado a turbulência causada pelas correntes de maré enchente que se contrapõe ao fluxo do rio, evidenciando a pequena variação ao longo da coluna d'água.

Para o período chuvoso de 2013 a turbidez manteve o padrão homogêneo observado no ano de 2011, com variação de 3 FTU em relação fundo/superfície. Entretanto, houve um aumento aproximado de 70% na concentração de MPS nesse período em relação a 2011. Não houve variação temporal significativa da turbidez, demonstrando a incompetência do rio em ressuspender o sedimento de fundo.

Para todos os anos o rio Xingu apresentou camada de superfície homogênea com baixos valores de turbidez, não ultrapassando 15 FTU.

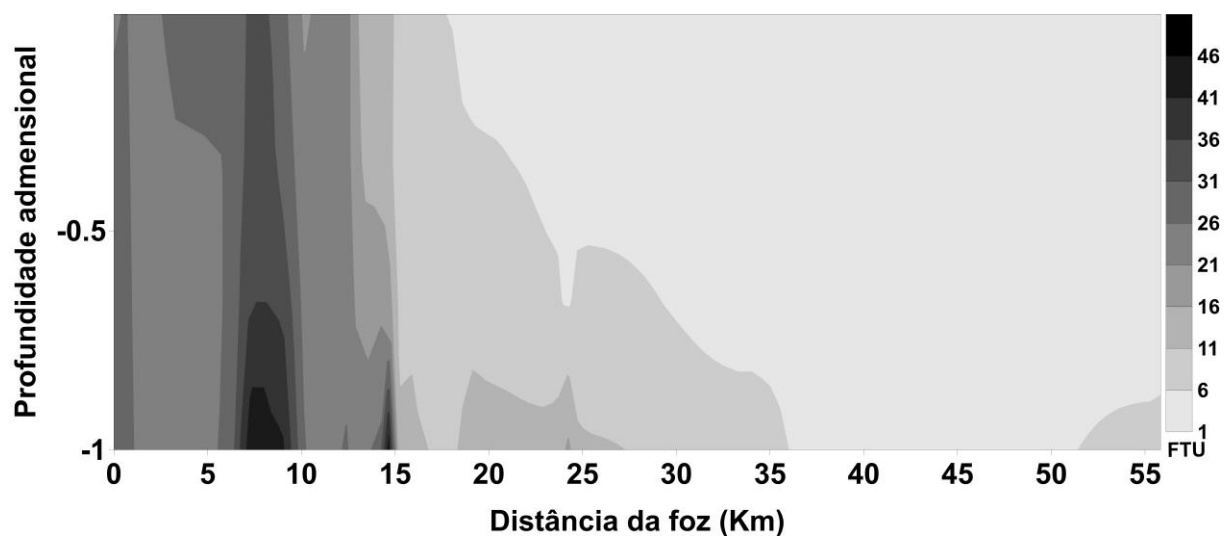
O rio Xingu não apresentou variação significativa da turbidez sazonalmente, apesar de haver aumento no período chuvoso, este não ultrapassou variação média de 8 FTU. Porém, em termos percentuais houve um aumento de 240% do ano de 2011 para o de 2013, já de 2013 para 2014 houve uma redução de 20,5% na turbidez.

O rio Xingu apresenta águas com baixo níveis de turbidez, correspondente ao encontrado por Costa (2014) no rio Tocantins (28 FTU), e Costa (2016) na Baía de Melgaço (30 FTU).

5.2.2 Trasecto Longitudinal

Para o período seco de 2012 (Figura 11), o valor médio da turbidez para o transecto longitudinal foi de 13,7 FTU (desvio padrão 11,4). O máximo encontrado foi de 45 FTU e o mínimo observado para este ano foi de 1,5 FTU. Neste período a turbidez foi relacionada a distância da foz, que está ligada a margem direita do rio Amazonas (km 0). Esta perfil foi iniciado na desembocadura do rio Xingu em direção à montante no período de vazante e terminou nos ponto de coleta transversais na vazante seguinte.

Figura 11- Rio Xingu; variação longitudinal da turbidez para o período seco de 2012.



