

Usina Hidrelétrica Jirau

7º RELATÓRIO SEMESTRAL

Solicitação de Renovação da Licença de Operação

nº 1097 / 2012

Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

EMPRESA: HICON ENGENHARIA LTDA

PERÍODO DAS ATIVIDADES: 01/11/2015 A 31/03/2016

RESPONSÁVEL DA CONTRATADA: MARIA CLARA RODRIGUES XAVIER

RESPONSÁVEL DA ESBR: PEDRO AGOSTINHO DA TRINDADE



hicon
engenharia de recursos hídricos

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	8
2 ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS DO PROGRAMA	10
3 ATENDIMENTO ÀS METAS DO PROGRAMA	13
4 ATIVIDADES REALIZADAS NO SEMESTRE	19
5 RESULTADOS CONSOLIDADOS DO PERÍODO DA LO Nº 1097/2012	22
5.1 Observações Gerais do Empreendimento	22
5.2 Monitoramento de Níveis d'Água e Precipitação incluindo Telemetria	24
5.3 Medições de Descarga Líquida e Sólida	29
5.4 Monitoramento das Seções Transversais de Controle – Batimetria e Material do Leito	67
5.5 Análise de Correlação entre Concentração de Sedimentos em Suspensão e Índice de Turbidez	95
5.6 Levantamento de Perfis de Linha d'Água	99
6 INDICADORES	101
7 INTERFACES	101
8 ATENDIMENTO AO CRONOGRAMA	102
9 CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA A FASE PÓS-RENOVAÇÃO DA LO	105
9.1 Proposta de Cronograma para a fase pós-renovação da LO	108
10 EQUIPE TÉCNICA	110
11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

RELATÓRIO EM ANEXO

Anexo I – Campanha de Medição de Descarga Líquida e Sólida

Anexo II – Levantamento nas Seções Transversais de Controle

Anexo III – Leituras de Réguas Limnimétricas

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1 – Medição de Descarga Líquida em Porto R4 (página 21)

Figura 5.1-1 – Evolução dos Níveis d'Água do Reservatório da UHE Jirau (página 23)

- Figura 5.1-2** – Evolução dos Níveis d'Água a Jusante da UHE Jirau (página 23)
- Figura 5.1-3** – Curvas-chave da Estação UHE Jirau – Porto R4 (página 24)
- Figura 5.2-1** – Mapa de Localização da Rede de Monitoramento Hidrossedimentológico (página 27)
- Figura 5.2-2** – Diagrama Topológico da Rede de Monitoramento Hidrossedimentológico (página 28)
- Figura 5.2-3** – Níveis d'Água nas Estações da Rede Hidrométrica da UHE Jirau (página 29)
- Figura 5.3-1** – Leitura de Régua x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Príncipe da Beira (página 31)
- Figura 5.3-2** – Leitura de Régua x Área Molhada na Estação UHE Jirau – Príncipe da Beira (página 32)
- Figura 5.3-3** – Leitura de Régua x Velocidade Média na Estação UHE Jirau – Príncipe da Beira (página 32)
- Figura 5.3-4** – Curva-chave para a Estação UHE Jirau – Príncipe da Beira (página 33)
- Figura 5.3-5** – Concentração de Sedimentos em Suspensão x Descarga Líquida na Estação Príncipe da Beira (página 34)
- Figura 5.3-6** – Descarga Sólida em Suspensão x Descarga Líquida na Estação Príncipe da Beira (página 34)
- Figura 5.3-7** – Leitura de Régua x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Guajará-Mirim (página 35)
- Figura 5.3-8** – Leitura de Régua x Área Molhada na Estação UHE Jirau – Guajará-Mirim (página 36)
- Figura 5.3-9** – Leitura de Régua x Velocidade Média na Estação UHE Jirau – Guajará-Mirim (página 36)
- Figura 5.3-10** – Curva-chave para a Estação UHE Jirau – Guajará-Mirim (página 37)
- Figura 5.3-11** – Concentração de Sedimentos em Suspensão x Descarga Líquida na Estação Guajará-Mirim (página 37)
- Figura 5.3-12** – Descarga Sólida em Suspensão x Descarga Líquida na Estação Guajará-Mirim (02/2010 a 12/2015) (página 38)
- Figura 5.3-13** – Evolução da Descarga Sólida na Estação Guajará-Mirim (página 39)
- Figura 5.3-14** – Leitura de Régua x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Jusante Rio Beni (página 40)
- Figura 5.3-15** – Leitura de Régua x Área Molhada na Estação UHE Jirau – Jusante Rio Beni (página 41)
- Figura 5.3-16** – Leitura de Régua x Velocidade Média na Estação UHE Jirau – Jusante Rio Beni (página 41)
- Figura 5.3-17** – Curvas-chave para a Estação UHE Jirau – Jusante Rio Beni (página 42)
- Figura 5.3-18** – Concentração de Sedimentos em Suspensão x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Jusante Rio Beni (página 42)
- Figura 5.3-19** – Descarga Sólida em Suspensão x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Jusante Rio Beni (04/2010 a 12/2015) (página 43)

- Figura 5.3-20** – Evolução da Descarga Sólida na Estação Jusante Rio Beni (página 44)
- Figura 5.3-21** – Comportamento Sazonal da Concentração de Sedimentos em Suspensão na Estação Jusante Rio Beni (página 45)
- Figura 5.3-22** – Comportamento Sazonal da Descarga Sólida em Suspensão na Estação Jusante Rio Beni (página 45)
- Figura 5.3-23** – Leitura de Régua x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Abunã (página 47)
- Figura 5.3-24** – Leitura de Régua x Área Molhada na Estação UHE Jirau – Abunã (página 47)
- Figura 5.3-25** – Leitura de Régua x Velocidade Média na Estação UHE Jirau – Abunã (página 48)
- Figura 5.3-26** – Concentração de Sedimentos em Suspensão x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Abunã (página 48)
- Figura 5.3-27** – Curva-chave de Sedimentos em Suspensão em Abunã (05/2009 a 12/2015) (página 49)
- Figura 5.3-28** – Leitura de Régua x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Nova Califórnia (página 51)
- Figura 5.3-29** – Leitura de Régua x Área Molhada na Estação UHE Jirau – Nova Califórnia (página 51)
- Figura 5.3-30** – Leitura de Régua x Velocidade Média na Estação UHE Jirau – Nova Califórnia (página 52)
- Figura 5.3-31** – Curvas-chave para a Estação UHE Jirau – Nova Califórnia (página 52)
- Figura 5.3-32** – Concentração de Sedimentos em Suspensão x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Nova Califórnia (página 53)
- Figura 5.3-33** – Descarga Sólida em Suspensão x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Nova Califórnia (06/2015 a 12/2015) (página 53)
- Figura 5.3-34** – Leitura de Régua x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Morada Nova Jusante (página 55)
- Figura 5.3-35** – Leitura de Régua x Área Molhada na Estação UHE Jirau – Morada Nova Jusante (página 55)
- Figura 5.3-36** – Leitura de Régua x Velocidade Média na Estação UHE Jirau – Morada Nova Jusante (página 56)
- Figura 5.3-37** – Curvas-chave para a Estação UHE Jirau – Morada Nova Jusante (página 57)
- Figura 5.3-38** – Concentração de Sedimentos em Suspensão x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Morada Nova Jusante (página 57)
- Figura 5.3-39** – Curva-chave de Sedimentos em Suspensão em Morada Nova Jusante (02/2010 a 12/2015) (página 58)
- Figura 5.3-40** – Evolução da Descarga Sólida na Estação Morada Nova Jusante (página 59)
- Figura 5.3-41** – Leitura de Régua x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Porto R4 (página 60)



- Figura 5.3-42** – Leitura de Régua x Área Molhada na Estação UHE Jirau – Porto R4 (página 61)
- Figura 5.3-43** – Leitura de Régua x Velocidade Média na Estação UHE Jirau – Porto R4 (página 61)
- Figura 5.3-44** – Concentração de Sedimentos em Suspensão x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Porto R4 (página 62)
- Figura 5.3-45** – Curva-chave de Descarga Sólida em Suspensão em Porto R4 (05/2009 a 12/2015) (página 63)
- Figura 5.3-46** – Evolução da Descarga Sólida na Estação Porto R4 (página 64)
- Figura 5.3-47** – Correlação de Sedimentos em Suspensão Porto R4 x Jusante Rio Beni no Período Anterior à Operação da UHE Jirau (página 66)
- Figura 5.3-48** – Correlação de Sedimentos em Suspensão Porto R4 x Jusante Rio Beni no Período Posterior à Operação da UHE Jirau (página 67)
- Figura 5.4-1** – Diagrama Topológico das Seções Transversais de Controle da UHE Jirau (página 69)
- Figura 5.4-2** – Evolução do Perfil Batimétrico da Seção SJ 09 (página 71)
- Figura 5.4-3** – Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RN 36 (página 72)
- Figura 5.4-4** – Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RJ 07 (página 72)
- Figura 5.4-5** – Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RJ 06 (página 73)
- Figura 5.4-6** – Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RJ 05 (página 73)
- Figura 5.4-7** – Evolução do Perfil Batimétrico da Seção S 36 (página 74)
- Figura 5.4-8** – Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RJ 04 (página 74)
- Figura 5.4-9** – Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RJ 03 (página 75)
- Figura 5.4-10** – Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RN 31 (página 75)
- Figura 5.4-11** – Evolução do Perfil Batimétrico da Seção SJ 01 (página 76)
- Figura 5.4-12** – Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RN 10 (página 76)
- Figura 5.4-13** – Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RN 07 (página 77)
- Figura 5.4-14** – Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RN 04 (página 77)
- Figura 5.4-15** – Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RN 01 (página 78)
- Figura 5.4-16** – Evolução da Granulometria de Fundo da Seção SJ 09 (página 81)
- Figura 5.4-17** – Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RN 36 (página 82)
- Figura 5.4-18** – Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RJ 07 (página 83)
- Figura 5.4-19** – Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RJ 06 (página 84)
- Figura 5.4-20** – Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RJ 05 (página 85)
- Figura 5.4-21** – Evolução da Granulometria de Fundo da Seção S 36 (página 86)
- Figura 5.4-22** – Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RJ 04 (página 87)



- Figura 5.4-23** – Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RJ 03 (página 88)
- Figura 5.4-24** – Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RN 31 (página 89)
- Figura 5.4-25** – Evolução da Granulometria de Fundo da Seção SJ 01 (página 90)
- Figura 5.4-26** – Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RN 10 (página 91)
- Figura 5.4-27** – Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RN 07 (página 92)
- Figura 5.4-28** – Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RN 04 (página 93)
- Figura 5.4-29** – Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RN 01 (página 94)
- Figura 5.5-1** – Monitoramento da Turbidez no Corpo do Reservatório (página 96)
- Figura 5.5-2** – Monitoramento da Turbidez no Rio Madeira a Jusante do Reservatório (página 96)
- Figura 5.5-3** – Concentração de Sedimentos em Suspensão a Jusante Medida em 10 Verticais (página 97)
- Figura 5.5-4** – Simulação da Evolução Temporal das Concentrações de Sedimento em Suspensão na Estação UHE Jirau – Porto R4 (página 98)
- Figura 5.6-1** – Perfis de Linha d'Água Anteriores à Operação da UHE Jirau (página 99)
- Figura 5.6-2** – Perfis de Linha d'Água Posteriores à Operação da UHE Jirau (página 99)

LISTA DE QUADROS

- Quadro 2-1** – Status de Atendimento aos Objetivos do PBA (página 10)
- Quadro 2-2** – Status de Atendimento aos Objetivos do LO (página 11)
- Quadro 5.2-1** – Estações da Rede de Monitoramento Hidrossedimentológico da UHE Jirau (página 25)
- Quadro 5.3-1** – Medições de Descarga (Líquida e Sólida) Realizadas nas Estações (página 30)
- Quadro 5.3-2** – Medições de Descarga Líquida e Sólida na UHE Jirau – Príncipe da Beira (página 31)
- Quadro 5.3-3** – Medições de Descarga Líquida e Sólida na UHE Jirau – Guajará-Mirim (página 35)
- Quadro 5.3-4** – Medições de Descarga Líquida e Sólida na UHE Jirau – Jusante Rio Beni (página 40)
- Quadro 5.3-5** – Medições de Descarga Líquida e Sólida na UHE Jirau – Abunã (página 46)
- Quadro 5.3-6** – Medições de Descarga Líquida e Sólida na UHE Jirau – Nova Califórnia (página 49)
- Quadro 5.3-7** – Medições de Descarga Líquida e Sólida na UHE Jirau – Morada Nova Jusante (página 54)
- Quadro 5.3-8** – Medições de Descarga Líquida e Sólida na UHE Jirau – Porto R4 (página 59)
- Quadro 5.4-1** – Coordenadas de Localização das Seções Transversais de Controle (página 67)
- Quadro 5.4-2** – Campanhas de Levantamento Batimétrico das Seções de Controle (página 71)



Quadro 5.4-3 – Análise Granulométrica da Seção SJ 09 (página 78)

Quadro 5.4-4 – Análise Granulométrica da Seção RN 36 (página 78)

Quadro 5.4-5 – Análise Granulométrica da Seção S 36 (página 79)

Quadro 5.4-6 – Análise Granulométrica da Seção RJ 04 (página 79)

Quadro 5.4-7 – Análise Granulométrica da Seção RN 31 (página 79)

Quadro 5.4-8 – Análise Granulométrica da Seção SJ 01 (página 80)

Quadro 5.4-9 – Análise Granulométrica da Seção RN 07 (página 80)

Quadro 5.4-10 – Análise Granulométrica da Seção RN 01 (página 80)

Quadro 8-1 – Cronograma de Atividades do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico (página 103)

Quadro 9-1 – Proposta de Cronograma de Atividades do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico (página 108)

1 APRESENTAÇÃO

O presente relatório de acompanhamento **SEMESTRAL**, que subsidia a solicitação da renovação da LO nº 1097/2012, tem por objetivo descrever as atividades desenvolvidas no período de 01/11/2015 a 31/03/2016 e os resultados consolidados no período da LO nº 1097/2012, no âmbito do **PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO** da Usina Hidrelétrica Jirau (UHE Jirau).

Além de apresentar os dados das campanhas de campo deste último semestre, este relatório busca sintetizar os resultados obtidos no Programa até aqui, como forma de subsidiar a Renovação da Licença de Operação nº 1097/2012 da UHE Jirau.

Inicialmente, o Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico foi proposto no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) dos Aproveitamentos Hidrelétricos (AHE) Santo Antônio e Jirau, tendo sido referendado pela Licença Prévia (LP) nº 251/2007, concedida pelo IBAMA em 09/07/2007.

Posteriormente, o Programa foi apresentado como parte do Projeto Básico Ambiental (PBA), no item 4.6, contemplando o detalhamento das atividades a serem desenvolvidas ao longo das diferentes fases de implantação da UHE Jirau, além do atendimento às condicionantes 2.1, 2.3 e 2.32 da LP nº 251/2007 e às demais exigências feitas pelo órgão ambiental ao longo do processo de licenciamento ambiental do empreendimento.

Em 03/06/2009, com a emissão da LI nº 621/2009 e do Ofício nº 577/2009 – DILIC/IBAMA pelo IBAMA, outros requisitos e recomendações foram incorporados no Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico.

No Parecer Técnico (PT) nº 124/2012 – COHID/CGENE/DILIC/IBAMA, através do qual o IBAMA analisou a solicitação de emissão da Licença de Operação (LO) da UHE Jirau, foi destacado que: "(...) consideramos que o programa foi e está sendo executado de maneira satisfatória e de modelo geral a aderência ao PBA pode ser considerada alta. Programa em atendimento".

A condicionante 2.1 da LO nº 1097/2012 determina a continuidade dos programas socioambientais da UHE Jirau, incluindo o Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico, e a condicionante 2.10 estabelece exigências e recomendações complementares para este Programa.



Desde o início da execução do Programa, em 2009, foi implantada no Canteiro de Obras da UHE Jirau toda a estrutura necessária para a realização sistemática dos serviços tais como instalação e operação de postos fluviométricos, incluindo os relativos às medições de descarga líquida e sólida e aos levantamentos de seções topobatimétricas, e demais serviços de campo. A partir de maio de 2015, com o início do trabalho do Grupo Construserv na operação da rede hidrométrica, as análises de concentração de sedimentos em suspensão e de granulometria do material passaram a ser realizadas no laboratório da empresa, no estado do Paraná.

Durante a execução do Programa foram realizadas, até o mês de março de 2016, 1046 medições de descarga líquida e 1040 medições de descarga sólida, incluindo coleta de sedimentos em suspensão e no leito. Complementarmente, cita-se o atendimento à Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, com a implantação da rede de estações telemétricas, além do desenvolvimento das modelagens física e numérica, cujos resultados foram apresentados nos relatórios semestrais anteriores.

Os dados hidrossedimentológicos coletados em campo vêm sendo analisados e consolidados pelos contratados pela ESBR para o gerenciamento deste Programa, sendo os mesmos apresentados em relatórios semestrais, conforme periodicidades estabelecidas nas licenças ambientais emitidas pelo IBAMA.

Desta forma, em atendimento à condicionante 2.1 da LO nº 1097/2012, no 1º Relatório Semestral foram apresentados, de forma resumida, os resultados consolidados alcançados desde o início do Programa até o mês de outubro de 2012, quando o empreendimento se encontrava na fase rio. Posteriormente, nos relatórios seguintes, foram apresentados os resultados obtidos de novembro de 2012 a outubro de 2015, nas fases de enchimento e operação do reservatório da UHE Jirau.

Atualmente na fase operativa, insere-se a avaliação comparativa dos prognósticos de assoreamento do reservatório, bem como os efeitos a montante e a jusante, de acordo com o que estabelece a condicionante 2.8 da LI nº 621/2009, e o monitoramento e as análises visando aferir a concentração máxima de sólidos a jusante do barramento.



2 ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS DO PROGRAMA

Os objetivos básicos do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico, quanto à obtenção dos dados necessários para o acompanhamento das características do regime hidrológico do rio Madeira e dos processos sedimentológicos a montante e a jusante do aproveitamento hidrelétrico Jirau, desde o início do programa até o fechamento deste relatório, foram atendidos, conforme previsto no PBA, no Parecer Técnico e na Nota Técnica do IBAMA.

No **Quadro 2-1** e no **Quadro 2-2** são apresentadas as informações referentes aos objetivos estabelecidos no programa, tanto no PBA quanto na LO, respectivamente.

Quadro 2-1– Status de Atendimento aos Objetivos do PBA

OBJETIVO	STATUS	ANÁLISE DO ATENDIMENTO
Aprofundar o conhecimento sobre o comportamento sedimentológico do rio Madeira nas condições atuais, anteriores a construção dos aproveitamentos Santo Antônio e Jirau, ampliando a base de dados disponível.	Atendido	Esse objetivo está atendido, considerando-se que ao longo do programa foram e continuam sendo realizadas campanhas sistemáticas de levantamentos de descargas sólidas na região dos estudos, bem como o acompanhamento das variações de nível d'água do reservatório e trechos de rios a montante e a jusante. Os dados obtidos em campo são avaliados e consistidos de modo a resultar em séries contínuas temporais que são organizadas em bancos de dados.
Monitorar a evolução do comportamento hidrossedimentológico do reservatório do AHE Jirau e do rio Madeira ao longo de todo estirão afetado pela implantação do empreendimento, durante a etapa de construção e por um período de 5 anos após a entrada em operação.	Em atendimento	O monitoramento preconizado encontra-se em execução, com o acompanhamento dos dados fluviopluiométricos registrados nas estações telemétricas e seções limnimétricas, bem como a realização de medições de descargas líquidas e sólidas, acompanhadas de análises laboratoriais e alimentação do banco de dados.
Subsidiar estimativas de erosão e/ou deposição a jusante do aproveitamento.	Atendido	Os dados de monitoramento hidrossedimentológico, especialmente curvas-chave de sedimentos e descargas, bem como séries de níveis d'água e de vazões foram inseridas no modelo físico (SOGREAH) e modelo matemático (SisBaHiA) do reservatório, cujos resultados foram apresentados nos relatórios anteriores.
Monitorar as variações morfológicas da calha fluvial e margens do rio Madeira em um trecho representativo a jusante da UHE Jirau, em conjunto com o monitoramento do AHE Santo Antônio	Em atendimento	Os levantamentos topobatimétricos se encontram em execução, mantendo-se a atualização periódica, conforme condicionantes. As avaliações das variações da morfologia são realizadas sistematicamente a cada levantamento realizado, através da análise comparativa de batimetrias subsequentes.
Avaliar os prognósticos de assoreamento e de vida útil dos reservatórios, bem como os efeitos a montante e a jusante dos mesmos após um período de 5 anos da entrada de operação das usinas.	Em atendimento	Os prognósticos de assoreamento estão sendo avaliados e atualizados com base nas análises dos dados de levantamento de descarga sólida e realização sistemática dos levantamentos batimétricos de seções transversais.
Avaliar a operação hidráulica e	Em	Para a operação hidráulica da UHE Jirau, visando o pleno

OBJETIVO	STATUS	ANÁLISE DO ATENDIMENTO
energética do reservatório.	atendimento	aproveitamento energético, o conhecimento sempre atualizado das características do reservatório é fundamental para a tomada de decisões. Assim, o atendimento a essa condicionante é constante.

No que determina a Licença de Operação nº 1097/2012, cumpre atender aos itens que compõem a condicionante 2.10, apresentados no **Quadro 2-2** a seguir.

Quadro 2-2 – Status de Atendimento aos Objetivos da LO

OBJETIVO	STATUS	ANÁLISE DO ATENDIMENTO
Efetuar a avaliação comparativa dos prognósticos de assoreamento e de vida útil do reservatório, bem como os efeitos a montante e a jusante após a entrada em operação da usina por meio de dados coletados em campo e de acordo com o estabelecido na Condicionante 2.8 da LI nº 621/2009.	Em atendimento	As avaliações estão sendo desenvolvidas com base nos subsídios decorrentes dos levantamentos topobatimétricos de seções transversais, medições de descarga líquida e sólida e análise granulométrica dos sedimentos oriundos do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico. A partir destas informações são procedidos os trabalhos de análise e tratamento numérico dos dados sedimentométricos, o que permite estimar o balanço volumétrico de sedimentos.
Estabelecer um plano que estipule datas e prazos para o monitoramento sistemático e não automático de sedimentos, de acordo com as épocas mais críticas, e que contemple no mínimo o período de enchente do rio Madeira.	Atendido	O Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico, desde a sua implantação está acompanhando os processos sedimentométricos em ocorrência na área de influência do reservatório da UHE Jirau, mantendo registro de suas características prévias e nos 05 (cinco) primeiros anos após a entrada de operação do empreendimento, obtendo parâmetros importantes para as análises relacionadas aos processos de erosão, assoreamento e estabilização das condições hidrossedimentológicas. Com o início do controle de níveis não apenas do reservatório da UHE Jirau, mas também da UHE Santo Antônio, foi finalizada a etapa de estudo do comportamento prévio do rio Madeira e contribuintes, passando as atividades previstas e em andamento no âmbito do monitoramento hidrossedimentométrico a se adequar ao novo ambiente formado por tais reservatórios, quais sejam: <ul style="list-style-type: none"> Definição e implantação da rede fluviométrica de interesse, atualmente integrada pelas seguintes estações: Estações Automáticas: UHE Jirau Jusante Rio Beni; UHE Jirau Abunã; e UHE Jirau Porto R4, no rio Madeira; UHE Jirau Morada Nova Jusante e UHE Jirau Nova Califórnia no rio Abunã; UHE Jirau Guajará Mirim no rio Mamoré, UHE Jirau Príncipe da Beira no rio Guaporé e, UHE Jirau Velha Mutum Paraná, no rio Mutum-Paraná. Essas estações coletam dados automaticamente a cada 15 minutos, os quais são disponibilizados on-line de forma horária. Nestas estações ainda são monitoradas descargas líquidas e sólidas com periodicidade trimestral, portanto, em cada uma das etapas do ciclo hidrológico – Enchente (Novembro/Dezembro),



OBJETIVO	STATUS	ANÁLISE DO ATENDIMENTO
		<p>Cheia (Março/Abril); Vazante (Junho/Julho) e Seca (Agosto/Setembro);</p> <ul style="list-style-type: none"> Operação de estações convencionais: No rio Madeira são monitoradas ainda de forma convencional, ou seja, com leitura de níveis às 07:00h e 17:00h as seguintes seções: Bananal, RJ3- Palmeiral, RJ4-Mutum, RJ5-Tamborete e RJ6- Pederneira; Estabelecimento de marcos de controle de níveis d'água, onde serão realizadas além da leitura de régua de níveis d'água informada no item anterior, após a conclusão do enchimento do reservatório (cota 90m), campanhas trimestrais de medições de descarga líquida e coletas de sedimentos de fundo e em suspensão nos seguintes pontos: RJ6 Pederneira; RJ5 Tamborete; RJ4 Mutum; Palmeiral; RJ2 Jirau; Barragem de Jirau (Bananal); R4-Porto e RS3 Lucas. As campanhas serão realizadas em 04 (quatro) períodos específicos do ano, de forma a caracterizar os regimes de cheia, vazante, seca e enchente; Além destes pontos pré-existent, a inclusão de 02 (duas) seções próximas às estruturas do vertedouro da UHE Jirau, tendo em vista a necessidade de caracterização granulométrica dos sedimentos de fundo que eventualmente venham a se depositar nesta área específica; Acompanhamento evolutivo das condições de assoreamento e erosão, com a manutenção de uma rede de seções de controle sedimentométrico onde as alterações morfológicas estão sendo monitoradas desde 2010. Os levantamentos são realizados a cada 06 (seis) meses nos 02 (dois) primeiros anos de operação da UHE Jirau e com periodicidade anual durante o prazo restante de duração deste Programa. <p>O detalhamento desta rede e os dados obtidos até o momento foram apresentados no 1º Relatório Semestral do Programa, e/ou foram objeto de atualizações nos posteriores.</p>
<p>O monitoramento de concentrações de sedimentos deverá ser realizado de maneira integrada com a avaliação de sólidos em suspensão, previstos no monitoramento de resiliência e resistência de fitoplâncton, zooplâncton e zoobentos.</p>	<p>Em atendimento</p>	<p>Conforme previsto no item 4.10.7.4 do Programa de Monitoramento Limnológico, referente à avaliação do grau de impacto da descarga sólida gerada pela operação do vertedouro sobre o meio ambiente e a comunidade aquática, as medições de descarga sólida e a coleta de sedimentos de fundo e suspensão estão sendo desenvolvidas de forma conjunta com as campanhas do Programa de Monitoramento Limnológico, conforme cronograma proposto, tendo em vista permitir a correlação com os dados obtidos das amostragens de fitoplâncton, zooplâncton e zoobentos.</p>
<p>Os valores de concentração máxima de sólidos deverão ser mantidos em 3.500 mg/L, podendo ser reavaliados conforme resultados dos monitoramentos.</p>	<p>Em atendimento</p>	<p>Conforme apresentado nos relatórios semestrais anteriores, este acompanhamento está sendo realizado através de uma análise de regressão linear entre os parâmetros turbidez e sólidos em suspensão e entre turbidez e sólidos totais. A equação obtida por essa análise de regressão linear pode</p>



OBJETIVO	STATUS	ANÁLISE DO ATENDIMENTO
		<p>ser aplicada aos dados gerados no monitoramento em tempo real, para estimar as concentrações de sólidos totais e sólidos em suspensão a jusante do barramento, onde está instalada a sonda de monitoramento em tempo real. Considerando as medições de descarga sólida na estação Porto R4, durante o monitoramento realizado entre setembro de 2009 e março de 2016, as concentrações de sedimentos em suspensão a jusante do barramento, no trecho monitorado do rio Madeira foi significativamente inferior a 3.500 mg/L.</p>
<p>Apresentar, em 180 (cento e oitenta) dias, análise comparativa entre resultados do modelo reduzido e modelagem matemática nos pontos em que ocorreram conflitos de respostas modeladas, detalhando qual comportamento que há mais probabilidade de ocorrência e quais foram utilizados em eventuais tomada de decisões no processo construtivo.</p>	<p>Atendido</p>	<p>No dia 23/04/2013, a ESBR protocolou no IBAMA a correspondência IT/AT 686-2013, solicitando um prazo adicional de 30 (trinta) dias para apresentação da análise requerida, de forma a possibilitar a finalização da mesma. Em 15/05/2013, a ESBR recebeu o Ofício nº 02001.007179/2013-74 DILIC/IBAMA, através do qual o IBAMA deferiu o pedido supracitado para atendimento a este item da condicionante. Desta forma, no dia 27/05/2013, a ESBR protocolou no IBAMA a correspondência IT/AT 802-2013, encaminhando a Nota Técnica (NT) elaborada pela empresa CNEC WorleyParsons, contratada na ocasião para o gerenciamento do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico na UHE Jirau, contendo a avaliação solicitada. Conforme pode ser constatado neste documento, os objetivos, as escalas e os domínios de análise das modelagens física e numérica foram distintos. Enquanto o objetivo do modelo reduzido construído no Instituto Sogreah foi o de avaliar detalhes nas cercanias do barramento, o modelo computacional objetivou uma análise em escala geral e espacialmente mais abrangente do reservatório. Dentro destas 02 (duas) abordagens não são assinalados conflitos de respostas modeladas ao comparar as conclusões obtidas entre estas 02 (duas) modalidades de análise. O que se verifica são as limitações inerentes a cada tipo de ferramenta de análise utilizado, onde um modelo pode auferir um maior grau de detalhamento quanto a um dado aspecto do comportamento hidrossedimentométrico analisado. Considera-se, portanto, que os resultados obtidos das 02 (duas) modelagens, dentro dos objetivos a que se propõem, são coerentes e se complementam. Desta forma, este item da condicionante foi devidamente atendido pela ESBR.</p>

3 ATENDIMENTO ÀS METAS DO PROGRAMA

De modo a permitir o acompanhamento do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico conforme as metas estabelecidas no PBA, desde seu início em 2009, é apresentada a seguir uma



síntese das principais ações realizadas no cumprimento das atividades envolvidas, com indicação de status quanto ao atendimento das mesmas.

