

## SUMÁRIO – 11.1.1 PROJETO DE MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO

---

11.	PLANO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS .....	ii
11.1.	PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDRÁULICO, HIDROLÓGICO E HIDROSEDIMENTOLÓGICO .....	ix
11.1.1.	PROJETO DE MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO .....	11.1.1-1
11.1.1.1.	ANTECEDENTES .....	11.1.1-1
11.1.1.2.	EVOLUÇÃO DAS ATIVIDADES .....	11.1.1-4
11.1.1.2.1.	CRONOGRAMA GRÁFICO .....	11.1.1-5
11.1.1.3.	RESULTADOS E AVALIAÇÃO .....	11.1.1-7
11.1.1.3.1.	ANÁLISE MATERIAL DO LEITO .....	11.1.1-8
11.1.1.3.2.	CÁLCULO DA DESCARGA SÓLIDA .....	11.1.1-21
11.1.1.4.	ENCAMINHAMENTOS PROPOSTOS .....	11.1.1-41
11.1.1.5.	EQUIPE RESPONSÁVEL PELA IMPLEMENTAÇÃO NO PERÍODO . .....	11.1.1-41
11.1.1.6.	ANEXOS .....	11.1.1-42

## 11. PLANO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

O Plano de Gestão de Recursos Hídricos congrega os Programas que estabelecem ações para minimizar e monitorar os impactos sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos ocasionados pelas intervenções do empreendimento.

Este Plano será implementado com o desenvolvimento dos seguintes Programas:

- Programa de Monitoramento Hidráulico, Hidrológico e Hidrossedimentológico (11.1) que é subdividido em 3 projetos: Projeto de Monitoramento Hidrossedimentológico (11.1.1), Projeto de Monitoramento de Níveis e Vazões (11.1.2) e Projeto de Monitoramento da Largura, Profundidade e Velocidade em Seções do TVR (11.1.3);
- Programa de Monitoramento dos Igarapés Interceptados pelos Diques (11.2);
- Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas (11.3) que é subdividido em 2 projetos: Projeto de Monitoramento da Dinâmica das Águas Subterrâneas (11.3.1) e Projeto de Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas (11.3.2);
- Programa de Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água (11.4) subdividido em 2 projetos: Projeto de Monitoramento da Qualidade da Água Superficial (11.4.1) e Projeto de Monitoramento e Controle de Macrófitas Aquáticas (11.4.2);
- Programa de Monitoramento do Clima Local (11.5).

O Programa de Monitoramento Hidráulico, Hidrológico e Hidrossedimentológico (11.1) conforme mencionado acima é subdividido em 3 projetos distintos com escopos específicos que se integram e complementam entre si, caracterizando as condições hidráulicas e hidrológicas dos rios Xingu e Bacajá e dos igarapés de Altamira através do monitoramento de cota, vazão, seção transversal e sedimentos. Os dados e resultados provenientes desta caracterização interferem e interagem de maneira significativa na maioria dos programas relacionados ao meio biótico e socioeconômico que são dependentes das condições da dinâmica atual e, conseqüentemente futura, dos rios Xingu e Bacajá e igarapés existentes na região.

A seguir, é apresentada a integração específica que cada um dos projetos pertencentes ao programa 11.1 tem com outros programas e projetos referentes aos meios biótico e socioeconômico, assim como de programas referentes ao próprio meio físico, o qual este se enquadra.

O Projeto de Monitoramento Hidrossedimentológico (11.1.1) deve ser integrado com o Projeto de Monitoramento da Ictiofauna (13.3.4), Projeto de Incentivo à Pesca

Sustentável (13.3.5) e Programa de Conservação e Manejo de Habitats Aquáticos (13.2), em função dos dados de aporte de sedimentos dos rios e igarapés monitorados poderem indicar problemas relacionados a assoreamento que afetam diretamente o escopo destes projetos e programa. Já no âmbito dos Projetos de Manejo de Quelônios (13.5.3) e Monitoramento de Crocodilianos (13.4.3), o Projeto de Monitoramento Hidrossedimentológico (11.1.1) subsidiará dados referentes aos estudos de seções topobatimétricas, granulometria e deposição no trecho de restituição de vazão (jusante da Casa de Força Principal – Belo Monte), auxiliando no entendimento de possíveis alterações nos processos de erosão e/ou deposição de sedimentos.

Destaca-se também a importância na correlação de dados referentes às frações granulométricas com a carga de sedimentos provenientes do Projeto 11.1.1 com as análises da qualidade da água executadas no âmbito do Projeto de Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água Superficial (11.4.1). Um maior aporte de sedimentos detectados no Projeto de Monitoramento Hidrossedimentológico (11.1.1) pode indicar o aparecimento de áreas e encostas antropizadas sofrendo processos erosivos que condicionam esta situação, principalmente nos igarapés de Altamira, e que devem ser detectadas e monitoradas no âmbito do Programa de Monitoramento de Estabilidade das Encostas Marginais e Processos Erosivos (10.3).

O Projeto de Monitoramento de Níveis e Vazões (11.1.2) fornecerá subsídios principalmente aos programas e projetos do meio biótico já que as variações dos níveis de água e vazões dos rios e igarapés na região de influência do empreendimento afetam diretamente toda a cadeia trófica existente. Dentre estes programas que deverão ter interface de integração, destacam-se no âmbito da conservação da fauna o Projeto de Monitoramento da Ictiofauna (13.3.4), Projeto de Incentivo à Pesca Sustentável (13.3.5), Projeto de Monitoramento de Quirópteros (12.3.9), Projeto de Manejo de Quelônios de Belo Monte (13.5.3) e Programa de Conservação de Fauna Aquática (13.4). Já no âmbito de conservação da flora, citam-se o Projeto de Desmatamento (12.1.1), Projeto de Monitoramento das Florestas Aluviais (13.1.1), Projeto de Monitoramento das Formações Pioneiras (13.1.2) e o Programa de Conservação e Manejo de Habitats Aquáticos (13.2).

A integração com programas relacionados ao próprio meio físico, os resultados e dados do Projeto de Monitoramento de Níveis e Vazões (11.1.2) devem ser integrados com o Programa de Monitoramento da Estabilidade das Encostas Marginais e Processos Erosivos (10.3), onde a variação do nível d'água nos corpos hídricos, principalmente durante sua elevação, acarretará um aumento do nível do lençol freático na região podendo ocasionar o aparecimento de processos instabilizatórios e de erosão ao longo das encostas marginais afetadas por esta condição, sendo que esta será permanente em muitas áreas com a formação dos reservatórios. Seus dados também serão fornecidos ao Programa de Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água (11.4) que serão utilizados no sentido de se verificar as influências das variações dos níveis e vazões dos corpos hídricos na qualidade da água superficial e na proliferação de macrófitas, quando da possibilidade de formação de áreas alagadas permanentes após o enchimento dos reservatórios.

Destaca-se, também, que os dados do Projeto de Monitoramento de Níveis e Vazões (11.1.2) estão sendo devidamente integrados com as atividades desenvolvidas no Programa de Monitoramento das Condições de Navegabilidade e Condições de Vida (14.2), pois seus resultados, em conjunto com os dos projetos 11.1.1 e 11.1.3, fornecerão subsídios ao seu objetivo que se fundamenta na compreensão das alterações no trecho do rio Xingu impactado pelo empreendimento, principalmente no Trecho de Vazão Reduzida (TVR).

O Projeto de Monitoramento da Largura, Profundidade e Velocidade em Seções do Trecho de Vazão Reduzida (11.1.3) engloba as atividades desenvolvidas nos projetos 11.1.1 e 11.1.2 caracterizando detalhadamente as variáveis hidráulicas, hidrológicas e morfológicas da região do TVR que compreende o trecho entre a Barragem Principal e a foz do rio Bacajá e também o trecho do rio Bacajá que vai da estação Fazenda Cipaúba até sua foz no rio Xingu. Seus dados e resultados subsidiarão o desenvolvimento e planejamento das atividades desenvolvidas em todos os programas que compõem o Plano de Gerenciamento Integrado da Volta Grande (14), principalmente no que refere a indicação e determinação das principais rotas de navegação para as populações indígena e ribeirinha afetadas, da recomposição da infraestrutura fluvial a ser implantada e das modificações sobre a atividade garimpeira que podem ocorrer com a diminuição do nível d'água, principalmente no rio Xingu (exposição de áreas sujeitas a novas explorações garimpeiras).

Ademais, seguindo a mesma diretriz informada no Projeto de Monitoramento dos Níveis e Vazões (11.1.2), as variações dos níveis d'água na região do TVR e que também são obtidas no âmbito do Projeto 11.1.3 fornecerão subsídios importantes aos projetos e programas do meio biótico dos quais se destacam o Projeto de Monitoramento da Ictiofauna (13.3.4), Projeto de Incentivo à Pesca Sustentável (13.3.5) e o Programa de Conservação e Manejo de Habitats Aquáticos (13.2). Este conceito também vale para os programas do meio físico, os quais se sobressaem o Programa de Monitoramento da Estabilidade das Encostas Marginais e Processos Erosivos (10.3) e Programa de Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água (11.4).

Portanto, os resultados provenientes do Projeto 11.1.3 deverão ser fornecidos aos respectivos programas citados acima, onde os técnicos de cada programa e projeto deverão utilizá-los de acordo com as suas necessidades.

O Programa de Monitoramento dos Igarapés Interceptados pelos Diques (11.2) se caracteriza por enquadrar atividades relacionadas ao meio físico, biótico e socioeconômico que por si só são avaliadas conjuntamente para caracterização da região onde se situam estes igarapés (Paquiçamba, Cobal, Cajueiro, Ticaruca e Turiá). Portanto, o próprio escopo do programa estabelece uma integração de dados hidrológicos e da qualidade da água (meio físico) com dados de monitoramento fenológico e de ictiofauna (biótico) e do uso da água – levantamento das propriedades e de poços/cisternas/cacimbas no entorno dos igarapés (socioeconômico) que avaliados de forma conjunta caracterizam os parâmetros ambientais da região. Conclui-se que seus resultados e dados devem ser utilizados por outros projetos e

programas afins com o objetivo de complementar as atividades por eles desenvolvidas nas bacias hidrográficas estudadas.

Ressalta-se que os dados hidrológicos (níveis d'água e precipitações pluviométricas) gerados no Programa de Monitoramento dos Igarapés Interceptados pelos Diques (11.2) devem ser fornecidos ao Programa de Monitoramento Hidráulico, Hidrológico e Hidrossedimentológico para complementar as atividades advindas do mesmo já que os resultados gerados de suas atividades são de mesma natureza. Esta análise integrada no âmbito do PBA 11.1 permitirá uma completa avaliação dos parâmetros hidrológicos, hidráulicos e hidrossedimentológicos da região de influência do empreendimento, abrangendo tanto a área do Reservatório Intermediário com seus igarapés quanto à área dos rios Xingú e Bacajá e igarapés de Altamira.

Além disso, os dados das precipitações pluviométricas e variações dos níveis d'água dos igarapés devem ser repassados para o Programa de Monitoramento das Encostas Marginais e Processos Erosivos (10.3) para averiguar se na época de chuvas ocorre o aparecimento de processos erosivos nas encostas existentes que possam acarretar algum risco para a comunidade local ou algum risco de assoreamento dos igarapés estudados.

Já os resultados adquiridos no monitoramento do uso da água do Programa 11.2 serão adicionados ao Projeto de Monitoramento das Condições de Vida das Populações da Volta Grande (14.2.3), sendo que os levantamentos dos níveis d'água em poços, cacimbas e cisternas realizadas ao longo dos igarapés interceptados pelos diques serão fornecidos para integração ao Projeto de Monitoramento da Dinâmica das Águas Subterrâneas (11.3.1) que monitora justamente a variação do lençol freático frente aos parâmetros climáticos e às características geológico-geotécnicas da região.

Destaca-se, também, que o monitoramento da qualidade da água realizado no âmbito do Programa de Monitoramento dos Igarapés Interceptados pelos Diques (11.2) está sendo enquadrado no escopo do Projeto de Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água Superficial (11.4.1), principalmente no que se refere aos impactos nos igarapés devido à implantação das obras civis de construção do Canal e Diques. Neste contexto, também há uma integração com o meio socioeconômico junto à comunidade que mora nas proximidades destes igarapés que utilizam suas águas, sendo importante a manutenção da qualidade da água nesta região.

O Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas (11.3) é subdividido em 2 projetos: Projeto de Monitoramento da Dinâmica das Águas Subterrâneas (11.3.1) e Projeto de Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas (11.3.2) que desenvolvem suas atividades concomitante e integralmente. É de conhecimento técnico que os fatores que determinam e influenciam na dinâmica e qualidade das águas subterrâneas estão relacionados ao índice pluviométrico (afeta diretamente a variação do lençol freático dos rios e igarapés) às características geológicas, pedológicas e hidrogeológicas (determinam os tipos de aquíferos existentes) e ao uso e ocupação dos solos (abertura de poços e cisternas, produção de esgotos sanitários

e industriais, entre outros). Estes fatores são avaliados e estudados a partir de programas ou projetos específicos que devem ser plenamente integrados no âmbito deste PBA 11.3.

Em face ao que foi exposto, verifica-se que os dados provenientes do Projeto de Monitoramento de Níveis e Vazões (11.1.2) – dados de pluviometria e níveis e vazões, Projeto de Monitoramento dos Igarapés Interceptados pelos Diques (11.2) – dados de pluviometria e níveis e vazão, assim como de uso do solo, Projeto de Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água Superficial (11.4.1) – dados de qualidade de água superficial e do Programa do Monitoramento do Microclima Local (11.5) – dados de pluviometria são muito importantes na contextualização e discussão dos resultados obtidos pelo Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas (11.3).

Outro ponto importante a se destacar é que a poluição das águas subterrâneas acarreta o aumento de doenças transmitidas pela água, como cólera, verminoses, amebíase, entre outras, prejudicando a população, principalmente a ribeirinha, que é expressiva nos municípios da área de influência da UHE Belo Monte. Os moradores ribeirinhos, bem como os cidadãos, com frequência, não possuem acesso à água tratada e a saúde dessas populações é diretamente influenciada pelas condições dos poços e cisternas, que determinam a qualidade da água consumida. Dessa forma, o Projeto de Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas (11.3.2) é uma importante fonte de dados para o Plano de Saúde Pública (8); e, ao serem mencionados aqui, podem contextualizar indicadores de saúde e integram as atividades da sócio economia e ambientais.

O Programa de Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água (11.4) é subdividido em 2 projetos: Projeto de Monitoramento da Qualidade da Água Superficial (11.4.1) e Projeto de Monitoramento e Controle de Macrófitas Aquáticas (11.4.2).

Ressalta-se que a contaminação das águas é, principalmente, fruto de um conjunto de atividades antrópicas e os contaminantes alcançam águas superficiais e subterrâneas de formas diversas. Esta situação acarreta a necessidade de se avaliar e monitorar as alterações ambientais e seus efeitos sobre os recursos hídricos, principalmente no que se refere à construção do empreendimento e à sua operação.

O monitoramento do rio Xingu, como ferramenta de avaliação dos ecossistemas fluviais e habitats aquáticos associados, tem fornecido subsídios para uma análise integrada da qualidade das suas águas e do potencial de proliferação das macrófitas nos reservatórios.

Dentre os programas e projetos de ecossistemas fluviais e habitats aquáticos a serem integrados com o programa 11.4, destacam-se o Programa de Conservação e Manejo de Habitats Aquáticos (13.2), o Projeto de Resgate e Salvamento da Ictiofauna (13.3.2), o Projeto de Monitoramento da Ictiofauna (13.3.4), o Projeto de Incentivo a Pesca Sustentável (13.3.5), o Programa de Conservação da Fauna Aquática (13.4), o Programa de Conservação e Manejo de Quelônios (13.5) e os Estudos Complementares da Modelagem Matemática da Hidrodinâmica e Qualidade da Água

do Sistema UHE Belo Monte (Condicionante 2.7 da LI). Ressalta-se que estes programas e projetos terão do programa 11.4, uma importante fonte de dados para contextualizar indicadores de qualidade, conservação e integrar as atividades ambientais para as propostas de manejo e mitigação de impactos.

Adicionalmente, o Programa de Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água (11.4) deve estabelecer uma interface de integração com programas específicos do próprio meio físico nos quais se destacam o Programa de Monitoramento das Encostas Marginais e Processos Erosivos (10.3), o Programa de Monitoramento Hidráulico, Hidrológico e Hidrossedimentológico (11.1), o Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas (11.3) e o Programa do Monitoramento do Microclima Local (11.5) que fornecem subsídios que serão diretamente utilizados na contextualização e discussão dos resultados obtidos do próprio Programa (11.4).

Esta interface com programas do próprio meio físico (10.3, 11.1, 11.3 e 11.5) deve-se ao fato que alguns impactos inerentes à construção da UHE Belo Monte que afetam o clima, a vida aquática e propiciam o aparecimento de processos erosivos em encostas e taludes estão estreitamente relacionados aos efeitos na qualidade da água superficial.

As águas dos rios transportam sedimentos compostos de matéria orgânica e solo em suspensão. Com a redução da velocidade das águas nos reservatórios, há a deposição dos sedimentos no fundo e a água de restituição tem, portanto, maior capacidade erosiva. Um reservatório também pode trazer mudanças no clima do local onde é construído. As alterações mais visíveis são variações na temperatura, aumento da umidade relativa, pequenas mudanças na insolação, maior formação de neblinas e maior evaporação. A velocidade do vento também aumenta, e quanto maior a extensão do reservatório, mais acentuadas as alterações climáticas observadas.

O Programa de Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água (11.4) deve se integrar com o meio socioeconômico na mesma linha de planejamento que foi mencionado anteriormente para o Projeto de Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas (11.3.2), sendo seus resultados uma importante fonte de dados para o Plano de Relacionamento com a População (7 – Comunicação Social e Educação Ambiental) e Plano de Saúde Pública (8), sendo indicadores de saúde para as comunidades residentes na região. Além disso, as águas superficiais em locais de praias, utilizadas para recreação, devem ser enquadradas em legislação específica para o estabelecimento das condições de balneabilidade, sendo esta a principal integração realizada com o Projeto de Recomposição das Praias e Locais de Lazer (4.7.1).

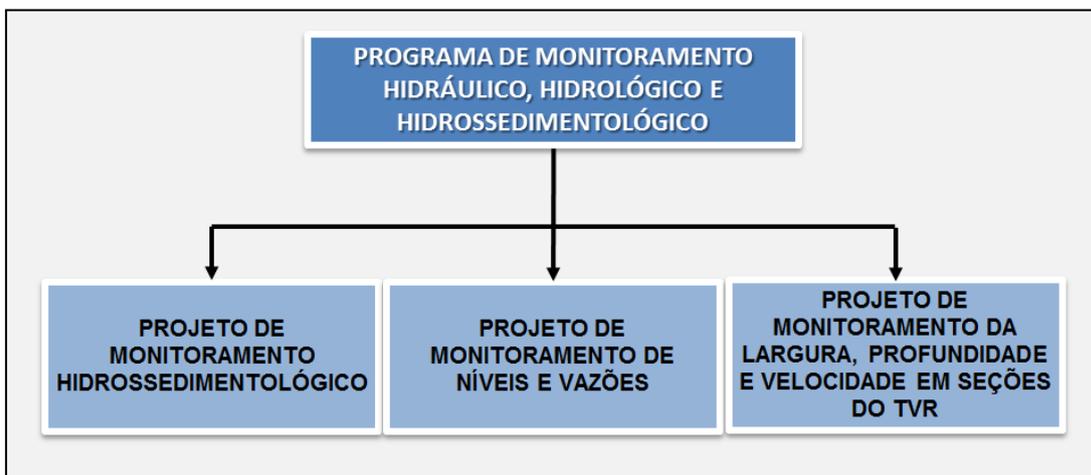
O Programa de Monitoramento do Microclima Local (11.5) devem fornecer dados e resultados para a grande parte dos programas e projetos previstos nos estudos ambientais da UHE Belo Monte, pois subsidiará o conhecimento das variáveis climáticas da área de influência do empreendimento, que reúnem parâmetros importantes a serem correlacionados com os meios físico, biótico e social.