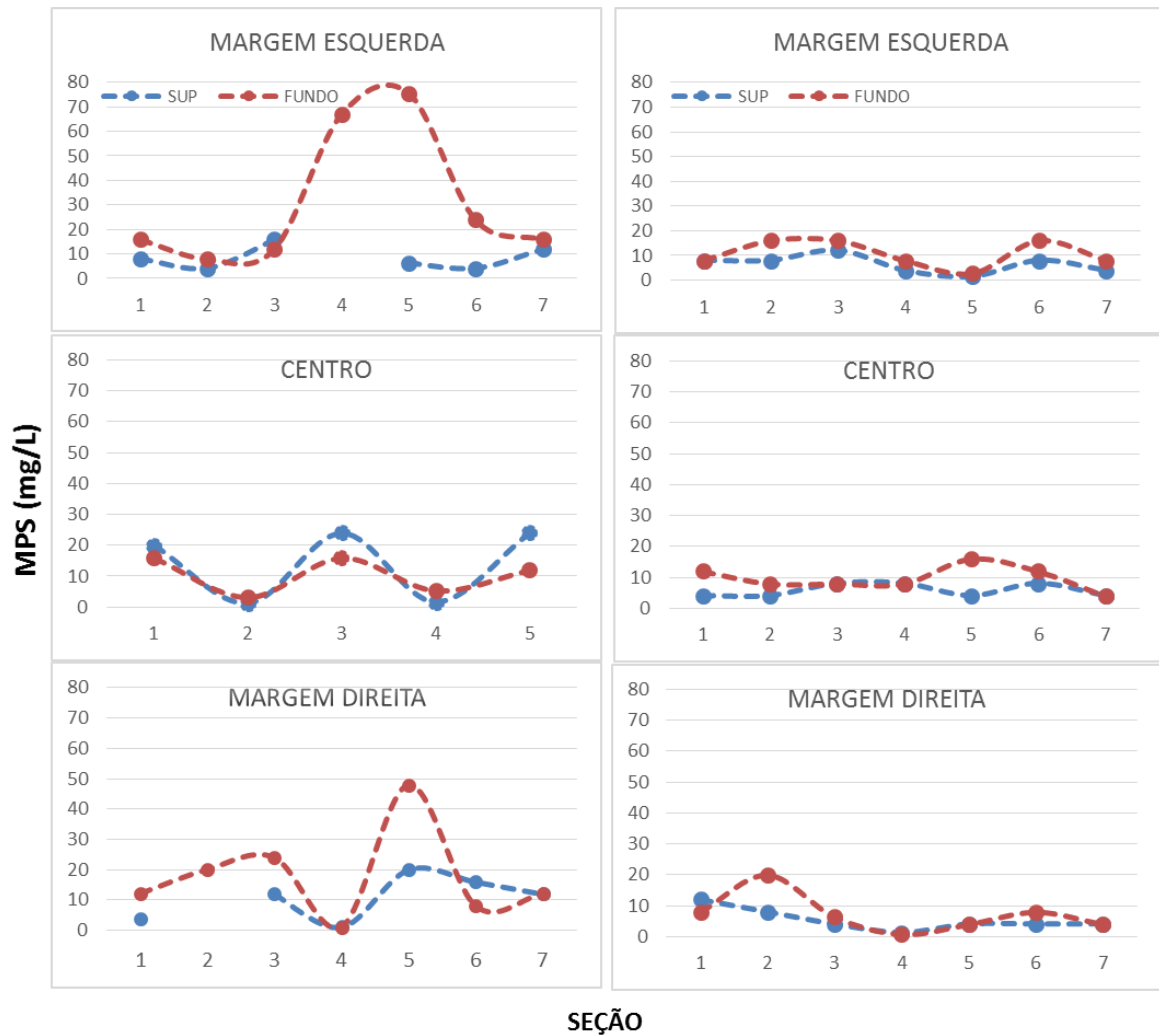
Nota-se a diminuição progressiva da turbidez ao se distanciar da foz. O que corrobora com a hipótese de que as águas do rio Amazonas adentram o rio Xingu, porém ficam restritas a foz. Do km 7 ao 9 ocorreu o ponto de máxima turbidez, que ocorre devido provavelmente maior influência do rio Amazonas nesse trecho, nota-se um caráter mais estratificado da turbidez. Observa-se até o km 15 águas com níveis de turbidez acima de 20 FTU, a partir desta distância as águas do rio Xingu tornam-se homogêneas, com uma turbidez média de 4,9 FTU. Os pontos de coleta transversais estão localizados no km 55, zona que não foi influenciada pela pluma do rio Amazonas nesse período.