- Monitorar e avaliar a evolução temporal da descarga sólida do rio Madeira afluente ao reservatório, de forma a identificar tendências evolutivas da produção de sedimentos da bacia.

Status: Atendida

No escopo do Programa foram realizadas medições de descarga sólida em diversos postos fluviométricos e coletas de sedimentos em suspensão e de fundo na área do reservatório da UHE Jirau. As medições foram desenvolvidas de forma sistemática e intensiva com coletas semanais junto às estações pertencentes à rede básica definida no Programa (UHE Jirau Guajará-Mirim, UHE Jirau Jusante Rio Beni, UHE Jirau Morada Nova Jusante, UHE Jirau Abunã, e UHE Jirau Porto R4). Em particular nas estações de UHE Jirau Abunã e UHE Jirau Jusante Rio Beni também foram realizadas medições diárias em ciclos específicos de enchente e de vazante. Os subsídios decorrentes destas campanhas permitiram um conhecimento mais detalhado do comportamento sedimentométrico do rio Madeira e de sua sazonalidade identificada nas fases de enchente, de cheia, de vazante e de estiagem.

- Monitorar e avaliar a evolução espacial e temporal do fluxo de sedimentos do rio Madeira a jusante do reservatório de forma a identificar tendências evolutivas da erosão e deposição de sedimentos no trecho.

Status: Atendida

A avaliação espacial e temporal do fluxo de sedimentos a jusante do reservatório foi desenvolvida a partir do monitoramento da estação UHE Jirau Porto R4, através de medições de descarga líquida e sólida com coleta de sedimentos de fundo e em suspensão para efeito de composição de análise granulométrica. Esta seção constitui também um ponto de controle para efeito de avaliação dos processos de assoreamento e erosão neste trecho do rio Madeira. Os processos relacionados às alterações morfológicas do rio Madeira, a jusante do reservatório, foram também analisados no modelo reduzido construído no Instituto SOGREAH e pela COPPE/UFRJ através do modelo numérico SisBaHia, conforme resultados apresentados nos relatórios semestrais anteriores.



- Monitorar e avaliar os prognósticos do comportamento hidrossedimentológico e de alterações morfológicas do rio Madeira, estabelecidos com base nas modelagens matemáticas do escoamento e do transporte de sedimentos, no trecho do futuro reservatório e nos trechos por ele influenciados.

Status: Em atendimento

As alterações morfológicas da área abrangida pelo reservatório da UHE Jirau e o trecho a jusante do empreendimento foram simuladas através do modelo matemático SisBaHiA, desenvolvido pela COPPE/UFRJ para um período de 20 (vinte) anos, conforme resultados apresentados nos relatórios semestrais anteriores.

O monitoramento e avaliações do comportamento hidrossedimentológico e a análise das alterações morfológicas continuam sendo realizados na atual fase de operação da Usina Hidrelétrica de Jirau. Estas atividades incluem a realização sistemática de levantamentos batimétricos de seções transversais e de medições hidrossedimentométricas desenvolvidas no corpo do reservatório e no trecho remansado do rio Madeira a jusante, cujas informações são consistidas e analisadas constantemente.

- Monitorar e avaliar os prognósticos de assoreamento e vida útil do reservatório por meio de modelagem matemática.

Status: Atendida

Os prognósticos relativos ao assoreamento e a vida útil do reservatório da UHE Jirau foram desenvolvidos através da utilização do modelo SisBaHiA, simulando as alterações que ocorrerão no comportamento sedimentométrico na linha do estirão do reservatório e a distribuição deste assoreamento. No caso da UHE Jirau, conforme demonstrado na modelagem matemática, não há sentido em discutir a vida útil do reservatório tendo em vista que o barramento apenas criará um efeito de remanso variável conforme a vazão do rio Madeira em sincronia com o ciclo hidrológico. A dinâmica do sistema permanecerá sendo tipicamente fluvial. Ressalta-se que a maior parte do assoreamento observado nas simulações com o modelo SisBaHiA tende a ocorrer próximo das



margens e em embaiamentos laterais, tendendo a fortalecer o padrão fluvial do reservatório, com o aumento das correntes na calha central.

- Monitorar e avaliar a evolução geomorfológica do curso do rio Madeira a jusante da UHE Jirau já no reservatório de Santo Antônio (migração lateral do curso, dinâmica de ilhas, etc.).

Status: Em atendimento

A evolução geomorfológica do curso do rio Madeira e dinâmica das ilhas são objeto de avaliação tanto pela modelagem matemática quanto pelo levantamento de seções topobatimétricas de controle estrategicamente posicionadas no trecho do rio Madeira a jusante do eixo da UHE Jirau.

As seções topobatimétricas de controle foram levantadas na etapa de pré-enchimento e os resultados estão sendo comparados com as seções levantadas durante a fase de operação do empreendimento.

Tais estudos têm como objetivo permitir, ao longo da fase operativa da UHE Jirau, a mensuração das alterações geomorfológicas que possam ocorrer no trecho à jusante do barramento. No período abrangido por esse relatório, ocorreu a atualização dos levantamentos topobatimétricos, porém para avaliação e conclusões embasadas tecnicamente é necessária a comparação também com levantamentos ao longo dos próximos ciclos hidrológicos.

Portanto, esta meta será plenamente atendida através da continuidade do monitoramento e análise das informações que continuarão sendo levantadas durante a fase operativa da UHE Jirau.

- Monitorar a dinâmica dos taludes marginais em trechos representativos do rio Madeira na área de influência da UHE Jirau.

Status: Em atendimento

Tal meta está sendo atendida no âmbito do Programa de Monitoramento de Pontos Propensos à Instabilização de Encostas e Taludes Marginais.

- Monitorar e efetuar prognósticos de remanso devido ao reservatório de Jirau, através do uso de modelagem matemática e verificação da operação do reservatório e da curva guia em Abunã.



Status: Em atendimento

As linhas de remanso foram reavaliadas, à luz das novas seções topobatimétricas, de resultados de levantamento planialtimétrico a laser e dos dados de nível d'água e de vazão. Na fase anterior (primeira fase de enchimento – Etapas 1 e 2), estes elementos foram fornecidos pelo modelo matemático SisBaHiA e atualmente estão sendo monitorados através das seções de controle estabelecidas na área do reservatório da UHE Jirau. No período de 04/02/2015 a 08/03/2015, foi desenvolvido um levantamento batimétrico compreendendo 60 seções transversais distribuídas ao longo de um percurso de aproximadamente 160 km acompanhando o estirão do reservatório, cujas informações foram utilizadas nos estudos de remanso.

- Avaliar a eficiência do novo arranjo na Ilha do Padre relativamente às estruturas de vertimento e casa de força, durante os estudos de modelo reduzido, de forma a melhorar a passagem dos sedimentos pela barragem e evitar problemas de erosão nas máquinas.

Status: Atendida

Os ensaios realizados no modelo reduzido construído no Instituto SOGREAH permitiram a avaliação da eficiência do layout da UHE Jirau na Ilha do Padre. Os testes físicos realizados no modelo reduzido referentes a um longo período de tempo (37 anos) demonstraram que o layout da UHE Jirau garante o transporte de sedimentos pelas estruturas do barramento.

- Efetuar a avaliação comparativa dos prognósticos de assoreamento e de vida útil do reservatório, bem como os efeitos a montante e a jusante após a entrada em operação da usina por meio de dados coletados em campo e de acordo com o estabelecido na condicionante 2.8 da LI nº 621/2009.

Status: Em atendimento

A análise do processo de erosão/assoreamento do reservatório e do trecho do rio Madeira a jusante está sendo realizado através da comparação entre os levantamentos batimétricos subsequentes de



seções transversais monitoradas antes e após a formação do reservatório. Estas análises deverão ser aprofundadas considerando o novo levantamento batimétrico realizado recentemente, além daqueles rotineiros previstos no programa hidrossedimentométrico. Neste novo levantamento, o estirão do reservatório, em um percurso total aproximado de 160 km, foi detalhado através de levantamentos batimétricos de três linhas longitudinais, uma central e duas laterais, espaçadas equidistantes em relação à seção molhada, além do levantamento de 60 seções transversais distribuídas ao longo do estirão do reservatório. Os subsídios decorrentes deste novo levantamento serão utilizados no aprimoramento dos dados de entrada do modelo matemático e nos estudos de remanso.

- Os valores de concentração máxima de sólidos deverão ser mantidos em 3.500 mg/L, podendo ser reavaliados conforme resultados dos monitoramentos.

Status: Em atendimento

Esta aferição está sendo realizada através do estudo de correlação numérica entre as medições de concentrações de sólidos suspensos e os índices de turbidez que são monitorados, em tempo real, em sensores situados no interior do reservatório e a jusante na margem direita do rio Madeira. Desta forma, a partir dos dados monitorados dos índices de turbidez, são aferidas de forma contínua as concentrações dos sólidos suspensos. Neste mesmo propósito foram realizados levantamentos extras de concentração sólida em suspensão integrada com as manobras de aberturas das comportas. Este ensaio foi realizado em dezembro de 2014 na estação de UHE Jirau - Porto R4. Considerando as medições de descarga sólida neste local, até a data de fechamento deste relatório, as maiores concentrações de sedimentos em suspensão no local da estação Porto R4 não haviam superado o valor máximo de 3.500 mg/L. A medição de concentração de sedimentos em suspensão mais alta ocorreu em 24/02/2012, atingindo 1.939 mg/L. No período mais restrito de operação do empreendimento, 2013 a 2016, a medição de concentração de sedimentos em suspensão mais alta em Porto R4 foi 1.307 mg/L (11/02/2016).

4 ATIVIDADES REALIZADAS NO SEMESTRE

No período de novembro de 2015 a março de 2016 foram realizadas 24 medições de descarga líquida e sólida, que foram acrescentadas ao banco de dados do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico e serão disponibilizadas também para a ANA. Estas medições forneceram mais informações para o entendimento da hidrologia e da dinâmica de sedimentos no rio Madeira e seus afluentes.

As medições também contribuíram para corroborar as relações entre os níveis d'água e os diversos parâmetros que caracterizam o comportamento hidráulico no local das estações, tais como área molhada, velocidade e profundidade média. De maneira geral, as medições realizadas no último semestre confirmaram o bom ajuste das curvas-chave definidas.

O conjunto das medições de descarga realizadas nas estações que compõe a rede de monitoramento da UHE Jirau é apresentado no **Anexo** deste relatório, enquanto o detalhe das medições realizadas neste semestre, junto com a relação destas com as anteriores, para cada estação, é apresentado no item 5.4.

Quanto aos dados diários de leitura de régua oriundos do monitoramento sistemático realizado por estações telemétricas e convencionais, foram obtidas séries consideradas consistentes. As séries de leituras de régua diárias são apresentadas no **Anexo** deste relatório. No item 5.3 é detalhada a evolução temporal dos níveis d'água medidos, de várias estações em conjunto, como forma de aumentar o entendimento da dinâmica hidrológica da bacia.

As análises granulométricas do material de fundo realizadas no período de novembro de 2015 a março de 2016 também confirmaram as tendências observadas nos dados das campanhas anteriores. A análise dos sedimentos em suspensão indicou que 100% do material coletado nas medições de descarga sólida são partículas mais finas, de silte e argila. Os gráficos referentes às análises granulométricas efetuadas durante todo o período do Programa são apresentados no item 5.5.

A análise granulométrica dos sedimentos é importante para a determinação da descarga sólida total numa estação fluviométrica. A partir desta, é possível realizar o balanço de massa de sedimentos entre cada estação monitorada pela UHE Jirau.

De forma sintética, foram realizadas no último semestre pela Construserv as atividades abaixo:



19



- Medições trimestrais de descarga líquida e sólida nas 06 (seis) estações da rede básica estabelecida para o Programa e mais 01 (uma) adicional: UHE Jirau – Porto R4, UHE Jirau - Abunã, UHE Jirau – Jusante Rio Beni, UHE Jirau – Guajará Mirim, UHE Jirau - Forte Príncipe da Beira, UHE Jirau – Morada Nova Jusante e UHE Jirau – Nova Califórnia.
- Coletas trimestrais de sedimentos do leito e em suspensão nas 07 (sete) estações citadas anteriormente com medições de descarga líquida e sólida, visando às análises granulométricas.
- Desenvolvimento de duas campanhas hidrossedimentométricas extras para a realização de medições de descarga sólida e líquida em 03 (três) estações (UHE Jirau – Porto R4, UHE Jirau – Abunã e UHE Jirau – Jusante Rio Beni) e 01 (uma) campanha extra para realização de medição de descarga sólida e líquida na estação UHE Jirau – Morada Nova Jusante.
- Acompanhamento dos níveis d'água obtidos por sensor automático de 8 (oito) estações telemétricas, conforme projeto aprovado pela ANA: UHE Jirau – Porto R4, UHE Jirau – Barramento, UHE Jirau - Abunã, UHE Jirau – Jusante Rio Beni, UHE Jirau – Guajará Mirim, UHE Jirau - Forte Príncipe da Beira, UHE Jirau – Morada Nova Jusante e UHE Jirau – Nova Califórnia.
- Coleta e disponibilização em tempo real de dados das alturas de precipitação em 7 (sete) estações telemétricas: UHE Jirau – Porto R4, UHE Jirau - Abunã, UHE Jirau – Jusante Rio Beni, UHE Jirau – Guajará Mirim, UHE Jirau - Forte Príncipe da Beira, UHE Jirau – Morada Nova Jusante e UHE Jirau – Nova Califórnia.
- Coleta e disponibilização de dados de leitura de régua observada duas vezes ao dia (7 e 17h), em 15 (quinze) postos limnimétricos, sendo 10 no rio Madeira, 03 no rio Abunã, 01 no rio Mamoré e 01 no rio Guaporé. Além das 07 estações telemétricas, a leitura de régua é realizada nos seguintes postos: Pedreira, Lucas, Bananal, Palmeiral, Mutum, Tamborete, Pederneiras e Fortaleza do Abunã.
- Campanhas trimestrais de vistoria e readequação das 06 (sete) estações telemétricas da rede básica estabelecida para o Programa e mais 01 (uma) adicional: UHE Jirau – Porto R4, UHE Jirau - Abunã, UHE Jirau – Jusante Rio Beni, UHE Jirau – Guajará Mirim, UHE Jirau - Forte Príncipe da Beira, UHE Jirau – Morada Nova Jusante e UHE Jirau – Nova Califórnia. Nestas campanhas foram realizadas atividades de manutenção geral das estações, destacando-se: limpeza de pluviômetros, limpeza da régua, testes na bateria dos transmissores, no CLP, na sonda e antenas.

- Inspeção contínua de todas as estações e réguas que compõem a rede de monitoramento, visando preservar continuidade e qualidade das informações. Nesta atividade é verificada a integridade física das estações, considerando também o nivelamento e a estabilização das réguas limnimétricas, funcionamento das estações telemétricas ou outras anormalidades, procedendo quando necessário, o desenvolvimento de ações corretivas.
- As amostras de sedimentos obtidas foram destinadas ao laboratório da Construserv, para análise. A partir dos resultados de hidrometria e da granulometria do sedimento, a Construserv tem realizado o cálculo da descarga sólida.

No **Anexo** do presente relatório são apresentados os dados dos levantamentos hidrossedimentométricos, abrangendo os resumos das medições de descarga líquida e sólida, os levantamentos das seções transversais de controle (batimetria e análises granulométricas do material do leito) e as leituras médias diárias nas estações de monitoramento da UHE Jirau.

A Figura 4-1 a seguir registra o momento em que a equipe de hidrometria da Construserv realizava a medição de descarga líquida no local da estação UHE Jirau – Porto R4, em janeiro de 2016.



Figura 4-1: Medição de Descarga Líquida em Porto R4

5 RESULTADOS CONSOLIDADOS DO PERÍODO DA LO Nº 1097/2012

Neste capítulo são apresentados os resultados consolidados do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico da UHE Jirau desde seu início, destacando-se aqueles obtidos no período de 01 de novembro de 2015 a 31 de março de 2016, semestre mais recente da fase de operação do empreendimento.

5.1 Observações Gerais do Empreendimento

O enchimento do reservatório da UHE Jirau se realizou em etapas, com início em 19 de outubro de 2012 e final em 18 de maio de 2014, quando o nível d'água alcançou a cota 90,0 m, correspondente ao nível máximo de operação. Neste período os deflúvios atingiram seu ápice histórico em 23 de março de 2014, com vazões próximas a 60.000 m³/s.

Neste último semestre, período de enchente do rio Madeira, o nível d'água no reservatório foi elevado gradualmente, atingindo a cota 90,0 m no início de janeiro de 2016. A partir do dia 15 de janeiro houve novo deplecionamento até o nível d'água ficar estabilizado na cota 87,37 m, entre 07 e 25 de fevereiro. Após esse período, o reservatório começou a ser rebaixado gradualmente até a cota 85,5 m, sendo novamente elevado até a cota 87,0 m ao final de março. A operação do reservatório segue orientações da Curva Guia de Operação, estabelecida pela ANA através da Resolução 269, de 27 de abril de 2009.

A Figura 5.1-1 apresenta a evolução do nível d'água no reservatório de 01 de outubro de 2012 a 31 de março de 2016, com destaque para o período de novembro de 2015 a março de 2016, realçado na cor azul. A Figura 5.1-2 em seguida apresenta a evolução do nível d'água a jusante da usina, iniciando em 01 de outubro de 2011, antes do enchimento do reservatório de Santo Antônio, também com destaque em azul para o período recente.

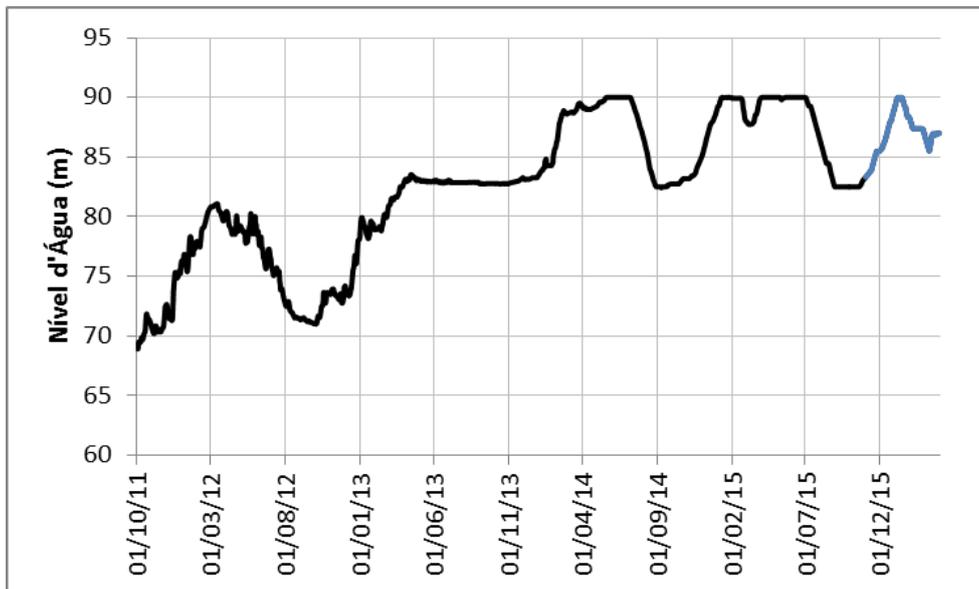


Figura 5.1-1: Evolução dos Níveis d'Água do Reservatório da UHE Jirau

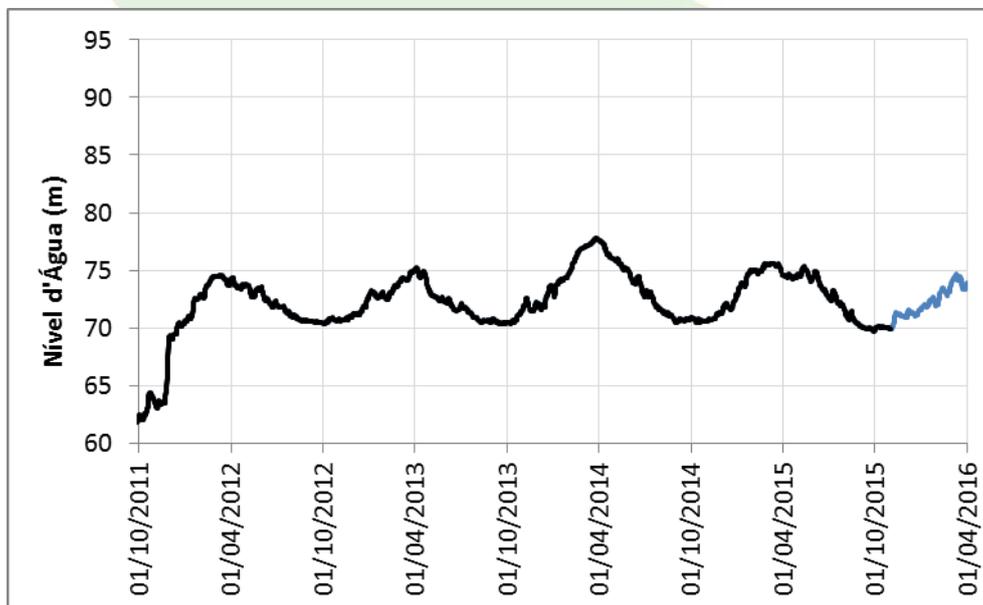


Figura 5.1-2: Evolução dos Níveis d'Água a Jusante da UHE Jirau

Na Figura 5.1-3 são apresentadas as curvas-chave da estação fluviométrica Porto R4, localizada a jusante da barragem da UHE Jirau, para as condições naturais do rio Madeira, antes do enchimento

do reservatório da UHE Santo Antônio, e alterada pela implantação deste reservatório. Na Figura podem ser observadas as alterações no comportamento do nível d'água em função do efeito de remanso do reservatório deste empreendimento, localizado a jusante. As medições em destaque são as realizadas no último semestre, de novembro de 2015 até março de 2016.

As medições de descarga realizadas no local da estação Porto R4 apresentam grande dispersão, principalmente em função da influência do nível d'água no reservatório da UHE Santo Antônio, de modo que a curva-chave apresentada abaixo na Figura 5.1.3 é meramente ilustrativa, podendo ser utilizada apenas desta forma.

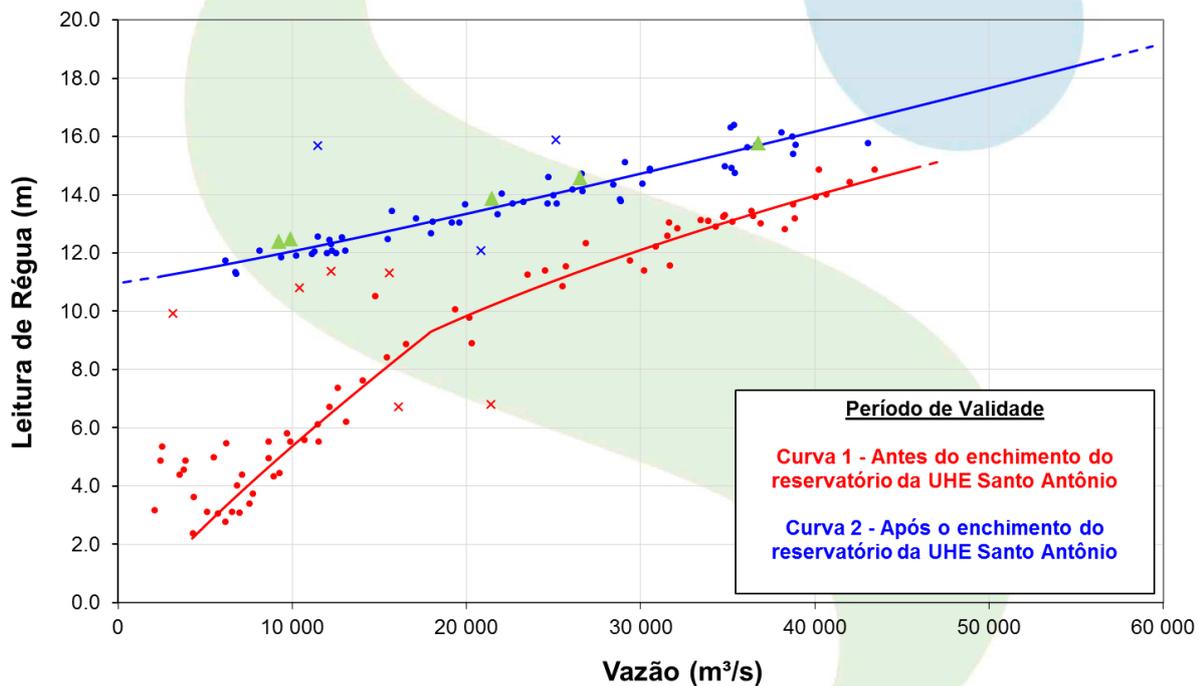


Figura 5.1-3: Curvas-chave da Estação UHE Jirau – Porto R4

5.2 Monitoramento de Níveis d'Água e Precipitação incluindo Telemetria

Para monitoramento de níveis d'água, a UHE Jirau conta com 8 (oito) estações fluviométricas, que dispõem de sensor automático e telemetria, com registro horário, e mais 8 (oito) estações

limnimétricas, com observador local e leitura de régua duas vezes ao dia. Nas estações telemétricas também é realizada a leitura bi-diária das réguas, com exceção da estação UHE Jirau - Barramento.

No Quadro 5.2-1 a seguir estão listadas as estações fluviométricas utilizadas pelo Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico, ordenadas de montante para jusante. A rede é de responsabilidade da ESBR e está sendo operada desde maio de 2015 pela Construserv.

Quadro 5.2-1 – Estações da Rede de Monitoramento Hidrossedimentológico da UHE Jirau

Estação	Código ANA	Curso d'água	Coordenadas		Tipo ⁽¹⁾	Início de Operação
			Latitude	Longitude		
UHE Jirau – Príncipe da Beira	15200010	Guaporé	12° 25' 36,0" S	64° 25' 31,0" O	F T P D S	ago-12
UHE Jirau – Guajará-Mirim	15250001	Mamoré	10° 47' 35,17" S	65° 20' 51,97" O	F T P D S	jul-12
UHE Jirau – Jusante Rio Beni	15318000	Madeira	10° 21' 25,0" S	65° 21' 41,0" O	F T D S	ago-12
UHE Jirau – Abunã	15320003	Madeira	9° 42' 17,77" S	65° 21' 55,53" O	F T P D S	ago-12
UHE Jirau – Nova Califórnia	15324500	Abunã	9° 54' 18,15" S	66° 37' 23,07" O	F T P D S	ago-13
UHE Jirau – Morada Nova Jusante	15326010	Abunã	9° 47' 2,9" S	65° 31' 41,07" O	F T P D S	jul-12
Fortaleza do Abunã	-	Madeira	9° 47' 17,29" S	65° 31' 17,04" O	L	jun-15
Pederneiras	-	Madeira	9° 38' 42,8" S	65° 26' 49,98" O	L	nov-08
Tamborete	-	Madeira	9° 31' 37,12" S	65° 19' 26,34" O	L	jan-09
Mutum	-	Madeira	9° 35' 24,54" S	64° 56' 50,47" O	L	dez-08
Palmeiral	-	Madeira	9° 31' 50,62" S	64° 49' 17,02" O	L	jan-09
Bananal	-	Madeira	9° 16' 59,93" S	64° 39' 13,8" O	L	out-08
UHE Jirau – Barramento	15340500	Madeira	9° 15' 1,15" S	64° 38' 54,24" O	F T	out-12
UHE Jirau – Porto R4	15340600	Madeira	9° 14' 34,7" S	64° 37' 23,71" O	F T P D S	fev-13
Lucas	-	Madeira	9° 12' 8,79" S	64° 36' 27,3" O	L	dez-08
Pedreira	-	Madeira	8° 50' 8,56" S	63° 58' 1,36" O	L	dez-08

(1) Legenda:



F – Fluviométrica com sensor para registro horário de nível d'água T – Telemétrica
L – Leitura de régua bi-diária P – Pluviométrica
D – Medição de descarga líquida S – Medição de descarga sólida

A Figura 5.2-1 a seguir apresenta um mapa simplificado do rio Madeira com a localização das estações hidrométricas, enquanto a Figura 5.2-2 apresenta um diagrama topológico da rede de monitoramento hidrossedimentológico da UHE Jirau, com a posição relativa das estações.