Constata-se uma interface significativa com relação aos projetos do Programa de Monitoramento Hidráulico, Hidrológico e Hidrossedimentológico (11.1) e do Programa de Monitoramento dos Igarapés Interceptados pelos Diques (11.2), onde se pode destacar que os dados pluviométricos indicados nos dois últimos programas complementam os que são obtidos no próprio Programa de Monitoramento do Microclima Local (11.5). Além destes, seus dados devem ser fornecidos como subsídios para o Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas (11.3) Programa de Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água (11.4), bem como para o Plano Ambiental para a Construção (PAC) e para os projetos e programas, de maneira geral, que tratam dos monitoramentos relativos à flora, fauna e ictiofauna.

Por fim, constata-se ainda que os dados pluviométricos referentes às estações climáticas deste programa 11.5 devem ser compartilhadas também com o Programa de Monitoramento das Encostas Marginais e Processos Erosivos (10.3), onde as precipitações pluviométricas pode afetar consideravelmente o aparecimento de processos instabilizatórios em taludes e encostas.

## 11.1. PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDRÁULICO, HIDROLÓGICO E HIDROSSEDIMENTOLÓGICO

Para a caracterização hidráulica, hidrológica e hidrossedimentológica dos corpos d'água da região de abrangência da UHE Belo Monte, este programa foi dividido em 3 projetos distintos que monitoram os níveis d'água dos rios, chuvas, vazões, seções transversais e sedimentos (**Figura 11.1 - 1**):



**Figura 11.1 - 1 - Organograma do Programa de Monitoramento Hidráulico, Hidrológico e Hidrossedimentológico.**

A **Figura 11.1 - 2** apresenta as estações de monitoramento deste Programa.

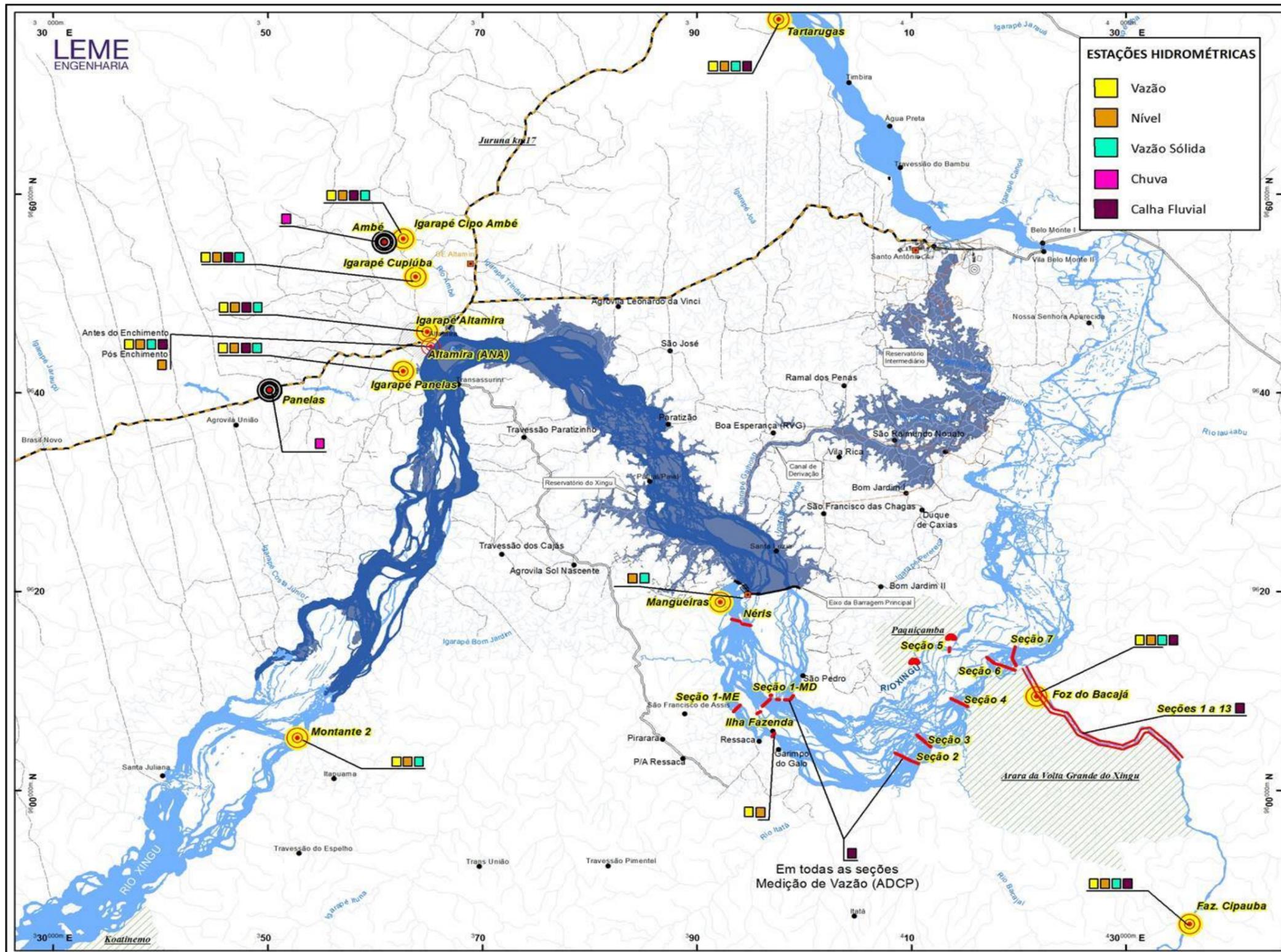


Figura 11.1 - 2 - Estações de Monitoramento do Programa de Monitoramento Hidráulico, Hidrológico e Hidrossedimentológico

O **Projeto de Monitoramento Hidrossedimentológico** tem por finalidade principal acompanhar a evolução da deposição de sedimentos e avaliar os aportes de descargas sólidas, no Reservatório do Xingu.

A partir de 1 ano e meio de monitoramento foi observado que a granulometria média do material do leito do rio Xingu, segue a tendência esperada, uma vez que a presença de sedimentos mais grossos decrescem de montante para jusante (respectivamente das estações Montante 2 para Tartarugas), onde são encontrados sedimentos bem mais finos.

Nos igarapés Ambé, Altamira e Panelas, que drenam áreas urbanas da cidade de Altamira, estão sendo feitos monitoramentos sedimentométricos e da calha fluvial, de modo a possibilitar a avaliação da deposição de sedimentos que são carreados por estes igarapés e que podem contribuir para o agravamento das condições de cheias que hoje atingem a cidade. O monitoramento destes igarapés vem mostrando que os igarapés Panelas e Altamira que estão mais expostos a processos erosivos devido a maior urbanização de suas bacias, apresentam material do leito com granulometria mais grossa. O igarapé Cipó Ambé possui a bacia mais preservada de ocupação antrópica, o que se reflete no material do leito com granulometria mais fina. Ressalta-se que igarapé Panelas apresentou uma concentração média de sedimentos em suspensão, bem superior à concentração média dos demais igarapés. Este fato pode estar associado às atividades de extração de argila que são realizadas em sua bacia que concentra os principais oleiros da região.

O monitoramento do rio Bacajá objetiva quantificar a carga sólida transportada por este curso d'água, que é o principal contribuinte da margem direita do rio Xingu, no trecho da Volta Grande e avaliar os possíveis efeitos de erosão em sua foz. O material do leito na foz do rio Bacajá não pôde ser amostrado, pois o Bacajá, nesta seção, possui o leito extremante rochoso, o que dificultou a coleta de sedimento em várias verticais. Este monitoramento vem sendo feito em duas outras estações a montante, mas ainda não dispõe de resultados suficientes que subsidiem uma avaliação.

Na foz do Rio Bacajá vem sendo observada uma alta concentração média de sedimentos em suspensão, bem superior às demais estações amostradas no projeto. Esta informação evidencia a má gestão da bacia hidrográfica deste curso d'água, com desmatamentos, uso por garimpos e substituição de vegetação natural que influencia diretamente no escoamento superficial e conseqüentemente na qualidade da água e no volume de sedimentos carreados. Salienta-se ainda que nenhuma destas condições está associada ao empreendimento da UHE Belo Monte que não possui nenhuma atividade construtiva naquela região.

Com relação ao transporte de sedimento, está sendo observado que o rio Xingu apresenta baixas taxas de transporte de sedimentos. Os valores médios de concentração de sólidos em suspensão, observados nas quatro estações monitoradas no rio Xingu são muito próximos, sendo que estes valores são maiores nas estações Montante 2 e Tartarugas.

O **Projeto de Monitoramento de Níveis e Vazões** tem por finalidade registrar as variações, tanto espaciais como temporais, que ocorrerão no reservatório do Xingu, nos igarapés de Altamira, no rio Xingu no TVR e a jusante da Casa de Força Principal.

Observou-se que as vazões do ano de 2011 e 2012 estão próximas da média histórica, sendo que em 2012, nos três primeiros meses do ano as vazões estiveram acima da média histórica e no restante do ano abaixo desta. Para os igarapés de Altamira (com exceção do igarapé Pannels) as vazões do ano de 2012 foram menores que as observadas em 2011. Este aspecto também foi observado no rio Bacajá, onde as vazões máximas do ano de 2012 estiveram sensivelmente mais baixas que as de 2011.

Com relação ao monitoramento pluviométrico observou-se que o ano de 2012 foi mais seco, se comparado com os dados históricos de precipitação da estação do INMET de Altamira (1951-2011). Este fato também foi observado nas estações climatológicas Pimental e Belo Monte, bem como nas estações pluviométricas implantadas nos igarapés interceptados pelos diques (Paquiçamba, Cobal, Ticaruca e Cajueiro).

Foi elaborada uma análise de comparação da variação do nível d'água do rio Xingu, no ano de 2012, com o observado em anos anteriores. A diferença entre a cota máxima e a mínima observadas no rio Xingu em 2012, está de acordo com o observado nos anos de 2010 e 2011, bem como de acordo com o observado na estação Altamira, que possui uma extensa série de dados (desde 1971).

O **Projeto de Monitoramento da Largura, Profundidade e Velocidade em Seções do TVR** tem por objetivo aprofundar o atual estado do conhecimento das variáveis hidráulicas, hidrológicas e morfológicas no rio Xingu, entre a Barragem Principal e a foz do rio Bacajá e no trecho do rio Bacajá compreendido entre a estação Fazenda Cipaúba e sua foz no rio Xingu, de modo a correlacionar as principais rotas de navegação da população ribeirinha e indígena, com as informações obtidas dos levantamentos das seções topobatimétricas.

O primeiro levantamento dos trechos críticos para a navegação dos rios Xingu e Bacajá já foi realizado, bem como estão sendo feitos levantamentos periódicos da calha fluvial destes cursos d'água de modo a possibilitar a detecção das condições existentes, antes da implantação do empreendimento. A continuidade do monitoramento vai propiciar o conhecimento das alterações nestes cursos d'água, após enchimento do reservatório da UHE Belo Monte e sua entrada em operação.

## 11.1.1. PROJETO DE MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO

### 11.1.1.1. ANTECEDENTES

O monitoramento hidrossedimentológico tem por finalidade principal acompanhar a evolução da deposição de sedimentos e avaliar os aportes de descargas sólidas ao reservatório da UHE Belo Monte. Neste projeto foram incorporadas as indicações dos estudos complementares realizados para atendimento às condicionantes da LP e Li consistindo no levantamento topobatimétrico de 19 seções, totalizando aproximadamente 40 km de extensão. Os locais previstos para a execução do levantamento topobatimétricos a jusante da Casa de Força Principal são apresentados na **Figura 11.1.1 - 1**.

No rio Xingu o monitoramento vem sendo feito a montante do reservatório do Xingu, na região do TVR e no trecho à jusante da Casa de Força Principal. Também estão sendo monitorados os igarapés de Altamira e o rio Bacajá. O **Quadro 11.1.1 - 1** apresenta uma descrição das estações do projeto.

**Quadro 11.1.1 - 1: Estações Sedimentométricas do Projeto**

LOCAL	Nº	ESTAÇÃO	DATA INSTALAÇÃO	FREQUÊNCIA DE OPERAÇÃO
Montante reservatório Xingu	1	Altamira	Existente-ANA	F- diário / S: mensal
	2	Montante 2	24/10/2010	F- diário/ D: mensal/ S: mensal
Igarapés de Altamira	3	Igarapé Altamira	11/10/2010	F- diário/ D: mensal/ S: mensal
	4	Igarapé Painelas	13/10/2010	F- diário/ D: mensal/ S: mensal
	5	Igar. Cipo Ambé	31/03/2011	F- diário/ D: mensal/ S: mensal
	6	Igarapé Cupiúba	15/04/2011	F- diário/ D: mensal/ S: mensal
TVR-Rio Xingu	7	Mangueiras	17/10/2010	F-horário/ D: mensal/ S: mensal
Rio Bacajá	8	Foz do Bacajá	19/04/2011	F- diário/ D: mensal/ S: mensal
	9	Fazenda Cipaúba	Existente-ANA	F- diário/ D: mensal/ S: trimestral
	10	Aldeia Mrotidjãm	10/04/2012	F- diário/ D: mensal/ S: trimestral
Jusante CF Principal	11	Tartarugas	20/12/2011	F- diário/ D: mensal/ S: mensal

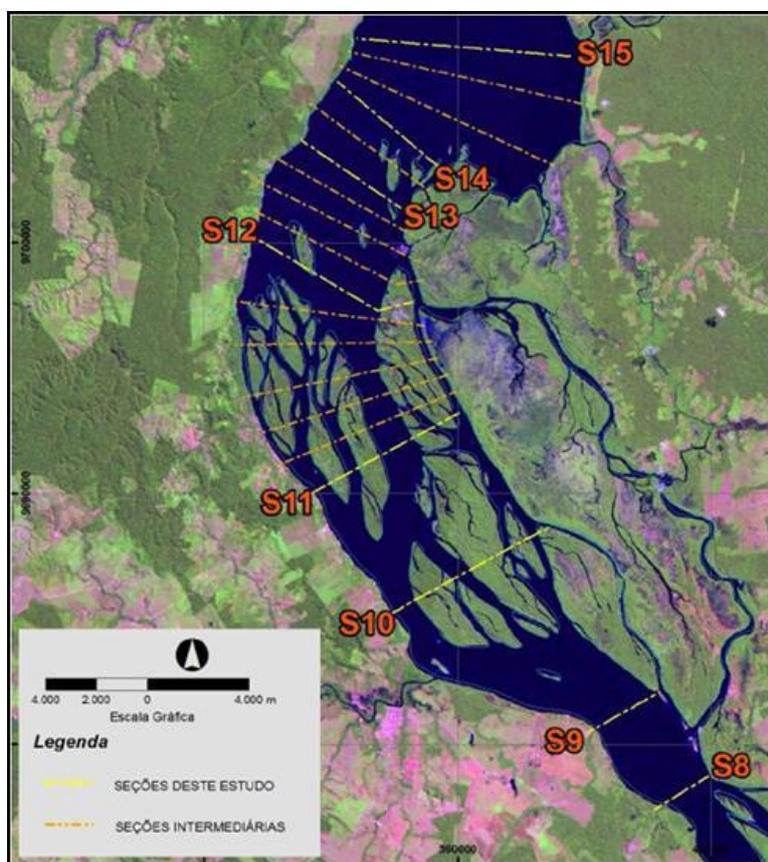
F: Nível D: Vazão S: Sedimento

A coleta de sedimentos foi iniciada em outubro de 2010 em algumas estações. Em abril/2012 foi concluída a implantação da rede de monitoramento composta por 11 estações, sendo duas de propriedade da ANA: Altamira (18.850.000) e Fazenda Cipaúba (18.880.000).

A estação Altamira, embora não seja operada pela Norte Energia, é uma fonte oficial de dados, sendo considerada de grande importância por ser a única com histórico representativo, iniciado em 1969. A estação Fazenda Cipaúba, que também faz parte da rede da ANA, também está sendo operada pela Norte Energia, desde dez/2011.

A estação Aldeia Mrotidjãm instalada em julho/2011 e reinstalada em abril/2012 foi incluída no projeto. O monitoramento desta estação vai contribuir para quantificar a erosão que ocorre à montante da terra indígena, devido á antropização das cabeceiras da bacia hidrográfica. A implantação desta estação adveio da demanda do PBA Indígena.

O PBA estabelece a necessidade do acompanhamento do processo hidrossedimentológico no trecho a jusante da Casa de Força Principal. Assim sendo, para caracterizar as condições de transporte de sedimentos nesta região, foi instalada em dezembro de 2011 uma estação hidrossedimentométrica, nas imediações da seção 8 (estação Tartarugas). Nesta estação vêm sendo efetuadas coletas mensais de sedimentos em suspensão e de material de fundo.



**Figura 11.1.1 - 1: Locais para Levantamento das Seções Topobatimétricas à Jusante da Casa de Força Principal**

O primeiro levantamento topobatimétrico neste local foi executado nos períodos de:

- 1ª Etapa: 01/12/11 à 17/02/12 (época de estiagem);
- 2ª Etapa: 20/04/12 à 10/05/12 (época de cheias).

Este levantamento deverá ser repetido daqui a 5 anos, após a entrada em operação da UHE Belo Monte.

Nos igarapés Cipó Ambé, Cupiúba, Altamira e Panelas, que drenam áreas urbanas da cidade de Altamira, estão sendo feitos levantamentos de formato da calha fluvial, bem como coletas de sedimentos em suspensão e no leito, de modo a possibilitar a avaliação da deposição de sedimentos que são carregados por estes igarapés e que podem contribuir para o agravamento das cheias que atingem a cidade.

Para a execução dos levantamentos topobatimétricos nesta região, o PBA previa periodicidade semestral. Entretanto, tendo em vista que os processos de sedimentação são em geral lentos, foi proposta no 2º Relatório Consolidado uma mudança nesta periodicidade, tendo sido acordado o esquema apresentado no **Quadro 11.1.1-2**.

Já foi realizado o primeiro levantamento em junho de 2011, que possibilitou o conhecimento das conformações atuais das calhas dos igarapés.

O segundo levantamento será realizado no primeiro trimestre de 2013 na época da cheia, de forma a documentar possíveis alterações e comparar com os resultados observados em 2011.

**Quadro 11.1.1 - 2: Periodicidade dos Levantamentos Topobatimétricos dos Igarapés de Altamira**

LEVANTAMENTO TOPOBATIMÉTRICO	DATA EXECUÇÃO	OBJETIVOS ESPECÍFICOS
1º	Junho/2011	Conhecimento das conformações atuais das calhas dos igarapés – Concluído.
2º	1º trimestre de 2013	Levantamento topobatimétrico no período da cheia.
3º	Set/ Out de 2014	Levantamento topobatimétrico após as ações de reassentamento da população e retificação dos igarapés.
4º	Jan/Fev de 2015	Levantamento topobatimétrico após o enchimento do reservatório, pois este evento pode alterar significativamente as condições atuais de calha dos igarapés.
5º	Jan/Fev de 2016	1º acompanhamento
6º	Jan/Fev de 2017	2º acompanhamento

### 11.1.1.2. EVOLUÇÃO DAS ATIVIDADES

Este projeto vem se desenvolvendo de acordo com o previsto no cronograma durante o 2º semestre de 2012. O **Quadro 11.1.1.1 - 3** apresenta o status de atendimento ao cronograma do projeto, em novembro/2012.