5.3 Material particulado em suspensão (MPS)

No período chuvoso em 2013 (Figura 12), a média geral do MPS foi de 16,2 mg/L, com variações de 1 a 75,6 mg/L (figura 4), com o valor mínimo encontrado na MD e o máximo na ME. Para os valores de MPS encontrados na superfície, o maior valor foi encontrado no C (24 mg/L) bem como o menor (1,2 mg/L) repetindo-se na MD. No fundo o maior valor de MPS foi encontrado na ME (75,6 mg/L), e o menor na MD (1 mg/L). A média do MPS na superfície foi de 11 mg/L e para o fundo 21 mg/L.

Para o período chuvoso em 2014 (Figura 12), o MPS apresentou média geral de 7,5 mg/L, cerca de 53,7% menor que o ano anterior. O máximo encontrado foi de 20 mg/L e o mínimo 0,8 mg/L (figura 4), ambos encontrados na MD. Nota-se pouca variação no MPS ao longo da coluna d'água para este ano, pois vários valores observados na superfície voltam a repetir-se no fundo. Tanto na superfície quanto no fundo o maior e menor valor foi observado na margem direita. A média do MPS para a superfície foi de 6 mg/L e para o fundo 9,2 mg/L.

Figura 12- Rio Xingu, Variação transversal do MPS.



A variação do MPS foi maior em 2013 em relação a 2014. Para 2013 a variação fundo/superfície foi de 10 mg/L e para 2014 essa variação ficou na ordem 3,2 mg/L, levando em consideração a média da superfície e fundo.

Em ambos os períodos o menor valor de MPS foi observado na margem direita, enquanto o maior foi encontrado na margem esquerda em 2013, e no ano seguinte na margem direita.

Os maiores valores de MPS estão associados à carga de fundo que responde a variação do fluxo hídrico principalmente nas margens, possivelmente devido a proximidade da área fonte.

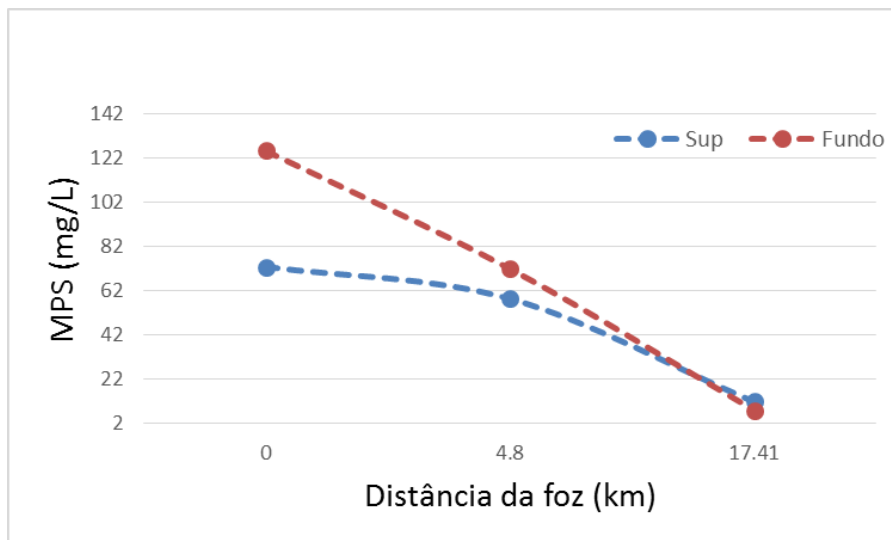
Os índices pluviométricos aumentam nos cinco primeiros meses do ano, com o aumento da precipitação eleva-se o nível de base do rio, inundando as suas margens, desse modo remobilizando o sedimento que estava aprisionado na lateral

do rio pela lavagem de suas margens, contribuindo para a elevação na concentração do MPS no período chuvoso.