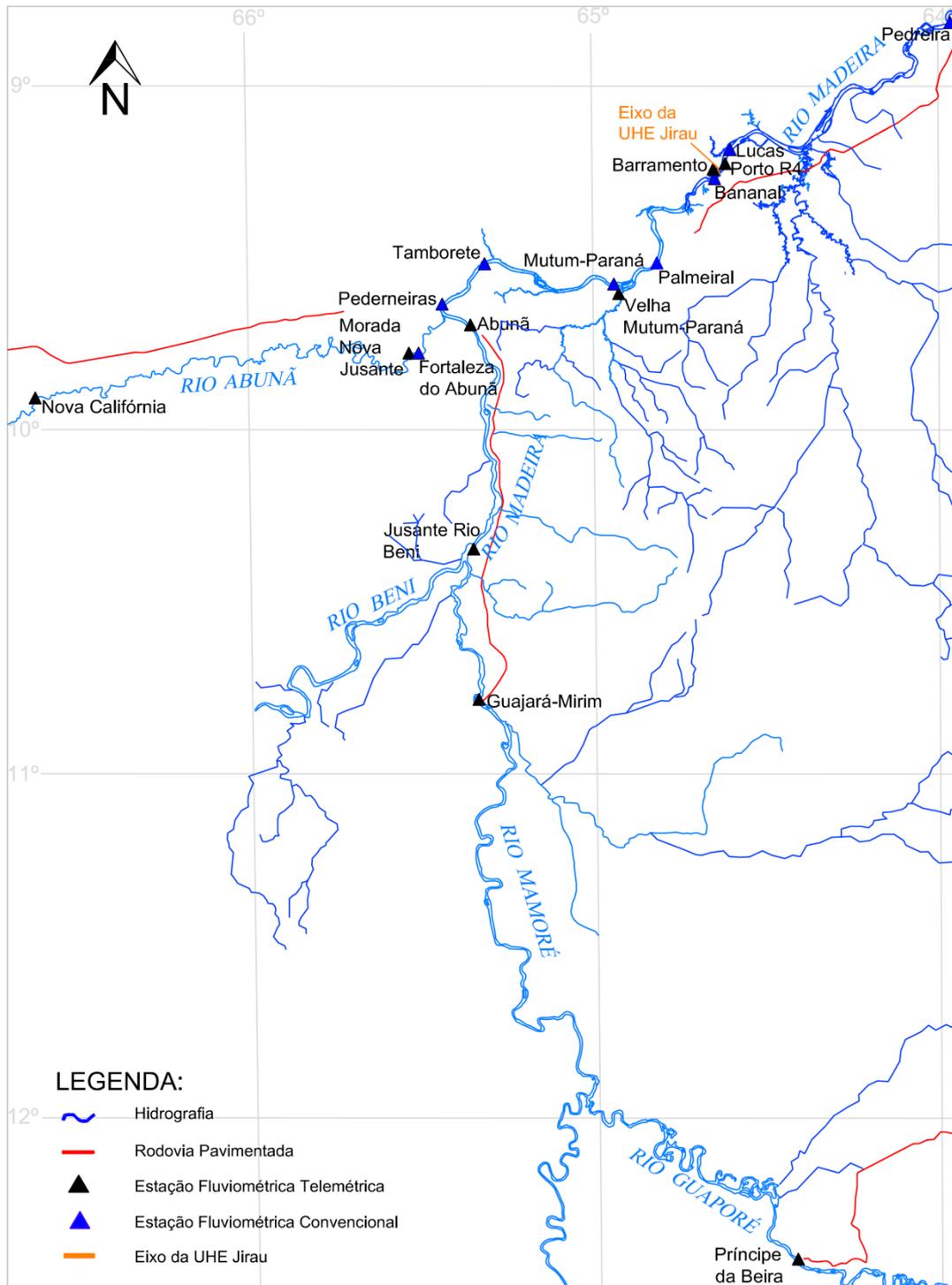


Figura 5.2-1 – Mapa de Localização da Rede de Monitoramento Hidrossedimentológico

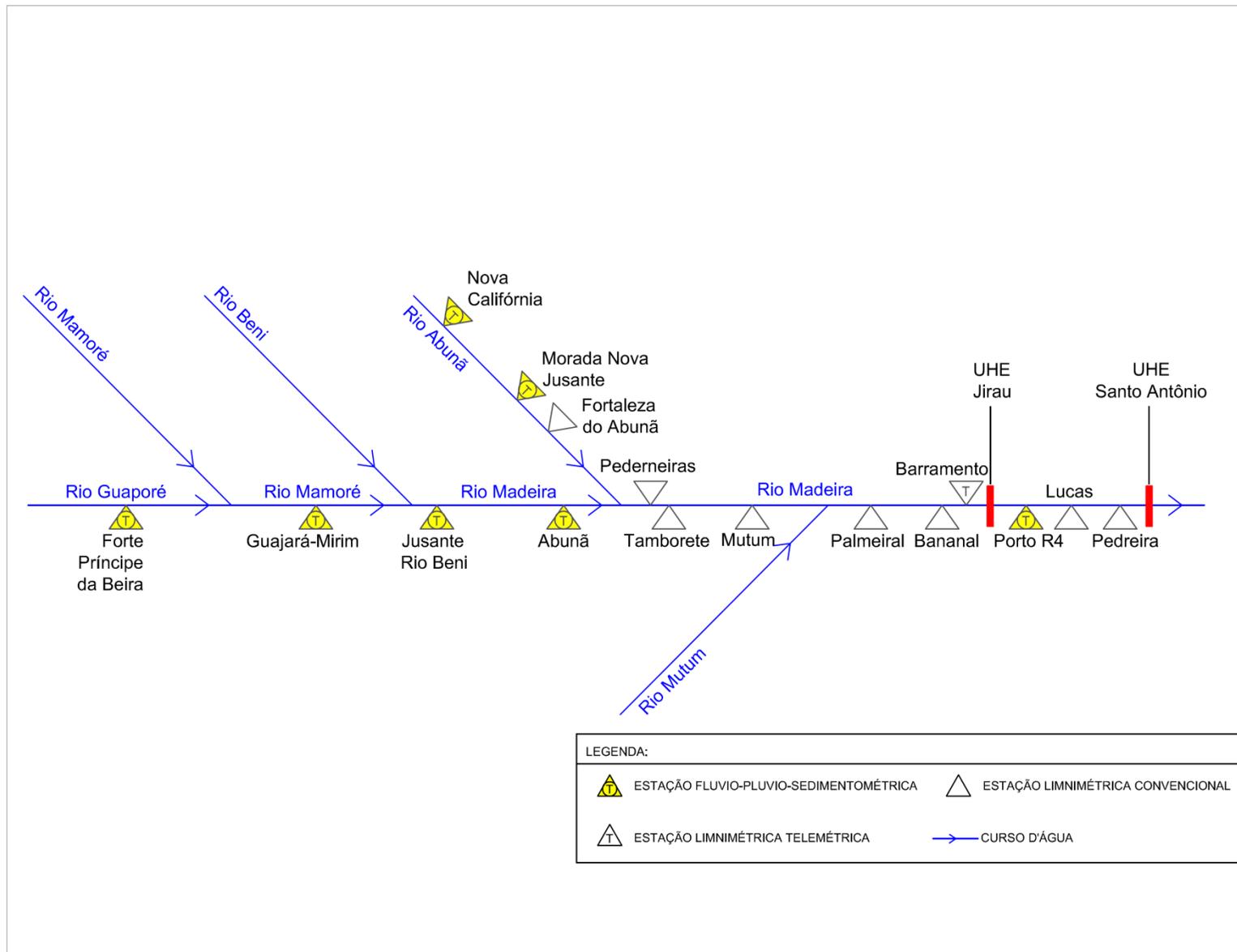


Figura 5.2-2 – Diagrama Topológico da Rede de Monitoramento Hidrossedimentológico

Após a análise de consistência dos dados de níveis d'água obtidos no monitoramento, foram elaborados os cotogramas nas principais estações, no período de outubro de 2012 a março de 2016, apresentados na Figura 5.2-3 a seguir, que mostra o comportamento dos níveis d'água (cota IBGE) nas estações da bacia do rio Madeira durante todo o período deste Programa. As séries de valores médios diários de leitura de régua são apresentadas no **Anexo** deste relatório.

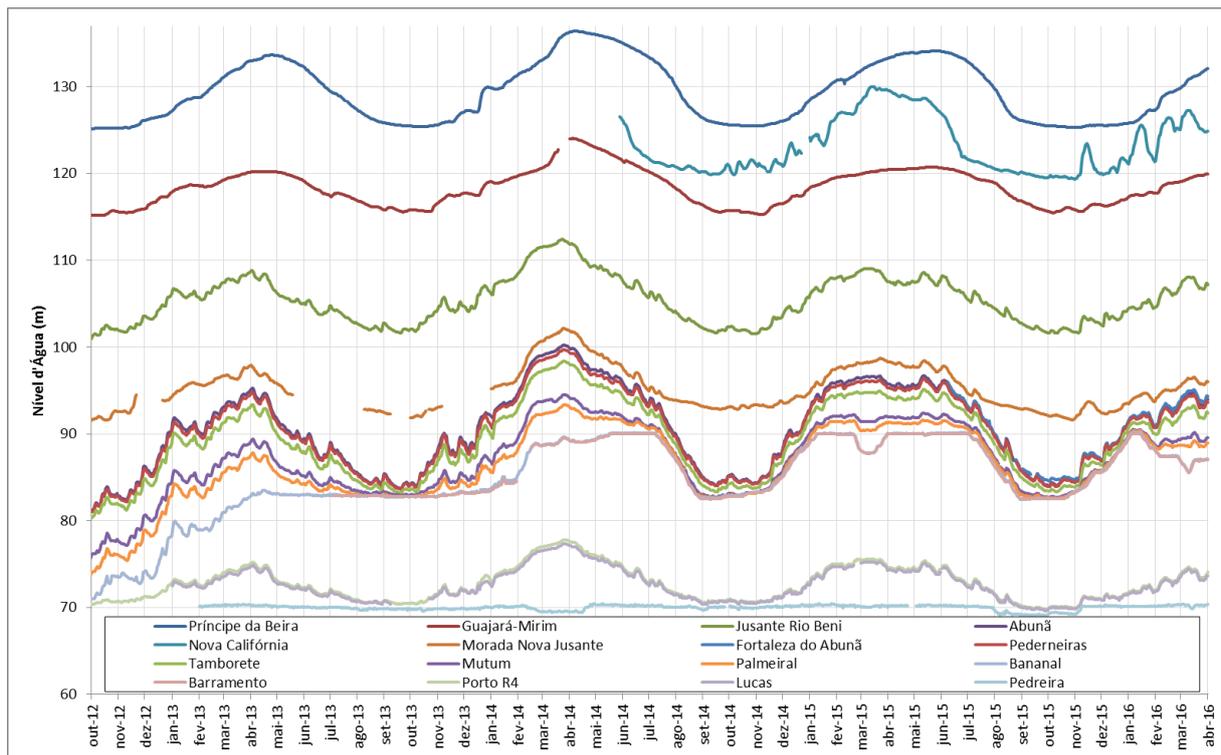


Figura 5.2-3: Níveis d'água nas Estações da Rede Hidrométrica da UHE Jirau

Estes cotogramas mostram níveis d'água dos rios Madeira, Mamoré, Beni, Abunã e Guaporé, numa distância máxima de aproximadamente 740 km, entre as estações de Príncipe da Beira no rio Guaporé e Pedreira no rio Madeira.

5.3 Medições de Descarga Líquida e Sólida

No período de novembro de 2015 a março de 2016 foram realizadas 5 (cinco) campanhas de medições de descarga líquida e sólida nas diversas estações da rede de monitoramento da UHE Jirau, que totalizaram 24 medições de descarga líquida e sólida.

O Quadro 5.3-1 a seguir indica o número de medições de descarga líquida e sólida realizadas em cada estação, no período mais recente e ao longo de todo o período de monitoramento. A estação com mais medições realizadas é Abunã. Na estação Jusante Rio Beni, que representa o rio Madeira antes da entrada no reservatório, dispõe de 211 medições de descarga líquida e sólida.

Quadro 5.3-1: Medições de Descarga (Líquida e Sólida) Realizadas nas Estações

Estação	Código ANA	Número de medições no semestre (descarga líquida e sólida)	Número total de medições (descarga líquida e sólida)
UHE Jirau - Príncipe da Beira	15200010	2	14
UHE Jirau - Guajará-Mirim	15250001	2	130
UHE Jirau - Jusante Rio Beni	15318000	5	211
UHE Jirau – Abunã	15320003	5	326
UHE Jirau - Nova Califórnia	15324500	2	11
UHE Jirau - Morada Nova Jusante	15326010	3	126
UHE Jirau - Porto R4	15340600	5	134

Os resultados obtidos nas medições de descarga líquida e sólida, realizadas no último semestre e em etapas anteriores do Programa, estão apresentados a seguir detalhados por estação. Para facilitar a análise, foram elaborados gráficos das relações entre os diversos parâmetros para todo o período disponível de dados. Os resultados das medições mais recentes de cada estação estão destacados nos gráficos. Os resumos completos das medições de descarga em cada estação estão apresentados no **Anexo** deste relatório.

- **UHE Jirau – Príncipe da Beira**

Na estação UHE Jirau – Príncipe da Beira foram realizadas 2 (duas) novas medições no período de novembro de 2015 a março de 2016. As medições acompanharam a tendência das medições anteriores. No geral, o conjunto de medições apresentou pequena dispersão. O Quadro 5.3-2 a seguir

resume as medições realizadas no último semestre, enquanto as Figuras 5.3-1 a 5.3-3 ilustram as relações hidráulicas obtidas nas medições realizadas nesta estação até o presente.

Quadro 5.3-2: Medições de Descarga Líquida e Sólida na UHE Jirau – Príncipe da Beira

Data	Leitura de Régua (m)	Vazão (m ³ /s)	Área (m ²)	Velocidade (m/s)	Profundidade Média (m)	Concentração de Sedimentos em Suspensão (mg/L)	Descarga Sólida em Suspensão (t/dia)
10/11/2015	4,96	313,6	1498,8	0,203	3,60	19	507,5
01/02/2016	5,93	1270,0	2287,0	0,590	5,52	31	3386,2

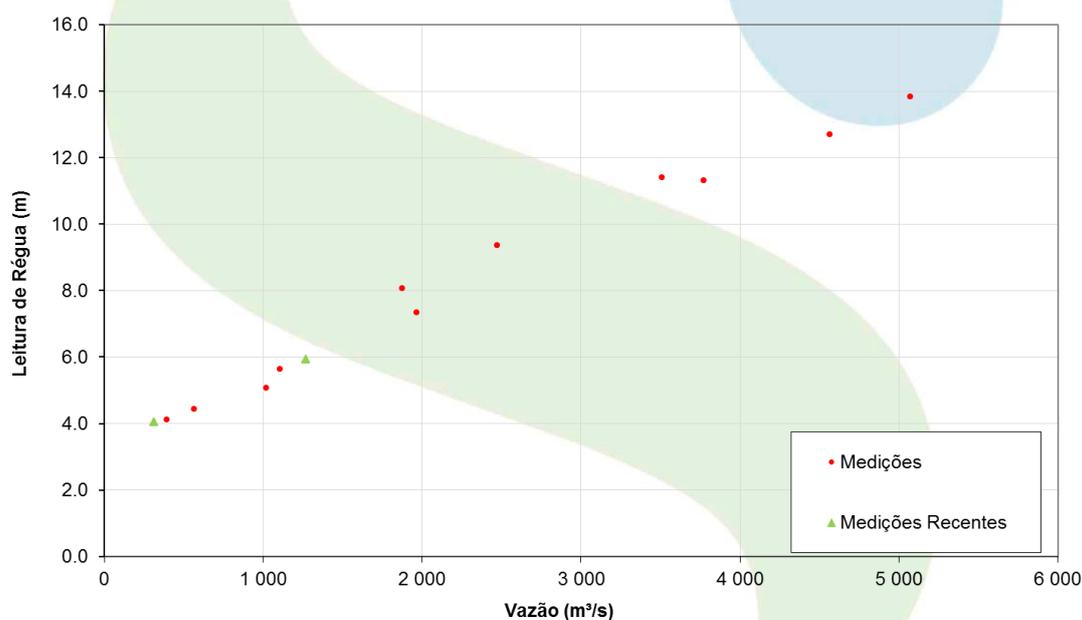


Figura 5.3-1: Leitura de Régua x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Príncipe da Beira

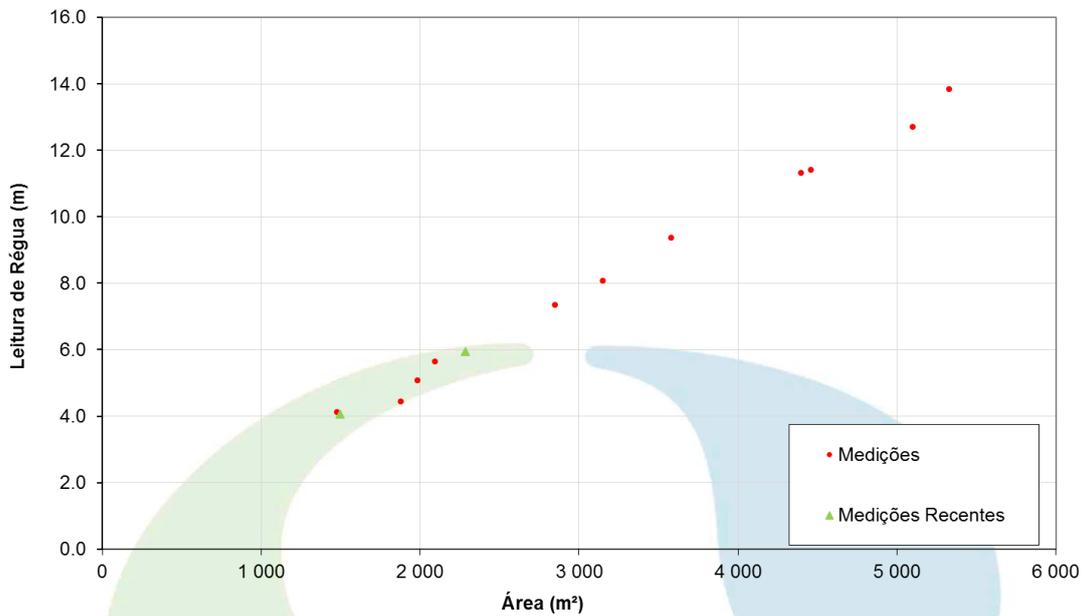


Figura 5.3-2: Leitura de Régua x Área Molhada na Estação UHE Jirau – Príncipe da Beira

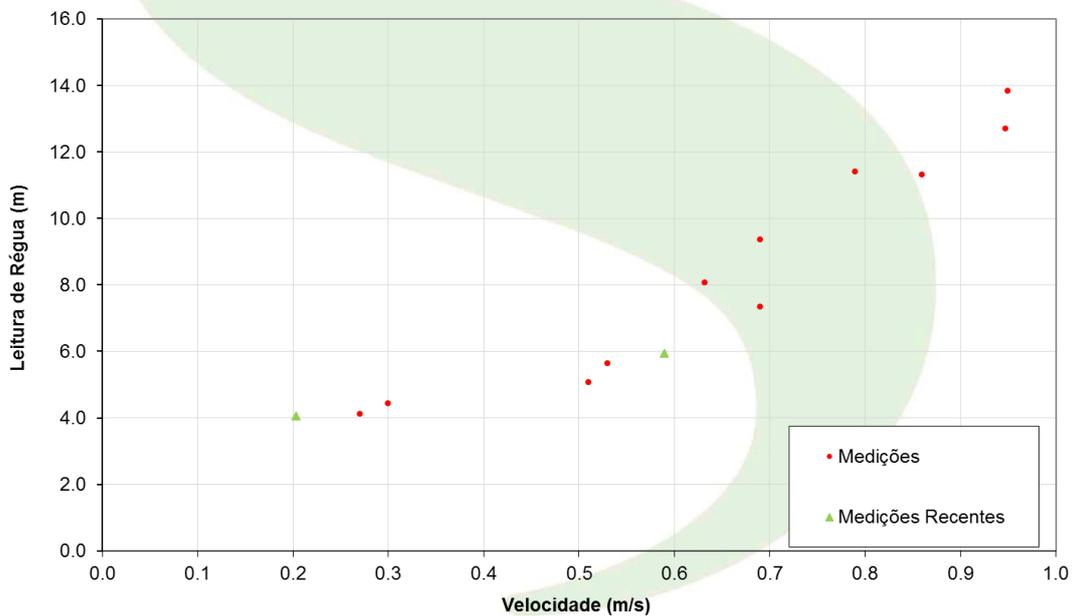


Figura 5.3-3: Leitura de Régua x Velocidade Média na Estação UHE Jirau – Príncipe da Beira

Os resultados obtidos nas medições de descarga líquida e sólida, realizadas no último semestre e em etapas anteriores do Programa, estão apresentados a seguir detalhados por estação. Para facilitar a análise, foram elaborados gráficos das relações entre os diversos parâmetros para todo o período disponível de dados. Os resultados das medições mais recentes de cada estação estão destacados nos gráficos. Os resumos completos das medições de descarga em cada estação estão apresentados no **Anexo** deste relatório.

A partir das medições de descarga realizadas pela ANA e pela ESBR em Príncipe da Beira, foi possível ajustar curvas potenciais para representar a relação entre a leitura de régua e a descarga líquida apresentadas abaixo, na Figura 5.3-4. As curvas ajustadas para a estação foram extrapoladas pelo método logarítmico.

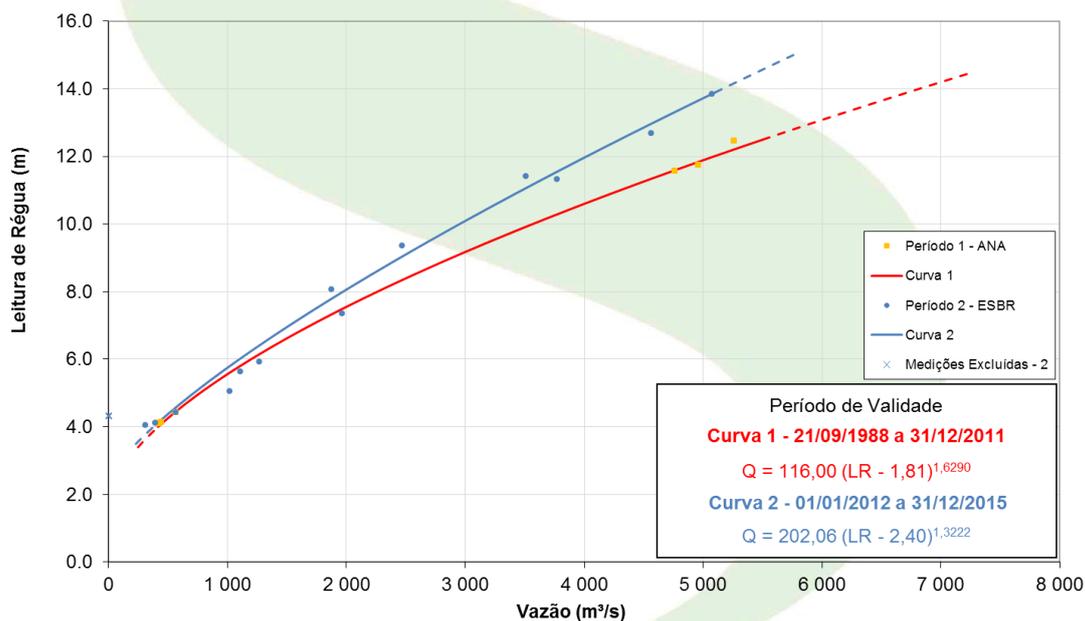


Figura 5.3-4 - Curva-Chave para a Estação UHE Jirau – Príncipe da Beira

As Figuras 5.3-5 e 5.3-6 apresentam os resultados de concentração de sedimentos em suspensão e descarga sólida medidos nesta estação. Pode-se observar uma grande dispersão dos resultados.

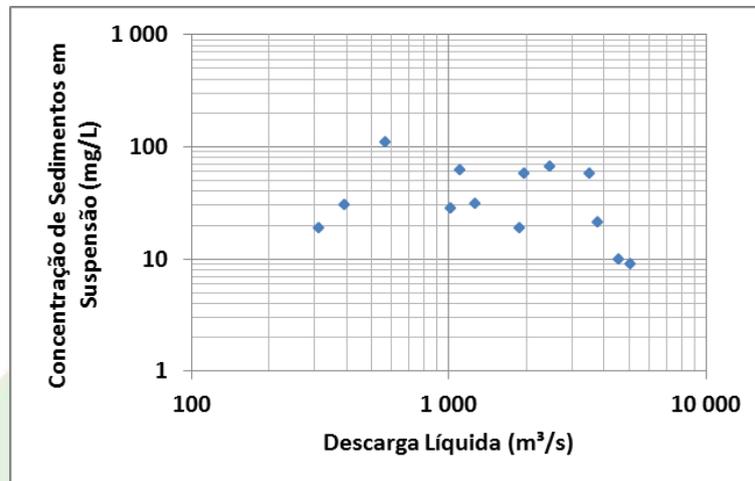


Figura 5.3-5 – Concentração de Sedimentos em Suspensão x Descarga Líquida na Estação Príncipe da Beira

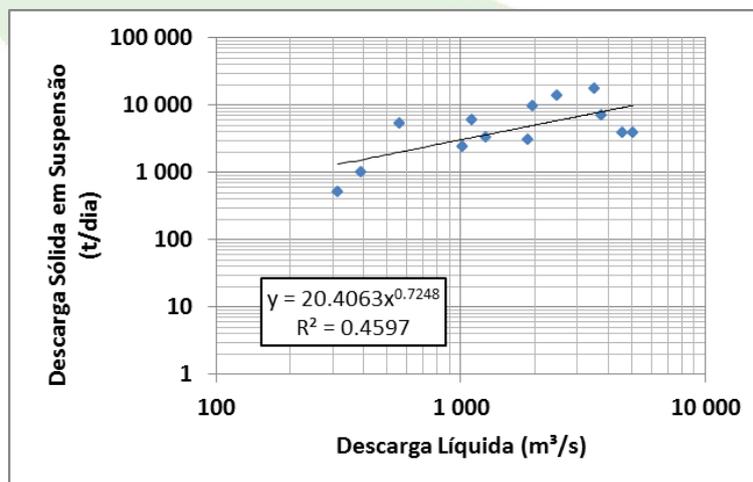


Figura 5.3-6 - Descarga Sólida em Suspensão x Descarga Líquida na Estação Príncipe da Beira

- **UHE Jirau – Guajará-Mirim**

Na estação UHE Jirau – Guajará-Mirim foram realizadas 2 (duas) novas medições de descarga no período de novembro de 2015 a março de 2016. As medições acompanharam a tendência das medições anteriores, apresentando desvios bem pequenos. O Quadro 5.3-3 a seguir apresenta o

resumo das medições neste semestre, enquanto as Figuras 5.3-7 a 5.3-9 ilustram as relações hidráulicas obtidas em todas as medições realizadas até o presente. De maneira geral, os resultados em Guajará-Mirim apresentaram baixa dispersão.