**Quadro 11.1.1 - 3: Status de Atendimento das Metas do Projeto- Novembro/12**

PRODUTO		ATIVIDADES DO PRODUTO	DATA DE INÍCIO	DATA DE TÉRMINO	EVOLUÇÃO %
1 – Instalação de Estações Fluviosedimentométricas			Jan/2012*	Jun/2012*	100%
01	Reservatório	Estação Montante 02	24/10/2010	24/10/2010	100%
02		Estação Altamira/ ANA	Existente ANA		-
03	Jusante CFP	Estação Tartarugas	10/01/2012	10/01/2012	100%
04	TVR	Estação Mangueiras	17/10/2010	17/10/2010	100%
05	Igarapés de Altamira	Estação Altamira	02/10/10	02/10/10	100%
06		Estação Ambé <sup>1</sup>	10/11/10	10/11/10	100%
07		Estação Cupiúba	15/04/11	15/04/11	100%
08		Estação Panelas	02/10/10	02/10/10	100%
09		Estação Cipó Ambé	31/03/11	31/03/11	100%
10	Rio Bacajá	Est. Foz do Bacajá 01	19/04/11	19/04/11	100%
11		Est. Foz do Bacajá 02 <sup>2</sup>	14/01/12	14/01/12	100%
12		Est. Fazenda Cipaúba	Existente ANA		-
13		Est. Aldeia Mrotidjãm	01/07/11	01/04/12	100%
2 – Medição das Descargas Líquidas e Sólidas			Out/2011	Jul/2017	33%
3 – Levantamento topobatimétrico dos Igarapés de Altamira (Igarapé Ambé, Altamira e Panelas)			Dez/2011	Jul/2017	17%
4 – Levantamento topobatimétrico das seções do rio Xingu na região de nidificação das tartarugas			Fev/2012	Jul/2017	50%

\* Período previsto no cronograma do PBA.

A medição da vazão sólida com frequência prevista como trimestral (PBA) vem sendo executada mensalmente na maior parte das estações. Este fato está contribuindo para uma melhor caracterização dos sedimentos nas diversas estações do projeto. Apenas

<sup>1</sup> A estação Ambé foi substituída pelas estações dos igarapés Cipó Ambé e Cupiúba, ambas afluentes do igarapé Ambé.

<sup>2</sup> A estação Foz do Bacajá foi relocada para montante, pois estava sofrendo a influência do remanso do rio Xingu.

nas estações Fazenda Cipaúba e Aldeia Mrotidjã esta coleta vem sendo feita trimestralmente.

As obras e a instalação dos equipamentos do Laboratório de Sedimentologia foram finalizadas em agosto/2012. Apesar do mesmo já estar em operação desde esta época, ainda não foi obtida a certificação para emissão de laudos. Por esse motivo, as análises de sedimento estão sendo feitas tanto neste laboratório quanto em um laboratório contratado certificado, para conferência e validação dos resultados. Os laudos que estão sendo analisados no projeto são, portanto, do laboratório certificado. Espera-se uma maior agilidade no processamento das análises sedimentométricas, após a obtenção da adequada certificação pelo laboratório do projeto.

Ressalta-se que no período em análise no presente relatório (2º semestre/2012) não foi necessária a realização de levantamentos topobatimétricas no âmbito deste projeto.

A análise da descarga sólida total nas diversas estações do projeto foi obtida pela soma da descarga sólida de sedimentos em suspensão e da descarga sólida de sedimentos do leito. Para isto, foram utilizados os dados de monitoramento hidrossedimentológico, no período de Novembro/2010 a Setembro/2012, que constam de laudos de concentração de sólidos em suspensão, bem como laudos referentes à granulometria do material do leito, além de parâmetros geométricos dos cursos d'água obtidos pela medição da vazão líquida: velocidade média, largura média, profundidade média, etc.

Destaca-se que a caracterização hidrossedimentológica das áreas monitoradas foi conclusiva, apesar da ausência da análise de alguns dados levantados (outubro e novembro de 2012). Isto porque a avaliação apresentada foi realizada com uma série de informações coletadas em período superior a um ano hidrológico.

#### 11.1.1.2.1. CRONOGRAMA GRÁFICO

O cronograma gráfico é apresentado na sequência, sendo que as linhas com as lacunas atestadas em azul representam o que foi estabelecido e proposto e as linhas com as lacunas preenchidas em amarelo o que já foi executado. Ademais, as lacunas amarelas hachuradas são as atividades previstas e ainda não executadas até o final do projeto.

Ressalta-se que este projeto teve início um ano antes do programado.

# PACOTE DE TRABALHO: 11.1.1 Projeto de Monitoramento Hidrossedimentológico

Atividades | Produtos

Desvio do rio pelo vertedouro (sítio Pimental)  
 Início enchimento Reserv. Xingu - Emissão prevista da LO da casa de força  
 Início geração comercial da 1ª UG CF  
 Enchimento Reserv. Interm. - LO Casa de Principal (Belo Monte)  
 Entrada operação última UG da CF Complementar  
 Início geração comercial CF Principal

Item	Descrição	2010	2011				2012				2013				2014				2015				2016			
		T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4

**CRONOGRAMA DO PACOTE DE TRABALHO**

**11. PLANO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

**11.1 Programa de Monitoramento Hidráulico, Hidrológico e Hidrossedimentológico**

**11.1.1 Projeto de Monitor. Hidrossedimentológico**

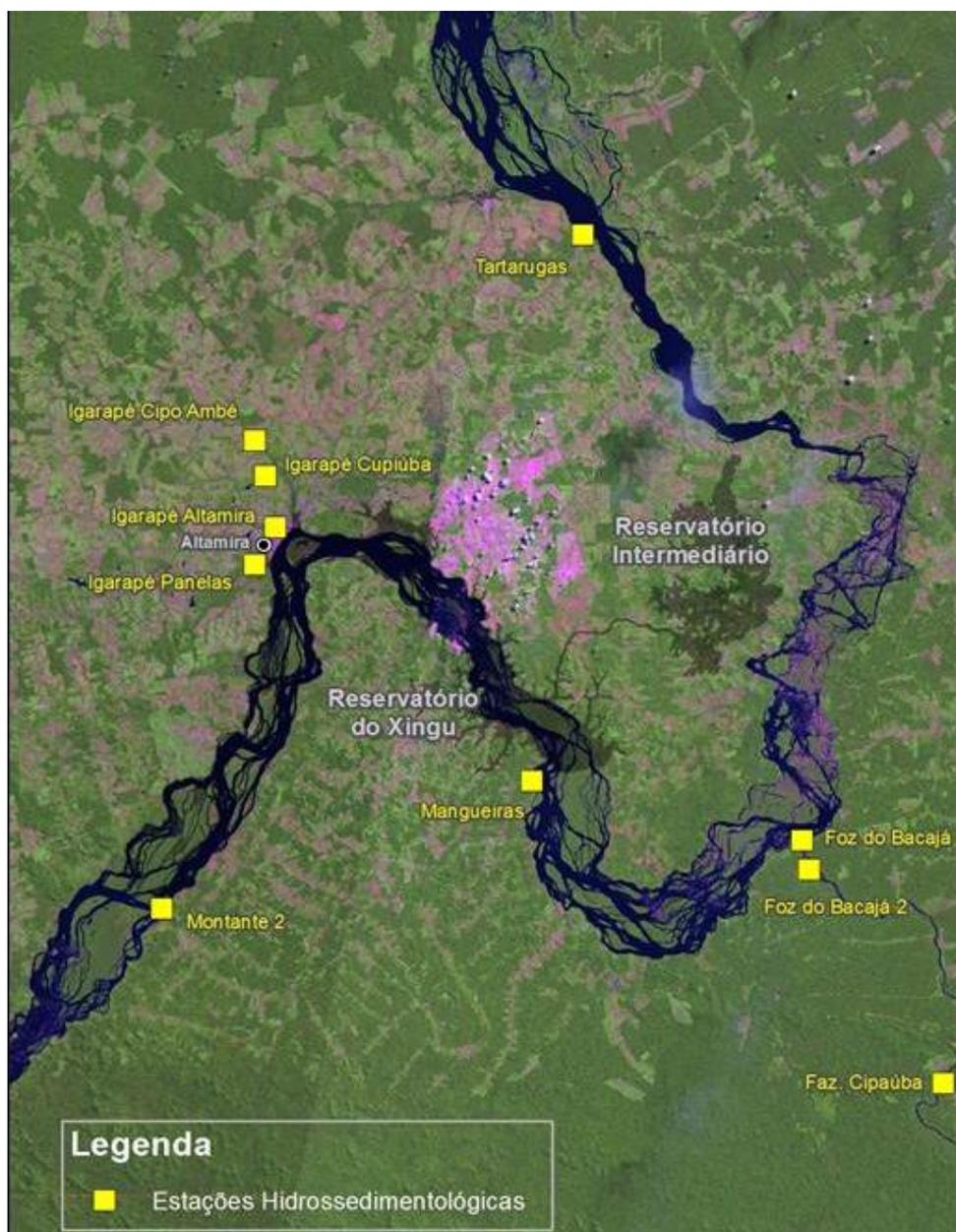
1	Instalação de estações fluviométricas																											
1	Instalação de estações fluviométricas																											
2	Medições de descarga líquida/sólida																											
2	Medições de descarga líquida/sólida																											
3	Levantamentos batimétricos																											
3.1	Igarapés de Altamira																											
3.2	Rio Xingu Jusante da Casa de Força Principal																											

**LEGENDA**  
 PREVISTO NO PBA  
 REALIZADO  
 PREVISTO

### 11.1.1.3. RESULTADOS E AVALIAÇÃO

Será apresentada a análise dos dados obtidos no monitoramento até setembro/2012, sendo que para a vazão sólida em suspensão a análise dos dados abrange até outubro/2012. A análise dos demais dados relativos ao monitoramento nos meses de outubro e novembro/2012 está em processamento, sendo posteriormente apresentada em um relatório complementar a ser enviado ao IBAMA, no primeiro trimestre de 2013.

A **Figura 11.1.1 - 2** apresenta a localização das estações de monitoramento fluviossedimentométricas, com exceção da estação Aldeia Mrotijã que se localiza a aproximadamente 250 km a montante da foz do rio Bacajá.



**Figura 11.1.1 - 2 - Localização das Estações Hidrossedimentométricas**

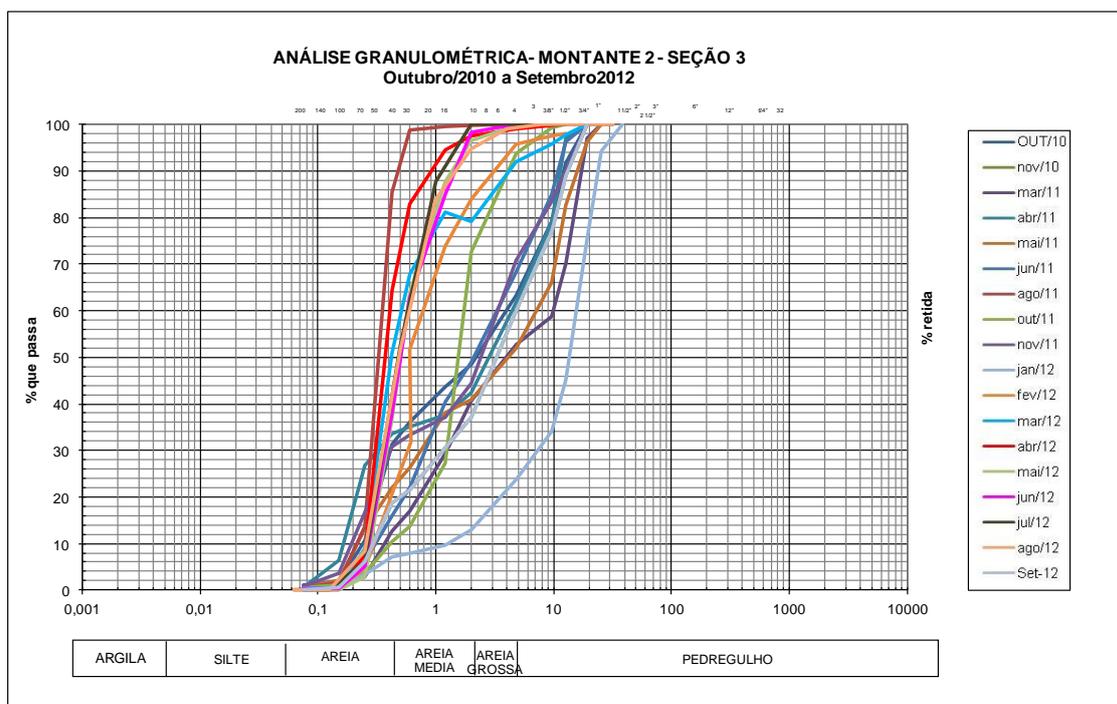
### 11.1.1.3.1. ANÁLISE MATERIAL DO LEITO

Os laudos de Granulometria de Sedimentos do Leito, relativos aos meses de julho a outubro/2012, são apresentados no **Anexo 11.1.1 - 1**. Os laudos anteriores a este período já foram apresentados no 2º Relatório Consolidado, entregue ao IBAMA em julho/2012.

#### a) Rio Xingu

##### Estação Montante 2

A variabilidade granulométrica das amostras do material do leito do rio Xingu, na estação Montante 2, durante o período de abril/2011 a setembro/2012 é apresentada na **Figura 11.1.1 - 3**.



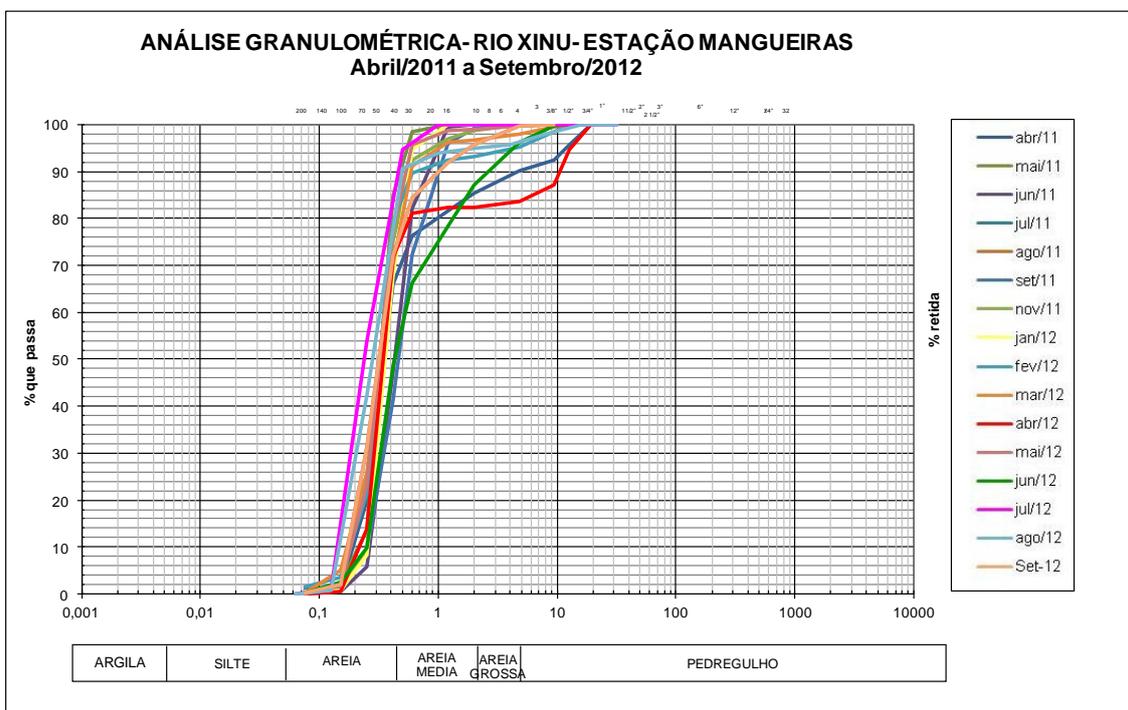
**Figura 11.1.1 - 3 - Envoltória das Curvas Granulométricas do Leito – Estação Montante 2-Seção 3.**

Observa-se uma grande variação da granulometria do material do leito no período monitorado, sendo este constituído em média de 54% de areia e 46% de pedregulho. O diâmetro médio apresentou grande amplitude no período, variando de 0,32mm a 15mm, com valor médio de 2,82mm (areia grossa).

##### Mangueiras

A **Figura 11.1.1 - 4** apresenta a envoltória das curvas granulométricas do material do leito do rio Xingu, na estação Mangueiras, localizada logo a jusante do eixo Pimental,

durante o período de abril/2011 a setembro/2012. Nesta estação está sendo medida a afluência sólida ao trecho de vazão reduzida.



**Figura 11.1.1 - 4 - Envoltória das Curvas Granulométricas do Leito –Estação Mangueiras.**

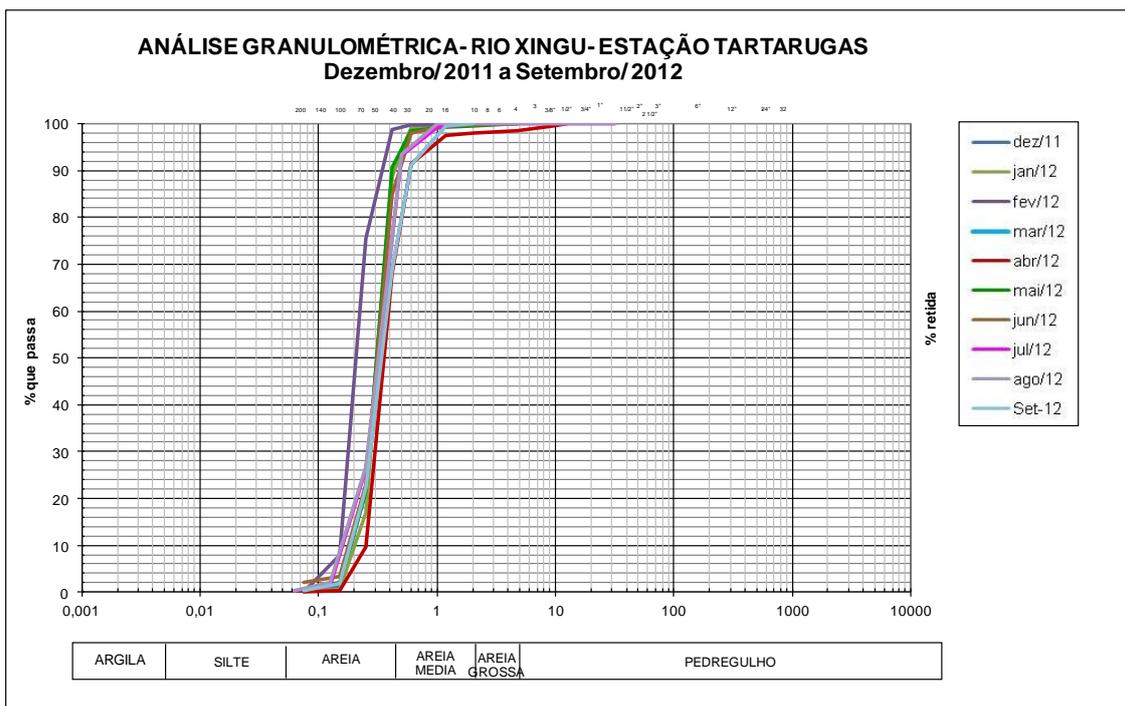
Observa-se que o material do leito é uniforme e apresenta granulometria mais fina se comparado com a estação Montante 2. A constituição média do material do leito no período foi: 0,4% de argila e silte; 88,8% de areia; 10,8% de pedregulho. O diâmetro médio - D50, variou de 0,24 a 2,0mm, com valor médio de 0,46 mm (areia fina).