Costa (2016) analisando o sistema estuarino da Baía de Melgaço, encontrou valores médios de MPS no período chuvoso de 5,9 mg/L em superfície e 12,5 mg/L no fundo. Destacando a maior concentração de sólidos em suspensão no período chuvoso.

A Figura 13 exibe a aumento do MPS ao aproximar-se da foz, fenômeno relacionado a confluência do rio Xingu com o rio Amazonas. Segundo Guyot et al (2005) a média do MPS do rio Amazonas na região de Óbidos, é de 150 mg/L no período chuvoso, bem acima dos valores médios do rio estudado. Se pressupõem neste trabalho que ocorra a entrada das águas do rio Amazonas no rio Xingu (Ver Figura 11), fator que pode proporcionar o aumento dos valores de MPS, de maneira direta com a mistura das águas ou indiretamente pelo turbulência causada pelo encontro de dois fluxos.

Figura 13- Rio Xingu; Variação longitudinal do MPS para o período seco de 2013.



Os maiores valores de MPS foram encontrados no fundo, entretanto vários valores de superfície superaram os de fundo, o que se deve provavelmente pelo material vegetal oriundo das margens permanecerem como particulados suspensos na porção superior da coluna d'água.

Sua baixa carga de material suspenso está relacionada à sua localização situar-se em um contexto geológico de rochas bem consolidadas, principalmente

magmáticas (ver Figura 3), que dificultam a geração de sedimento para o transporte ou como carga de fundo ou em suspensão na coluna d'água. Além de possuir configuração de canais com depressões e sinusoidades, zonas com adensamento de canais e barras, aprufundamento abrupto do canal, que servem como barreiras naturais, favorecendo o processo de sedimentação à montante (MINELI, 2013). Outro fator preponderante é a diminuição do seu fluxo hídrico pelo acentuado alargamento na sua foz, favorecendo o processo de floculação do material suspenso ocasionando sua deposição no substrato, esse efeito pode ser amplificado com o represamento das águas desse rio pela hidrelétrica de Belo Monte.

Estudos feitos por Holeman, 1968; Souza e Knoppers, 2003 e Medeiros et al, 2007 em rios que sofreram barramento têm demonstrado que o represamento é a principal ação antrópica que causa a diminuição do fluxo de MPS, pois as barragens têm grande potencial para o aprisionamento do sedimento em seu interior, além de serem utilizadas na regularização da vazão para a otimização da produção de energia acarretando impactos como a redução da variabilidade sazonal e magnitude da vazão.

Com o maior represamento das águas do rio Xingu no período seco, para regularização da vazão na usina hidrelétrica de Belo Monte, as águas do rio Amazonas possivelmente adentraram mais ainda o rio Xingu do que o observado pelo presente estudo, alterando os níveis de MPS e hidrodinâmica, consequentemente alterando os parâmetros biogeoquímicos e geomorfológicos da região da sua foz.

5.4 Transporte de MPS

A tabela 5 apresenta o transporte por seção em toneladas. O transporte de MPS calculado em diferentes momentos de maré, mostrou a contribuição do componente fluvial (+) e da maré (-), deixando claro a grandeza diferenciada entre elas e sua variação temporal significativa entre anos de mesmo período climático. Evidenciado pelo fato do ano de 2013 apresentar três valores de importação e em 2014 apenas um, o que pode estar relacionado a média da vazão em 2013 ser 65% menor que a do ano seguinte, explicado devido o dia de coleta ser no final do período chuvoso (junho) e em 2014 ser no pico desse período (março), (Ver Figura 10).

Tabela 5- Transporte de MPS por seção em toneladas (t)

Transporte da seção		
Nº	2013	2014
1	1740,2	115,5
2	1355,9	-666,7
3	3445,8	503,2
4	990,6	1168,5
5	-3296,3	1604,6
6	-1978,3	2440,7
7	-366,0	518,8

Fonte: Do autor.