Quadro 5.3-3: Medições de Descarga Líquida e Sólida na UHE Jirau – Guajará-Mirim

Data	Leitura de Régua (m)	Vazão (m ³ /s)	Área (m ²)	Velocidade (m/s)	Profundidade Média (m)	Concentração de Sedimentos em Suspensão (mg/L)	Descarga Sólida em Suspensão (t/dia)
13/11/2015	6,22	2070,3	6846,6	0,324	7,79	66	11852,5
03/02/2016	8,17	6157,4	8160,1	0,810	9,23	696	370326,8

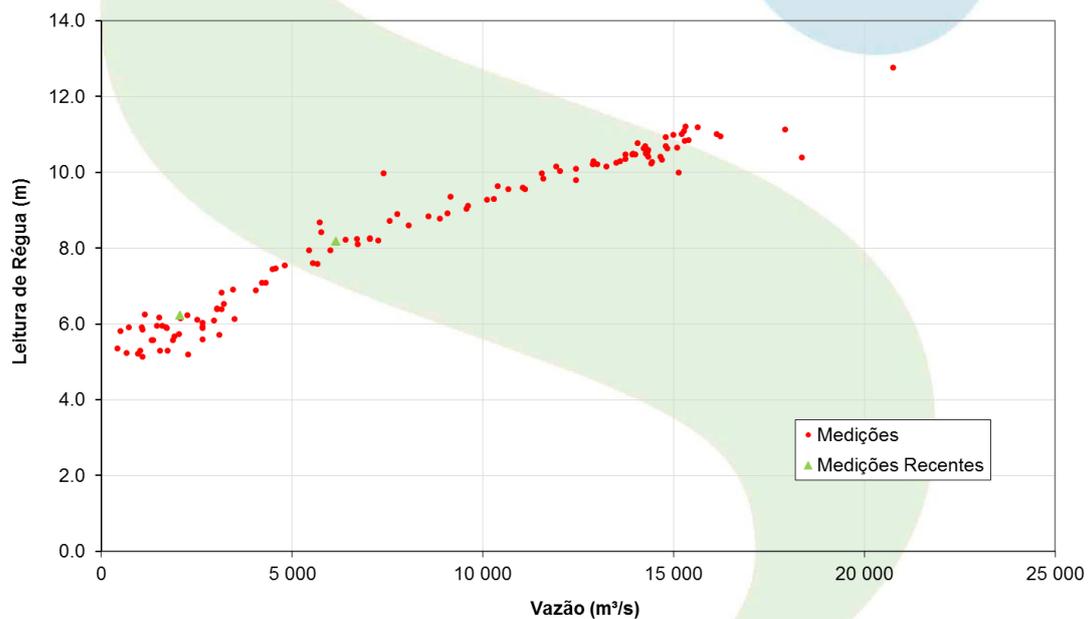


Figura 5.3-7: Leitura de Régua x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Guajará-Mirim

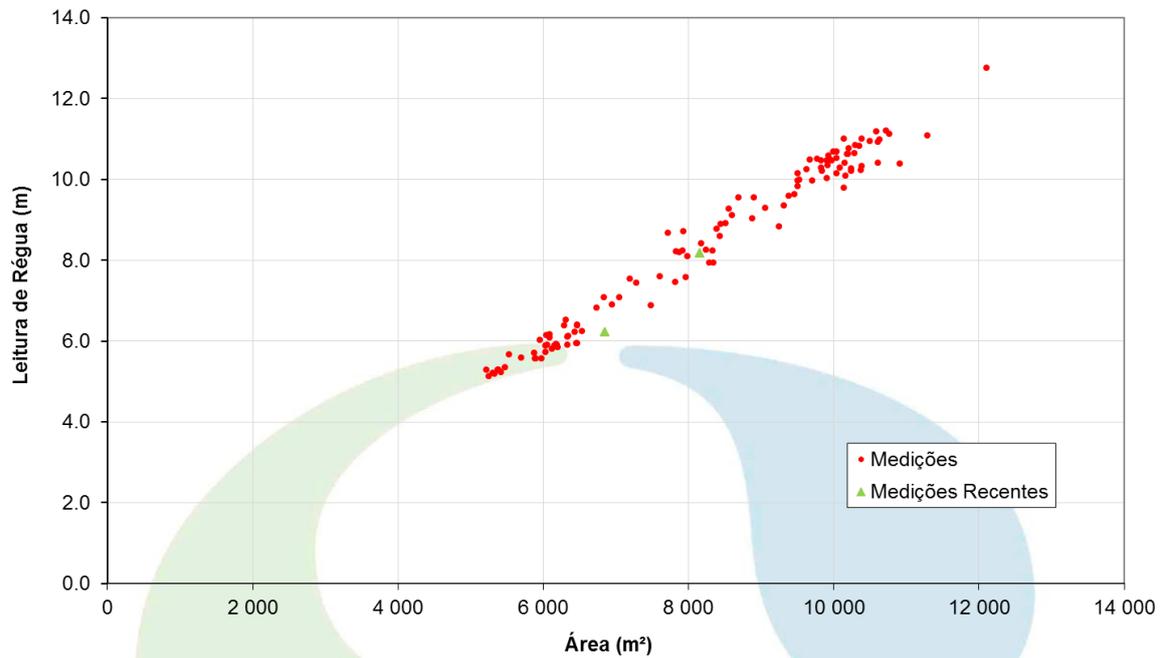


Figura 5.3-8: Leitura de Régua x Área Molhada na Estação UHE Jirau – Guajará-Mirim

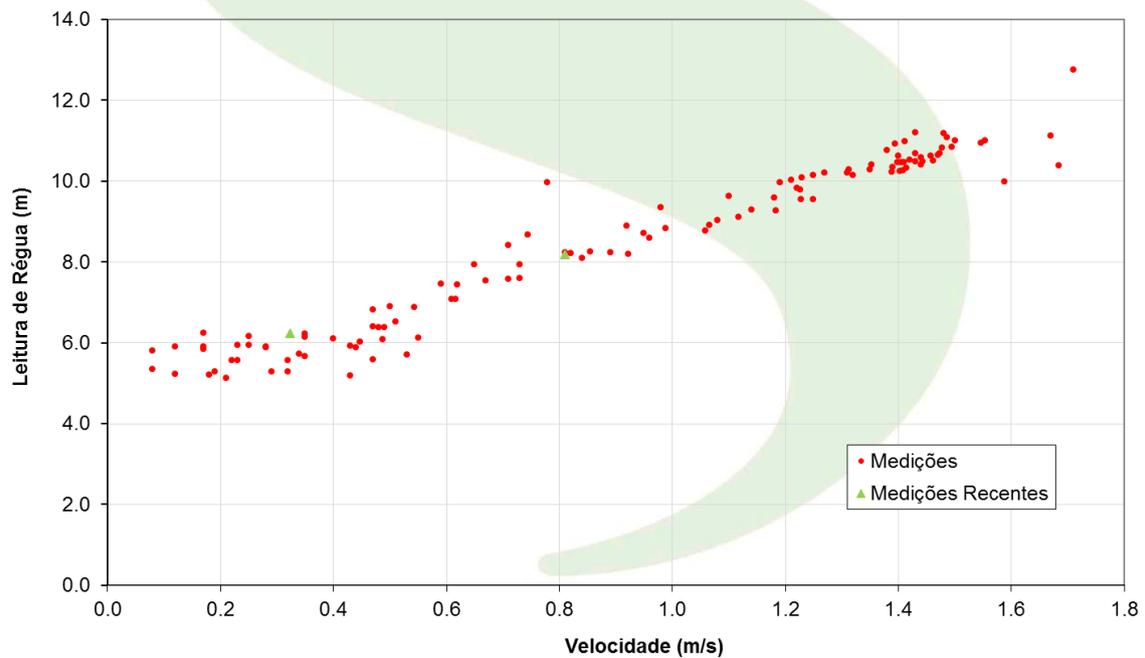


Figura 5.3-9: Leitura de Régua x Velocidade Média na Estação UHE Jirau – Guajará-Mirim

A partir das medições de descarga realizadas pela ANA e pela ESBR desde o início das medições de descarga em Guajará-Mirim, foi possível ajustar curvas potenciais para representar a relação entre a leitura de régua e a descarga líquida apresentadas a seguir, na Figura 5.3-10. As curvas ajustadas para a estação foram extrapoladas pelo método logarítmico.

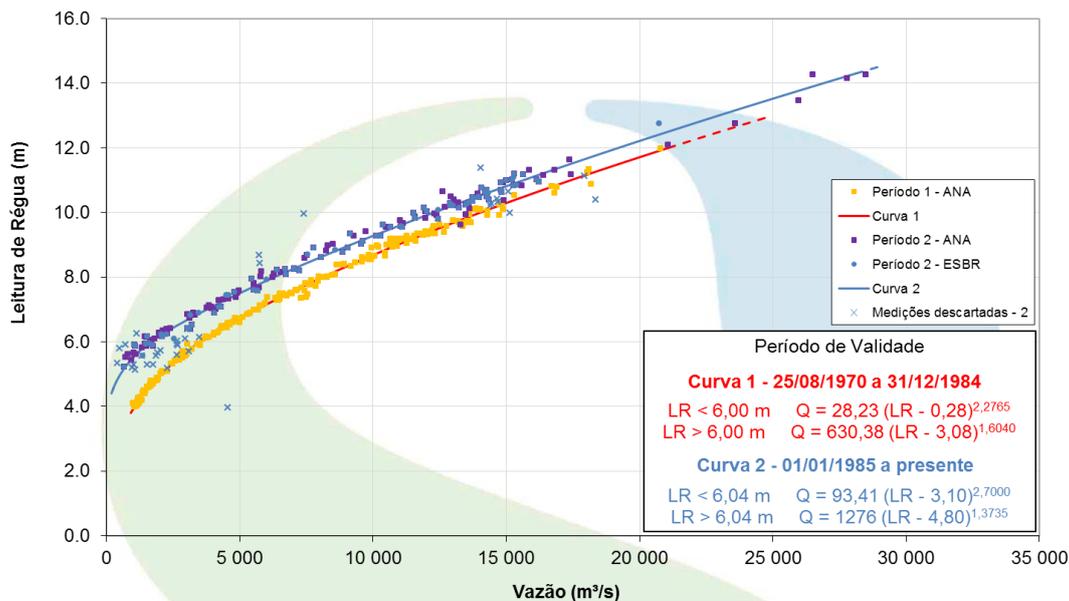


Figura 5.3-10 – Curva-Chave para a Estação UHE Jirau – Guajará-Mirim

A Figura 5.3-11 a seguir apresenta os resultados de concentração de sedimentos em suspensão medidos nesta estação.

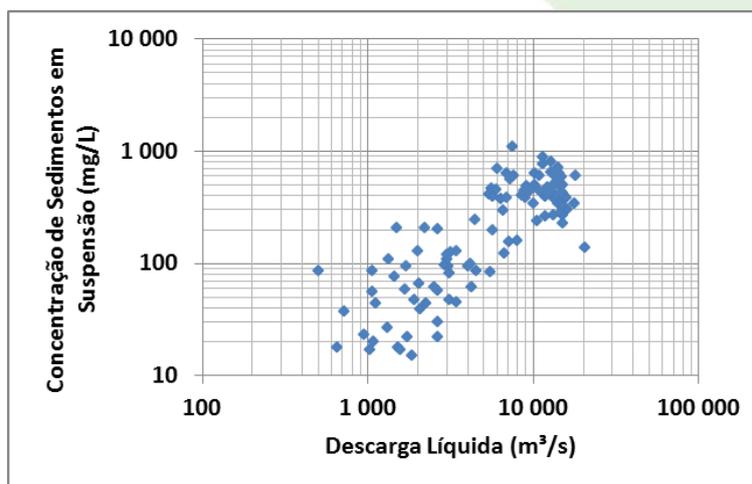


Figura 5.3-11 – Concentração de Sedimentos em Suspensão x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau –

Guajará-Mirim

A Figura 5.3-12 apresenta os resultados da descarga sólida em suspensão e uma curva potencial ajustada para Guajará-Mirim. A equação ajustada representa a relação entre as descargas líquida e sólida de forma satisfatória.

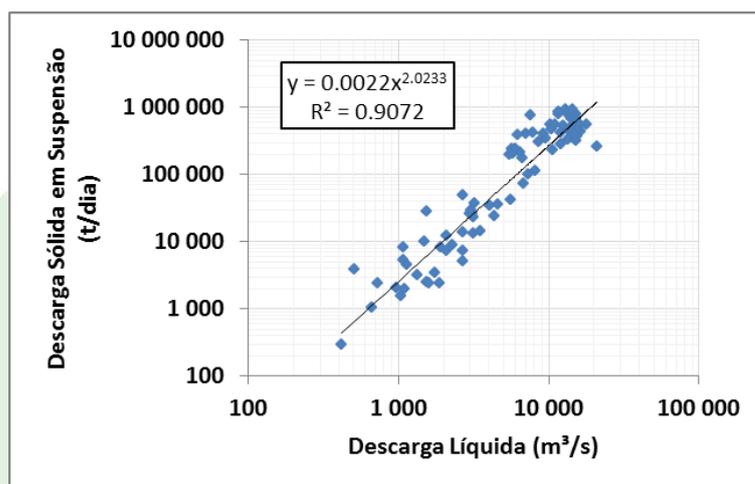


Figura 5.3-12 – Descarga Sólida em Suspensão x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Guajará-Mirim (02/2010 a 12/2015)

Utilizando as curvas-chave de descarga líquida e sólida, foi possível calcular as séries diárias de vazões líquidas e descargas sólidas em suspensão para todo o período de monitoramento hidrossedimentométrico da estação. A Figura 5.3-13 mostra os hidrogramas destas séries e os resultados nas datas das medições de descarga.

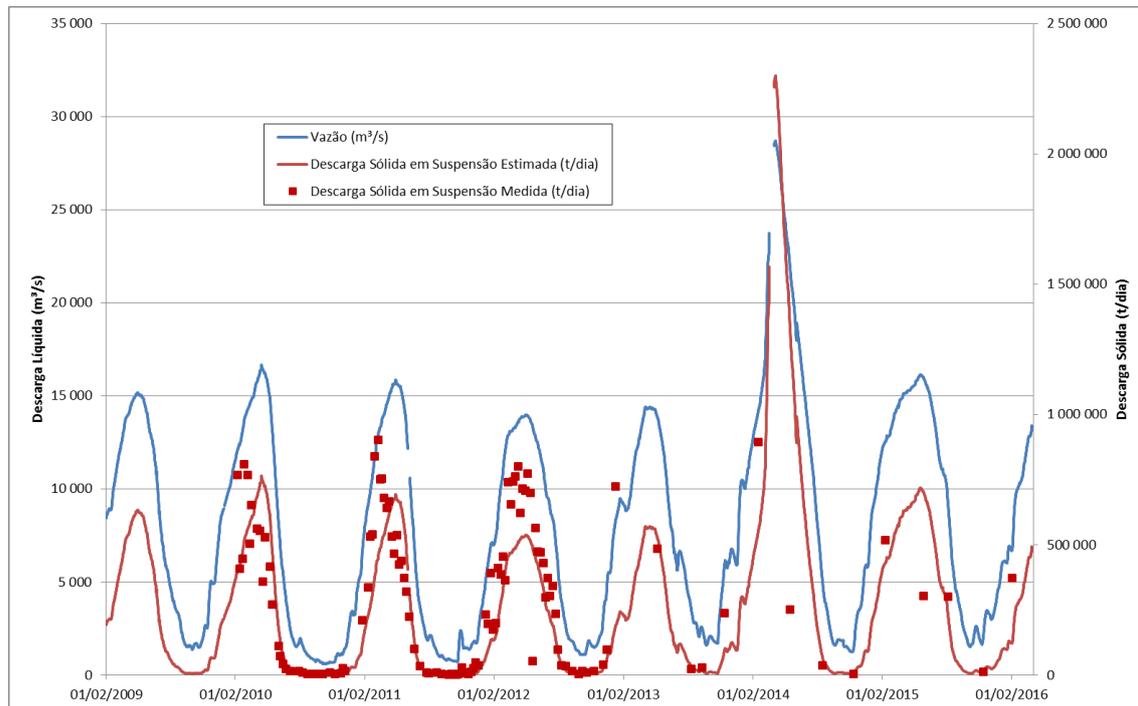


Figura 5.3-13: Evolução da Descarga Sólida na Estação Guajará-Mirim

- **UHE Jirau – Jusante Rio Beni**

Na estação UHE Jirau – Jusante Rio Beni foram realizadas 5 (cinco) novas medições de descarga no período de novembro de 2015 a março de 2016. Estas medições acompanharam a tendência das anteriores, apresentando desvios bem pequenos. O Quadro 5.3-4 resume as medições realizadas no período do último semestre, enquanto as Figuras 5.3-14 a 5.3-16 ilustram as relações hidráulicas obtidas do conjunto de medições realizadas na estação até o presente. A análise dos resultados das medições de descarga líquida confirma que a estação Jusante Rio Beni não sofre influência do efeito de remanso do reservatório da UHE Jirau, mesmo quando este está sendo operado no nível máximo normal (90,0 m), sendo referência para estimativa da vazão líquida e da carga de sedimentos afluentes ao reservatório.

Quadro 5.3-4: Medições de Descarga Líquida e Sólida na UHE Jirau – Jusante Rio Beni

Data	Leitura de Régua (m)	Vazão (m ³ /s)	Área (m ²)	Velocidade (m/s)	Profundidade Média (m)	Concentração de Sedimentos em Suspensão (mg/L)	Descarga Sólida em Suspensão (t/dia)
14/11/2015	11,79	10318,8	14003,3	0,696	16,70	651	580355,4
15/12/2015	11,92	10777,0	13842,7	0,746	16,50	643	599092,0
22/01/2016	13,67	18247,9	14958,9	1,195	17,60	1484	2339779,6
04/02/2016	13,68	18543,9	14941,3	1,190	17,60	988	1582806,5
08/03/2016	16,55	31502,2	16276,4	2,050	18,90	-	-

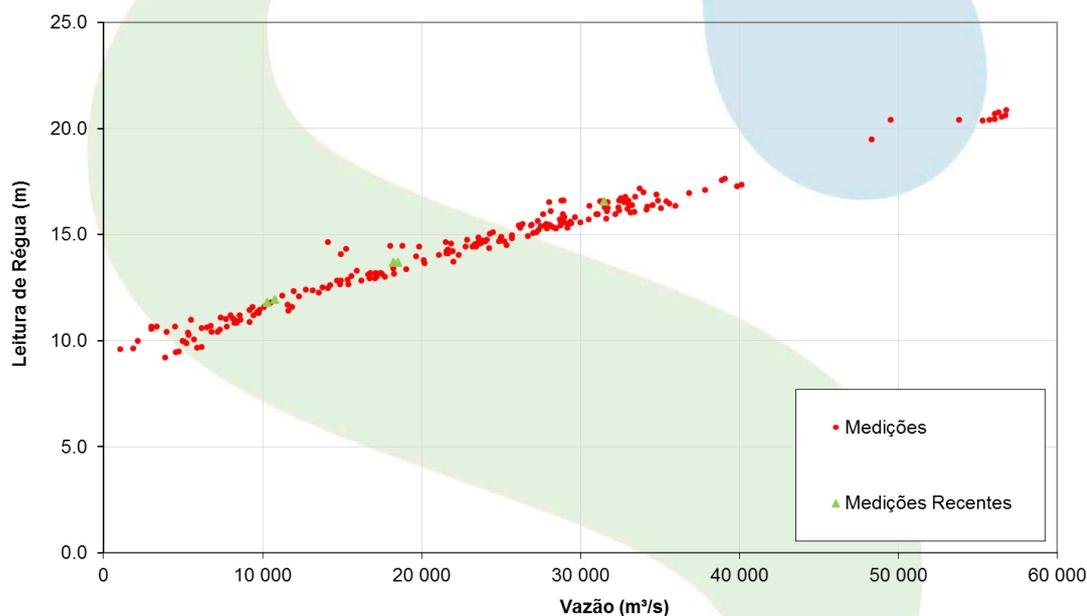


Figura 5.3-14: Leitura de Régua x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Jusante Rio Beni

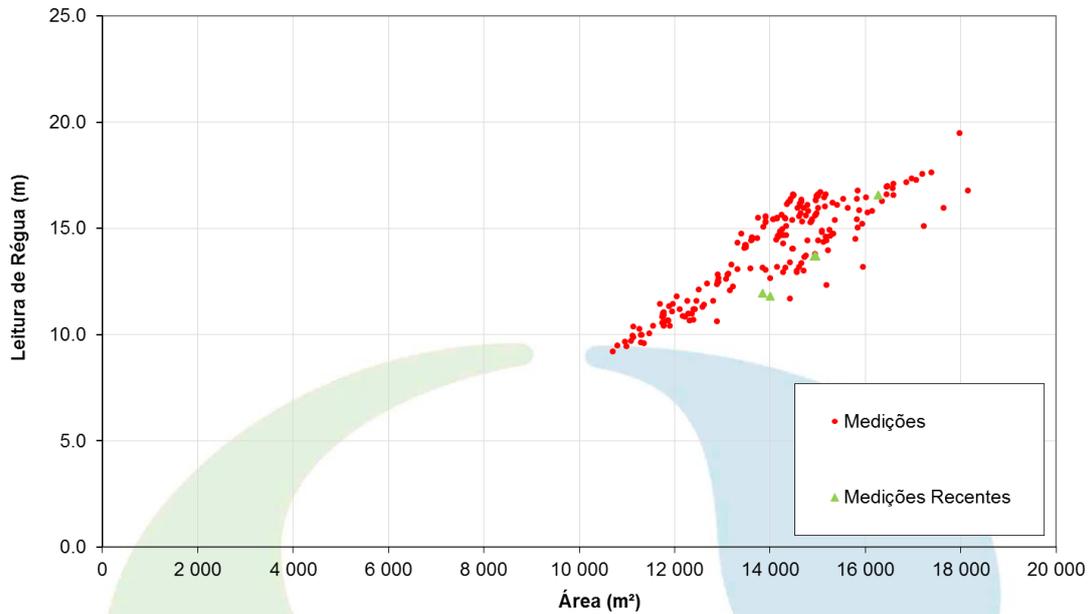


Figura 5.3-15: Leitura de Régua x Área Molhada na Estação UHE Jirau – Jusante Rio Beni

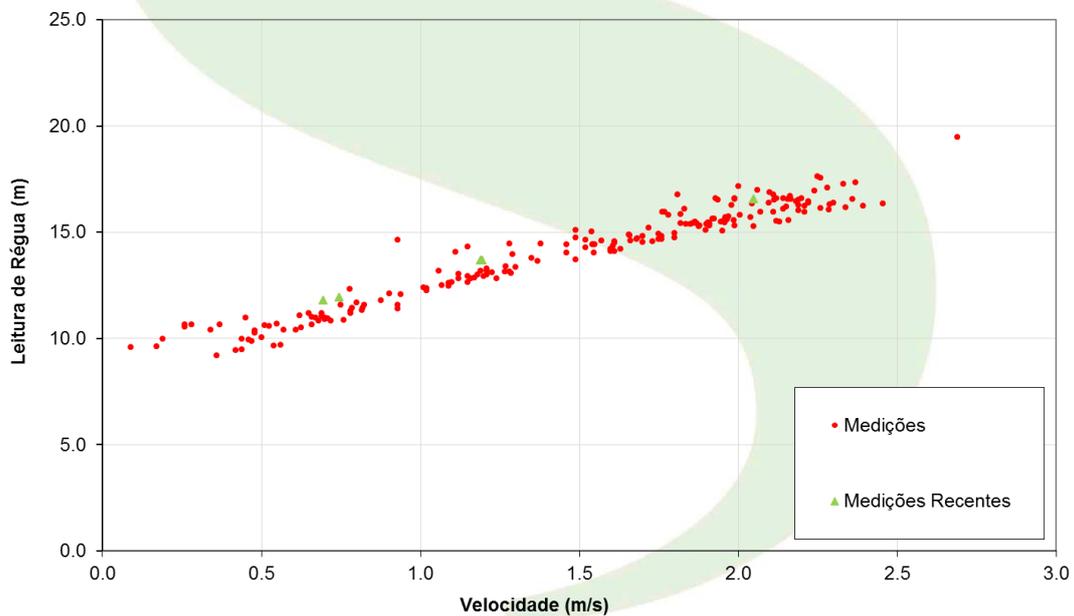


Figura 5.3-16: Leitura de Régua x Velocidade Média na Estação UHE Jirau – Jusante Rio Beni

A partir das medições de descarga realizadas em Jusante Rio Beni, foi possível ajustar curvas

potenciais para representar a relação entre a leitura de régua e a descarga líquida apresentadas na Figura 5.3-17. As curvas ajustadas para a estação foram extrapoladas pelo método logarítmico.

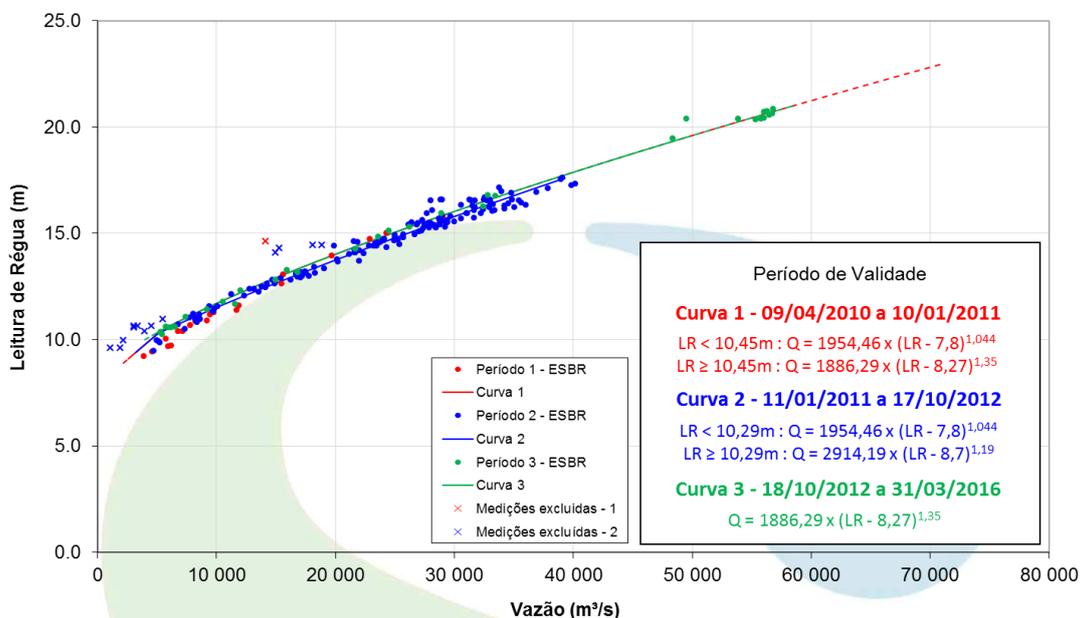


Figura 5.3-17: Curvas-Chave para a Estação UHE Jirau – Jusante Rio Beni

A Figura 5.3-18 a seguir mostra os resultados de concentração de sedimentos em suspensão medidos nesta estação.

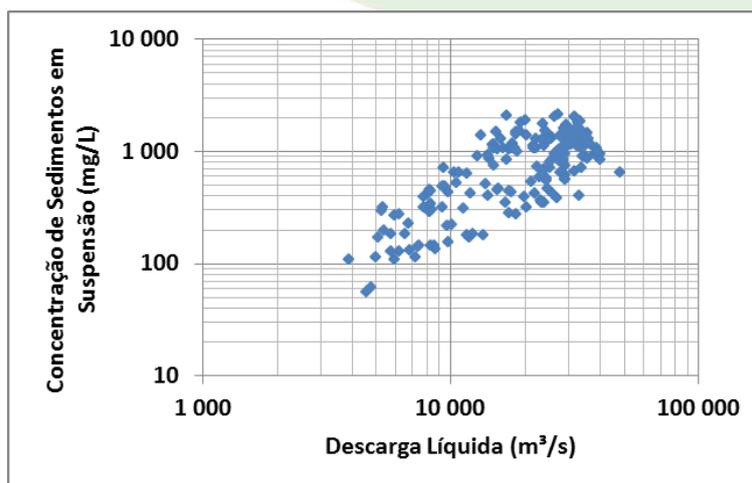


Figura 5.3-18 – Concentração de Sedimentos em Suspensão x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Jusante Rio Beni

A Figura 5.3-19 apresenta os resultados da descarga sólida em suspensão e uma curva potencial

ajustada para Jusante Rio Beni. A equação ajustada representa a relação entre as descargas líquida e sólida de forma satisfatória.

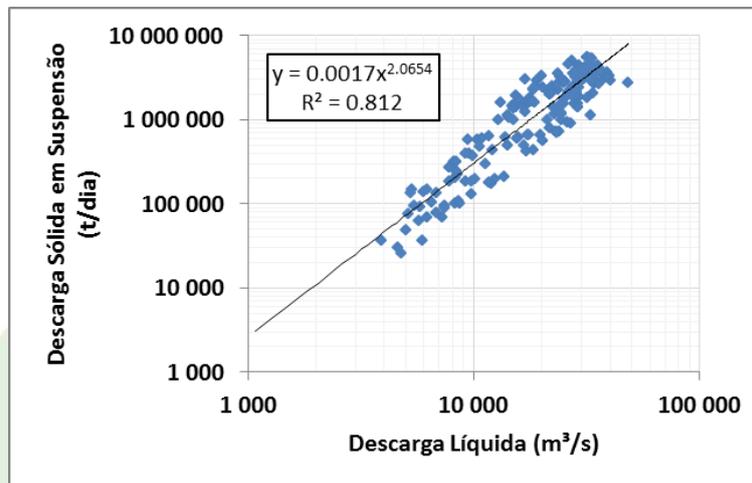


Figura 5.3-19 – Descarga Sólida em Suspensão x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Jusante Rio Beni (04/2010 a 12/2015)

A análise granulométrica do material de fundo coletado nas medições indicou a presença majoritária de areia fina e média no material.

Utilizando as curvas-chave de descarga líquida e sólida, foi possível calcular as séries diárias de vazões líquidas e descargas sólidas em suspensão para todo o período de monitoramento hidrossedimentométrico da estação. A Figura 5.3-20 mostra os hidrogramas destas séries e os resultados nas datas das medições de descarga.

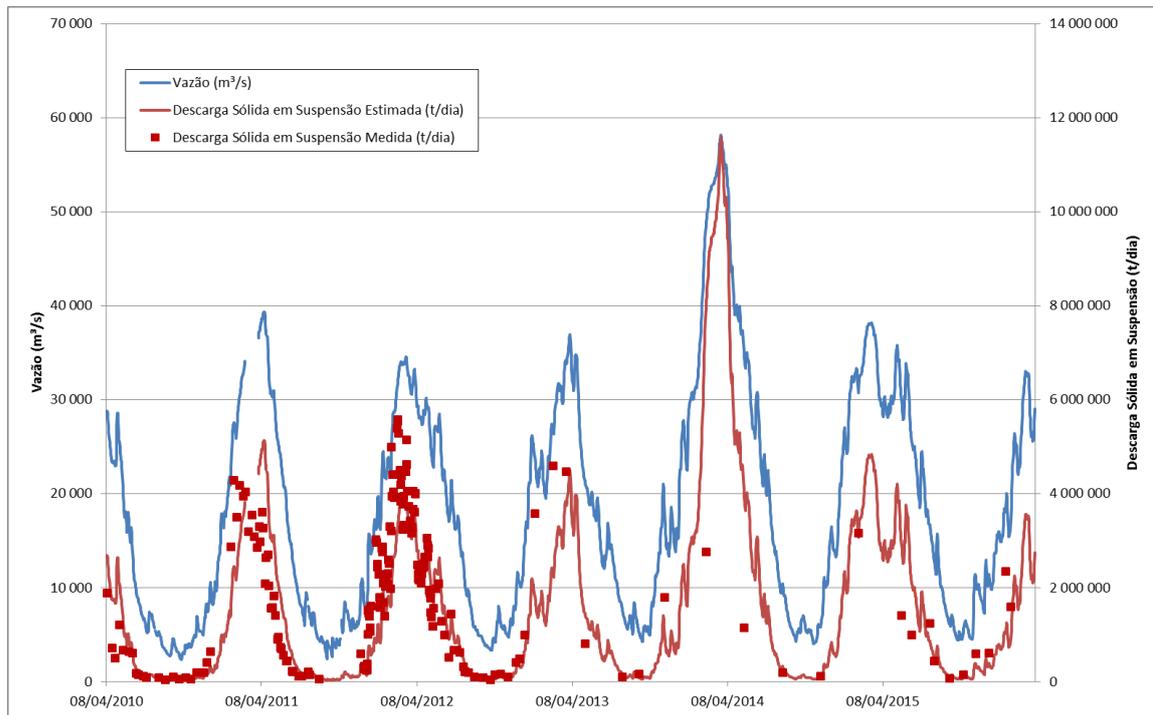


Figura 5.3-20: Evolução da Descarga Sólida na Estação Jusante Rio Beni

Em uma outra análise, buscou-se verificar o comportamento sazonal da concentração de sedimentos e descarga sólida em suspensão do rio Madeira em Jusante Rio Beni. Nas Figuras 5.3-21 e 5.3-22, pode-se observar que o transporte de sedimentos em suspensão fica mais acentuado durante a enchente e a cheia, decrescendo durante a vazante e a estiagem. Para uma determinada vazão líquida, a concentração de sedimentos e a descarga sólida em suspensão são bem maiores na enchente.