## Tartarugas

Como parte do sedimento transportado se depositará no reservatório, no trecho a jusante deste, a água que sairá das turbinas poderá ter maior capacidade de erosão. O projeto estabelece, portanto, condição de acompanhamento do processo hidrossedimentológico no trecho a jusante da Casa de Força Principal, por meio da estação Tartarugas.

A **Figura 11.1.1 - 5** apresenta a envoltória das curvas granulométricas do material do leito do rio Xingu, na estação Tartarugas, durante o período de abril/2011 a setembro/2012.

Observa-se que um material do leito bem uniforme com granulometria na faixa da areia fina. A constituição média do material do leito no período foi: 0,3% de argila/silte; 99,3% de areia; 0,4% de pedregulho. O diâmetro médio - D50 variou pouco de 0,21 a 0,35mm, com valor médio de 0,31 mm.

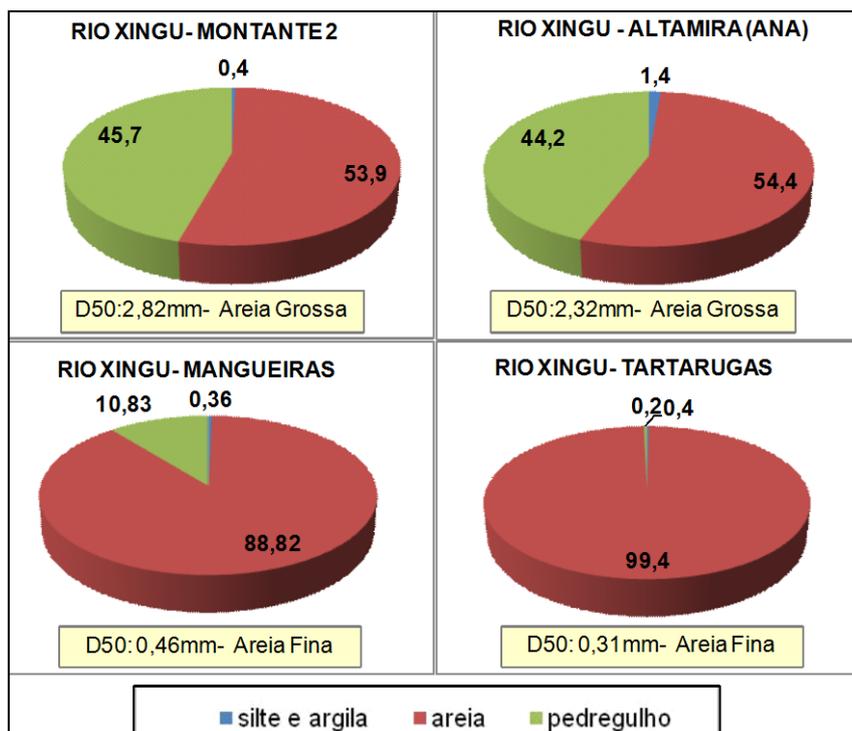


**Figura 11.1.1 - 5 - Envoltória das Curvas Granulométricas do Leito – Estação Tartarugas.**

Assim sendo, os sedimentos do leito do rio Xingu na estação Tartarugas, são constituídos predominantemente por areias finas. Segundo o EIA as curvas granulométricas do leito do rio Xingu na região dos bancos de areia de Juncal e outras localidades próximas, retratam que o sedimento tem um diâmetro médio variando entre 0,2 a 0,3 mm, com desvio padrão modesto (variando entre 1,25 a 1,75) demonstrando baixa capacidade de transporte.

### Comparativo- Estações Rio Xingu

Ao se comparar a granulometria média do material do leito do rio Xingu, nas estações Montante 2, Altamira (ANA), Mangueiras e Tartarugas, observa-se que esta segue a tendência esperada, uma vez que a presença de sedimentos mais grossos decrescem de montante para jusante (respectivamente Montante 2 para Tartarugas), onde são encontrados sedimentos bem mais finos (**Figura 11.1.1 - 6**).

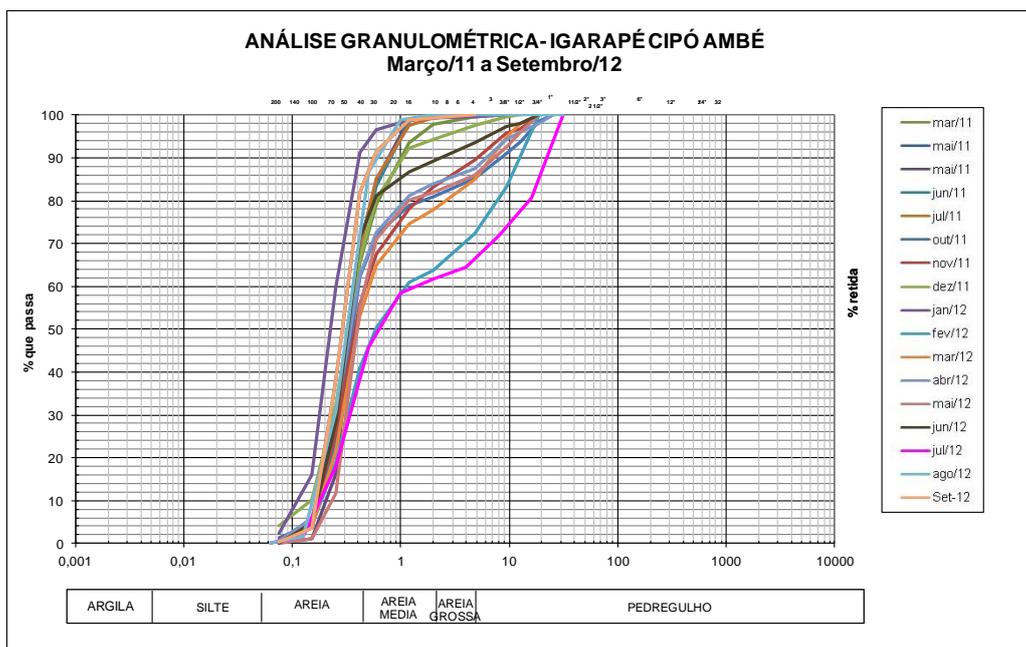


**Figura 11.1.1 - 6 - Comparação da Composição Granulométrica das Estações do rio Xingu: Montante 2, Altamira (ANA), Mangueiras, Tartarugas**

### b) Igarapés de Altamira

#### Igarapé Cipó Ambé

O igarapé Cipó Ambé é afluente do igarapé Ambé. A **Figura 11.1.1-7** apresenta a envoltória das curvas granulométricas do material do leito da estação igarapé Cipó Ambé, durante o período de março/2011 a setembro/ 2012.

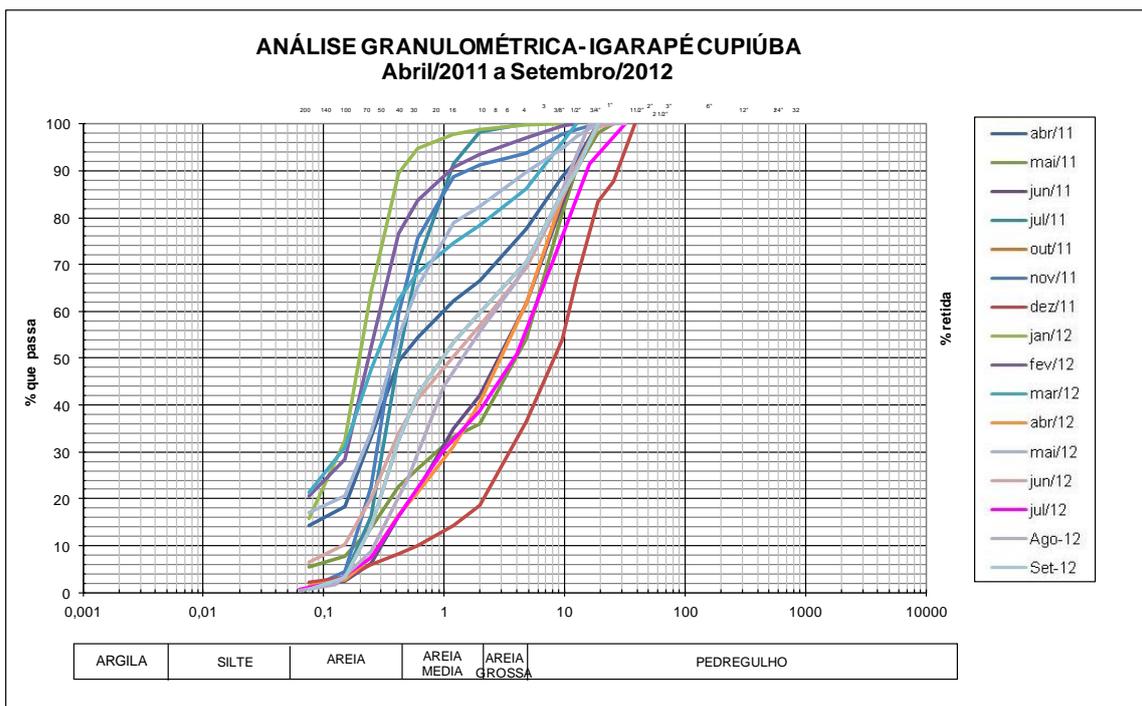


**Figura 11.1.1 - 7 - Envoltória das Curvas Granulométricas do Leito – Estação Igarapé Cipó Ambé.**

A constituição média do material do leito no período foi: 0,8% de argila/silte; 83,2% de areia; 16% de pedregulho. O diâmetro médio - D50 variou de 0,22 a 0,63mm, com valor médio de 0,38 mm (areia fina).

### Igarapé Cupiúba

A **Figura 11.1.1 - 8** apresenta a envoltória das curvas granulométricas do material do leito da estação igarapé Cupiúba, durante o período de março/2011 a setembro/ 2012.



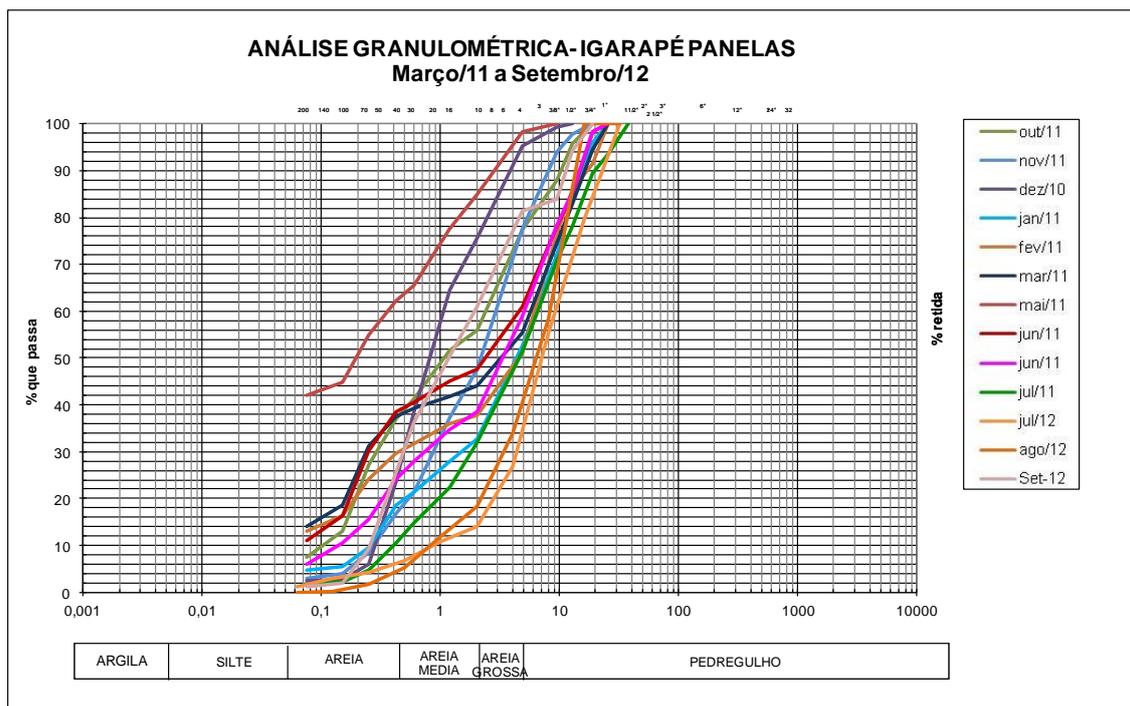
**Figura 11.1.1 - 8 - Envoltória das Curvas Granulométricas do Leito – Estação Igarapé Cupiúba.**

Os igarapés Cipó Ambé e Cupiúba são afluentes do igarapé Ambé, sendo que as estações encontram-se a montante da área urbana de Altamira. Porém observa-se uma diferença na constituição do material do leito dos mesmos, sendo que o do igarapé Cupiúba possui granulometria menos uniforme, com grande amplitude de variação do diâmetro médio e acentuada presença de pedregulho no material do leito.

A constituição média do material do leito no período foi: 8,7% de argila/silte; 51,1% de areia; 40,2% de pedregulho. O diâmetro médio - D50 variou de 0,20 a 8,0mm, com valor médio de 1,85 mm (areia média).

### Igarapé Panelas

A **Figura 11.1.1 - 9** apresenta a envoltória das curvas granulométricas do material do leito da estação igarapé Panelas, durante o período de março/2011 a setembro/2012.



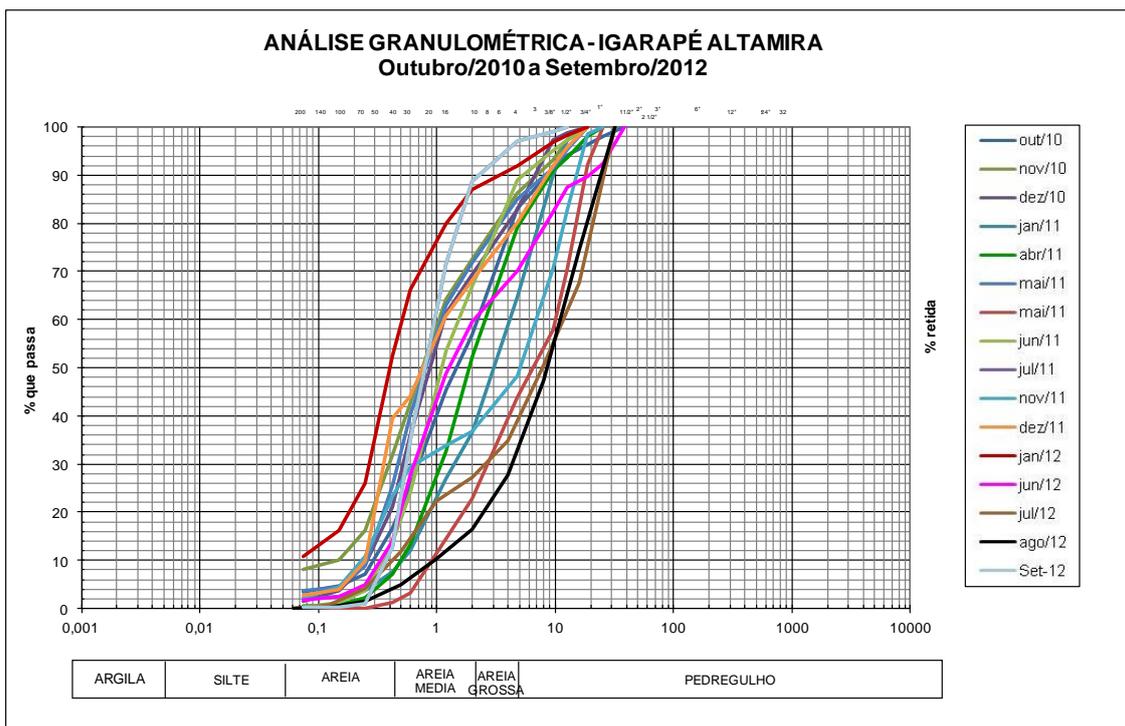
**Figura 11.1.1 - 9 - Envoltória das Curvas Granulométricas do Leito – Estação Igarapé Panelas.**

Observa-se um material parcialmente graduado, porém com granulometria mais grossa, se comparado ao igarapé Cipó Ambé, com predominância de pedregulho no material do leito. A constituição média do material do leito no período foi: 8,8% de argila/silte; 35,0% de areia; 56,2% de pedregulho. O diâmetro médio - D50 variou de 0,20 a 7,0mm, com valor médio de 3,21 mm (areia grossa).

### Igarapé Altamira

A **Figura 11.1.1 - 10** apresenta a envoltória das curvas granulométricas do material do leito da estação igarapé Altamira, durante o período de março/2011 a setembro/ 2012.

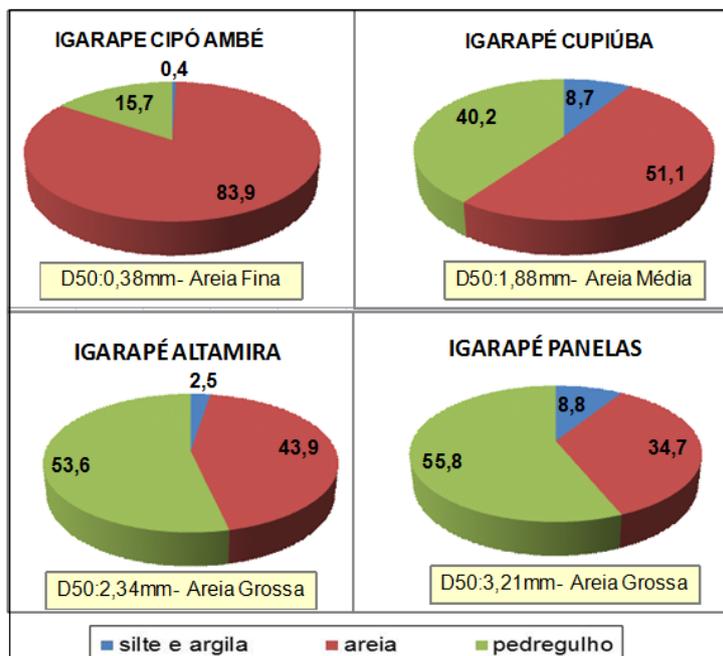
Observa-se um material parcialmente graduado, com grande variação do diâmetro médio. A constituição média do material do leito no período foi: 2,5% de argila/silte; 43,9% de areia; 53,5% de pedregulho. O diâmetro médio - D50 variou de 0,40 a 7,83 mm, com valor médio de 2,34 mm (areia grossa).



**Figura 11.1.1 - 11 - Envoltória das Curvas Granulométricas do Leito – Estação Igarapé Altamira.**

### Comparativo dos Igarapés de Altamira

A partir da análise comparativa infere-se que a obtenção de material de granulometria mais grosseira no leito dos igarapés Pannels e Altamira pode advir do fato dos mesmos estarem mais expostos a processos erosivos, devido a maior urbanização de suas bacias. A granulometria mais fina do leito do igarapé Cipó Ambé pode estar relacionada à maior preservação de ocupação antrópica na sua bacia.