A tabela 6 apresenta o transporte resultante de MPS, e o transporte nos diferentes períodos de maré. O transporte resultante no período chuvoso em 2013 foi de 1891,97 t/CM. No período chuvoso em 2014 o transporte resultante foi de 5684,7 t/CM.

A diferença entre o fluxo de MPS exportado e importado foi maior em 2014 que em 2013, a diferença de importação entre os anos estudados foi de mais de 3000 toneladas e, exportação mais de 1000 toneladas.

Tabela 6- Transporte de MPS em toneladas por ciclo de maré (t/CM).

		Transporte de MPS
Maré/Resultante		
Chuvoso	2013	Vazante
		7532,60
		Enchente
		-5640,64
		Resultante
		1891,97
	2014	Vazante
		6351,5
		Enchente
		-666,7
		Resultante
		5684,7

Fonte: Do autor.

Em ambos os anos o rio Xingu atuou como exportador para o rio Amazonas, evidenciando a predominância do componente fluvial. Houve um aumento em 2014 em relação a 2013 na quantidade exportada, novamente explicado pela menor vazão entre os anos estudados devido ao dia de coleta contempla uma coleta no pico do período chuvoso e outra no final deste, o que resultará na grande diferença entre os transporte resultantes.

A partir dos dados de MPS e vazão, estimou-se o transporte do período chuvoso em $5,7 \cdot 10^6$ de toneladas para o rio Amazonas.

A tabela 7 apresenta o transporte anual dos principais rios Amazônicos, que confere ao rio Xingu um transporte anual de 9 milhões de toneladas. O valor estimado pelo presente trabalho representa 63,3% do valor fornecido por CPRM, 1995, tendo como base o valor fornecido por CPRM, 1995, infere-se a possibilidade do rio Xingu inserir no Amazonas $3,3 \cdot 10^6$ toneladas (36,7%) no período seco.

Tabela 7- Transporte anual de MPS dos principais rios da bacia Amazônica

Rio	Pluviosidade (mm/ano)	Vazão (m³/s)	Transporte de MPS (t/ano)
Amazonas	2460	209000	$1000 \cdot 10^6$
Madeira	1940	31200	$450 \cdot 10^6$
Negro	2566	28400	$8 \cdot 10^6$
Tapajós	2250	13500	$6 \cdot 10^6$
Xingu	1930	9700	$9 \cdot 10^6$

Fonte: CPRM (1995), modificado de Silva (2012).

Filizola e Guyot (2011) analisando o fluxo de sedimento nos rios amazônicos estimaram o transporte de MPS anual para o rio Amazonas em sua foz em 600 a $800 \cdot 10^6$ toneladas. Filizola e Guyot (2009) estimaram o transporte de MPS anual para o rio Madeira em $285 \cdot 10^6$ toneladas e para o rio Negro em $7 \cdot 10^6$ toneladas.

Filizola e Guyot (2009) estimaram o transporte de MPS anual no rio Tapajós em $4,25 \cdot 10^6$ toneladas e no rio Xingu na localidade de Altamira em $5,8 \cdot 10^6$ toneladas.

Apesar destes rios estarem na mesma região (Amazônia), apresentam características hidrológicas, físico-químicas, sedimentares próprias, distintas as do

rio Xingu, com exceção do rio Tapajós que têm similaridades com o rio estudado, que demonstra a grande magnitude desta região.

O fluxo de MPS no rio Xingu em conjunto com o fluxo oriundo do rio Amazonas e condicionados pelas componentes fluviais e mareal, modelando a região sob sua influência.

Na região da planície Amazônica, processos de estocagem (sedimentação) já foram observados por Schmidt (1972), esse fenômeno pode ser um dos controladores da concentração de MPS no rio Xingu, visto que este tem um relevo acidentado e cheio de depressões, que favorecem esse processo. Esse material retido pode entrar novamente em suspensão, possivelmente por efeito do gradiente hidráulico (MEADE et al, 1985).

6 CONCLUSÃO

O rio Xingu é um rio de águas claras de baixa hidrodinâmica com regime de micromaré. A maré possui variação média de 1,1 m assimétrica com o período de vazante superior ao de enchente, ocorrendo ligeira inversão de corrente.