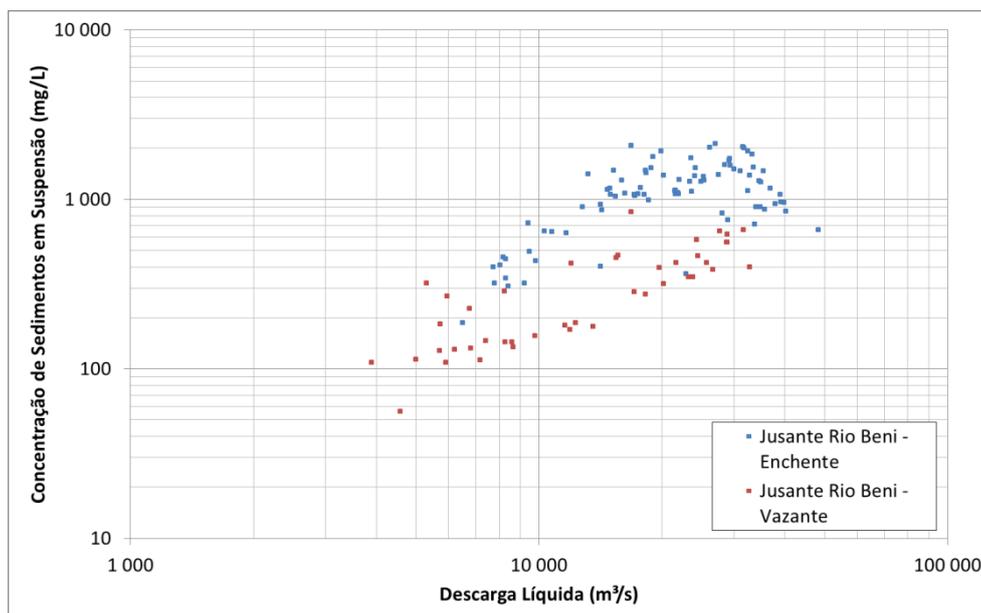


Figura 5.3-21: Comportamento Sazonal da Concentração de Sedimentos em Suspensão na Estação Jusante Rio Beni

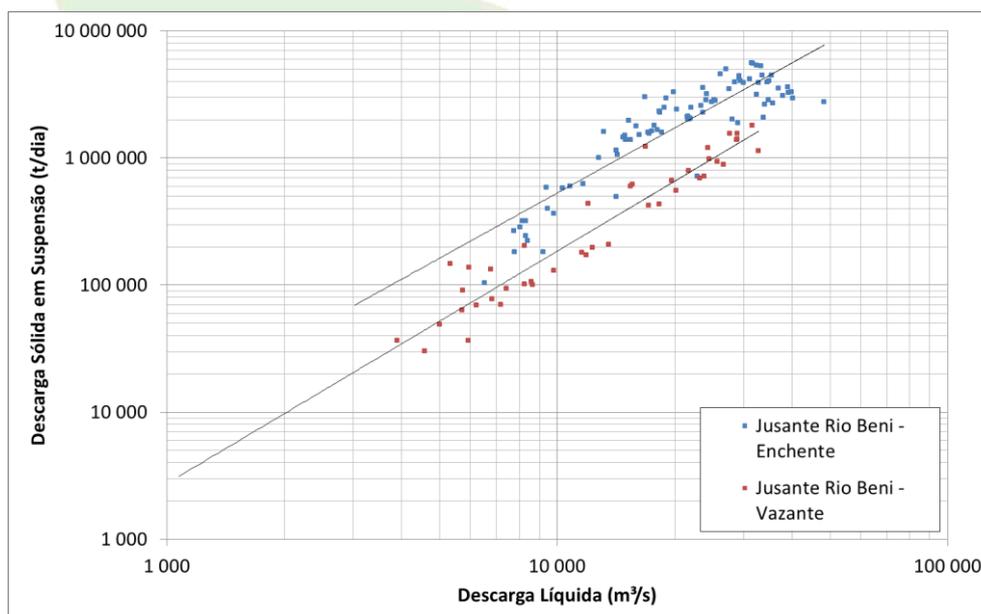


Figura 5.3-22: Comportamento Sazonal da Descarga Sólida em Suspensão na Estação Jusante Rio Beni

- UHE Jirau – Abunã

Na estação UHE Jirau – Abunã foram realizadas 5 (cinco) novas medições de descarga no período de novembro de 2015 a março de 2016. As medições realizadas neste semestre acompanharam a tendência das medições observadas desde dezembro de 2013.

O Quadro 5.3-5 resume as medições realizadas no período do último semestre, enquanto as Figuras 5.3-23 a 5.3-25 ilustram as relações hidráulicas obtidas no conjunto de medições realizadas no posto até o presente.

Quadro 5.3-5: Medições de Descarga Líquida e Sólida na UHE Jirau – Abunã

Data	Leitura de Régua (m)	Vazão (m ³ /s)	Área (m ²)	Velocidade (m/s)	Profundidade Média (m)	Concentração de Sedimentos em Suspensão (mg/L)	Descarga Sólida em Suspensão (t/dia)
15/11/2015	12,55	10039,0	11098,1	0,935	18,80	470	407423,3
16/12/2015	14,22	10684,5	11886,1	0,952	20,00	492	454277,2
23/01/2016	17,51	19813,1	14088,5	1,502	23,20	1079	1847909,4
05/02/2016	16,96	20298,9	13838,7	1,488	22,80	870	1525827,0
09/03/2016	19,99	33410,7	15959,0	2,320	26,20	-	-

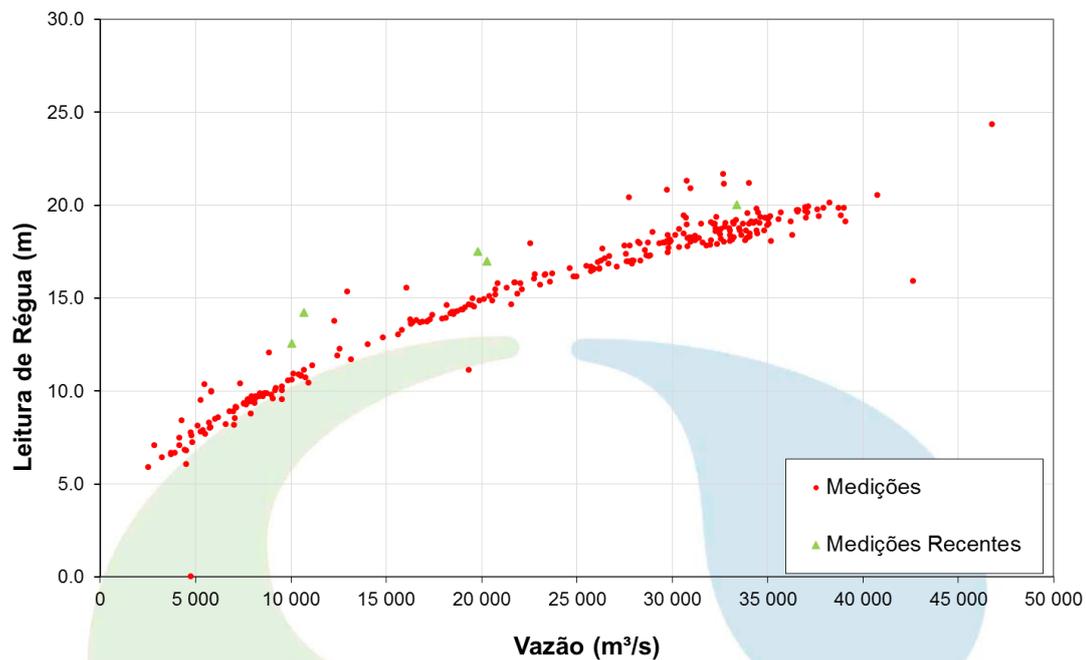


Figura 5.3-23: Leitura de Régua x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Abunã

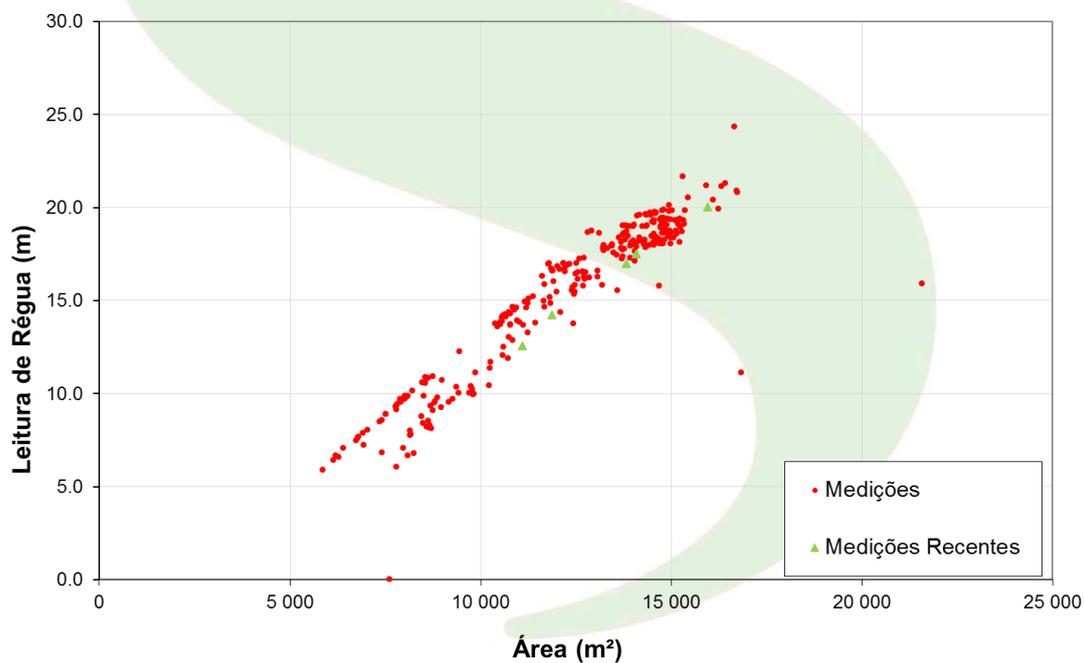


Figura 5.3-24: Leitura de Régua x Área Molhada na Estação UHE Jirau – Abunã

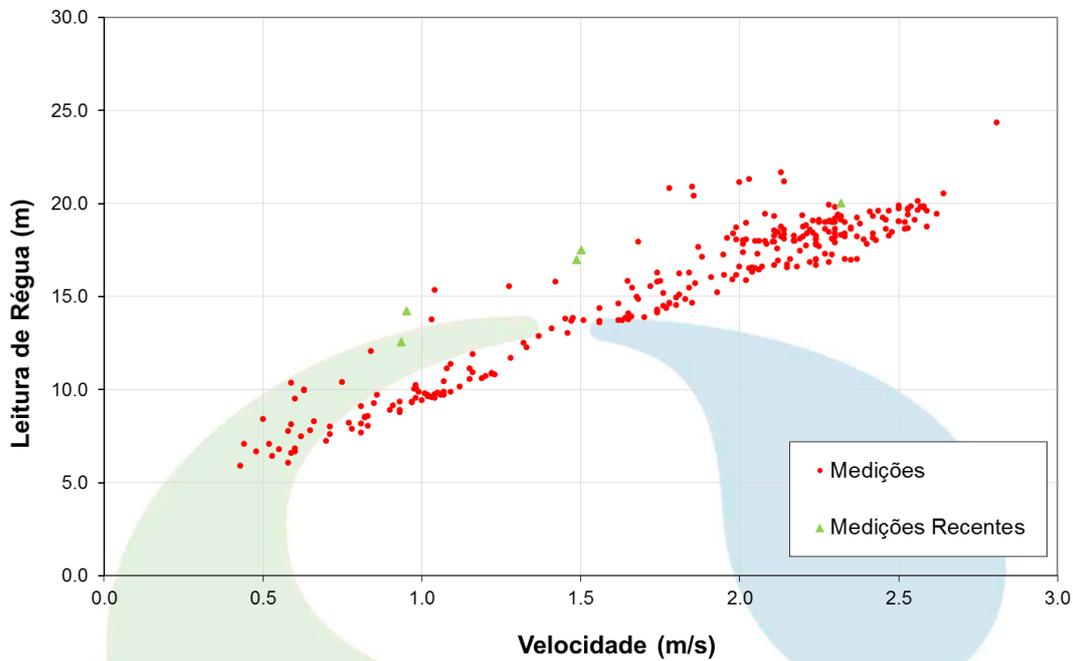


Figura 5.3-25: Leitura de Régua x Velocidade Média na Estação UHE Jirau – Abunã

A Figura 5.3-26 a seguir apresenta os resultados de concentração de sedimentos em suspensão medidos nesta estação.

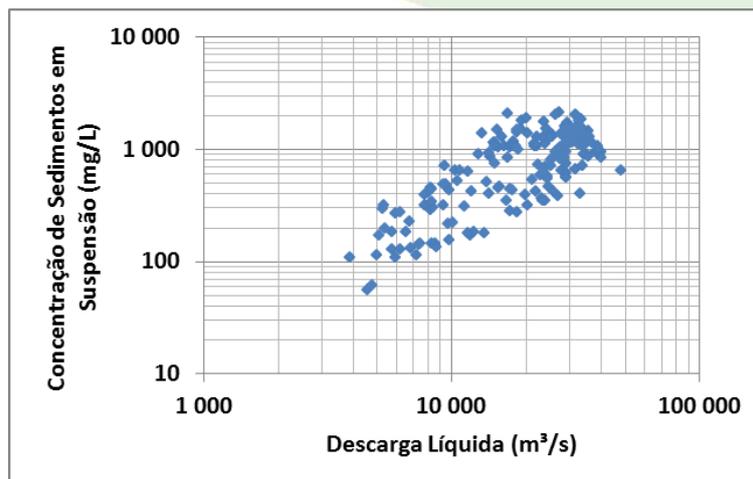


Figura 5.3-26 – Concentração de Sedimentos em Suspensão x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Abunã

A Figura 5.3-27 apresenta os resultados da descarga sólida em suspensão e uma curva potencial ajustada para Abunã. A equação ajustada representa a relação entre as descargas líquida e sólida de forma satisfatória.

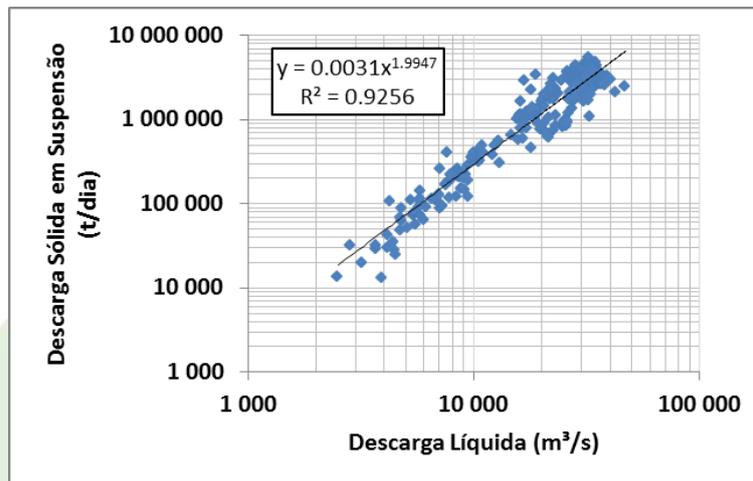


Figura 5.3-27: Curva-chave de Sedimentos em Suspensão em Abunã (05/2009 a 12/2015)

A análise granulométrica do material de fundo, tanto no período anterior como posterior à operação do reservatório, indicou a presença majoritária de areia fina e média no material.

- **UHE Jirau – Nova Califórnia**

Na estação UHE – Nova Califórnia, no rio Abunã, foram realizadas 2 (duas) novas medições no período de novembro de 2015 a março de 2016. Esta é a estação com menor número de medições até o momento. As medições acompanharam a tendência das medições anteriores, apresentando pouco desvio em relação às demais medições. O Quadro 5.3-6 a seguir resume as medições realizadas no último semestre, enquanto as Figuras 5.3-28 a 5.3-30 ilustram as relações hidráulicas obtidas das medições realizadas nesta estação até o presente.

Quadro 5.3-6: Medições de Descarga Líquida e Sólida na UHE Jirau – Nova Califórnia

Data	Leitura de Régua (m)	Vazão (m³/s)	Área (m²)	Velocidade (m/s)	Profundidade Média (m)	Concentração de Sedimentos em Suspensão (mg/L)	Descarga Sólida em Suspensão (t/dia)
18/11/2015	12,35	150,8	244,0	0,681	3,79	143	1858,2



Data	Leitura de Régua (m)	Vazão (m ³ /s)	Área (m ²)	Velocidade (m/s)	Profundidade Média (m)	Concentração de Sedimentos em Suspensão (mg/L)	Descarga Sólida em Suspensão (t/dia)
13/02/2016	16,18	384,2	501,5	0,830	6,91	160	53215,7



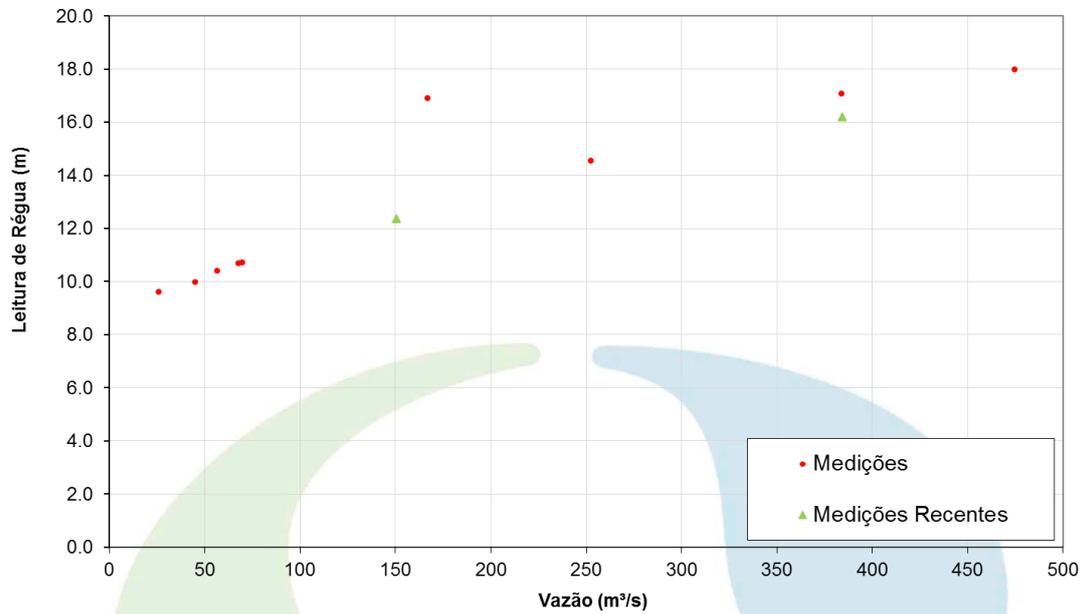


Figura 5.3-28: Leitura de Régua x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Nova Califórnia

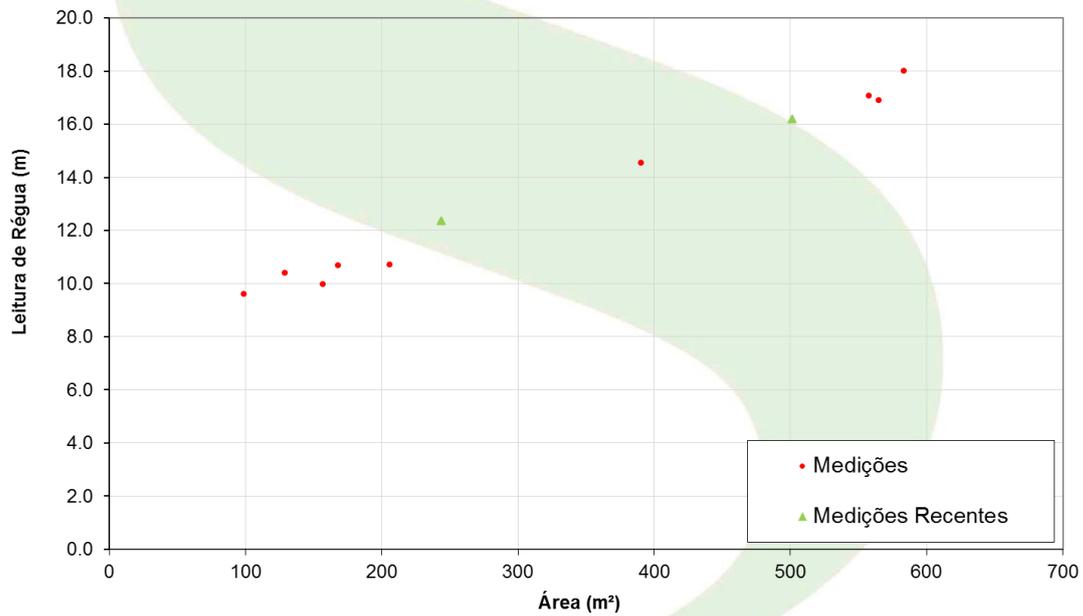


Figura 5.3-29: Leitura de Régua x Área Molhada na Estação UHE Jirau – Nova Califórnia

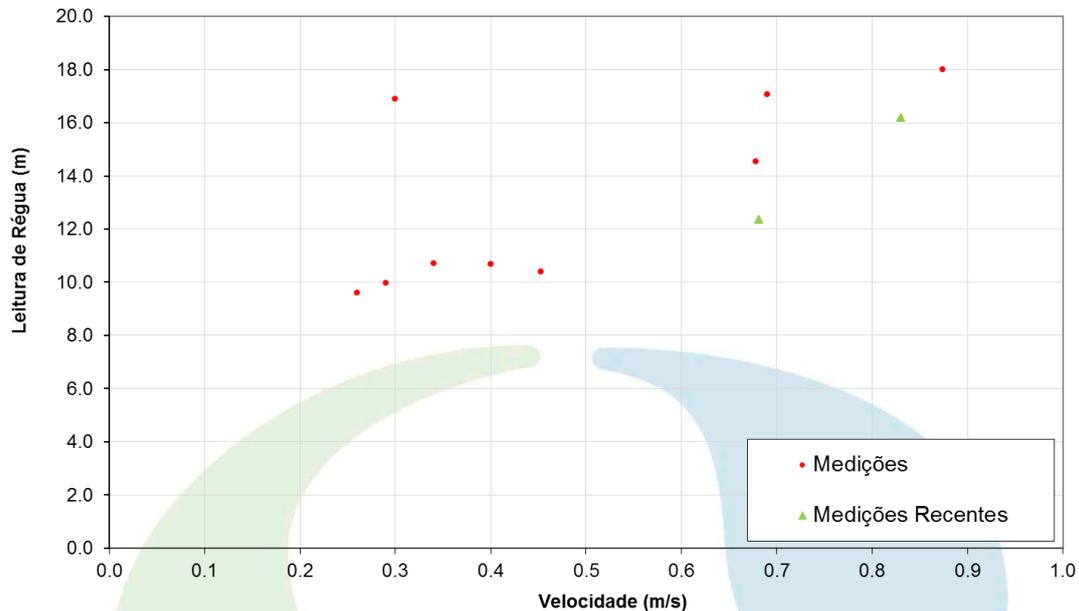


Figura 5.3-30: Leitura de Régua x Velocidade Média na Estação UHE Jirau – Nova Califórnia

A partir das medições de descarga realizadas em Nova Califórnia, foi possível ajustar curvas potenciais para representar a relação entre a leitura de régua e a descarga líquida apresentadas na Figura 5.3-31. As curvas ajustadas para a estação foram extrapoladas pelo método logarítmico.

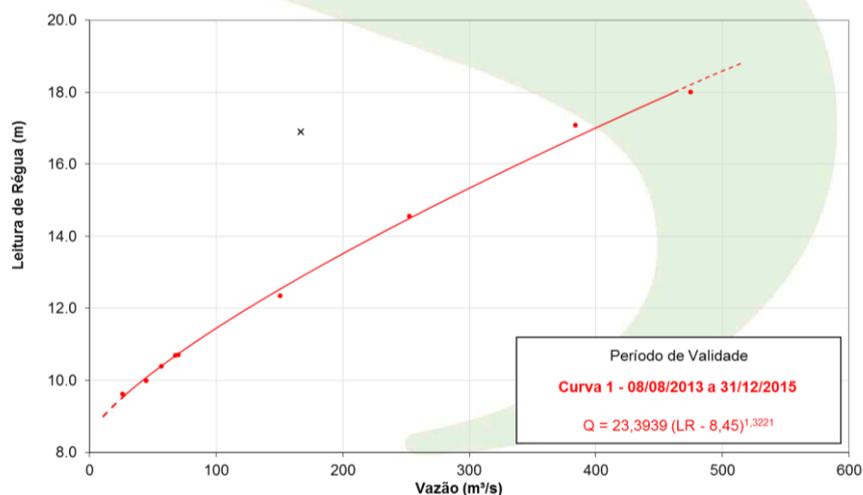


Figura 5.3-31: Curva-Chave para a Estação UHE Jirau – Nova Califórnia

A Figura 5.3-32 a seguir apresenta os resultados de concentração de sedimentos em suspensão medidos nesta estação.

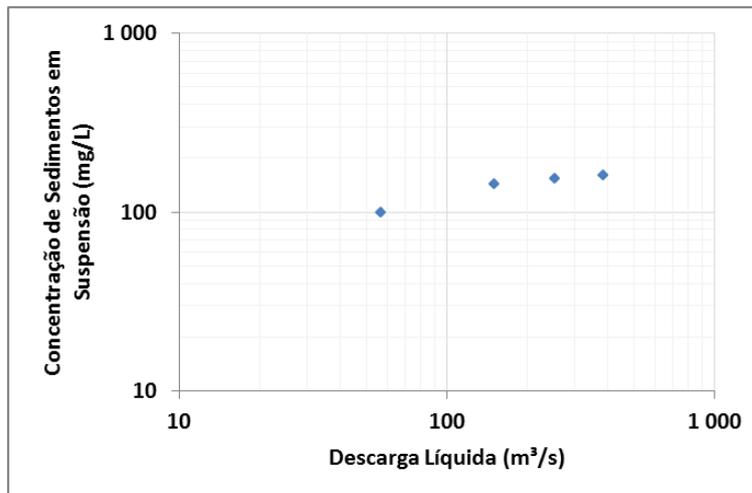


Figura 5.3-32: Concentração de Sedimentos em Suspensão x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau - Nova Califórnia

A Figura 5.3-33 a seguir apresenta os resultados de descarga sólida em suspensão medidos nesta estação.

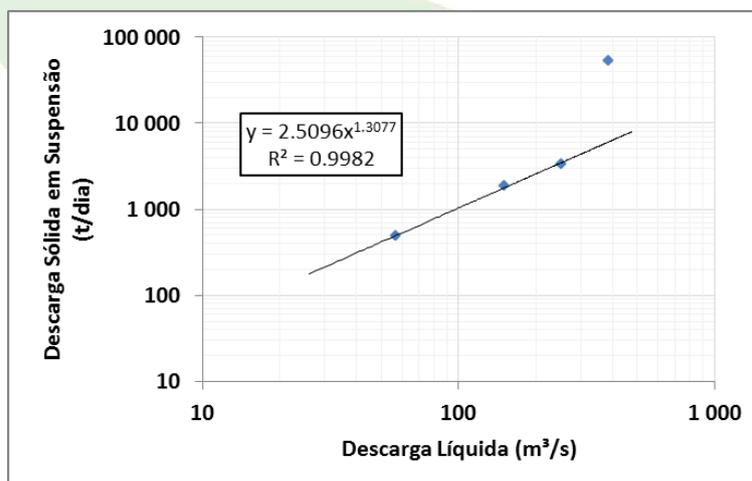


Figura 5.3-33: Descarga Sólida em Suspensão x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau - Nova Califórnia (06/2015 a 12/2015)

- **UHE Jirau – Morada Nova Jusante**

Na estação UHE – Morada Nova Jusante foram realizadas 3 (três) novas medições no período de novembro de 2015 a março de 2016, que acompanharam a tendência das medições anteriores, apresentando desvio para a medição de vazão mais alta.

A relação entre níveis d'água e vazões na estação fluviométrica Morada Nova Jusante apresenta complexidade devido a diversos fatores. A presença da cachoeira de Fortaleza do Abunã, situada aproximadamente 350 metros a jusante da estação Morada Nova Jusante, funciona como um controle hidráulico desta seção para níveis baixos do rio Madeira. No entanto, o rio Abunã no local desta estação sofre influência do remanso provocado pelos níveis d'água altos no rio Madeira durante as cheias mais severas da bacia.

O Quadro 5.3-7 a seguir resume as medições realizadas no último semestre, enquanto as Figuras 5.3-34 a 5.3-36 ilustram as relações hidráulicas obtidas nas medições realizadas nesta estação até o presente.