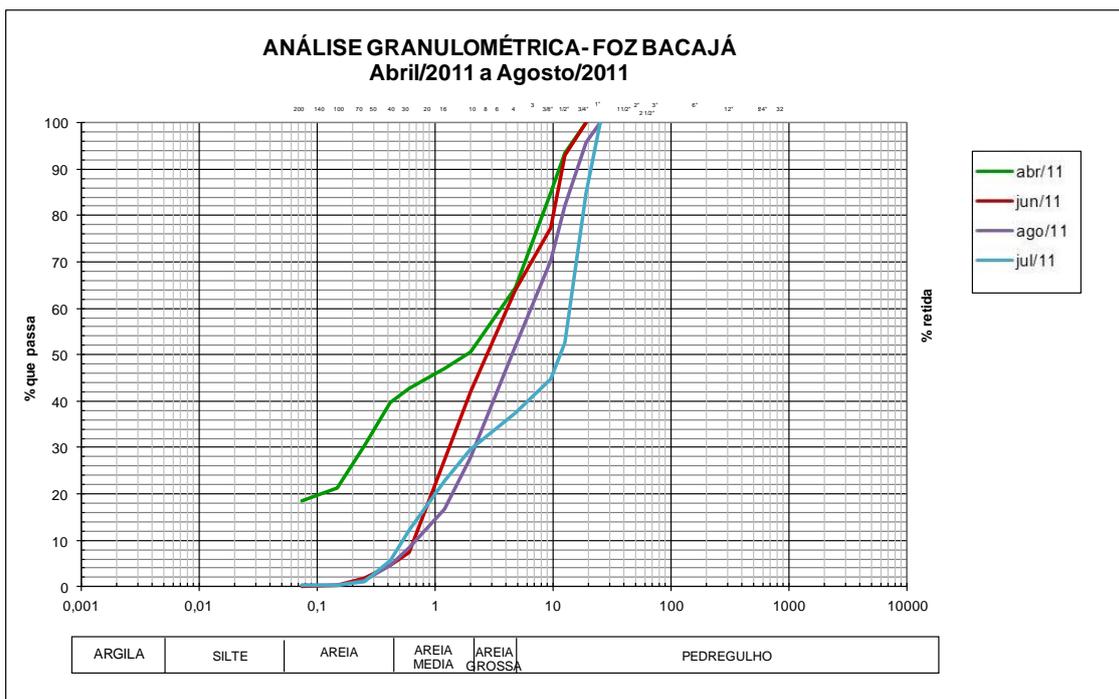
**Figura 11.1.1 - 12 - Comparação do Material do Leito dos Igarapés de Altamira  
c) Rio Bacajá**

### Foz do Bacajá

Para quantificar a carga sólida transportada pelo rio Bacajá, que é o principal contribuinte da margem direita do rio Xingu, no trecho da Volta Grande e avaliar os possíveis efeitos de erosão em sua foz, estão sendo monitoradas as estações hidrossedimentométricas: Foz do Bacajá, Fazenda Cipaúba e Aldeia Mrotidjãm.

O monitoramento do material do leito do rio Bacajá na estação Foz do Bacajá teve início em Abril/11, mas só serão apresentados os resultados até agosto/11. O material coletado nos meses posteriores não permitiu a realização de ensaio de granulometria, pois as análises mostraram que o rio Bacajá nesta seção possui o leito extremamente rochoso, o que dificulta a coleta de sedimento em várias verticais.

A **Figura 11.1.1 - 13** apresenta a envoltória das curvas granulométricas do material do leito na estação Foz do Bacajá, durante o período de abril/2011 a agosto/2011.



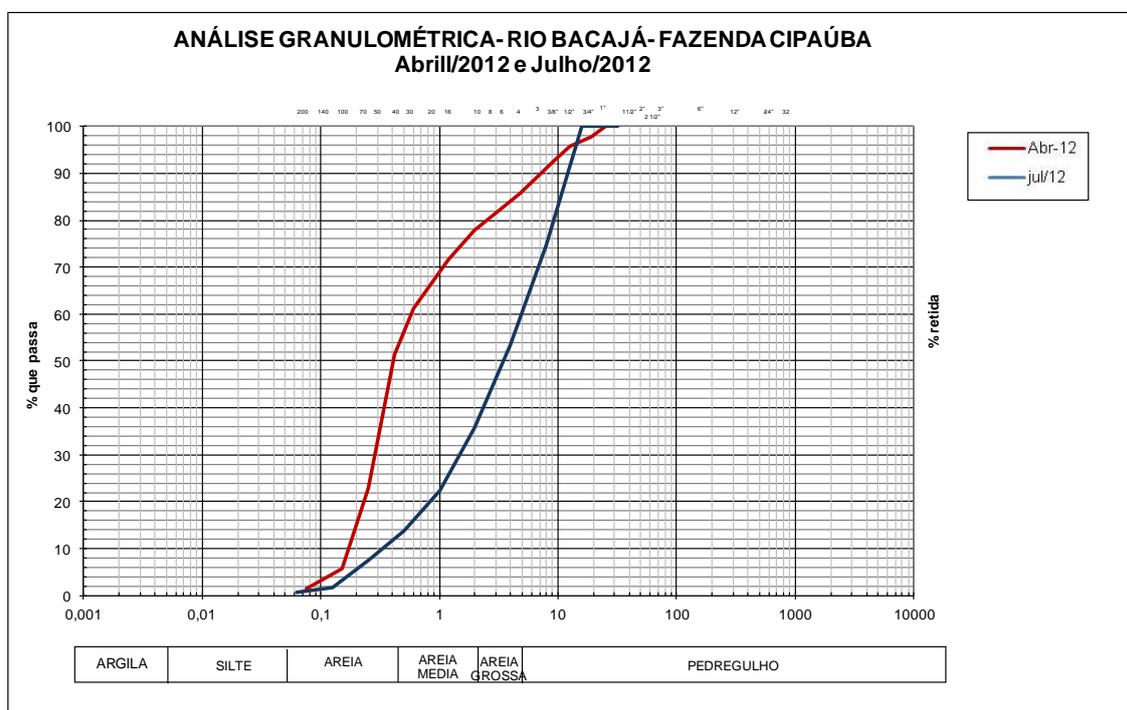
**Figura 11.1.1 - 13 - Envoltória das Curvas Granulométricas do Leito do Rio Bacajá– Estação Foz do Bacajá.**

Observa-se um material parcialmente graduado, com grande variação do diâmetro médio. A constituição média do material do leito no período foi: 4,5% de argila/silte; 24,0% de areia; 71,5% de pedregulho. O diâmetro médio - D50 variou de 1,95 a 12,00 mm, com valor médio de 5,31 mm (pedregulho).

### Fazenda Cipaúba

O monitoramento desta estação, que teve início em fevereiro/2012, foi realizado com frequência trimestral conforme previsto em Projeto. Entretanto, durante a consistência dos dados coletados no segundo semestre de 2012 foram identificadas dificuldades na validação dos resultados. Por esse motivo, optou-se por realizar reanálise dos dados de sedimento do leito referentes a este período. Informa-se que os resultados desse procedimento serão encaminhados posteriormente, em relatório complementar, ainda neste primeiro trimestre de 2013.

A **Figura 11.1.1 - 14** apresenta a envoltória das curvas granulométricas do material do leito do rio Bacajá na estação Fazenda Cipaúba.



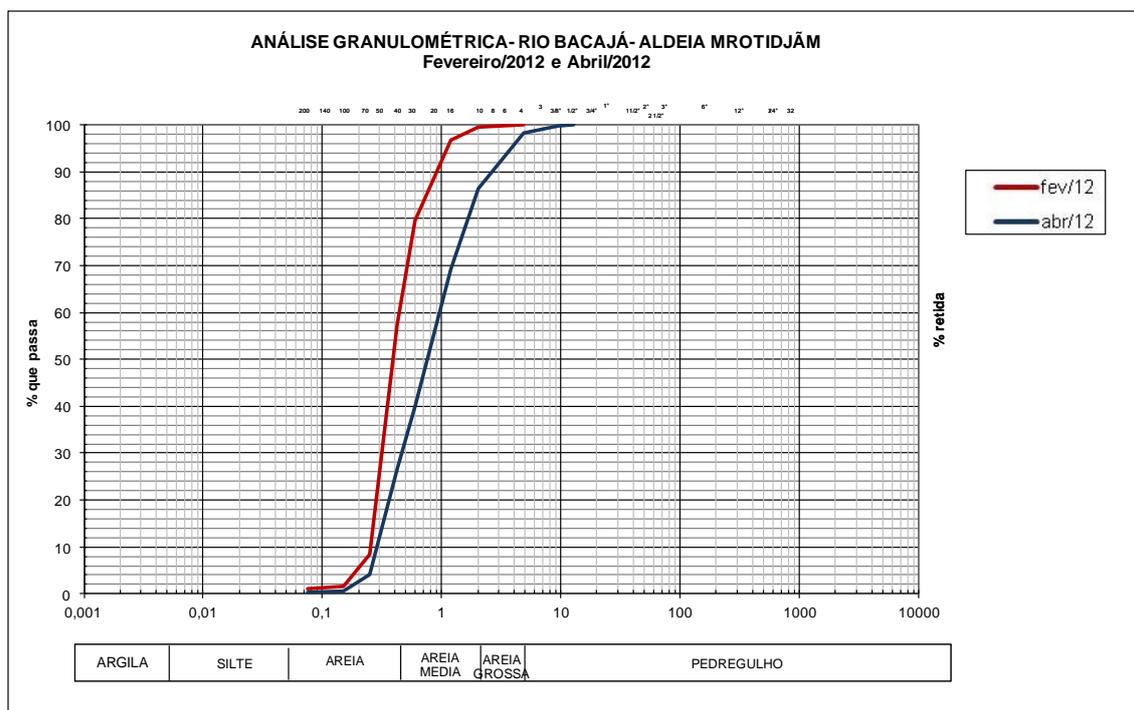
**Figura 11.1.1 - 14 - Envoltória das Curvas Granulométricas do Leito do Rio Bacajá– Estação Fazenda Cipaúba.**

Houve uma grande variação da granulometria do material do leito nos dois meses monitorados. O diâmetro médio apresentou grande amplitude no período, sendo de 0,4mm (areia fina) em abril/12 e 3,50mm (areia grossa) em julho/12. A continuidade do monitoramento será essencial para aprofundamento da análise.

### Aldeia Mrotidjãm

O monitoramento desta estação que teve início em fevereiro/2012 possui frequência trimestral. Entretanto, devido às mesmas dificuldades citadas na estação Fazenda Cipaúba, só serão apresentados neste relatório os dados de sedimento do leito dos meses de fevereiro e abril/12. A análise dos demais dados será encaminhada posteriormente no relatório complementar ainda neste primeiro trimestre de 2013.

A **Figura 11.1.1 - 15** apresenta a envoltória das curvas granulométricas do material do leito do rio Bacajá nesta estação.



**Figura 11.1.1 - 15 - Envoltória das Curvas Granulométricas do Leito do Rio Bacajá– Estação Aldeia Mrotidjãm.**

Observa-se um material bem uniforme, com predomínio de areia e constituição média de: 0,5% de argila/silte; 82,0% de areia; 17,0% de pedregulho. O diâmetro médio - D50 variou de 0,39 a 0,79 mm, com valor médio de 0,59 mm (limite entre areia média e grossa).

O comportamento fora do convencional da granulometria dos sedimentos de fundo do rio Bacajá, observados até agora, precisa ser analisado mais profundamente e para isso a análise integral dos dados das estações Fazenda Cipaúba e Aldeia Mrotidjãm é essencial.

Uma das hipóteses a ser pesquisada, quando estiverem disponíveis todos os dados, é que a ocorrência de processos erosivos junto a foz do Bacajá e antropização da bacia hidrográfica, com desmatamentos e garimpos, estejam alterado as condições naturais deste curso d'água. Estas ações, além de causarem modificação na distribuição granulométrica do material do leito têm como consequência secundária a modificação do *Número de Manning* (n) relativo ao grão de sedimento nas seções do rio, o qual é justamente função da dimensão característica das partículas.

## Resumo dos Resultados de Granulometria

O principal resultado a ser destacado neste item é a qualificação dos sedimentos, em termos de granulometria, de todas as regiões monitoradas no presente Projeto, mais de um ano antes do fechamento total da barragem do Pimental, ou seja, montante e jusante do empreendimento e principais contribuintes conforme pode ser observado no **Quadro 11.1.1 - 4**.

Com base nestas informações já se torna possível acompanhar a evolução de alterações na dinâmica de sedimentação nos trechos diretamente impactados pelo empreendimento.

**Quadro 11.1.1 - 4: Tabela resumo dos resultados do monitoramento da granulometria de sedimentos do Xingu e tributários.**

ID	Estação	Região	% Pedregu- -lho	% Areia	% Silte/ argila	Diâmetro médio (mm)	Denominação
1	Montante 2	Rio Xingu- Montante Pimental	54,00	46,00	0,00	2,82	Areia Grossa
2	Altamira	Rio Xingu- Montante Pimental	-	-	-	-	-
3	Igarapé Altamira	Igarapés Altamira	53,50	43,90	2,50	2,34	Areia Grossa
4	Ig. Cipó Ambé	Igarapés Altamira	16,00	83,20	0,80	0,38	Areia Fina
5	Ig. Pannels	Igarapés Altamira	56,20	35,00	8,80	3,21	Areia Grossa
6	Ig. Cupiúbas	Igarapés Altamira	40,20	51,10	8,70	1,85	Areia Média
7	Mangueiras	Rio Xingu- TVR	10,80	88,80	0,40	0,46	Areia Fina
8	Foz Bacajá	Rio Bacajá	71,50	24,00	4,50	5,31	Pedregulho
9	Fazenda Cipaúba	Rio Bacajá	64,00	35,00	1,00	0,59	Areia fina a média
10	Aldeia Mrodjân	Rio Bacajá	17,00	82,00	0,50	1,59	Areia fina a média
11	Tartarugas	Rio Xingu- Jusante BM	0,40	99,30	0,30	0,31	Areia Fina

#### 11.1.1.3.2. CÁLCULO DA DESCARGA SÓLIDA

O transporte ou a deposição de sedimentos ao longo de um rio depende fundamentalmente das características físico-químicas do material carreado e da capacidade (energia) do fluxo de água para transportá-lo. Partículas mais finas e leves, como as argilas, têm maior facilidade de serem transportadas, enquanto para o carregamento dos materiais maiores e mais pesados, como as areias, a energia dos cursos d'água tem que ser maior. O mesmo raciocínio pode ser utilizado para o entendimento do processo de deposição de sedimentos, em que as partículas mais pesadas são as primeiras a serem depositadas.

O processo de movimentação do sedimento no canal fluvial, denominado de transporte sólido pode se dar essencialmente por três formas.

As partículas mais pesadas deslocam-se junto ao fundo, por rolamento, deslizamento ou saltação, constituindo a descarga de fundo, ou descarga de arraste. As partículas mais leves são transportadas ao longo de todo o fluido em escoamento, constituindo a descarga em suspensão. De forma menos importante, em termos de morfologia fluvial, a terceira modalidade de transporte de material corresponde ao transporte em solução, com o material sólido dissolvido no meio líquido, sendo que esta forma não será estudada na presente análise.

A proporção entre as duas formas mais importantes de transporte é bastante variável, de acordo com as características do curso d'água, dos sedimentos e do regime hidrológico. De forma geral, constata-se que a descarga em suspensão é predominantemente maior que a de fundo, mas apesar de representar um menor volume transportado, a descarga de fundo apresenta maior repercussão na morfologia fluvial.

A descarga sólida em suspensão é calculada independentemente da descarga do leito porque não seguem a mesma lei de movimento. Enquanto o material em suspensão fica sujeito à ação da corrente, o material do leito sofre também ações de resistência entre as próprias partículas e interferências no leito.

Assim sendo, na presente análise a descarga sólida total nas diversas seções do projeto será obtida pela soma da descarga sólida de sedimentos em suspensão e da descarga sólida de sedimentos do leito. Para isto, foram utilizados os dados de monitoramento hidrossedimentológico, no período de Novembro/11 a Outubro/2012, que constam de laudos de concentração de sólidos em suspensão, bem como laudos referentes a granulometria do material do leito, além de parâmetros geométricos dos cursos d'água obtidos pela medição da vazão líquida: velocidade média, largura média, profundidade média, etc.

Os dados relativos ao monitoramento das estações Aldeia Mrotidjâm e Fazenda Cipaúba não serão analisados no presente relatório, uma vez as mesmas não

dispõem de uma série maior de dados, tendo em vista a frequência trimestral da coleta de sedimentos e o início de operação posterior destas.

## A. DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO

O cálculo da descarga em suspensão foi feito considerando que o sedimento se movimenta com a velocidade da corrente em toda a seção transversal, ficando assim igual ao produto da descarga líquida pela concentração. Foi utilizada a seguinte equação:

$$Q_{SS} = 0,864 \cdot Q \cdot C$$

Sendo:

- $Q_{SS}$  a descarga sólida em suspensão (t/dia);
- $Q$  a descarga líquida ( $m^3/s$ );
- $C$  a concentração de sólidos em suspensão média medida (mg/L).

Também foram estabelecidas as curvas-chaves de sedimentos em suspensão. Neste sentido, a continuidade do monitoramento irá permitir a aferição desta curva-chave, de maneira a possibilitar avaliações futuras da vazão sólida, de maneira rápida e satisfatória.

Os laudos de Concentração de Sedimentos em Suspensão relativos aos meses de julho a outubro/2012 são apresentados no **Anexo 11.1.1-2**. Os laudos anteriores a este período já foram apresentados no 3º Relatório Consolidado, entregue ao IBAMA em julho/12.

Os dados brutos de medição da vazão líquida são apresentados no **Banco de Dados 11.1.1 - 1**. As planilhas de cálculo de vazão sólida em suspensão são apresentadas no **Banco de Dados 11.1.1 - 2**.

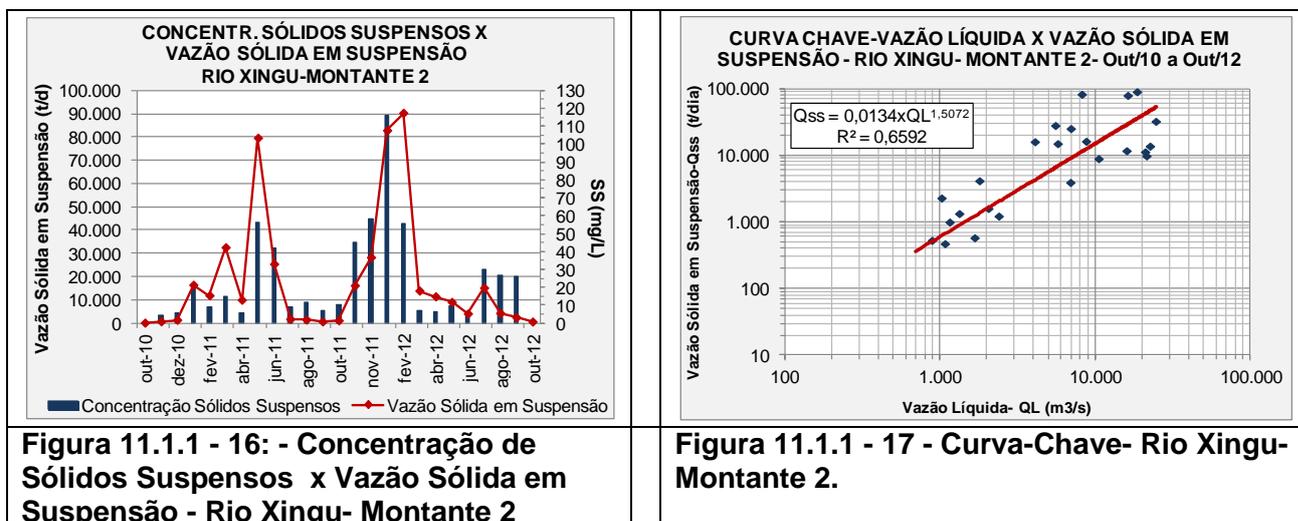
- **RIO XINGU**

### Montante 2

No período de outubro/2010 a outubro/2012 a concentração média de sedimentos em suspensão ( $C_{SS}$ ) no rio Xingu, na estação Montante 2 (a montante da cidade de Altamira) variou de 0,16 a 116,22 mg/l, com valor médio de 23,51mg/l. A vazão sólida em suspensão ( $Q_{SS}$ ) média foi de 19.106 T/dia (**Figura 11.1.1-16**).