O seu regime hidrológico, no contexto de vazão, apresenta significativa variação temporal de caráter sazonal, chegando a diminuir cerca de 59,3% entre período chuvoso e seco.

Os valores de transporte de volume foram satisfatórios, o rio Xingu atuou como exportador em todos os anos estudados em ambos os período climáticos, com exceção do período seco de 2011, desta forma considera-se que este rio tende sempre a ser exportador.

os padrões para os perfis verticais de turbidez foram similares em todos os anos, observando uniformidade ao longo da coluna d'água. O rio Xingu não apresentou variação significativa da turbidez sazonalmente.

A influência do rio Amazonas na turbidez e MPS deste rio ficou restrito a sua foz.

No que tange ao transporte de MPS, o rio Xingu se comportou como exportador em ambos os anos estudados, demonstrando a predominância da componente fluvial sobre a maré. Foi estimado o transporte de MPS para o período chuvoso em $5,7 \cdot 10^6$ toneladas, que contribuirá na descarga final de MPS do rio Amazonas.

O presente trabalho apresenta uma contribuição ao conhecimento da hidrologia, maré, turbidez e fluxo de MPS do rio Xingu. As informações aqui levantadas poderão contribuir para o melhor gerenciamento deste rio, e demonstra a peculiaridade do mesmo no grande contexto dos rios Amazônicos.

Recomenda-se o estudo contínuo deste corpo d'água por ser alvo de grande pressão antrópica ocasionada pela construção da hidrelétrica de Belo Monte e por situar-se em uma região marcada pela sua enorme riqueza e potencial.

REFERÊNCIAS

- ABDO, J. M. M; BENEVIDES, V. F. S; COIMBRA, R. M; OLIVEIRA, E; LOURD, M; FRINTSCH, J. M. *HIBAM: hidrologia da Bacia Amazônica: décima campanha de amostragem de água e sedimento nas bacias dos rios Tocantins, Xingu e Tapajós*, Brasília, Marabá, Altamira e Itaituba. 1997. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/hibam>>. Acesso em 17/08/2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Hidroweb (Sistema de Informações Hidrológicas)*. 2015. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.TipoReg=fIse&CriaArq=SerieHist=true>>. Acesso em 21/08/2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Plano estratégico de recursos hídricos dos afluentes da margem direita do rio Amazonas: diagnóstico*. Brasília, 2013. v. 1, 826 p.
- AGUIAR, A. M. *Análises hidrogeomorfológicas e hidrossedimentológicas para comparação de duas bacias hidrográficas contribuintes do reservatório de Itaipu*. 2009. 157 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia, São Paulo, 2009.
- BAUMGARTEN, M. G. Z; ROCHA, J. M.; NIENCHESKI, L. F. H. *Manual de análises em oceanografia química*. Rio Grande: FURG, 1996. 132p.
- BORBA, T. A. C. *Modelagem hidrodinâmica aplicada ao estuário amazônico: uma abordagem em malha flexível*. 2014. 46 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2014.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). *Carta geológica ao milionésimo*. Folha AS 22. CPRM – Geoambiente, 2004.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). *Hidrologia da Bacia do rio Amazonas: a água em revista*. Ciência e Tecnologia, 1995. Disponível em: <[http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins textos/pleins textos 6/b fdi 35-36/41720.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins%20textes/pleins%20textes%206/b%20fdi%2035-36/41720.pdf)> acessado em: 28/10/2015.
- CONSÓRCIO NACIONAL DE ENGENHEIROS CONSULTORES (CNEC). *Estudo de Impacto Ambiental*. Vol 2 – EIA da UHE Kararaô, 1988.
- COSTA, M. S. *Aporte hídrico e de material particulado em suspensão para abaía do Marajó: contribuições dos rios Jacaré Grande, Pará e Tocantins*. 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2014.
- COSTA, M. S; ROLNIC, M; PRESTES, Y.O; ROSÁRIO, R.P; BORBA, T. A.C. Runoff and sediment transport of Portel-Melgaço water system in an Amazonian estuarine system. *Journal of Coastal Research*, Special Issue, n. 75, p. 18 – 22, 2016.
- ELETROBRÁS. *AAI – Avaliação ambiental integrada - aproveitamentos hidrelétricos da bacia hidrográfica do rio Xingu*. São Paulo, 2009. v. 1.
- FILIZOLA N; GUYOT J.L. Suspended sediment yield in the Amazon Basin: an assessment using Brazilian National data Set. *Hydrological Processes*, v. 23, p. 3207 – 3215, 2009.