Quadro 5.3-7: Medições de Descarga Líquida e Sólida na UHE Jirau – Morada Nova Jusante

Data	Leitura de Régua (m)	Vazão (m ³ /s)	Área (m ²)	Velocidade (m/s)	Profundidade Média (m)	Concentração de Sedimentos em Suspensão (mg/L)	Descarga Sólida em Suspensão (t/dia)
17/11/2015	10,19	262,0	995,0	0,276	7,60	81	1836,8
12/02/2016	11,55	5272,7	1185,9	0,470	8,77	39	17808,0
17/03/2016	12,95	823,1	1397,1	0,600	11,10	-	-

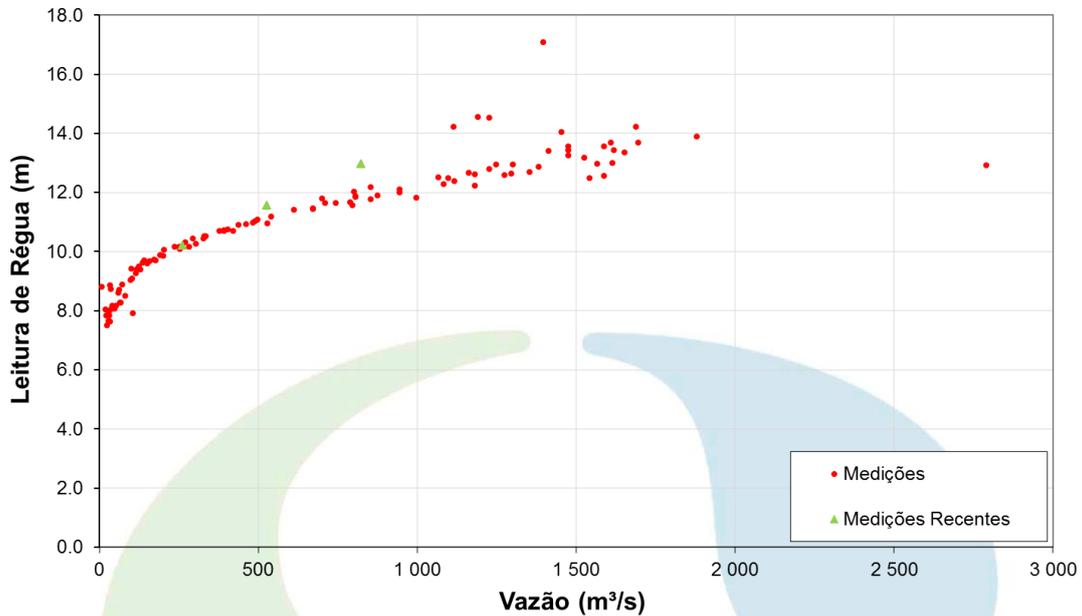


Figura 5.3-34: Leitura de Régua x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Morada Nova Jusante

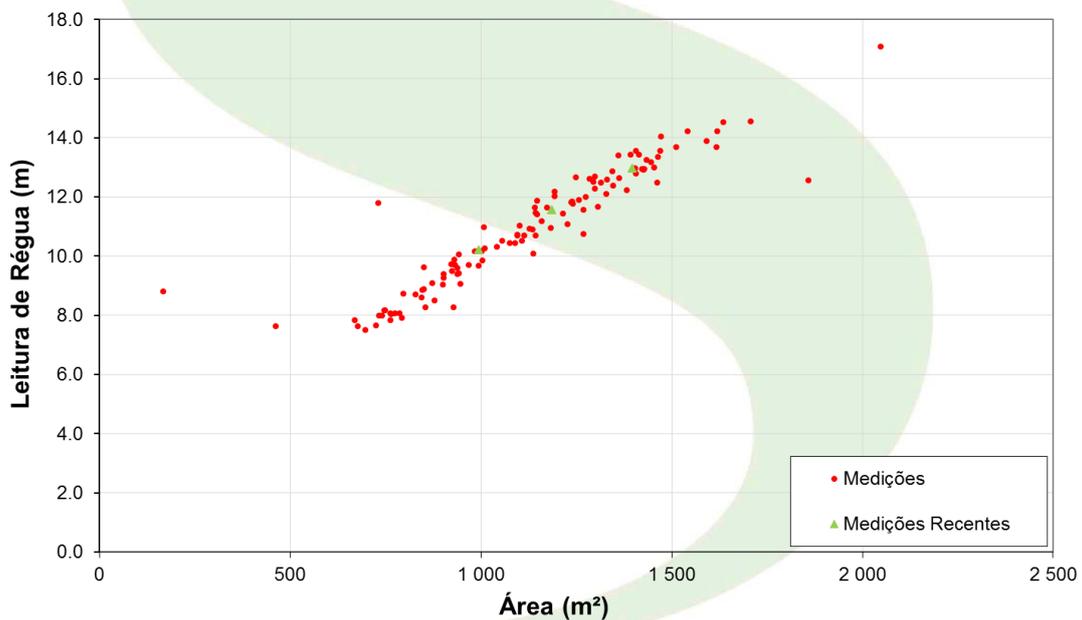


Figura 5.3-35: Leitura de Régua x Área Molhada na Estação UHE Jirau – Morada Nova Jusante

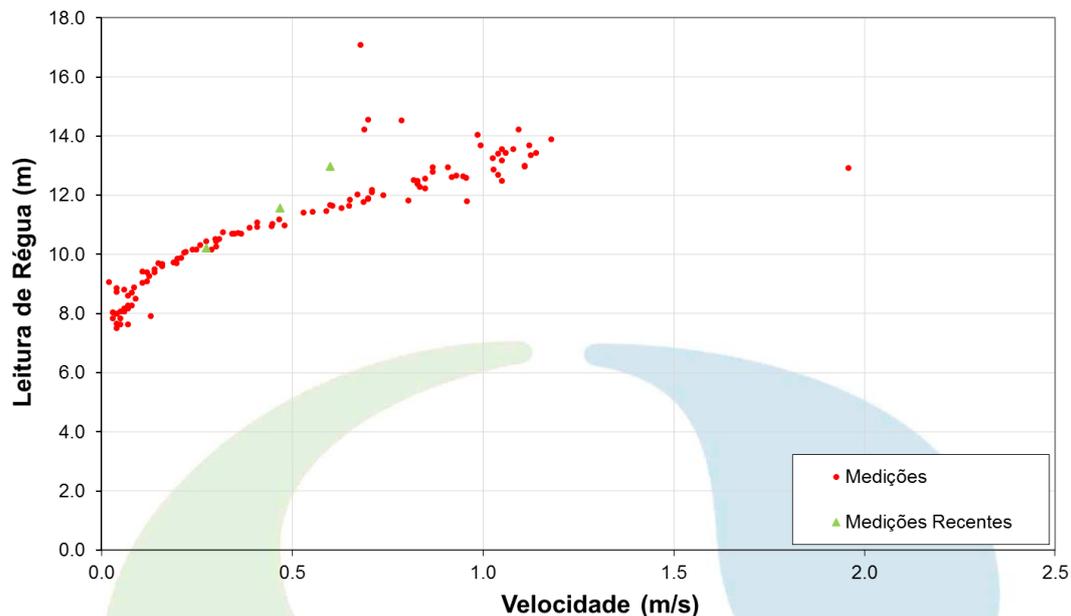


Figura 5.3-36: Leitura de Régua x Velocidade Média na Estação UHE Jirau – Morada Nova Jusante

A partir das medições de descarga realizadas em Morada Nova Jusante pela ESBR e pela ANA, foi possível ajustar curvas potenciais para representar a relação entre a leitura de régua e a descarga líquida apresentadas na Figura 5.3-37. Como o rio Abunã no local desta estação sofre influência do remanso provocado pelos níveis d'água altos no rio Madeira durante as cheias mais severas, o método do Desnível Normal foi utilizado adicionalmente para o ajuste da curva-chave. O princípio básico deste método é desenvolver uma curva de correção das vazões calculadas pela curva-chave em função do desnível entre postos vizinhos, de modo que cada leitura de régua na seção principal corresponda a valores distintos de vazão.

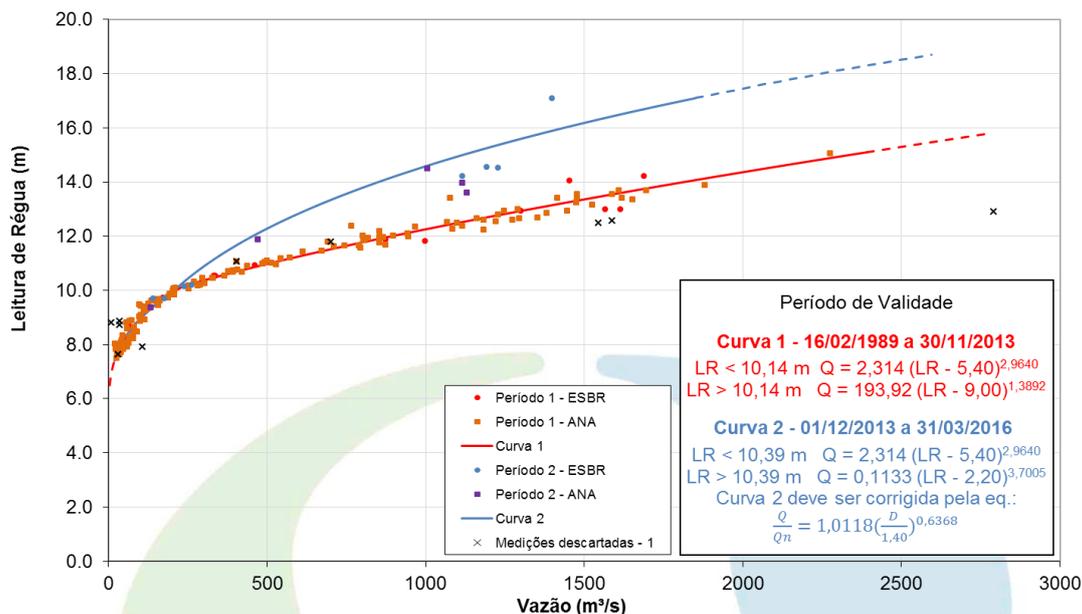


Figura 5.3-37: Curvas-Chave para a Estação UHE Jirau – Morada Nova Jusante

A Figura 5.3-38 a seguir apresenta os resultados de concentração de sedimentos em suspensão medidos nesta estação.

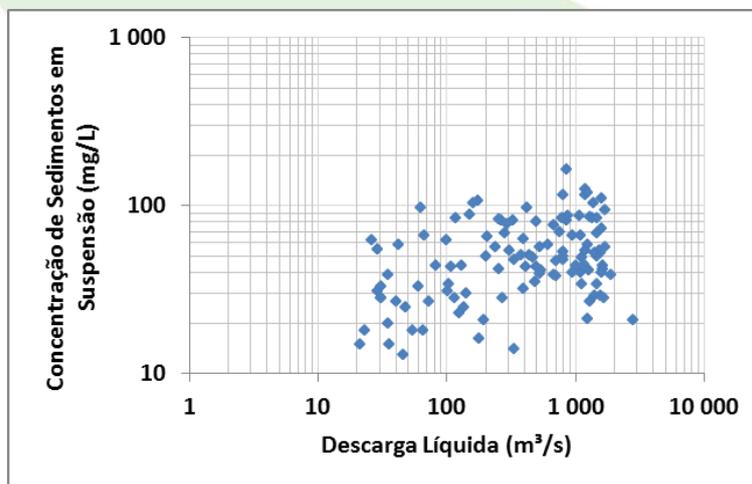


Figura 5.3-38: Concentração de Sedimentos em Suspensão x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Morada Nova Jusante

A Figura 5.3-39 apresenta os resultados da descarga sólida em suspensão e uma curva potencial ajustada para Morada Nova Jusante. A equação ajustada representa a relação entre as descargas

líquida e sólida de forma satisfatória.

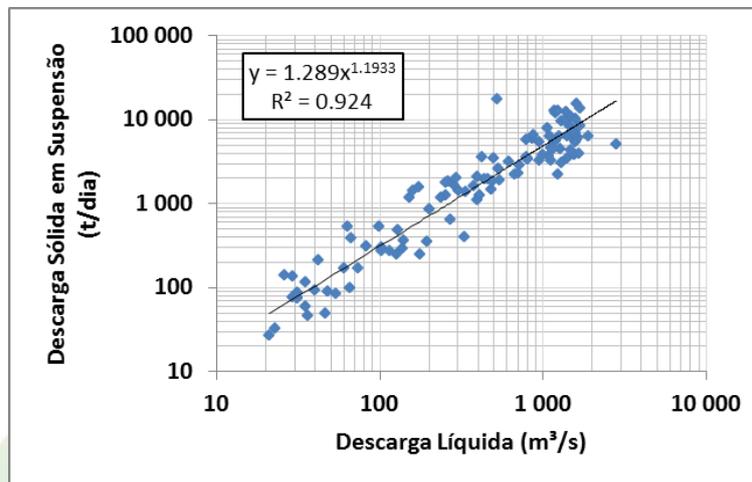


Figura 5.3-39 – Curva-chave de Sedimentos em Suspensão em Morada Nova Jusante (02/2010 a 12/2015)

A análise granulométrica do material de fundo coletado nas medições desta estação apresentou grande variação de uma medição para outra. Verifica-se a presença majoritária de areia fina, média ou grossa, dependendo da data da medição. Esse padrão foi observado nos períodos anterior e posterior à operação do reservatório.

Utilizando as curvas-chave de descarga líquida e sólida, foi possível calcular as séries diárias de vazões líquidas e descargas sólidas em suspensão para todo o período de monitoramento hidrossedimentométrico da estação. A Figura 5.3-40 mostra os hidrogramas destas séries e os resultados nas datas das medições de descarga.

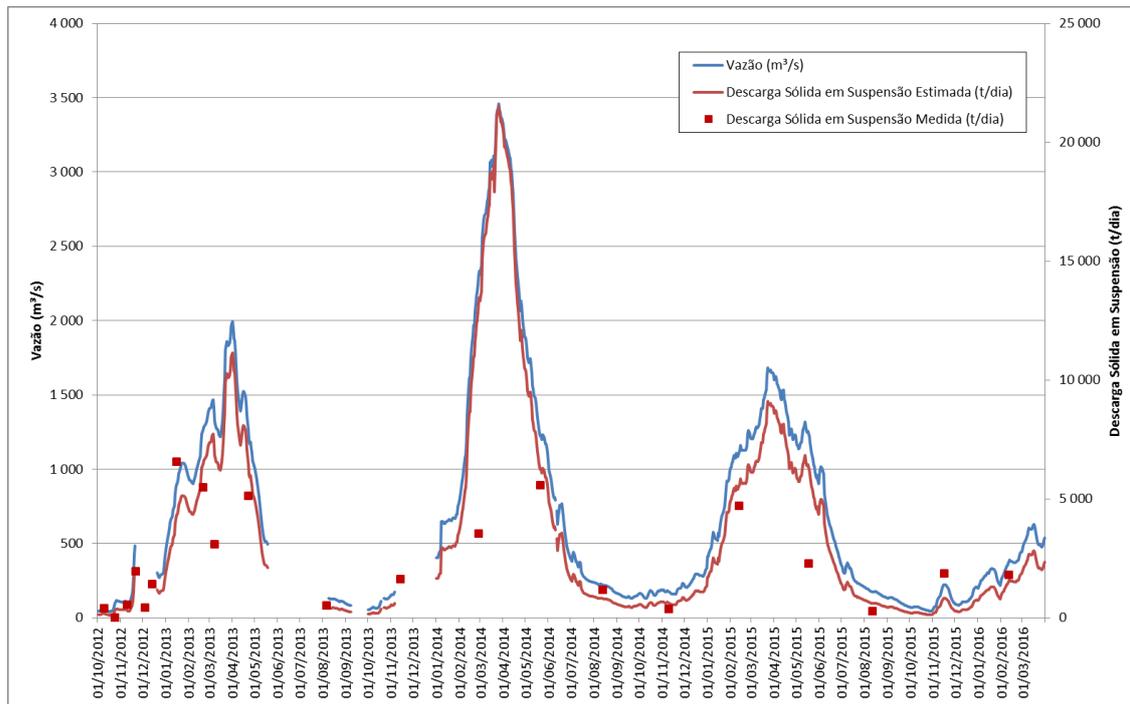


Figura 5.3-40: Evolução da Descarga Sólida na Estação Morada Nova Jusante

- UHE Jirau – Porto R4**

Na estação UHE Jirau – Porto R4 foram realizadas 5 (cinco) novas medições de descarga no período de novembro de 2015 a março de 2016. As medições acompanharam a tendência das medições mais recentes, realizadas após o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, cujo reservatório influencia o nível d'água no local desta estação. O Quadro 5.3-8 a seguir resume as medições realizadas no último semestre.

Quadro 5.3-8: Medições de Descarga Líquida e Sólida na UHE Jirau – Porto R4

Data	Leitura de Régua (m)	Vazão (m ³ /s)	Área (m ²)	Velocidade (m/s)	Profundidade Média (m)	Concentração de Sedimentos em Suspensão (mg/L)	Descarga Sólida em Suspensão (t/dia)
16/11/2015	12,37	9235,9	22250,2	0,460	16,60	225	179230,4
17/12/2015	12,48	9902,5	22364,6	0,472	17,60	362	309716,9
24/01/2016	13,85	21487,4	24060,1	0,938	18,90	846	1570008,2
11/02/2016	14,58	26533,1	24885,1	1,110	19,50	1307	2996248,0
07/03/2016	15,77	36776,4	26051,3	1,510	20,30	-	-

A estação Porto R4 está localizada apenas 3,8 km a jusante do eixo da UHE Jirau, sofrendo influência da operação da usina. Por outro lado, sofre o efeito de remanso do reservatório da UHE Santo Antônio, cujo barramento está situado 112 km a jusante. No local da estação Porto R4, os níveis d'água deste reservatório que antes variavam entre as cotas 60 e 75 metros passaram a se manter, de maneira geral, entre as cotas 70 e 80 metros.

As medições de descarga realizadas no local da estação Porto R4 apresentam grande dispersão, principalmente em função da influência do nível d'água no reservatório da UHE Santo Antônio, de modo que a curva-chave apresentada no item 5.1 deste relatório é ilustrativa, podendo ser utilizada apenas desta forma. As Figuras 5.3-41 a 5.3-43 ilustram as relações hidráulicas obtidas do conjunto de medições de descarga realizadas na estação até o presente.

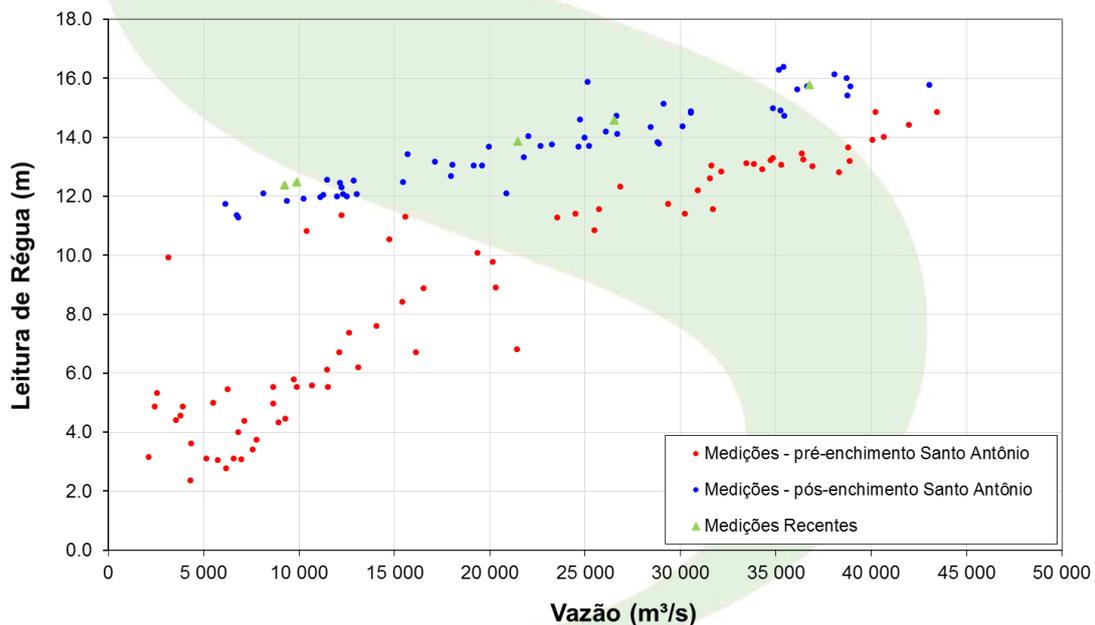


Figura 5.3-41: Leitura de Régua x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Porto R4

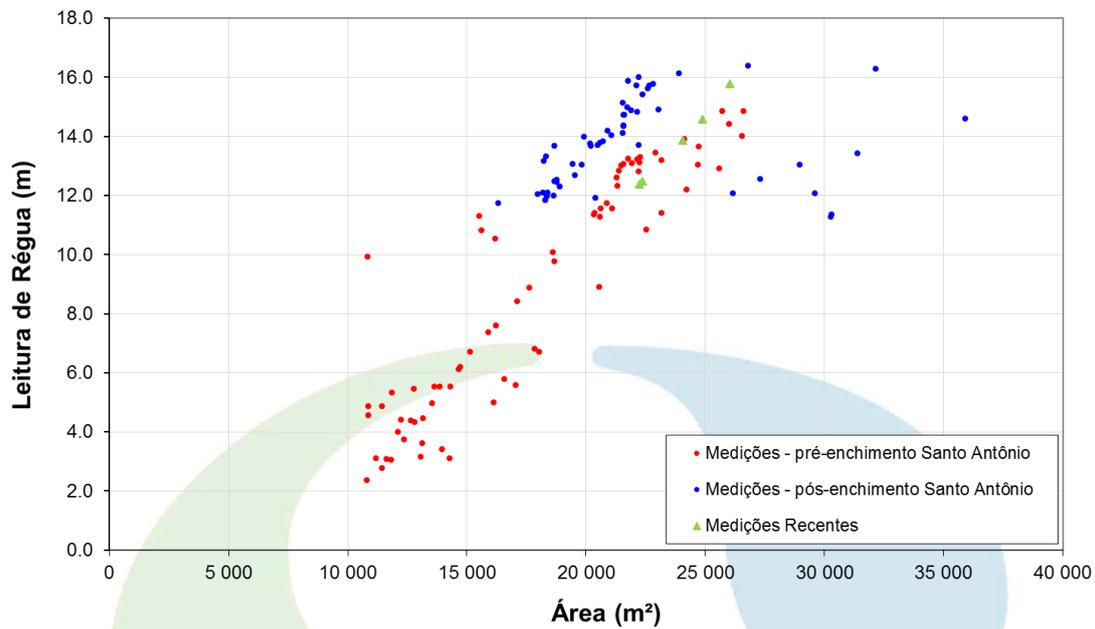


Figura 5.3-42: Leitura de Régua x Área Molhada na Estação UHE Jirau – Porto R4

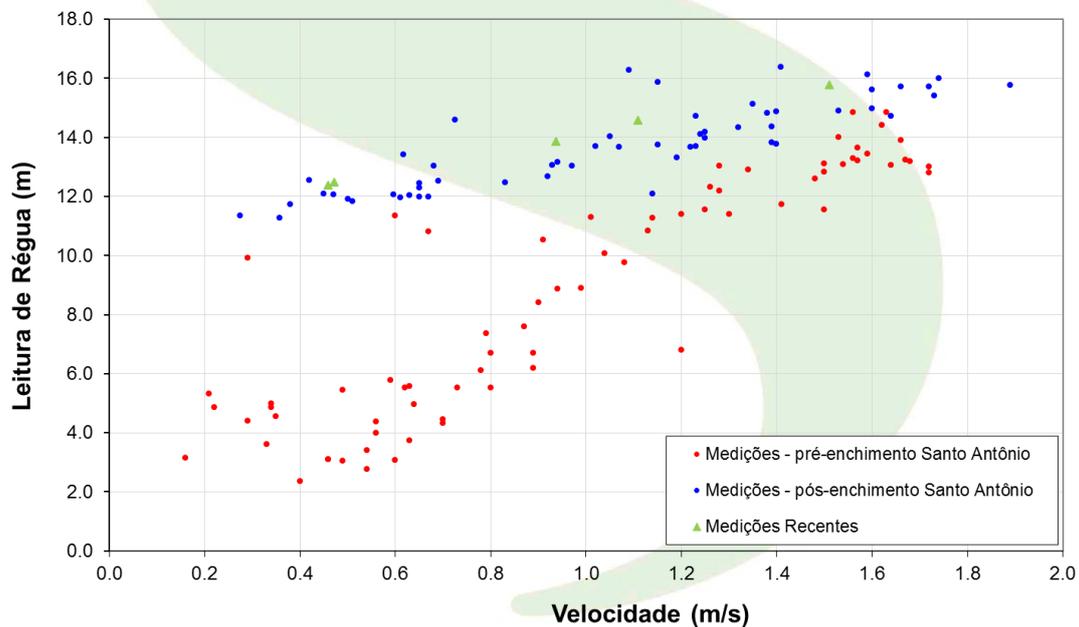


Figura 5.3-43: Leitura de Régua x Velocidade Média na Estação UHE Jirau – Porto R4

A Figura 5.3-44 a seguir apresenta os resultados de concentração de sedimentos em suspensão medidos nesta estação.

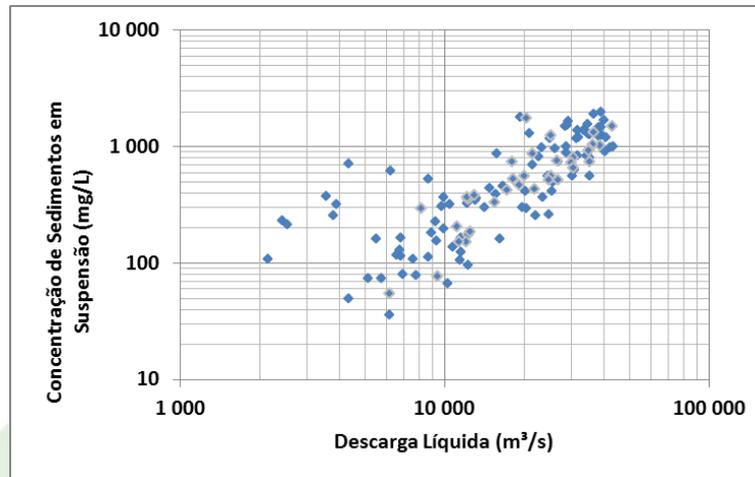


Figura 5.3-44 – Concentração de Sedimentos em Suspensão x Descarga Líquida na Estação UHE Jirau – Porto R4

A Figura 5.3-45 apresenta os resultados da descarga sólida em suspensão e uma curva potencial ajustada para Porto R4. Os pontos apresentam maior dispersão que as outras estações da rede hidrométrica da UHE Jirau, sendo maior nas vazões baixas. Apesar disso, a relação entre as descargas líquida e sólida parece bem definida se comparada a estações de outras redes de monitoramento no Brasil. A equação potencial ajustada representa a relação entre as descargas líquida e sólida de forma satisfatória. Cabe esclarecer que o efeito de remanso provocado pela UHE Santo Antônio a jusante, que impossibilita o ajuste de uma curva-chave adequada para a relação entre os níveis d'água e as vazões líquidas, não altera a relação entre as descargas líquidas e sólidas.

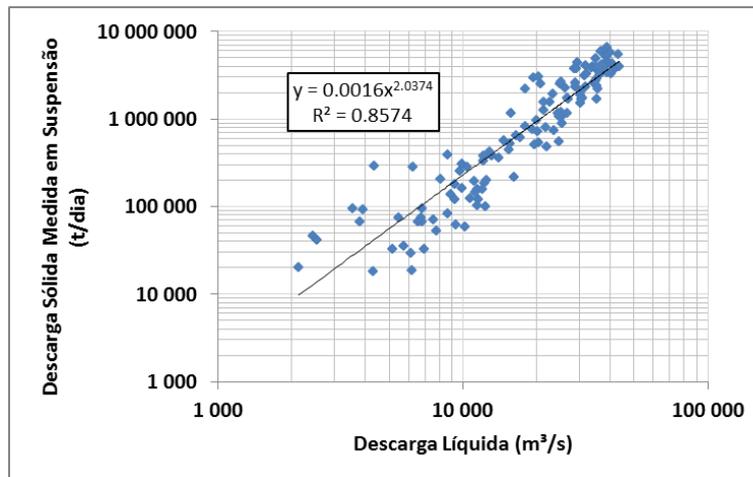


Figura 5.3-45 – Curva-chave de Descarga Sólida em Suspensão em Porto R4 (05/2009 a 12/2015)

A análise granulométrica do material de fundo coletado nas medições desta estação apresentou grande variação de uma medição para outra. Nos resultados das medições, verifica-se a presença de silte, areia fina, média e grossa, e até cascalho, dependendo da data da medição. Esse padrão foi observado nos períodos anterior e posterior à operação do reservatório.

Utilizando a curva-chave de descarga sólida, foi possível calcular as séries diárias de descargas sólidas em suspensão para todo o período de monitoramento hidrossedimentométrico da estação. A Figura 5.3-46 mostra os hidrogramas destas séries e os resultados nas datas das medições de descarga.

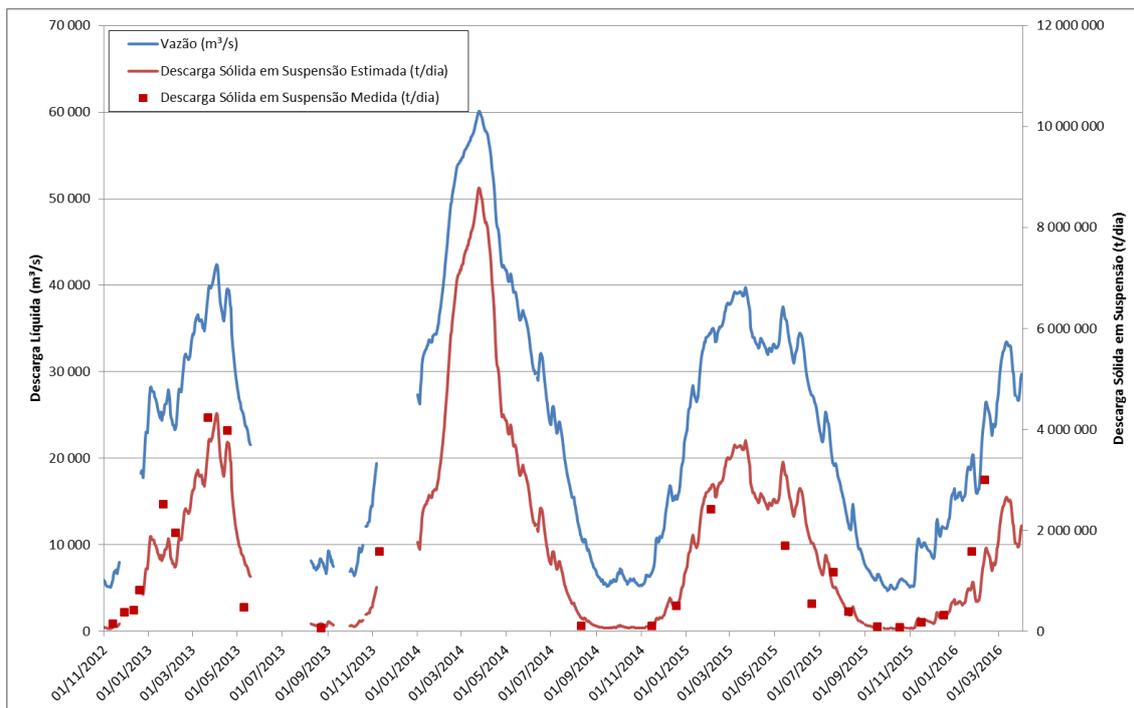


Figura 5.3-46: Evolução da Descarga Sólida em Suspensão na Estação Porto R4

- **Correlação entre as Concentrações de Sedimentos em Suspensão nas Estações Jusante Rio Beni e Porto R4**

Os resultados do monitoramento do transporte de sedimentos no âmbito do PMH foram analisados com um outro enfoque, através da comparação entre os dados das estações Jusante Rio Beni e Porto R4, ambas situadas no rio Madeira.