Observa-se que a quantidade de sedimento transportado no rio Xingu está diretamente relacionada à vazão e a intensidade das precipitações, estando maior no

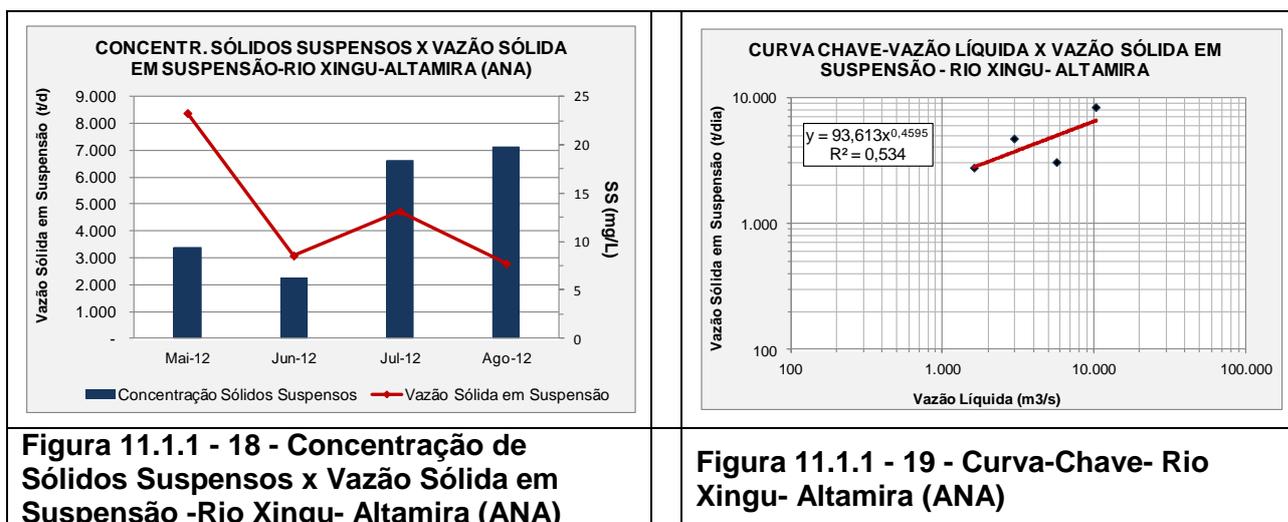
período da cheia e menor durante a estiagem, devido à lavagem da bacia hidrográfica e o conseqüente carreamento dos sedimentos para os cursos d'água.



A curva-chave de sedimento em suspensão, determinada pela análise de regressão linear entre a vazão líquida -  $Q_L$  (m<sup>3</sup> /s) e a vazão sólida em suspensão- $Q_{ss}$  (T/dia) é expressa na equação:  $Q_{ss} = 0,0134 \times Q_L^{1,5072}$ , com um coeficiente de determinação de 0,659 (Figura 11.1.1 - 17). A análise de regressão linear mostrou que o modelo da potência foi o que melhor se ajustou, mas a relação entre a vazão e a descarga sólida pode ser aprimorada agrupando-se os dados de acordo com as estações (cheia e estiagem) e com as fases ascendentes e descendentes da hidrógrafa.

### Altamira (ANA)

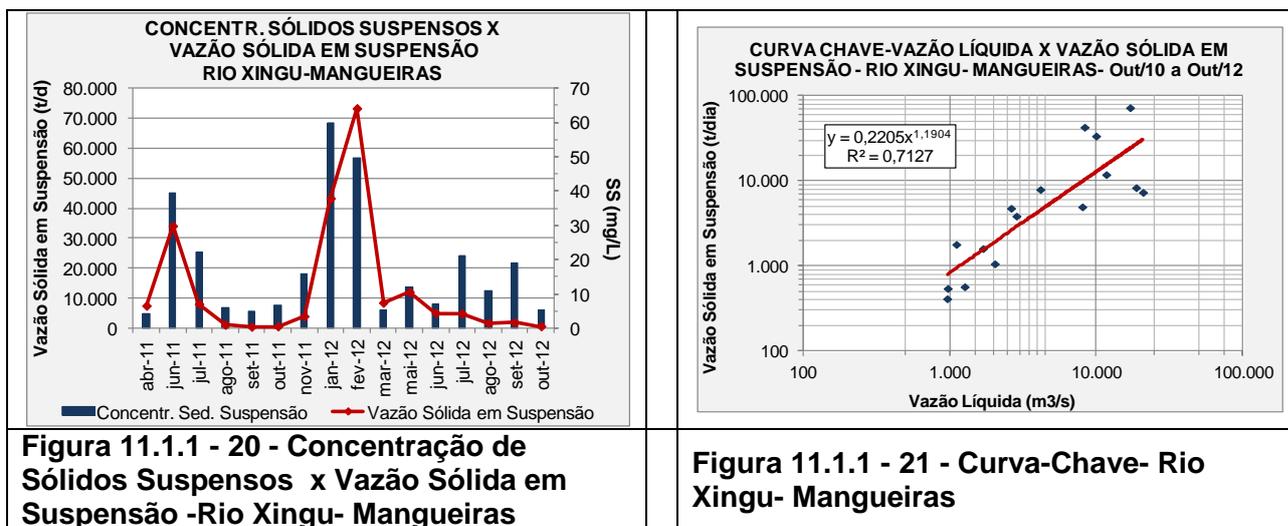
Na estação Altamira (ANA) as concentrações de sólidos em suspensão variam de 0,07 mg/l a 139,2 mg/l, ficando o valor médio entornho de 20,6 mg/l (Figura 11.1.1 - 18).



A curva-chave de sedimento em suspensão, determinada pela análise de regressão linear entre a  $Q_L$  (m<sup>3</sup> /s) e  $Q_{ss}$  (T/dia) medidos a partir do monitoramento da Norte Energia é expressa na equação:  $Q_{ss} = 93,613 \times Q_L^{0,4595}$ , com um coeficiente de determinação de 0,534 (**Figura 11.1.1-19**).

## Mangueiras

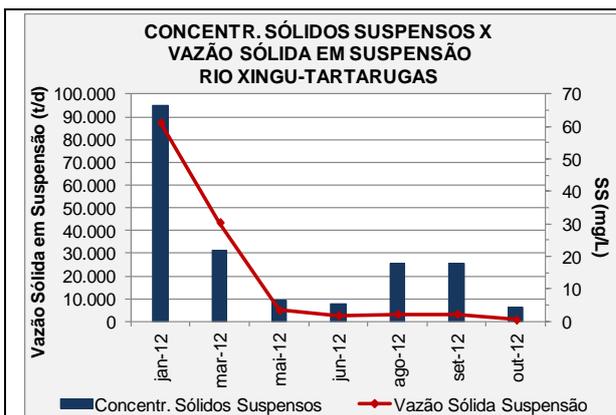
Ao longo do período monitorado a concentração média de sedimentos em suspensão variou de 4,10 a 59,87 mg/L, com valor médio de 18,07 mg/L. A vazão sólida em suspensão média foi de 14.546 T/dia (**Figura 11.1.1 - 20**).



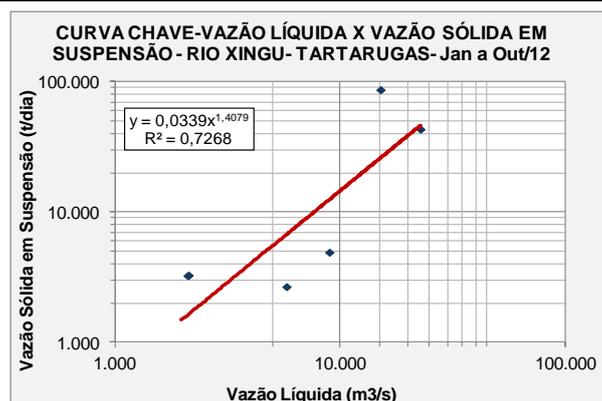
A curva-chave de sedimento em suspensão, determinada pela análise de regressão linear entre a  $Q_L$  (m<sup>3</sup> /s) e  $Q_{ss}$  (T/dia) é expressa na equação:  $Q_{ss} = 0,2205 \times Q_L^{1,1904}$ , com um coeficiente de determinação de 0,712(**Figura 11.1.1 - 21**).

## Tartarugas

A concentração média de sedimentos em suspensão no rio Xingu, na estação Tartarugas variou de 4,40 a 66,52 mg/L, com valor médio de 20,05 mg/l. A vazão sólida em suspensão média no período foi de 20.833 T/dia (**Figura 11.1.1 - 22**).



**Figura 11.1.1 - 22 - Concentração de Sólidos Suspensos x Vazão Sólida em Suspensão -Rio Xingu- Tartarugas.**

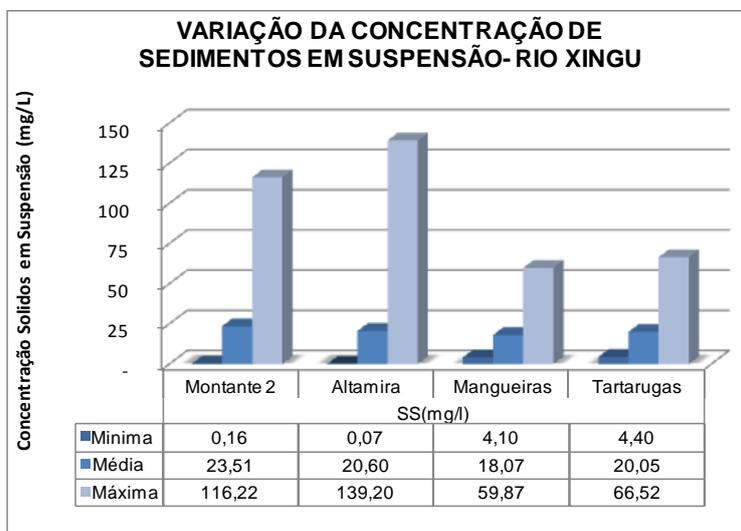


**Figura 11.1.1 - 23 - Curva-Chave- Rio Xingu- Tartarugas**

A curva-chave de sedimento em suspensão, determinada pela análise de regressão linear entre a  $Q_L$  (m<sup>3</sup> /s) e  $Q_{ss}$  (T/dia) é expressa na equação:  $Q_{ss} = 0,0339xQ_L^{1,4079}$ , com um coeficiente de determinação de 0,727 (Ver **Figura 11.1.1 - 23**).

### Comparativo - Estações do Rio Xingu

Uma comparação da concentração média de sedimentos em suspensão, nas quatro estações operadas no rio Xingu, é apresentada na **Figura 11.1.1 - 24**:



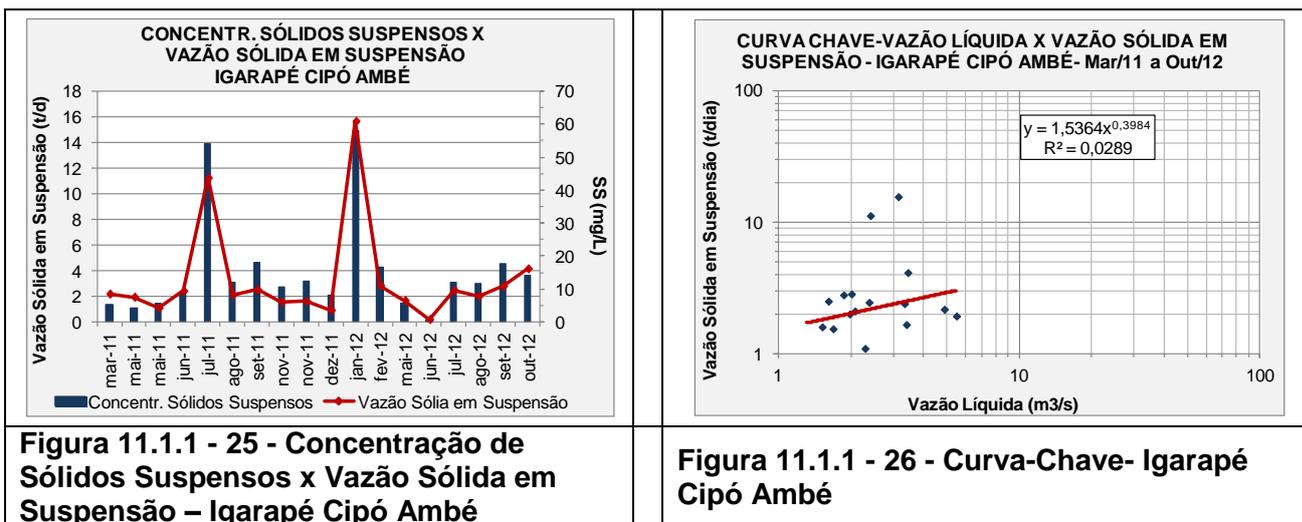
**Figura 11.1.1 - 24 - Comparação da Concentração Média de Sólidos Suspensos - Rio Xingu.**

A bacia do rio Xingu apresenta baixas taxas de transporte de sedimentos. Os valores médios de concentração de sólidos em suspensão, observados nas quatro estações monitoradas no rio Xingu são muito próximos, sendo que estes valores são maiores nas estações Montante 2 e Tartarugas. No entanto, o período de monitoramento na estação é menor.

- **IGARAPÉS DE ALTAMIRA**

### Igarapé Cipó Ambé

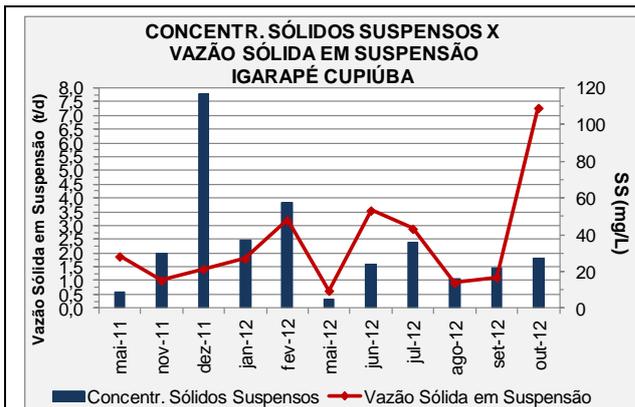
Ao longo do período monitorado a concentração média de sedimentos em suspensão no igarapé Cipó Ambé variou de 0,87 a 57,84 mg/l, com valor médio de 15,27 mg/l. A vazão sólida em suspensão média foi de 3,30 T/dia.



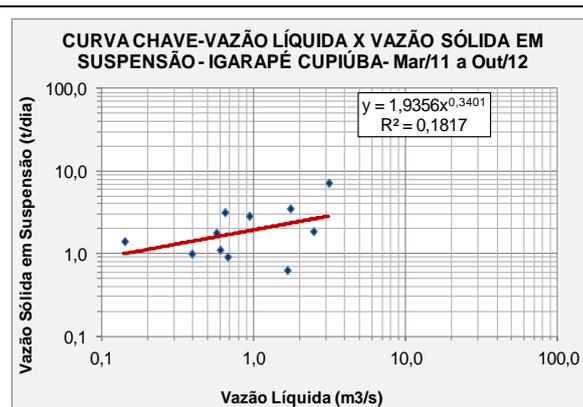
A  $C_{ss}$  esteve baixa no período das chuvas o que pode retratar a relativa preservação da bacia a montante da estação. A curva-chave de sedimentos em suspensão apresentou grande dispersão, denotando que a variação da  $C_{SS}$  não seguiu a mesma tendência da  $Q_{SS}$  (**Figura 11.1.1 - 26**).

### Igarapé Cupiúba

Ao longo do período monitorado a concentração média de sedimentos em suspensão no igarapé Cupiúba variou de 4,46 a 116,95 mg/L com valor médio de 37,70 mg/l, bem superior ao observado no igarapé Cipó Ambé também afluente do igarapé Ambé. A vazão sólida em suspensão média foi de 1,93 T/dia (**Figura 11.1.1 - 27**).



**Figura 11.1.1 - 27 – Concentr. Sólidos Suspensos x Vazão Sólida em Suspensão – Igarapé Cuiúba**

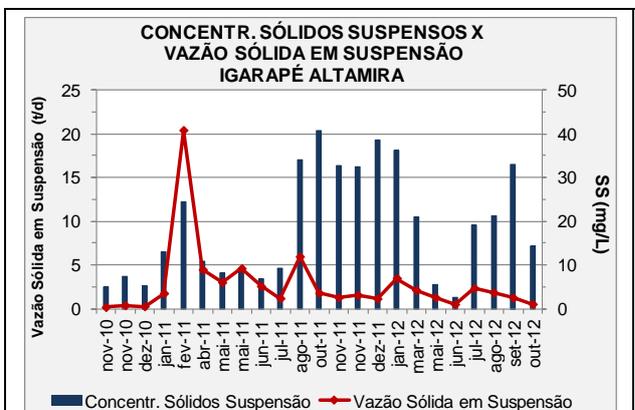


**Figura 11.1.1 - 28 - Curva-Chave- Igarapé Cuiúba**

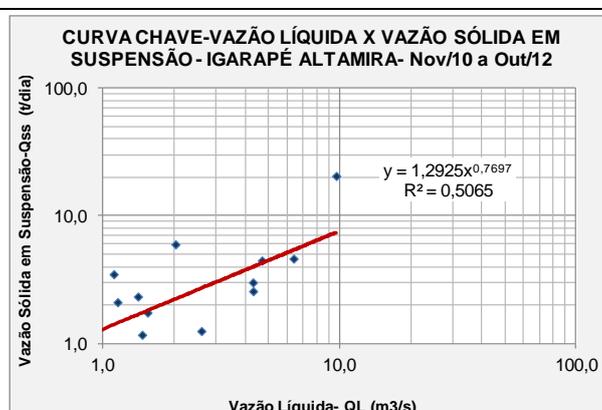
Não se observa uma relação direta entre a concentração de sedimento em suspensão e a vazão, o que foi refletido no ajuste ruim da curva-chave (**Figura 11.1.1 - 28**). É necessária a continuidade do monitoramento para aprofundamento da análise.

### Igarapé Altamira

Ao longo do período monitorado a concentração média de sedimentos em suspensão no igarapé Altamira variou de 2,57 a 40,72 mg/L, com valor médio de 18,67 mg/L.