- FILIZOLA, N; GUYOT, J. L. Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 41, p. 566-576, 2011.
- FRANCO, V. S; SOUZA, E. B. S; PINHEIRO, A.N; DIAS, T. S. S; AZEVEDO, F. T. M; SANTOS, J. C. C. Evolução mensal da cota fluviométrica do Rio Xingu em Altamira-PA associada aos eventos El Niño e La Niña. *Ciência e Natura*, Ed. Especial SIC, v. 37, p. 104 – 109, 2015.
- GUYOT, J. L; FILIZOLA, N; LARAQUE, A. Régime et bilan du flux sédimentaire de l'Amazone à Óbidos (Pará, Brésil) de 1995 à 2003. In: HOROWITZ, A.J.; WALLING D.E. *Sediment budgets*. [S.l.]: IAHS, 2005. p.347-354. (Edition: 291).
- HOLEMAN, J. N. The sediment yield of Major rivers of the world. *Water Resources Research*, v. 4, n. 4, p. 737-747, 1968.
- KERNKAMP, H. W. J; DAM, A. V; STELLING, G.S; DE GOEDE, E. D. Efficient scheme for the shallow water equations on unstructured grids with application to the Continental Shelf. *Ocean Dynamics*, v. 61, n. 8, p.1175 –1188, 2011.
- KOTTEK, M. et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z*, v. 15, p. 259-263, 2006.
- MANTOVANELLI, A; NOENBERG, M. A; MARONE, E; SILVA E. T. Avaliação da resposta do sensor de turbidez em diferentes concentrações e tamanhos de sedimento e comparação com medições no ambiente. *Boletim Paranaense de Geociências*, v. 47, p. 101-109, 1999.
- MEADE R. H; DUNNE T; RICHEY J. E; SANTOS U. M; SALATI, E. Storage and Remobilization of Suspended Sediment in the Lower Amazon river of Brazil. *Science*, v. 63, p. 228:488-490, 1985.
- MEDEIROS, P. R. P; KNOPPERS, B. A.; DOS SANTOS JÚNIOR, R. C; SOUZA, W. F. L. Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do rio São Francisco (SE/AL). *Geochimica Brasiliensis*, v. 21, p. 212 – 231, 2007.
- MINELI, R. C. *Proveniência e retrabalhamento sedimentar das areias da Volta Grande do rio Xingu, PA*. 2013. 64 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica) - Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 2013.
- MONTEIRO, S. M. *Dinâmica dos parâmetros abióticos na zona de mistura do estuário do rio Paracauari, ilha do Marajó-Pa* - 2009. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2009.
- MORTATTI, J; PROBST, J. L; TARDY, Y. Avaliação do escoamento superficial na bacia amazônica através do transporte de material fluvial. *Geochimica Brasiliensis*, v. 8, n. 2, p. 235-243, 1994.
- NITTROUER, C. A; SHARARA, M. T; De MASTER, D. J. Variations of Sediments Texture on the Amazon Continental Shelf. *Journal Sediment Petrology*, v. 53, p. 179-191, 1983.
- SCHMIDT G. W. Amounts of suspended solids and dissolved substances in the middle reaches of the Amazon over the course of one year (August 1969 - July 1970). *Amazoniana*, v. 3, p. 208-223, 1972.

SILVA, J. P. *Avaliação da diversidade de padrões de canais fluviais e da geodiversidade na Amazônia – aplicação e discussão na bacia hidrográfica do rio Xingu*. 2012. 277 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia, São Paulo, 2012.

SIOLI, H. Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon region. *Amazoniana*, v. 1, p. 267-277, 1968.

SOUZA, W. L. F; KNOPPERS, B. Fluxos de água e sedimentos a costa leste do Brasil: relações entre a tipologia e as pressões antrópicas. *Geochima Brasiliensis*, v. 17, p. 057-074, 2003.