A estação Jusante Rio Beni está localizada a montante do reservatório de Jirau em um trecho sem influência de remanso, a uma distância aproximada de 220 km do barramento, controlando uma área de 917.000 km². A estação Porto R4 está localizada 3,8 km a jusante do eixo da UHE Jirau, com área de drenagem de 972.000 km². Essas estações hidrossedimentométricas representam o aporte de sedimentos em suspensão ao reservatório (Jusante Rio Beni) e os sedimentos defluentes da barragem (Porto R4).

Durante todo o período de monitoramento de 2010 a 2016, a maior concentração média de sedimentos em suspensão entre as medições de descarga sólida em Jusante Rio Beni foi 2.127



mg/L (09/02/2012), e em Porto R4 foi 1.939 mg/L (24/02/2012). No período mais restrito de operação do empreendimento, 2013 a 2016, a maior concentração média de sedimentos medida em Jusante Rio Beni foi 2.024 mg/L (23/02/2013) e em Porto R4 foi 1.307 mg/L (11/02/2016).

Considerando os resultados do monitoramento apenas no período de operação do empreendimento, cabe destacar que a maior concentração de sedimentos em suspensão medida em Porto R4 no período de operação do reservatório (1.307 mg/L) é um valor muito inferior ao limite de 3.500 mg/L estabelecido na LO no 1097/2010.

Cabe destacar ainda que o fato dos maiores valores medidos de concentração de sedimentos em suspensão terem ocorrido durante o mês de fevereiro, nas duas estações e nos dois períodos, anterior e posterior ao enchimento do reservatório, reforçam resultados de itens precedentes. A Figura 5.3-22, apresentada anteriormente, mostra que o rio Madeira na estação Jusante Rio Beni tem o transporte de sedimentos em suspensão mais acentuado durante a enchente, decrescendo durante o período de vazante.

Entre as medições de descarga sólida disponíveis, foram selecionadas todas as datas em que essas duas estações dispunham de dados de concentração média de sedimentos em suspensão. Quando não haviam datas coincidentes, foram admitidos os dados de datas com até 10 dias de defasagem.

Dessa forma, foram selecionadas 63 medições de descarga sólida no período 2010 a 2016. Buscou-se, então, verificar a correlação entre as concentrações médias das medições de descarga sólida nas duas estações. Com o intuito de caracterizar as fases anterior e posterior ao enchimento do reservatório e operação da usina, foram separados os resultados das medições realizadas nestes dois períodos.

No período anterior à operação, foi possível ajustar uma equação linear com coeficiente de determinação (R^2) 0,863, representada na Figura 5.3-47. Pode-se observar uma pequena redução da concentração de sedimentos em suspensão entre JRB e Porto R4, indicado pelo coeficiente angular da reta de 0,87.

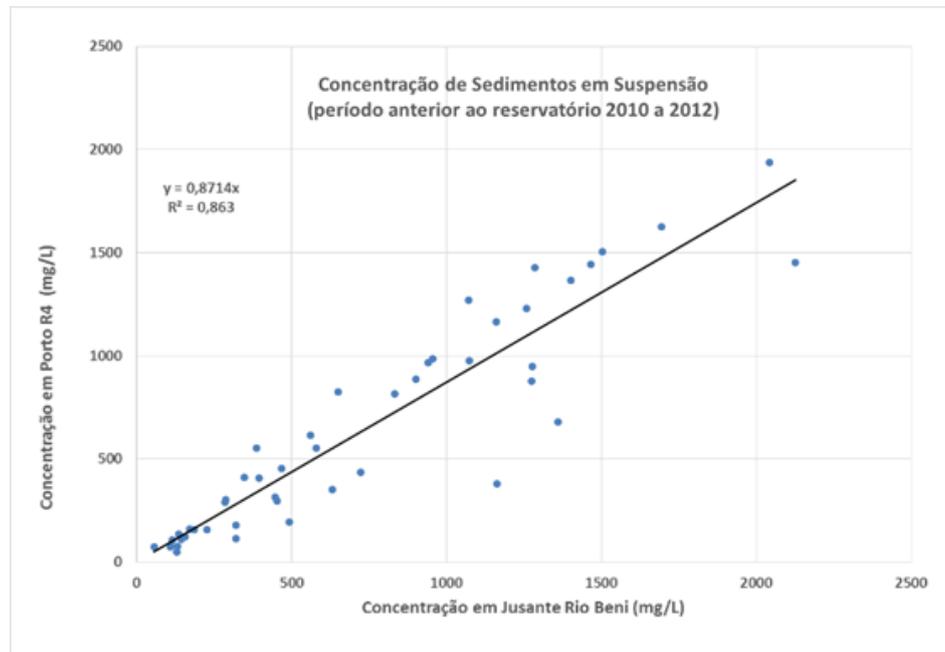


Figura 5.3-47: Correlação de Sedimentos em Suspensão Porto R4 x Jusante Rio Beni no Período Anterior à Operação da UHE Jirau

No período de operação da usina, a partir dos resultados apresentados na Figura 5.2-48, pode-se observar que o ajuste da equação linear resultou em um coeficiente angular de 0,75, indicando uma redução de sedimentos em suspensão entre JRB e Porto R4 um pouco maior que no período anterior à operação. Estes resultados confirmam o prognóstico de que haveria um aumento da retenção de sedimentos em suspensão neste trecho devido à presença do reservatório, resultando em uma redução de concentração de sedimentos em suspensão a jusante.

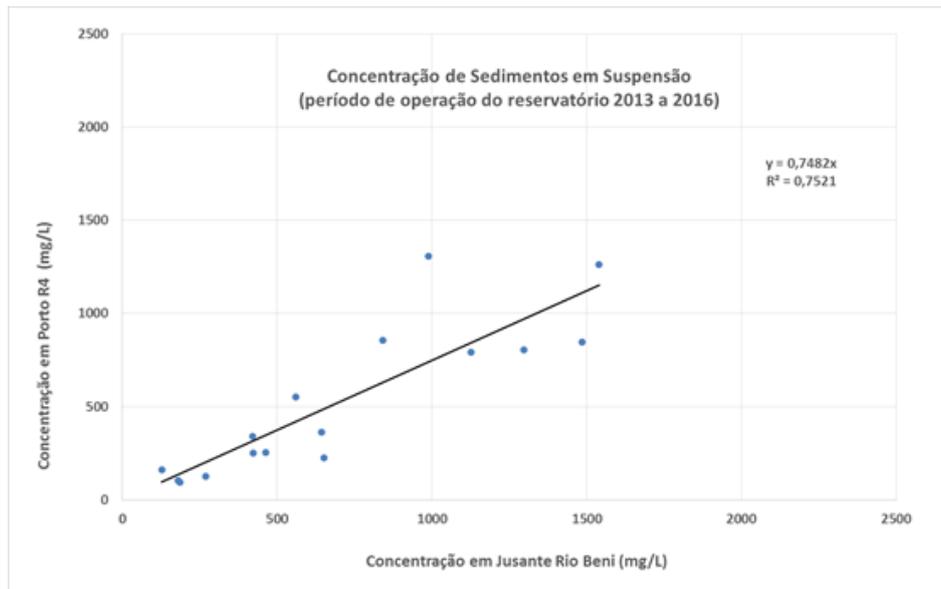


Figura 5.3-48: Correlação de Sedimentos em Suspensão Porto R4 x Jusante Rio Beni no Período Posterior à Operação da UHE Jirau

5.4 Monitoramento das Seções Transversais de Controle – Batimetria e Material do Leito

A rede de monitoramento hidrossedimentológico da UHE Jirau abrange, também, 14 seções transversais do rio Madeira, que são utilizadas para acompanhamento da deposição de sedimentos no reservatório e a jusante do barramento. O Quadro 5.4-1 a seguir apresenta as coordenadas de localização das seções, enquanto a Figura 5.4-1 mostra um diagrama topológico com a posição relativa entre as seções de controle.

Quadro 5.4-1 – Coordenadas de Localização das Seções Transversais de Controle

Seção	Marcos	Coordenada	Coordenada
RN01	RN01	8984078	324975
RN04	RN04	8981988	323171
RN07	RN07	8979359	322165
RN10	RN10	8976723	321168
SJ01	SJ1 MD	8972888	315307
	SJ1 ME	8974129	315013
RN31	RN31	8963027	308044
RJ03	RJ03 MD	8947501	300897
	RJ03 ME	8947914	299990



Seção	Marcos	Coordenada	Coordenada
RJ04	RJ4 MD	8939291	286275
	RJ4 ME	8940218	286095
S36	S36 MD	8937133	268526
	S36 ME	8938085	268469
RJ05	RJ05 MD	8945706	244467
	RJ05 ME	8946254	243698
RJ06	RJ06 MD	8932496	232103
	RJ06 ME	8932847	231431
RJ07	RJ07 MD	8926370	240520
	RJ07 ME	8925860	240104
RN36	RN36	8908680	248553
SJ09	SJ9 MD	8887195	245233
	SJ9 ME	8887023	244303

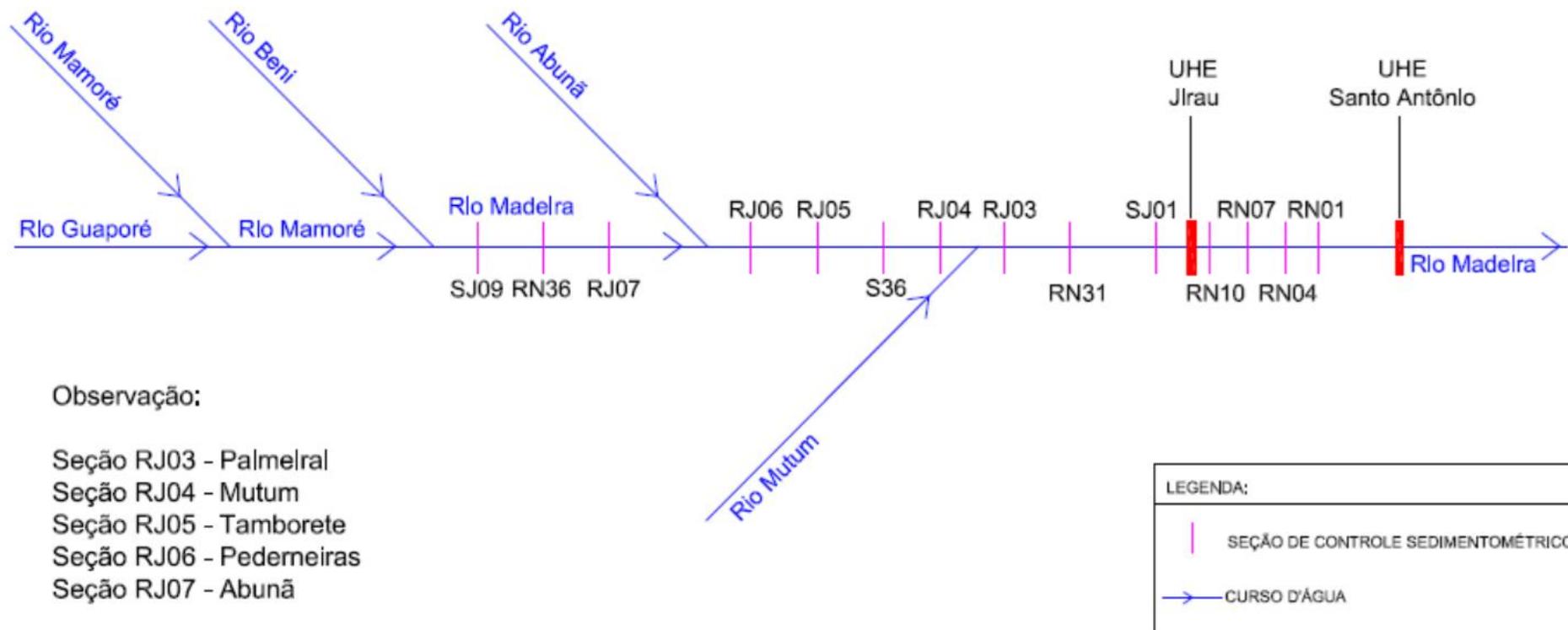


Figura 5.4-1 – Diagrama Topológico das Seções Transversais de Controle da UHE Jirau



O levantamento periódico de seções batimétricas tem por objetivo identificar, em diferentes épocas do ano, alterações na morfologia do leito pela mobilidade do material que compõe o fundo do rio, através de comparações dos perfis topobatimétricos sucessivos.

Os primeiros levantamentos de seções batimétricas foram realizados pela empresa PETCON entre maio e junho de 2009 (1ª campanha) e complementados em um segundo levantamento compreendido entre agosto e setembro de 2009 (2ª campanha), que totalizaram 77 seções.

Mais recentemente, no período de 04/02/2015 a 08/03/2015, foi realizado pela Internave Engenharia um novo levantamento batimétrico compreendendo 60 seções transversais distribuídas ao longo de um percurso de aproximadamente 160 km acompanhando o estirão do reservatório.

A fim de garantir a qualidade e resolução dos levantamentos, cada seção foi caracterizada por cinco linhas batimétricas: uma coincidente com a seção central acompanhando o alinhamento pré-determinado, duas seções a montante espaçadas respectivamente de 10 e 20 metros da seção central e duas seções a jusante também espaçadas de 10 e 20 metros, compondo uma faixa de 40 metros.

Neste trabalho foi incluído também o levantamento três seções longitudinais, sendo uma central e duas laterais, acompanhando todo o estirão do reservatório. Foram considerados também os tributários formadores dos principais braços do reservatório, respectivamente: Igarapé Raul; Igarapé Jirau; Igarapé Caiçara; Igarapé São Lourenço; Rio Cotia; Rio Mutum Paraná; Igarapé Castanho e Igarapé São Simão, contemplando cada um, com levantamento batimétrico de uma linha longitudinal acompanhando o álveo central até onde foi possível o deslocamento da embarcação.

Os subsídios decorrentes deste levantamento foram utilizados na composição dos dados de entrada dos modelos HEC-RAS e SisBaHia aplicados nos estudos de remanso e hidrossedimentométricos, respectivamente.

O Quadro 5.4-2 a seguir lista as campanhas realizadas com este fim.

Quadro 5.4-2 – Campanhas de Levantamento Batimétrico das Seções de Controle

Campanha	Período		Seções Levantadas
	Início	Fim	
3ª Campanha	jul/10	ago/10	20
4ª Campanha	abr/11	jun/11	39
5ª Campanha	jan/12	ago/12	14
6ª Campanha	ago/13	ago/13	14
7ª Campanha	fev/14	mai/14	14
8ª Campanha	ago/14	ago/14	13
9ª Campanha	fev/15	fev/15	14
10ª Campanha	set/15	nov/15	14
11ª Campanha	fev/16	mar/16	13

A comparação da evolução na forma das seções transversais levantadas nas diversas campanhas tem sido realizada graficamente, sendo possível identificar as alterações ocorridas na morfologia da calha de escoamento ao longo do tempo.

Conforme ilustrado nas Figuras 5.4-2 a 5.4-15 abaixo, algumas seções apresentaram grande variação de batimetria, principalmente após a grande cheia de março de 2014.