**Figura 11.1.1 - 29 - Concentração de Sólidos Suspensos x Vazão Sólida em Suspensão – Igarapé Altamira**

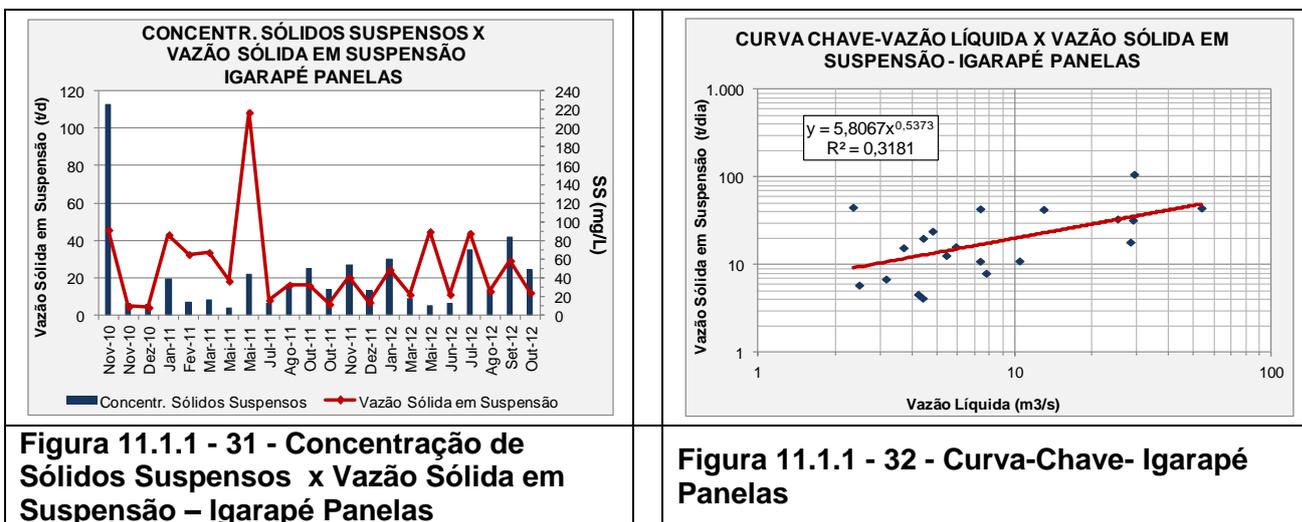


**Figura 11.1.1 - 30 - Curva-Chave- Igarapé Altamira**

A vazão sólida em suspensão média foi de 2,08 T/dia. Foi encontrado um ajuste razoável para a curva-chave, sendo que a continuidade do monitoramento e de primordial importância para aprofundamento desta análise (**Figura 11.1.1 - 30**).

## Igarapé Pannels

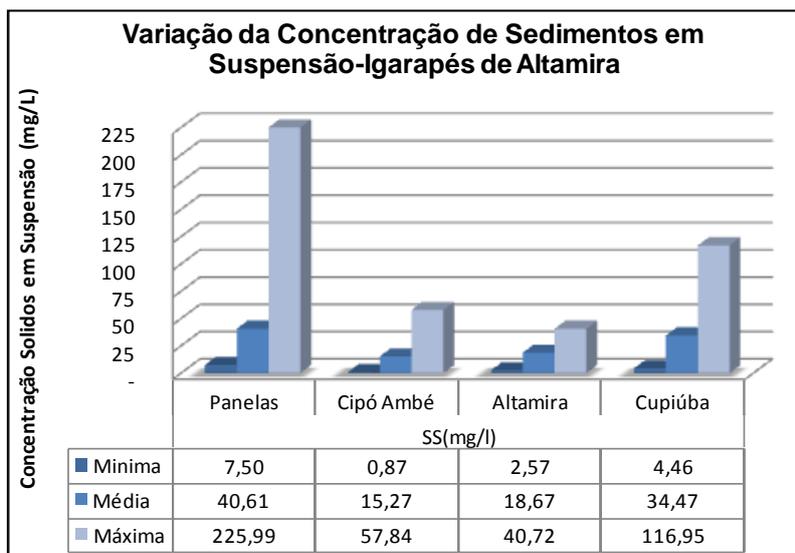
Ao longo do período monitorado a concentração média de sedimentos em suspensão no igarapé Pannels variou de 7,50 a 226,00 mg/l, com valor médio de 40,6 mg/l. A vazão sólida em suspensão média foi de 25,18 T/dia.



A curva-chave de sedimentos em suspensão do igarapé Pannels apresentou grande dispersão, sendo indicada a continuidade do monitoramento.

## Comparativo - Igarapés de Altamira

Uma comparação da concentração de sedimentos em suspensão, nas quatro estações operadas nos igarapés de Altamira é apresentada na **Figura 11.1.1 - 33**.



**Figura 11.1.1 - 33 - Comparação Concentração Média de Sólidos Suspensos- Igarapés de Altamira**

Não foi encontrado um bom ajuste para as curva-chave de sedimentos dos igarapés de Altamira, pois a variação da concentração de sedimentos ao longo do tempo apresentou um comportamento diferenciado da vazão. A provável explicação para esta situação baseia-se no fato destes igarapés possuírem bacias hidrográficas parcialmente urbanizadas, onde há uma carga de sedimentos em suspensão inicial bastante alta (primeiras chuvas), que corresponde à carga de lavagem das ruas, sendo que em seguida essa carga diminui e passa a variar em concordância com a vazão. Mas este fato precisa ser melhor analisado e caracterizado.

A quantificação dos sedimentos em suspensão, em geral, reflete as taxas erosivas e antropização da bacia hidrográfica. A sub-bacia do igarapé Altamira é a mais antropizada, com grande comprometimento de suas condições ambientais em virtude do recebimento de grande parcela dos esgotos sem tratamento da cidade de Altamira. No entanto, a concentração de sedimentos em suspensão neste curso d'água não é tão significativa quanto se esperava.

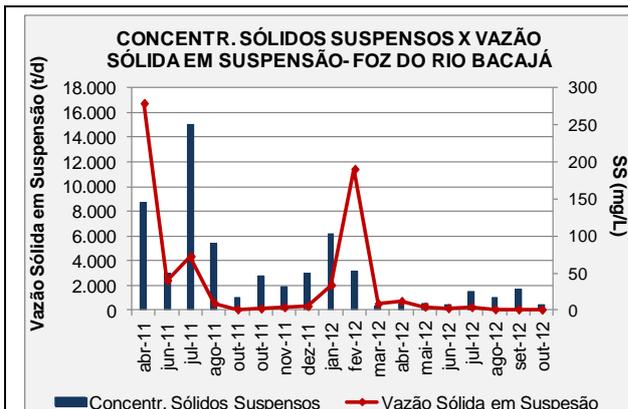
Observam-se concentrações médias e máximas de sólidos suspensos mais elevadas nos igarapés Panelas e Cupiúba. O igarapé Panelas, embora possua sub-bacia relativamente pouco antropizada é cortado pela rodovia Transamazônica, sendo que na época das chuvas grande quantidade de sedimentos é carregada para este curso d'água. A jusante da estação neste igarapé há muita extração de argila, o que pode contribuir para o aumento da concentração de sólidos suspensos. Já o igarapé Cupiúba pode estar sofrendo acelerada antropização, decorrente do processo de ocupação do solo, devido ao avanço imobiliário neste local.

É necessária a continuação do monitoramento para aprofundamento da análise.

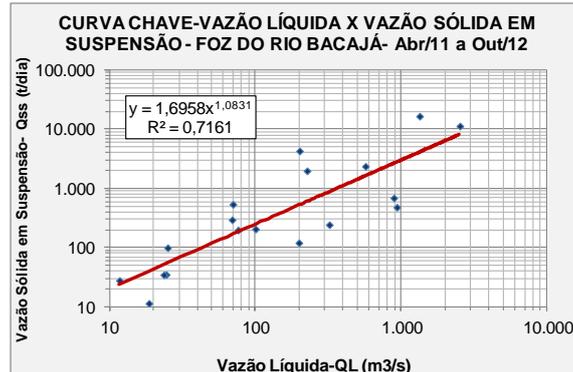
- **RIO BACAJÁ**

#### Foz do Rio Bacajá

Ao longo do período monitorado a concentração média de sedimentos em suspensão na estação Foz do Bacajá variou de 6,06 a 250,40 mg/l, com valor médio de 52,34 mg/l. A vazão sólida em suspensão média foi de 2.213 T/dia.



**Figura 11.1.1 - 34 - Concentração de Sólidos Suspensos x Vazão Sólida em Suspensão – Foz do Bacajá.**



**Figura 11.1.1 - 35 - Curva-Chave- Foz do Bacajá**

Foi encontrado um ajuste razoável para a curva-chave. Observa-se uma vazão sólida em suspensão bem baixa no período de estiagem decorrente das baixas vazões líquidas observadas no rio Bacajá neste período.

Entretanto, observa-se uma alta concentração média de sedimentos em suspensão, bem superior às demais estações amostradas no projeto. Esta informação evidencia a má gestão da Bacia do Bacajá, com desmatamentos, uso por garimpos e substituição de vegetação natural que influencia diretamente no escoamento superficial e consequentemente na qualidade da água e no volume de sedimentos carregados. Salienta-se ainda que nenhuma destas condições está associada ao empreendimento da UHE Belo Monte que não possui nenhuma atividade construtiva naquela região.

#### Fazenda Cipaúba e Aldeia Mrotidjãm

Os dados referentes à estação Fazenda Cipaúba e a Aldeia Mrotidjãm são apresentados no **Anexo 11.1.1 – 2**, sendo que a análise dos mesmos só será apresentada no próximo Relatório Consolidado, quando a gama de medições for considerável e suficiente para uma análise mais detalhada e consistente.

#### Resumo dos Resultados de CSS e Cálculo da Vazão Sólida em Suspensão

Destaca-se como importante resultado obtido durante este período de trabalho (2º semestre/2012) a quantificação da concentração média dos sedimentos em suspensão e cálculo da vazão sólida em todas as regiões monitoradas no presente Projeto. Conforme pode ser observado no **Quadro 11.1.1 - 5**, também foi possível aferir a correlação entre os sedimentos em suspensão e a vazão líquida em boa parte dos pontos monitorados. Estas informações são fundamentais para estabelecer estratégias de gestão/impacto nas bacias hidrográficas da área do empreendimento.

Principais fórmulas para cálculo da descarga do leito e do material do leito apresentadas por Stevens & Yang (1989).

**Quadro 11.1.1 - 5: Tabela Resumo dos Resultados do Monitoramento da Vazão Sólida em Suspensão do Xingu e tributários.**

ID	Estação	Região	Correlação sedimento x vazão	C <sub>SS</sub> (mg/L)	Vazão Sólida (T/dia)
1	Montante 2	Rio Xingu- Montante Pimental	Existente	23,51	19.106
2	Altamira	Rio Xingu- Montante Pimental	Em aferição	20,60	-
3	Ig. Altamira	Altamira	Inexistente	18,65	2,75
4	Ig. Cipo Ambé	Altamira	Em aferição	15,27	3,30
5	Ig. Painelas	Altamira	Inexistente	40,61	25,18
6	Ig. Cupiúbas	Altamira	Inexistente	34,47	2,34
7	Mangueiras	Rio Xingu-Jusante Pimental	Existente	18,07	12.877
8	Foz Bacajá	Rio Bacajá	Existente	52,34	2.213
11	Tartarugas	Rio Xingu-Jusante Casa Força	Existente	20,05	20.833

## B. DESCARGA SÓLIDA DE ARRASTE

A descarga do leito pode apresentar valores de 10 a 150% em relação a descarga em suspensão.

Foi utilizado o método indireto para o cálculo da vazão sólida de arraste, que se baseia no uso de fórmulas. Stevens & Yang (1989) estudaram as diversas fórmulas disponíveis na literatura, tendo selecionado 13 como as mais recomendáveis.

**Quadro 11.1.1 - 6: Principais fórmulas para cálculo da descarga do leito e do material do leito apresentadas por Stevens & Yang (1989).**

Autor da fórmula	Ano	Descarga de arrasto (B) ou de material do leito (BM)	Tipo de fórmula (1)	Tipo de sedimento (2)	Granulometria (3)
Ackers & White (*)	1973	BM	D	S	S, G
Colby	1964	BM	D	S	S
Einstein (carga do leito)	1950	B	P	M	S, G
Einstein (material do leito)	1950	BM	P	M	S
Engelund & Hansen (*)	1967	BM	D	S	S
Kalinske	1947	B	D	M	S
Laursen	1958	BM	D	M	S
Meyer-Peter & Muller (*)	1948	B	D	S	S, G
Rottner	1959	B	D	S	S
Schoklitsch (*)	1934	B	D	M	S, G
Toffaletti	1968	BM	D	M	S
Yang (areia) (*)	1973	BM	D	O	S
Yang (pedregulho) (*)	1984	BM	D	O	G

1- Determinística (D) ou Probabilística (P)

2- Fração Granulométrica de Areia (S), composição ou mistura (M) ou opcional (O)

3- Areia (S) ou pedregulho (G)

4- \* Formulas consideradas mais confiáveis por Stevens & Yang

Tem-se as seguintes recomendações para escolha das fórmulas a serem usadas:

- Meyer-Peter 7 Muller: utilizada quando o material do leito é mais grosso que 0,4 mm;
- Einstein: Casos em que a descarga de arraste é uma parcela significativa da descarga total;
- Toffaleti: adequada para grandes rios com leito em areia;
- Colby: Usada para rios com profundidade menores que 3,0 metros e material do leito com diâmetro médio menor que 0,8mm;
- Yang: usada em rios com leito de areias;
- Ackers & White e Engelund & Hansen: rios com leito de areia e escoamento subcrítico;
- Laursen: rios rasos com areia fina ou silte grosso.

Assim sendo, no projeto, foram selecionadas as seguintes fórmulas: Ackers & White (1973), Einstein (1950), Yang (1973), Engelund & Hansen (1967) e Toffaleti (1968).

Para o cálculo da descarga sólida de arraste foi utilizado o software WinTSR, desenvolvido por Paiva, Beling e Rosa (2002) a partir do Software TSR 1.0 desenvolvido por Paiva e Lago (1996).

As planilhas de cálculo de vazão sólida de arraste são apresentadas no **Banco de Dados 11.1.1 - 3**. Os resultados do Programa WinTSR são apresentados no **Anexo 11.1.1 - 3**.

Foram utilizados os seguintes parâmetros: vazão líquida, concentração de sedimentos em suspensão, distribuição granulométrica dos sedimentos em suspensão, distribuição granulométrica dos sedimentos do leito, temperatura da água, declividade da linha energética, e outros como tensão de cisalhamento, viscosidade cinemática, velocidade de queda de partículas, sendo estes últimos geralmente incluídos nos programas de cálculos disponíveis.

A declividade da linha d'água foi estimada pela fórmula de Manning, com coeficiente de rugosidade variando em torno de  $n=0,030$ .

Os diâmetros característicos foram determinados a partir dos laudos de granulometria do leito, apresentados em anexo.

Rio Xingu: Estações Montante 2, Mangueiras e Tartarugas

Os Quadros 11.1.1 - 7 a 11.1.1 - 9 apresentam o cálculo da vazão de arraste para 3 estações do rio Xingu (Montante 2, Mangueiras e Tartarugas).

Quadro 11.1.1 - 7: Vazão Sólida de Arraste- Rio Xingu-Estação Montante 2

RIO XINGU- ESTAÇÃO MONTANTE 2						VAZÃO LÍQUIDA (m <sup>3</sup> /s)	VAZÃO SÓLIDA EM SUSPENSÃO (mg/L)	VAZÃO SÓLIDA DE ARRASTE				
DATA	DIÂMETROS CARACTERÍSTICOS							ACKERS & WRITE (1973)	EINSTEIN & BROWN (1950)	ENGELUND & HANSEN (1967)	YANG (1973)	TOFFALET (1948)
	D10	D35	D50	D65	D90							
25-10-2010	0,3	0,9	3,0	7,0	14,0	700	9,56	-	0,17	0,80	-	0,66
23-11-2010	0,4	2,3	4,0	7,3	15,0	1.681	582,98	-	5,95	17,87	-	67,60
24-03-2011	0,5	2,0	5,0	12,0	20,0	15.965	32.482,31	16.575,73	14.885,22	16.690,69	1.904,43	19.892,73
27-04-2011	0,2	1,8	3,0	6,0	12,0	13.877	9.855,41	13.893,22	20.210,56	18.899,31	836,60	54.440,98
22-05-2011	0,3	2,0	5,0	10,0	20,0	10.515	79.598,48	4.748,56	3.914,98	5.211,25	615,23	14.130,76
14-06-2011	0,4	1,2	2,5	5,0	12,0	5.036	25.309,82	342,99	788,51	1.063,12	37,88	3.432,77
03-08-2011	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	1.911	1.602,61	7,96	303,48	337,05	37,24	76,86
25-10-2011	0,6	1,5	1,8	2,0	5,0	1.160	1.001,93	-	4,19	11,28	-	3,88
16-11-2011	0,2	1,2	2,4	4,5	14,0	3.113	16.059,22	-	162,73	272,22	2,53	2.875,77
19-01-2012	2,0	11,0	15,0	19,0	27,0	9.499	82.838,97	-	479,37	1.147,79	444,96	3.291,31
28-02-2012	0,4	0,5	0,7	1,0	4,0	11.776	90.319,09	7.335,34	9.306,54	8.037,82	9.301,54	5.263,13
18-03-2012	0,3	0,4	0,5	0,6	9,0	14.699	13.797,78	54.801,10	173.747,34	86.286,68	79.656,61	16.962,70
09-04-2012	0,3	0,3	0,4	0,5	1,5	13.203	11.319,51	15.444,43	25.620,67	18.775,64	7.907,18	9.606,94
10-07-2012	0,3	0,4	0,5	0,6	1,8	1.193	15.045,89	-	33.206,98	4.339.243,25		

**Quadro 11.1.1 - 8: Vazão Sólida de Arraste- Rio Xingu-Estação Tartarugas**

ESTAÇÃO TARTARUGAS						VAZÃO LÍQUIDA (m3/s)	VAZÃO SÓLIDA EM SUSPENSÃO (mg/L)	CÁLCULO DA VAZÃO SÓLIDA DE ARRASTE				
DATA	DIÂMETROS CARACTERÍSTICOS							ACKERS & WRITE (1973)	EINSTEIN & BROWN (1950)	ENGELUND & HANSEN (1967)	YANG (1973)	TOFFALET (1948)
	D10	D35	D50	D65	D90							
22-01-2012	0,21	0,28	0,31	0,35	0,42	15.206,7	15.206,7	14.815,5	25.194,0	19.854,1	6.019,4	19.622,1
28-03-2012	0,19	0,29	0,33	0,40	0,60	22.317,2	22.858,9	56.511,4	71.575,5	74.416,0	26.806,7	35.264,8
11-04-2012	0,25	0,31	0,35	0,40	0,60	22.076,6	22.076,6	38.490,9	58.729,6	44.693,7	21.995,9	23.272,3
21-05-2012	0,19	0,29	0,35	0,40	0,60	9.005,8	9.005,8	178,3	837,9	1.136,4	153,5	987,5
13-06-2012	0,19	0,28	0,31	0,35	0,50	5.813,4	5.813,4	-	94,9	179,1	-	60,7

**Quadro 11.1.1 - 9: Vazão Sólida de Arraste- Rio Xingu-Estação Mangueiras**

RIO XINGU - ESTAÇÃO MANGUEIRAS						VAZÃO LÍQUIDA (m3/s)	VAZÃO SÓLIDA EM SUSPENSÃO (mg/L)	VAZÃO SÓLIDA DE ARRASTE				
DATA	DIÂMETROS CARACTERÍSTICOS							ACKERS & WRITE (1973)	EINSTEIN & BROWN (1950)	ENGELUND & HANSEN (1967)	YANG (1973)	TOFFALET (1948)
	D10	D35	D50	D65	D90							
20-04-2011	0,20	0,30	0,35	0,40	4,80	20.917	7.409,68	55.234,76	138.548,37	75.471,16	60.451,44	40.795,50
09-06-2011	0,26	0,36	0,45	0,50	4,70	10.016	34.011,02	4.308,93	9.678,36	7.514,68	2.891,59	3.467,43
21-08-2011	0,18	0,27	0,31	0,40	1,00	2.039	1.072,09	-	12,20	26,03	-	3,49
29-09-2011	0,25	0,40	0,47	0,55	1,10	964	416,54	-	0,25	0,86	-	-
19-10-2011	0,21	1,30	2,00	3,50	9,00	972	549,90	-	0,02	0,18	5,71	-
11-11-2011	0,24	0,31	0,36	0,41	0,58	2.863	3.900,22	-	68,23	104,97	1,04	8,47
13-01-2012	0,26	0,32	0,36	0,40	0,49	8.352	43.201,52	850.123,88	3.834,56	479.350,37	31.216,25	-
24-02-2012	0,19	0,29	0,33	0,38	0,59	17.074	73.223,81	18.181,86	40.017,42	26.749,79	11.386,91	24.438,50
24-03-2012	0,19	0,28	0,32	0,40	0,60	18.773	8.421,37	30.805,77	69.186,77	42.868,20	15.324,84	37.321,87
08-05-2012	0,18	0,30	0,33	0,38	0,55	11.738	11.938,05	5.865,21	15.244,60	11.528,37	2.940,45	12.226,64
02-06-2012	0,26	0,30	0,39	0,60	2,60	8.061	5.007,12	-	3.624,23	3.226,23	1.338,53	-
27-07-2012	0,14	0,20	0,24	0,30	0,43	2.633	4.816,50	-	57,09	98,43	0,40	1,47

Observa-se uma grande variação nas vazões sólidas de arraste calculadas por meio das 5 fórmulas. Dentre as fórmulas utilizadas, a equação de Toffalet produziu resultados que aparentemente seguem a variação da granulometria dos sedimentos do leito do rio, apresentando valores de baixa descarga na seção mais alta, aumentando as taxas no médio curso para diminuir novamente no baixo curso.

### Igarapés de Altamira: Estações Cipó Ambé, Cupiúba, Panelas e Altamira

Os Quadros 11.1.1 - 10 a 11.1.1 - 13 apresentam o cálculo da vazão de arraste para as 4 estações dos igarapés de Altamira: Cipó Ambé, Cupiúba, Altamira e Panelas.

**Quadro 11.1.1 - 10: Vazão Sólida de Arraste- Igarapé Cipó Ambé**

ESTAÇÃO IGARAPÉ CIPÓ AMBÉ						VAZÃO LÍQUIDA (m <sup>3</sup> /s)	VAZÃO SÓLIDA EM SUSPENSÃO (mg/L)	VAZÃO SÓLIDA DE ARRASTE				
DATA	DIÂMETROS CARACTERÍSTICOS							ACKERS & WRITE (1973)	EINSTEIN & BROWN (1950)	ENGELUND & HANSEN (1967)	YANG (1973)	TOFFALET (1948)
	D10	D35	D50	D65	D90							
31-03-11	0,17	0,29	0,35	0,4	1,0	4,87	2,19	0,15	3,74	2,75	-	751,59
02-05-11	0,16	0,24	0,29	0,4	0,6	5,47	1,9	1,29	10,06	6,38	1,46	2,68
26-05-12	0,20	0,31	0,36	0,4	0,9	2,28	1,1	-	0,06	0,44	-	-
20-06-11	0,18	0,29	0,35	0,4	0,8	3,33	2,4	-	1,19	0,94	-	0,15
31-07-11	0,18	0,29	0,36	0,4	0,8	2,4	11,2	-	0,22	0,23	-	0,03
18-11-11	0,16	0,29	0,40	0,6	5,0	1,51	1,61	-	0,18	0,18	-	0,02
14-12-11	0,15	0,29	0,35	0,4	1,0	1,31	0,9	-	0,13	0,13	-	0,01
24-01-12	0,13	0,19	0,22	0,3	0,4	3,13	15,7	0,03	2,11	1,70	-	0,48
28-02-12	0,28	0,39	0,60	2,2	13,0	2	2,9	-	0,55	0,44	-	0,15
12-05-12	0,22	0,32	0,41	0,5	7,8	3,39	1,7	0,01	2,22	1,57	-	0,19
14-06-12	0,17	0,29	0,34	0,4	2,7	2,64	0,2	-	1,18	0,89	-	0,15
03-07-12	0,18	0,39	0,63	4,2	22,2	2,37	2,5	-	0,50	0,42	-	-

**Quadro 11.1.1 - 11: Vazão Sólida de Arraste- Igarapé Cupiúba**

ESTAÇÃO IGARAPÉ CUPÍUBA						VAZÃO LÍQUIDA (m <sup>3</sup> /s)	VAZÃO SÓLIDA EM SUSPENSÃO (mg/L)	CÁLCULO DA VAZÃO SÓLIDA DE ARRASTE				
DATA	DIÂMETROS CARACTERÍSTICOS							ACKERS & WRITE (1973)	EINSTEIN E BROWN (1950)	ENGELUND & HANSEN (1967)	YANG (1973)	TOFFALET
	D10	D35	D50	D65	D90							
26-05-2011	0,20	1,60	4,00	6,1	13,0	2,46	8,9	-	0,04	0,08	-	0,30
20-06-2011	0,30	1,20	3,00	5,2	13,0	1,59	-	-	0,01	0,02	-	0,01
31-07-2011	0,20	0,35	0,42	0,6	1,2	1,09	-	-	0,04	0,05	-	0,00
04-11-2011	0,20	0,45	1,00	3,0	13,0	0,39	29,9	-	0,00	0,00	-	0,00
18-11-2011	0,18	0,30	0,38	0,5	1,7	0,61	-	-	0,01	0,01	-	0,00
14-12-2011	0,60	4,30	8,00	13,0	28,0	0,14	117,0	-	-	0,00	-	-
23-01-2012		0,16	0,20	0,3	0,4	0,57	37,0	-	0,00	0,01	-	-
28-02-2012		0,17	0,24	0,3	1,2	0,64	57,6	-	0,01	0,01	-	0,00
19-03-2012		0,17	0,28	0,5	6,1	2,99	-	0,58	5,20	3,28	-	0,98
13-04-2012	0,30	1,50	3,00	5,2	13,0	1,71	-	-	0,02	0,04	-	0,04
18-05-2012		0,28	0,39	0,6	5,0	1,66	4,5	-	0,10	0,11	-	0,01
14-06-2012	0,16	0,45	1,20	3,5	13,0	1,73	23,7	-	0,03	0,05	-	0,03
04-07-2012	0,29	1,47	3,82	6,6	15,2	0,93	35,9	-	0,00	0,00	-	-

Observa-se que a vazão sólida de arraste no igarapé Cupiúba é muito baixa, sendo bem inferior se comparada com a vazão sólida de arraste do igarapé Cipó Ambé, sendo que estes dois igarapés são afluentes do igarapé Ambé.

**Quadro 11.1.1 - 12: Vazão Sólida de Arraste- Igarapé Altamira**

ESTAÇÃO IGARAPÉ ALTAMIRA						VAZÃO LÍQUIDA (m <sup>3</sup> /s)	VAZÃO SÓLIDA EM SUSPENSÃO (mg/L)	CÁLCULO DA VAZÃO SÓLIDA DE ARRASTE				
DATA	DIÂMETROS CARACTERÍSTICOS							ACKERS & WRITE (1973)	EINSTEIN E BROWN (1950)	ENGELUND & HANSEN (1967)	YANG (1973)	TOFFALET
	D10	D35	D50	D65	D90							
10-11-2010	0,29	0,89	1,50	2,8	7,0	0,35	5,0	7,53	5.900.611,14	1.839,24	-	1,73
29-11-2010	0,16	0,48	0,80	1,3	7,0	0,55	7,4	42,82	13.208.575,32	3.837,37	-	14,01
22-12-2010	0,25	0,60	0,90	1,5	7,0	0,54	5,1	29,24	14.850.041,43	4.209,14	-	15,73
01-01-2011	0,50	1,90	3,10	5,0	9,8	1,54	13,0	-	750.512,34	656,29	-	5,60
01-04-2011	0,50	1,30	2,00	3,0	9,2	4,69	10,9	-	1.570.258,03	1.423,69	-	4,10
03-05-2011	0,28	0,55	0,80	1,4	8,0	4,3	8,0	384,54	355.649.887,59	91.624,15	9.418,10	147,01
25-05-2011	0,90	3,30	6,50	11,0	19,0	6,39	8,3	461,35	3.942.791.862,74	930.513,07	20.898,96	2,17
21-06-2011	0,35	0,80	1,10	1,9	5,3	4,31	6,8	518,81	1.507.286.196,95	292.614,25	20.220,00	82,96
30-07-2011	0,38	0,60	0,80	1,1	2,2	1,46	9,2	28,09	9.783.938,80	4.023,41	-	5,88
22-11-2011	0,25	1,50	5,00	8,0	16,0	0,54	32,5	-	42.556,20	56,94	-	3,03
13-12-2011	0,28	0,40	0,78	1,6	8,5	0,34	38,4	34,29	7.039.818,96	2.207,28	-	9,38
25-01-2012		0,30	0,40	0,6	3,8	1,11	36,1	122,25	22.723.549,29	7.349,08	-	12,68
12-06-2012	0,35	0,80	1,30	3,1	20,0	2,13	2,6	64,87	43.579.273,36	15.942,84	-	4,45
03-07-2012	0,42	4,04	7,83	14,4	25,7	1,4	19,1	-	2.082.778,33	1.755,09	-	-

A vazão sólida de arraste do igarapé Altamira é superior à dos igarapés afluentes do Ambé, o que corrobora a questão da sub-bacia deste curso d'água estar muito antropizada e comprometida em suas condições ambientais.

**Quadro 11.1.1 - 13: Vazão Sólida de Arraste- Igarapé Panelas**

ESTAÇÃO IGARAPÉ PANELAS						VAZÃO LÍQUIDA (m <sup>3</sup> /s)	VAZÃO SÓLIDA EM SUSPENSÃO (mg/L)	CÁLCULO DA VAZÃO SÓLIDA DE ARRASTE				
DATA	DIÂMETROS CARACTERÍSTICOS							ACKERS & WRITE (1973)	EINSTEIN E BROWN (1950)	ENGELUND & HANSEN (1967)	YANG (1973)	TOFFALET
	D10	D35	D50	D65	D90							
11-11-10	0,11	0,37	1,10	2,9	10,1	2,34	45,8	-	-	-	-	-
28-11-10	0,29	1,10	2,10	3,3	8,0	4,21	4,6	106,17	86.748.265,82	32.975,45	8.380,91	50,13
23-12-10	0,29	0,55	0,80	1,3	3,9	4,38	4,2	538,30	515.801.804,95	120.614,52	11.635,39	162,03
17-01-11	0,28	2,20	4,10	7,1	16,0	12,98	43,2	19,22	73.189.119,63	44.383,50	19.040,76	76,64
25-02-11	-	0,90	3,70	7,0	17,0	28,96	32,6	20,53	1.083.182,92	1.724,60	-	26,84
31-03-11	-	0,37	3,10	5,8	16,0	25,21	33,7	53,27	318.803,72	577,75	-	11,54
03-05-11	-	-	0,20	0,6	1,9	28,28	18,3		8.723.756,74	11.439,89	-	4,70
25-05-11	-	0,33	2,30	4,8	16,0	29,25	108,7	560,93	5.162.493,07	6.622,12	-	85,68
21-06-11	0,15	0,72	3,10	6,0	15,0	13,71	-	11,98	477.407,96	749,11	-	11,03
30-07-11	0,40	2,20	4,70	7,6	19,0	7,74	8,1	1,18	22.801.124,00	15.816,08	-	29,67
02-07-12	0,88	4,89	7,03	10,6	22,7	7,35	43,9	-	8.554.807,47	7.573,99	-	-

A vazão sólida de arraste calculada para o igarapé Panelas foi superior à dos demais igarapés. Foi observado que o material do leito deste igarapé possui granulometria mais grossa. Este material mais grosso não é transportado em suspensão, sendo transportado junto do leito, por saltação ou rolamento, contribuindo para uma vazão sólida de arraste, mais significativa.

Rio Bacajá: Estações Foz do Bacajá, Fazenda Cipaúba e Aldeia Mrotidjãm

Os Quadros 11.1.1 - 14 a 11.1.1 - 16 apresentam o cálculo da vazão de arraste para as 3 estações do rio Bacajá: Foz do Bacajá, Fazenda Cipaúba e Aldeia Mrotidjãm.

Quadro 11.1.1 - 14: Vazão Sólida de Arraste- Foz do Rio Bacajá

ESTAÇÃO FOZ BACAJÁ 01						VAZÃO LÍQUIDA (m <sup>3</sup> /s)	VAZÃO SÓLIDA EM SUSPENSÃO (mg/L)	CÁLCULO DA VAZÃO SÓLIDA DE ARRASTE				
DATA	DIÂMETROS CARACTERÍSTICOS							ACKERS & WRITE (1973)	EINSTEIN E BROWN (1950)	ENGELUND & HANSEN (1967)	YANG (1973)	TOFFALET
	D10	D35	D50	D65	D90							
19-04-11		0,32	1,95	5,0	12,0	1329,01	145,6	12.376,38	14.528,53	10.010,55	28.122,99	9.510,83
07-06-11	0,68	1,60	2,80	5,0	12,0	565,84	48,8	84,59	228,27	254,65	3.973,54	234,66
25-08-11	0,70	2,60	4,50	8,0	16,0	69,9	90,1	-	0,01	0,04	-	0,01

Quadro 11.1.1 - 15: Vazão Sólida de Arraste- Rio Bacajá- Fazenda Cipaúba

RIO BACAJÁ- ESTAÇÃO FAZENDA CIPAÚBA						VAZÃO LÍQUIDA (m <sup>3</sup> /s)	VAZÃO SÓLIDA EM SUSPENSÃO (mg/L)	VAZÃO SÓLIDA DE ARRASTE				
DATA	DIÂMETROS CARACTERÍSTICOS							ACKERS & WRITE (1973)	EINSTEIN & BROWN (1950)	ENGELUND & HANSEN (1967)	YANG (1973)	TOFFALET (1948)
	D10	D35	D50	D65	D90							
13-04-12	0,18	0,32	0,40	0,8	7,5	893,95	-	2.384,98	6.076,48	3.137,80	-	2.104,15
24-07-12	0,33	1,92	3,50	5,8	18,4	92,79	18,1	-	0,22	0,67	-	-

**Quadro 11.1.1 - 16: Vazão Sólida de Arraste- Rio Bacajá- Aldeia Mrotidjã**

RIO BACAJÁ- ESTAÇÃO ALDEIA MROTIDJÃ						VAZÃO LÍQUIDA (m <sup>3</sup> /s)	VAZÃO SÓLIDA EM SUSPENSÃO (mg/L)	CÁLCULO DA VAZÃO SÓLIDA DE ARRASTE				
DATA	DIÂMETROS CARACTERÍSTICOS							ACKERS & WRITE (1973)	EINSTEIN E BROWN (1950)	ENGELUND & HANSEN (1967)	YANG (1973)	TOFFALET
	D10	D35	D50	D65	D90							
02-02-12	0,25	0,33	0,39	0,6	0,9	426,77	-	369,77	866,55	579,16	6.193,57	909,51

Embora a quantidade de dados seja pequena e não permita inferências mais profundas é possível perceber um transporte de sedimentos por arraste muito pequeno na estiagem e maior na cheia, como esperado.

#### Resumo dos Resultados de Cálculo da Vazão Sólida de Arraste

As equações empíricas para quantificação indireta da vazão sólida de arraste apresentaram resultados muito diferentes e a aplicabilidade de cada uma delas precisa ser melhor analisada. Segundo a literatura, a diferença no resultado da aplicação das equações pode chegar a 200%.

No 4º Relatório Consolidado a ser entregue em Julho/2014 será apresentada uma modelagem de transporte de sedimentos por meio do Modelo HEC-RAS (River Analysis System) desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center (HEC) – U.S.Corps of Engineering (www.hec.usace.army.mil). Trata-se de um sistema que reúne vários modelos unidimensionais que respondem a vários propósitos da fluviologia, dentre os quais a análise de transporte sólido (Sediment Transport Analysis). Trata-se de um sistema bastante versátil e suficiente para responder aos propósitos dos questionamentos tratados neste trabalho.

#### 11.1.1.4. ENCAMINHAMENTOS PROPOSTOS

Conforme mencionado anteriormente, os dados das medições de sedimento relativos aos meses de outubro e novembro/2012 serão analisados e encaminhados ao IBAMA na forma de um relatório complementar, até 31 de março de 2013. Esta defasagem deve-se ao fato do processamento dos dados coletados estarem sendo realizados ainda em laboratório contratado localizado na UFBA. Acredita-se que com a certificação do Laboratório Sedimentológico do Projeto (em processo), este tipo de análise será feita com maior agilidade.0

A análise incompleta dos dados referentes ao monitoramento das estações Fazenda Cipaúba e Altamira, ambas operadas pela ANA, decorrem do fato que estes dados são disponibilizados no *site* desta instituição com uma defasagem de 2 anos. De forma a solucionar este problema, já está sendo articulada junto a ANA, a transferência direta destes dados.

A metodologia utilizada na determinação da vazão sólida de arraste atendeu parcialmente os objetivos do projeto, sendo necessário o aprofundamento da análise por meio da utilização do Modelo HEC-RAS (River Analysis System) que é desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center (HEC) – U.S.Corps of Engineering ([www.hec.usace.army.mil](http://www.hec.usace.army.mil)). A partir desta modelagem, será possível determinar com maior precisão o transporte sólido de arraste nas diversas estações de projeto.

#### 11.1.1.5. EQUIPE RESPONSÁVEL PELA IMPLEMENTAÇÃO NO PERÍODO

PROFISSIONAL	FORMAÇÃO	FUNÇÃO	REGISTRO ÓRGÃO DE CLASSE	CADASTRO TÉCNICO FEDERAL - CTF
Cristiane Peixoto Vieira	Engenheira Civil, M. Sc.	Gerente de Meio Ambiente	CREA/MG 57.945 D	2.010.648
Luis Augusto da Silva Vasconcellos	Biólogo, M. Sc.	Coordenador de Campo	CRBio20.598/01-D	1.772.130
Alexandre Luiz Canhoto de Azeredo	Geólogo	Coordenador Meio Físico	CREA/RJ 100.015/4-D	567.608
Luciana Curi Araújo Mattos Mascarenhas	Engenheira Civil, M. Sc.	Análise e interpretação de dados	CREA/MG 59.313 D	5.512.220
Luciano Ferraz Andrade	Geógrafo	Geoprocessamento e design gráfico	-	-
Elisabete do Nascimento Rocha	Geóloga	Análise e interpretação de dados	CREA/RJ 143241 D	-

PROFISSIONAL	FORMAÇÃO	FUNÇÃO	REGISTRO ÓRGÃO DE CLASSE	CADASTRO TÉCNICO FEDERAL - CTF
Carlos Chicarelli	Geógrafo	Levantamento e coleta de dados	CREA/MG 120.924 D	4.963.386

#### 11.1.1.6. ANEXOS

**Anexo 11.1.1 - 1 – Laudos de Granulometria do Sedimento do Leito.**

**Anexo 11.1.1 - 2 – Laudos de Concentração de Sedimentos em Suspensão.**

**Anexo 11.1.1 - 3 – Resultados do Programa WinTSR para Cálculo de Vazão Sólida de Arraste.**