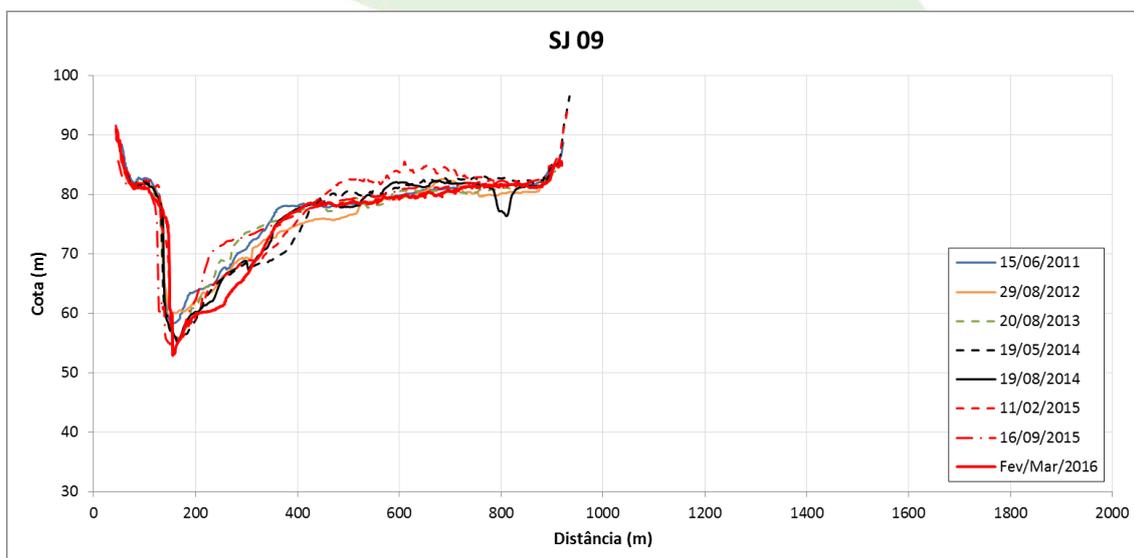


Figura 5.4-2: Evolução do Perfil Batimétrico da Seção SJ09

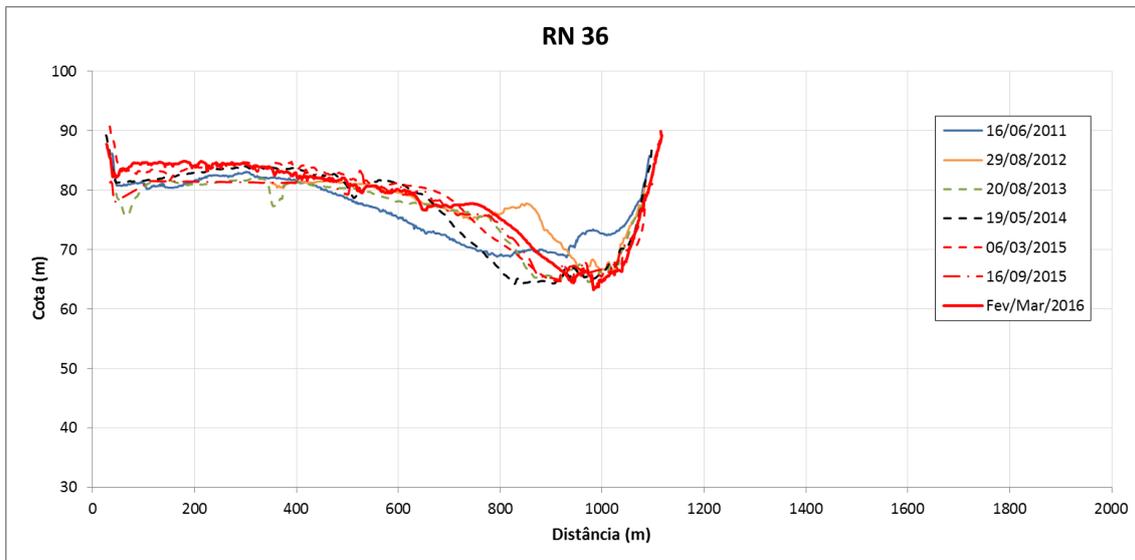


Figura 5.4-3: Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RN36

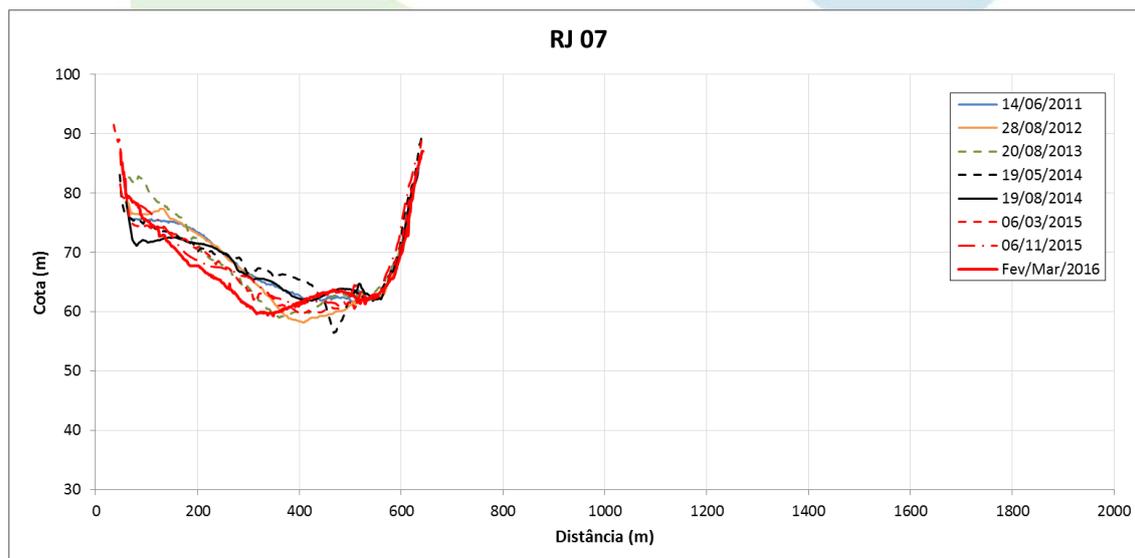


Figura 5.4-4: Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RJ07

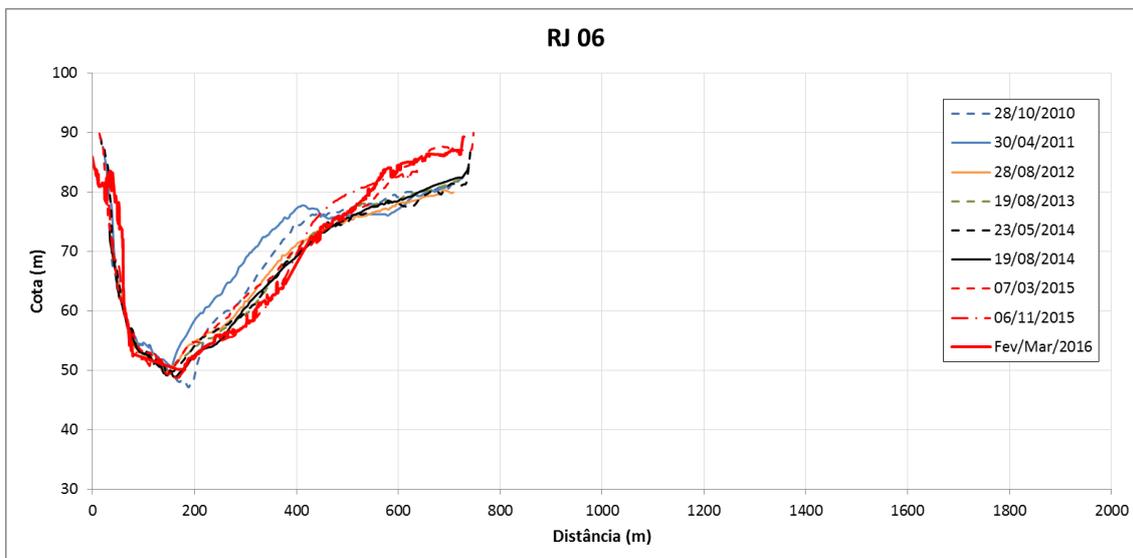


Figura 5.4-5: Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RJ06

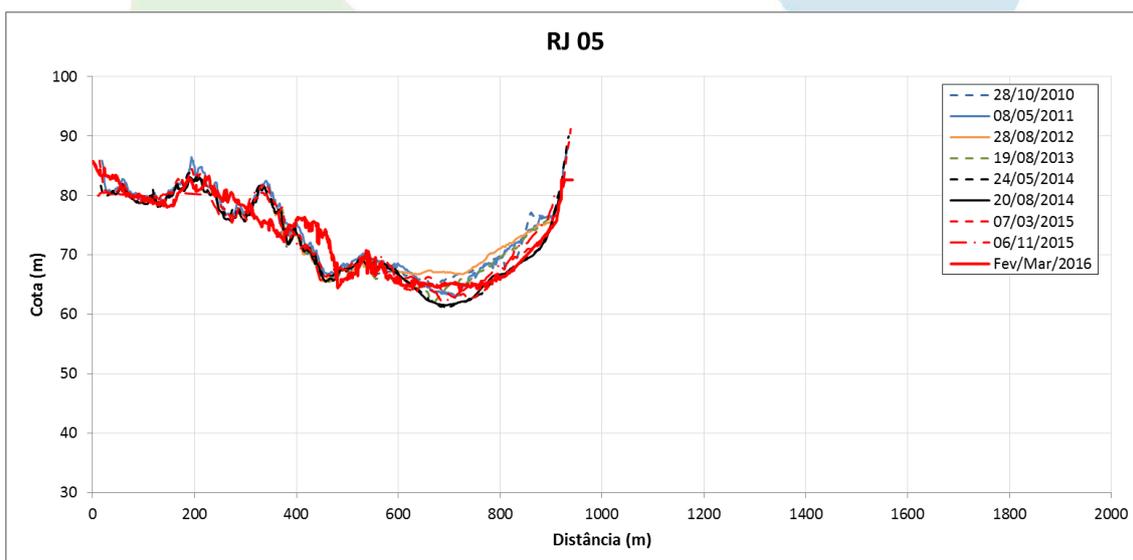


Figura 5.4-6: Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RJ05

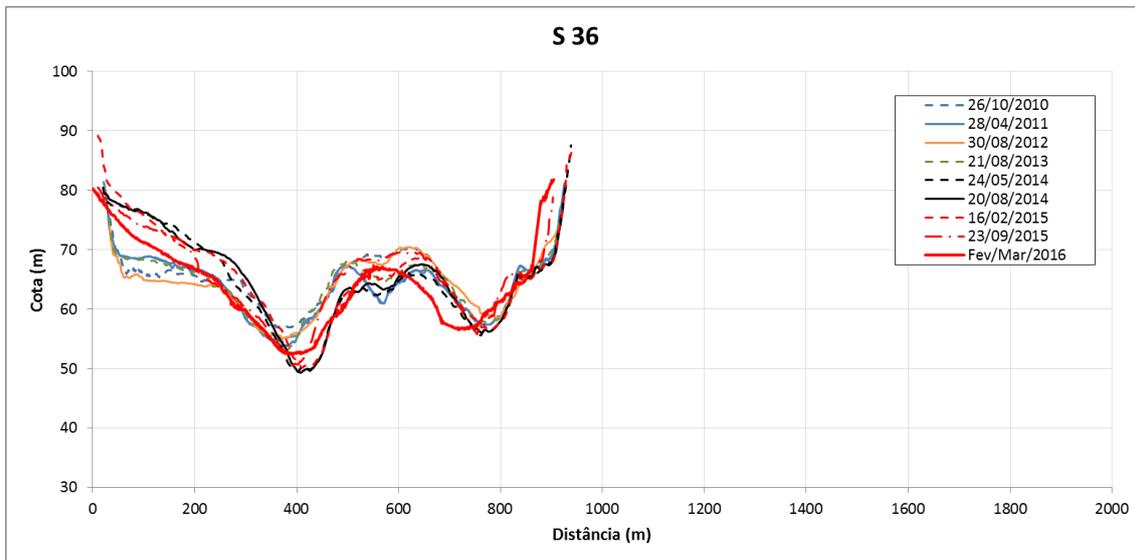


Figura 5.4-7: Evolução do Perfil Batimétrico da Seção S36

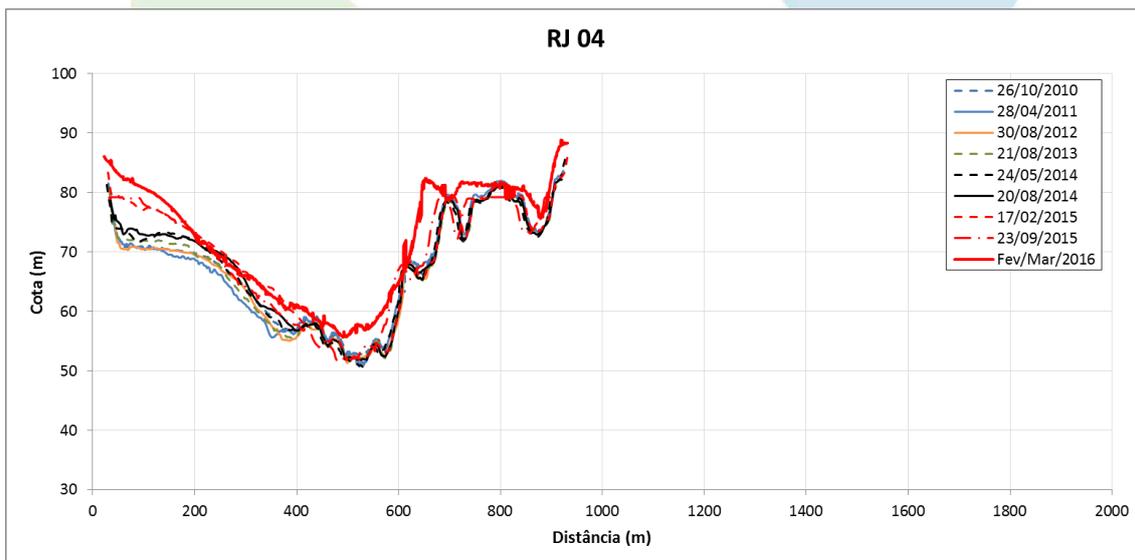


Figura 5.4-8: Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RJ04

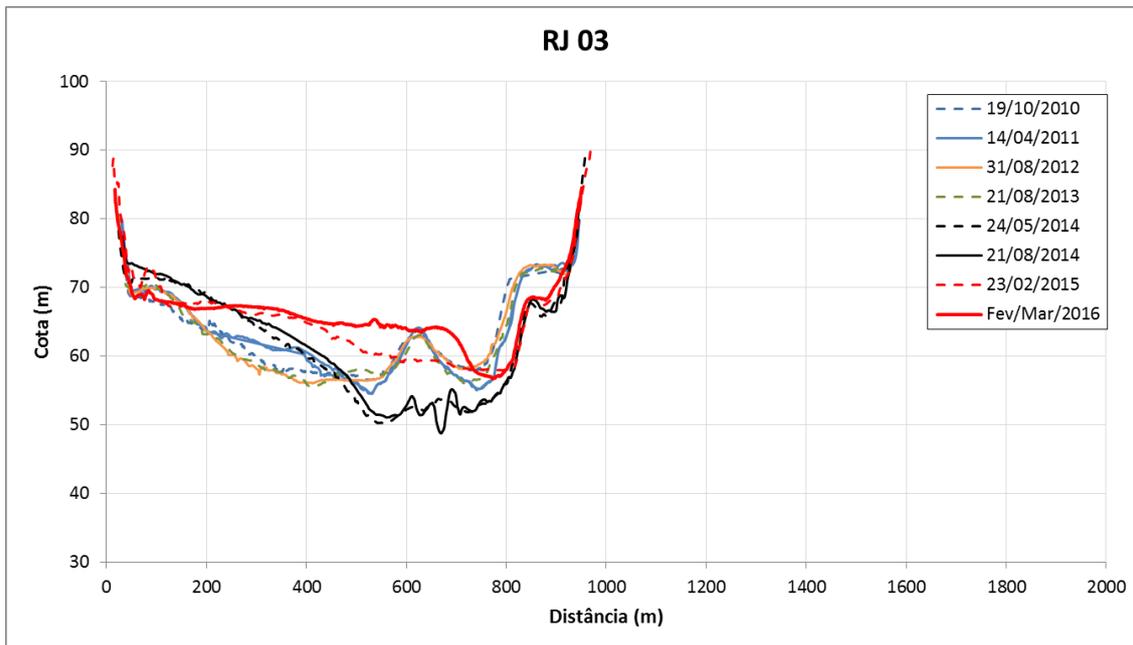


Figura 5.4-9: Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RJ03

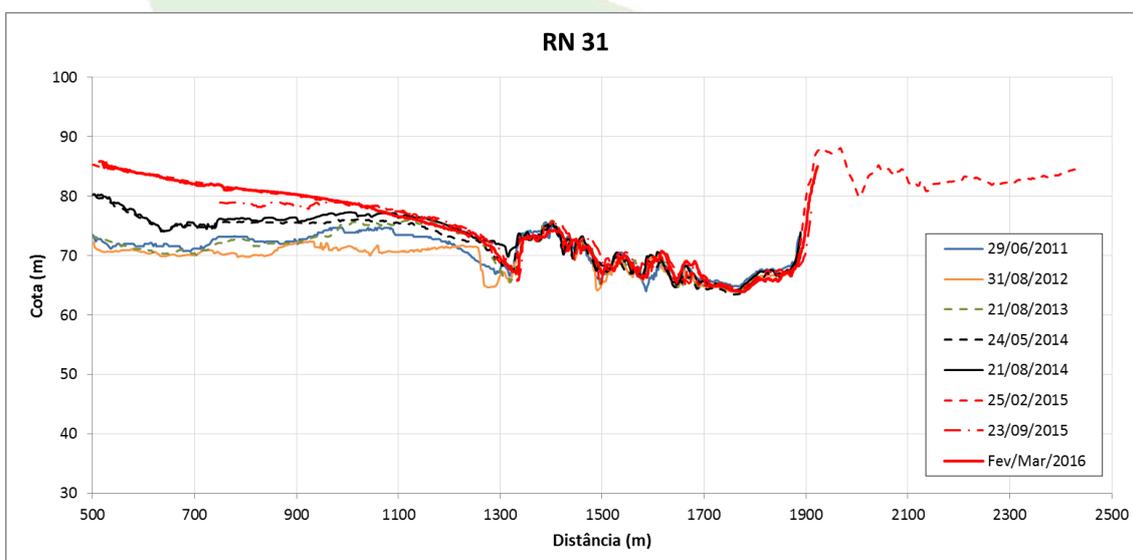


Figura 5.4-10: Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RN31

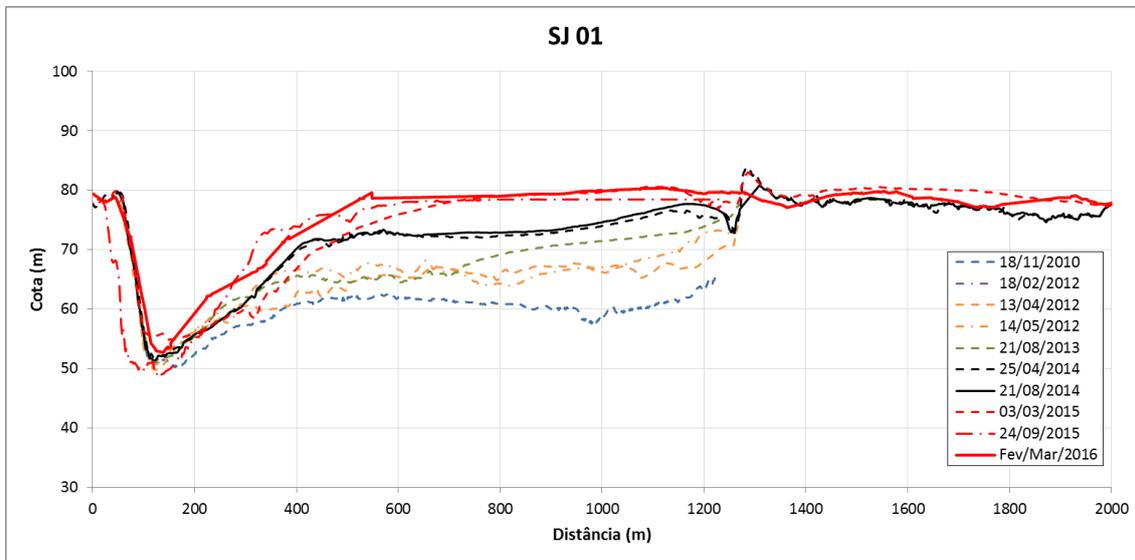


Figura 5.4-11: Evolução do Perfil Batimétrico da Seção SJ01

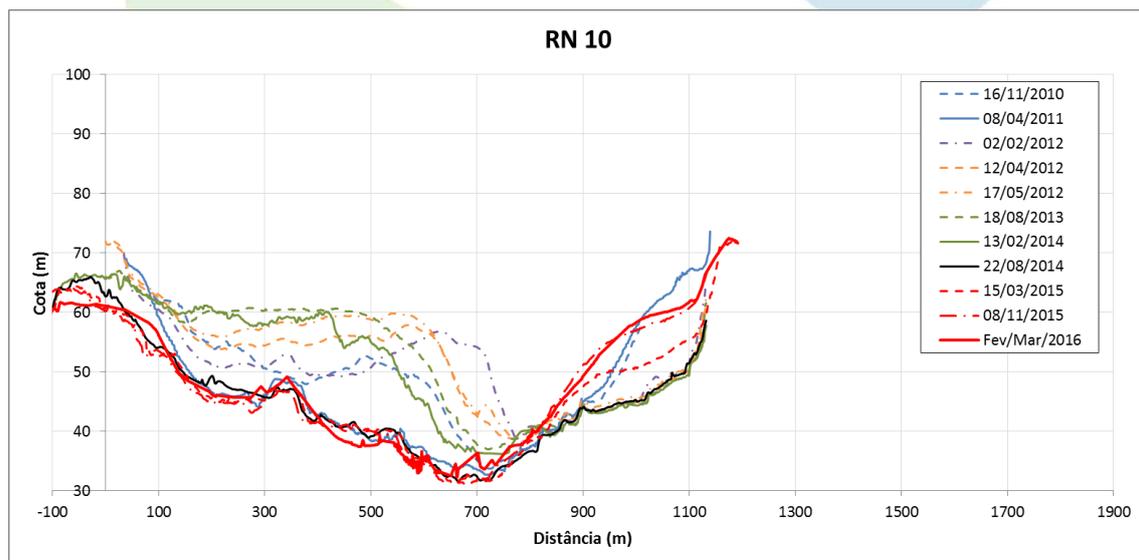


Figura 5.4-12: Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RN10

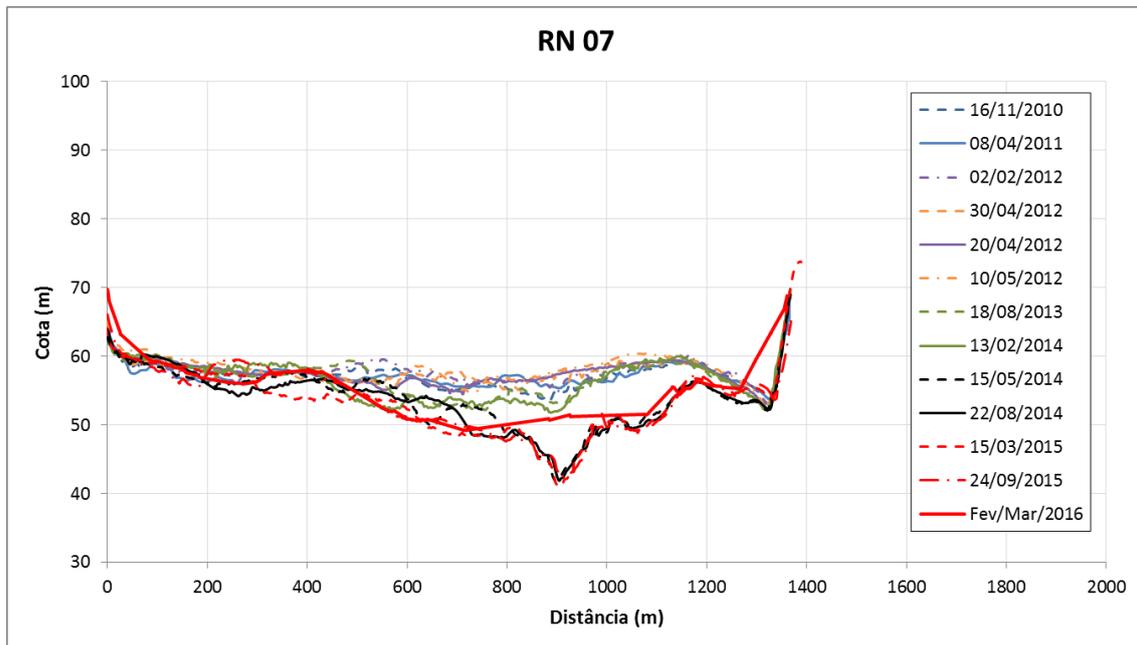


Figura 5.4-13: Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RN07

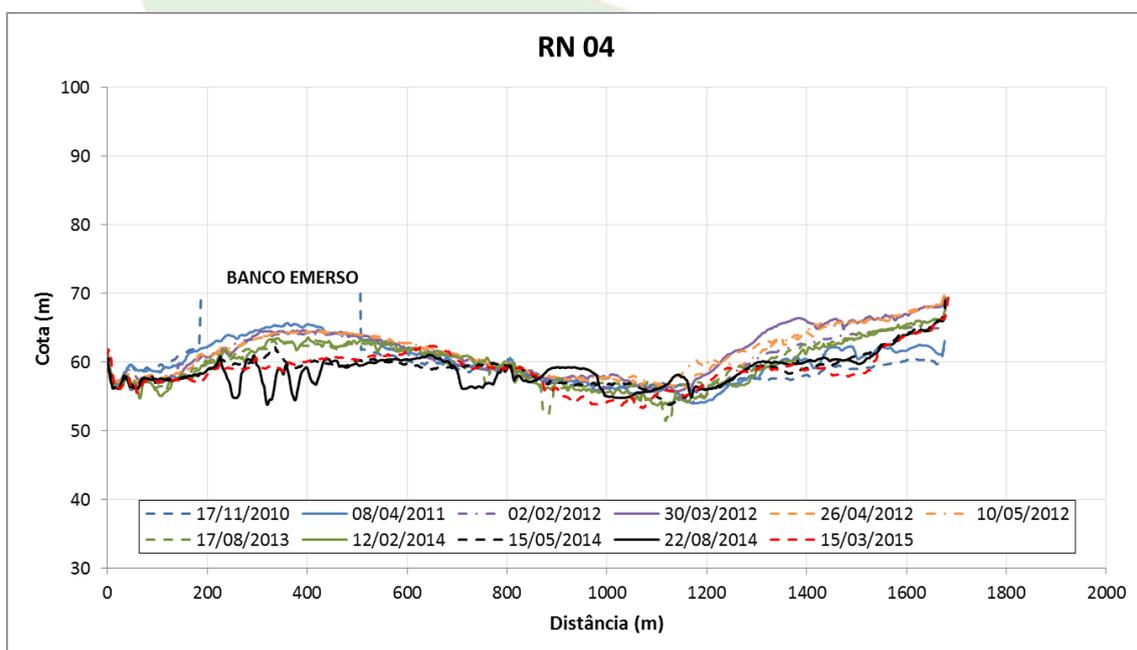


Figura 5.4-14: Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RN04

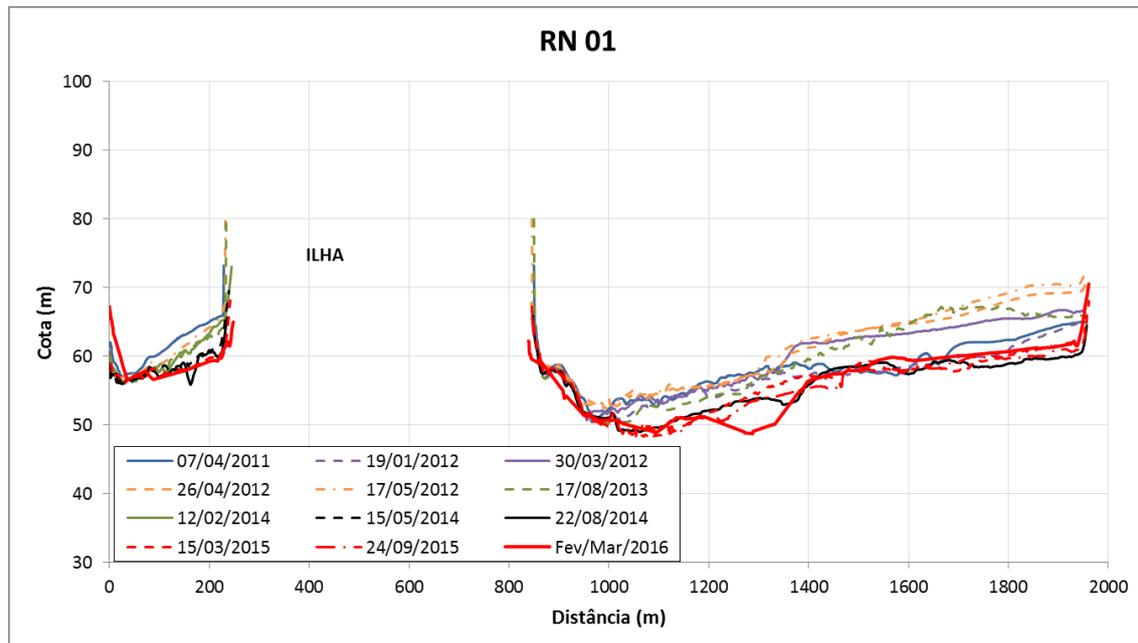


Figura 5.4-15: Evolução do Perfil Batimétrico da Seção RN01

Nos Quadros 5.4-3 a 5.4-10 a seguir são apresentados os resumos das últimas análises granulométricas desenvolvidas, em 8 seções de controle. Em **Anexo**, são apresentados os resultados da análise granulométrica do material de fundo das 14 seções monitoradas.

Quadro 5.4-3 – Análise Granulométrica da Seção SJ09

Data	Vertical	% dos Materiais				Diâmetros Característicos (mm)				
		Cascalho	Areia	Silte	Argila	D10	D35	D50	D65	D90
16/09/2015	1	0,1%	99,9%	0,1%	0,0%	0,143	0,223	0,274	0,327	0,439
	2	0,9%	99,1%	0,0%	0,0%	0,201	0,309	0,354	0,408	0,712
	3	0,7%	99,3%	0,0%	0,0%	0,237	0,320	0,366	0,421	0,735
	4	0,1%	99,9%	0,1%	0,0%	0,141	0,195	0,231	0,284	0,418
	5	1,4%	98,6%	0,1%	0,0%	0,138	0,187	0,218	0,264	0,428

Quadro 5.4-4 – Análise Granulométrica da Seção RN 36

Data	Vertical	% dos Materiais				Diâmetros Característicos (mm)				
		Cascalho	Areia	Silte	Argila	D10	D35	D50	D65	D90
16/09/2015	1	0,0%	37,2%	49,0%	13,8%	0,003	0,022	0,036	0,061	0,095



Data	Vertical	% dos Materiais				Diâmetros Característicos (mm)				
		Cascalho	Areia	Silte	Argila	D10	D35	D50	D65	D90
	2	0,0%	98,7%	1,0%	0,3%	0,073	0,109	0,131	0,156	0,209
	3	0,0%	99,0%	0,8%	0,2%	0,074	0,115	0,138	0,162	0,211
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	0,0%	99,6%	0,3%	0,1%	0,237	0,326	0,377	0,439	0,942

Quadro 5.4-5 – Análise Granulométrica da Seção S 36

Data	Vertical	% dos Materiais				Diâmetros Característicos (mm)				
		Cascalho	Areia	Silte	Argila	D10	D35	D50	D65	D90
28/09/2015	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	0,0%	85,4%	13,4%	1,2%	0,045	0,083	0,094	0,110	0,189
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	1,0%	98,8%	0,2%	0,0%	0,152	0,264	0,312	0,372	0,612
	5	0,0%	95,3%	4,3%	0,4%	0,070	0,117	0,142	0,171	0,232

Quadro 5.4-6 – Análise Granulométrica da Seção RJ 04

Data	Vertical	% dos Materiais				Diâmetros Característicos (mm)				
		Cascalho	Areia	Silte	Argila	D10	D35	D50	D65	D90
23/09/2015	1	0,0%	3,2%	63,8%	33,0%	0,000	0,005	0,007	0,014	0,030
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	0,0%	53,4%	40,3%	6,3%	0,009	0,045	0,065	0,079	0,110

Quadro 5.4-7 – Análise Granulométrica da Seção RN 31

Data	Vertical	% dos Materiais				Diâmetros Característicos (mm)				
		Cascalho	Areia	Silte	Argila	D10	D35	D50	D65	D90
23/09/2015	1	0,0%	98,8%	1,0%	0,2%	0,228	0,336	0,396	0,471	1,008
	2	0,0%	99,7%	0,2%	0,1%	0,144	0,220	0,271	0,323	0,433
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	0,0%	24,1%	58,8%	17,1%	0,000	0,018	0,024	0,038	0,086
	5	0,0%	48,8%	42,8%	8,4%	0,006	0,035	0,058	0,074	0,105



Quadro 5.4-8 – Análise Granulométrica da Seção SJ 01

Data	Vertical	% dos Materiais				Diâmetros Característicos (mm)				
		Cascalho	Areia	Silte	Argila	D10	D35	D50	D65	D90
24/09/2015	1	0,0%	61,0%	29,5%	9,5%	0,005	0,046	0,089	0,133	0,202
	2	0,0%	18,0%	65,8%	16,2%	-	0,019	0,025	0,036	0,075
	3	0,0%	19,7%	65,0%	15,3%	-	0,020	0,028	0,039	0,078
	4	0,0%	99,8%	0,2%	0,0%	0,126	0,155	0,170	0,187	0,220
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Quadro 5.4-9 – Análise Granulométrica da Seção RN 07

Data	Vertical	% dos Materiais				Diâmetros Característicos (mm)				
		Cascalho	Areia	Silte	Argila	D10	D35	D50	D65	D90
24/09/2015	1	0,0%	13,1%	71,3%	15,6%	0,000	0,014	0,018	0,026	0,108
	2	0,0%	20,5%	65,8%	13,7%	0,003	0,018	0,025	0,037	0,078
	3	0,0%	97,0%	2,5%	0,5%	0,141	0,287	0,330	0,382	0,487
	4	0,0%	83,1%	15,3%	1,6%	0,039	0,151	0,266	0,325	0,454
	5	0,0%	45,0%	46,0%	9,0%	0,006	0,034	0,051	0,083	0,188

Quadro 5.4-10 – Análise Granulométrica da Seção RN 01

Data	Vertical	% dos Materiais				Diâmetros Característicos (mm)				
		Cascalho	Areia	Silte	Argila	D10	D35	D50	D65	D90
24/09/2015	1	1,7%	94,5%	3,1%	0,7%	0,147	0,288	0,326	0,372	0,461
	2	63,3%	36,2%	0,4%	0,1%	0,288	1,042	6,057	9,037	13,580
	3	0,0%	35,2%	51,5%	13,3%	0,003	0,018	0,027	0,059	0,222
	4	0,0%	86,2%	12,7%	1,1%	0,045	0,107	0,140	0,175	0,330
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-



A seguir são apresentados também os gráficos da granulometria do material de fundo – divididos por verticais – de cada seção batimétrica, utilizado como subsídio ao entendimento da dinâmica do material de fundo nos locais destas seções de controle.

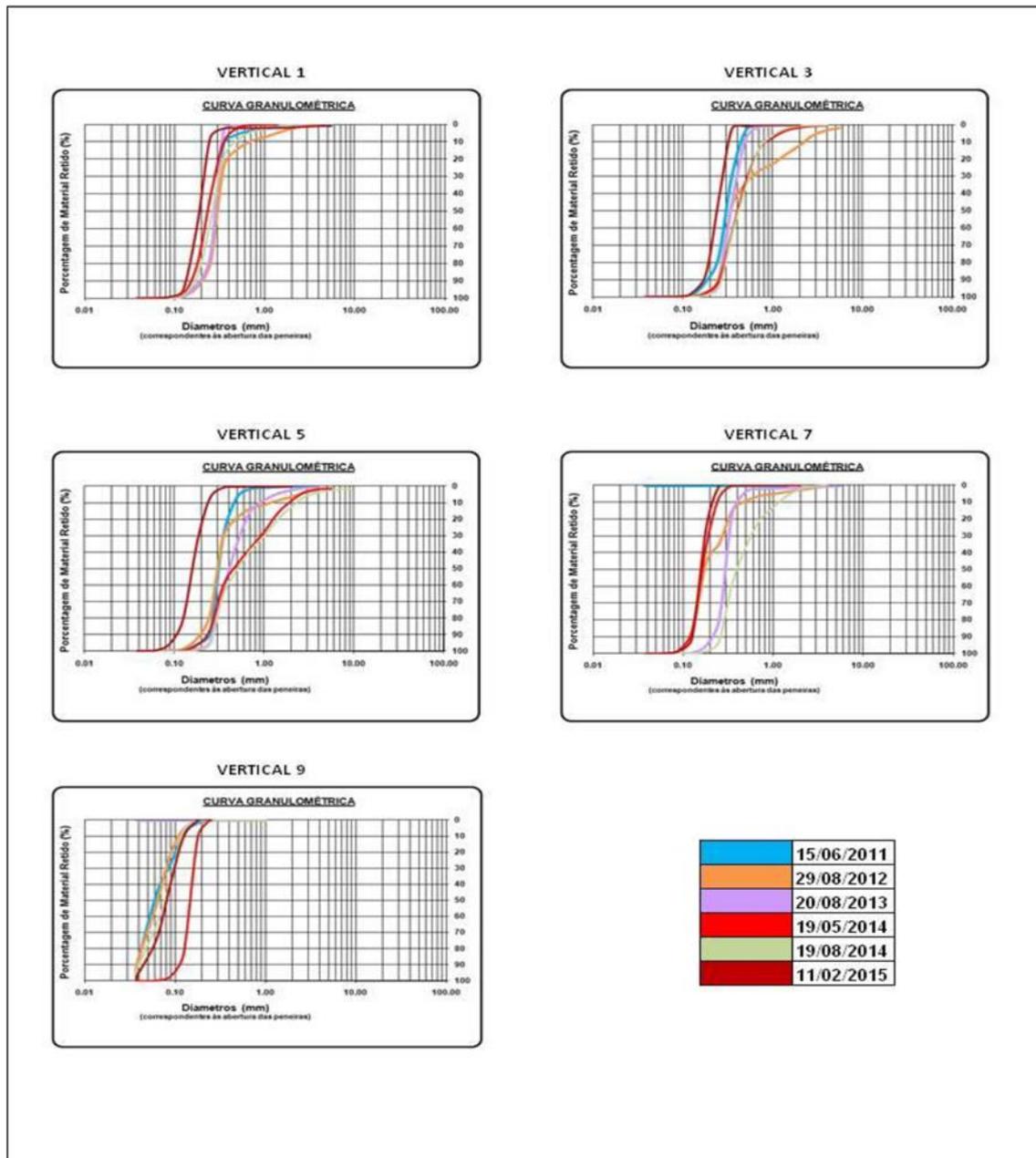


Figura 5.4-16: Evolução da Granulometria de Fundo da Seção SJ09

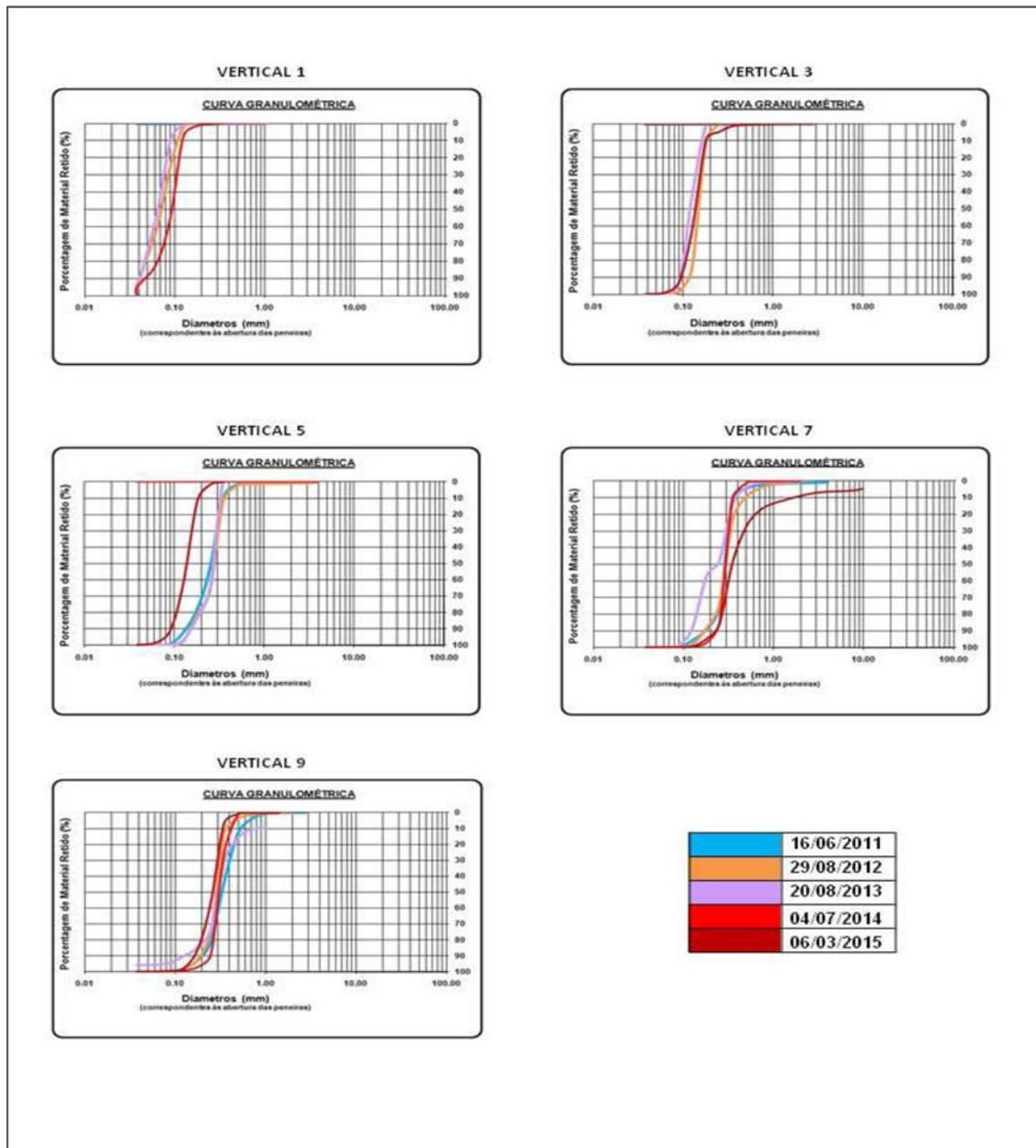


Figura 5.4-17: Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RN36

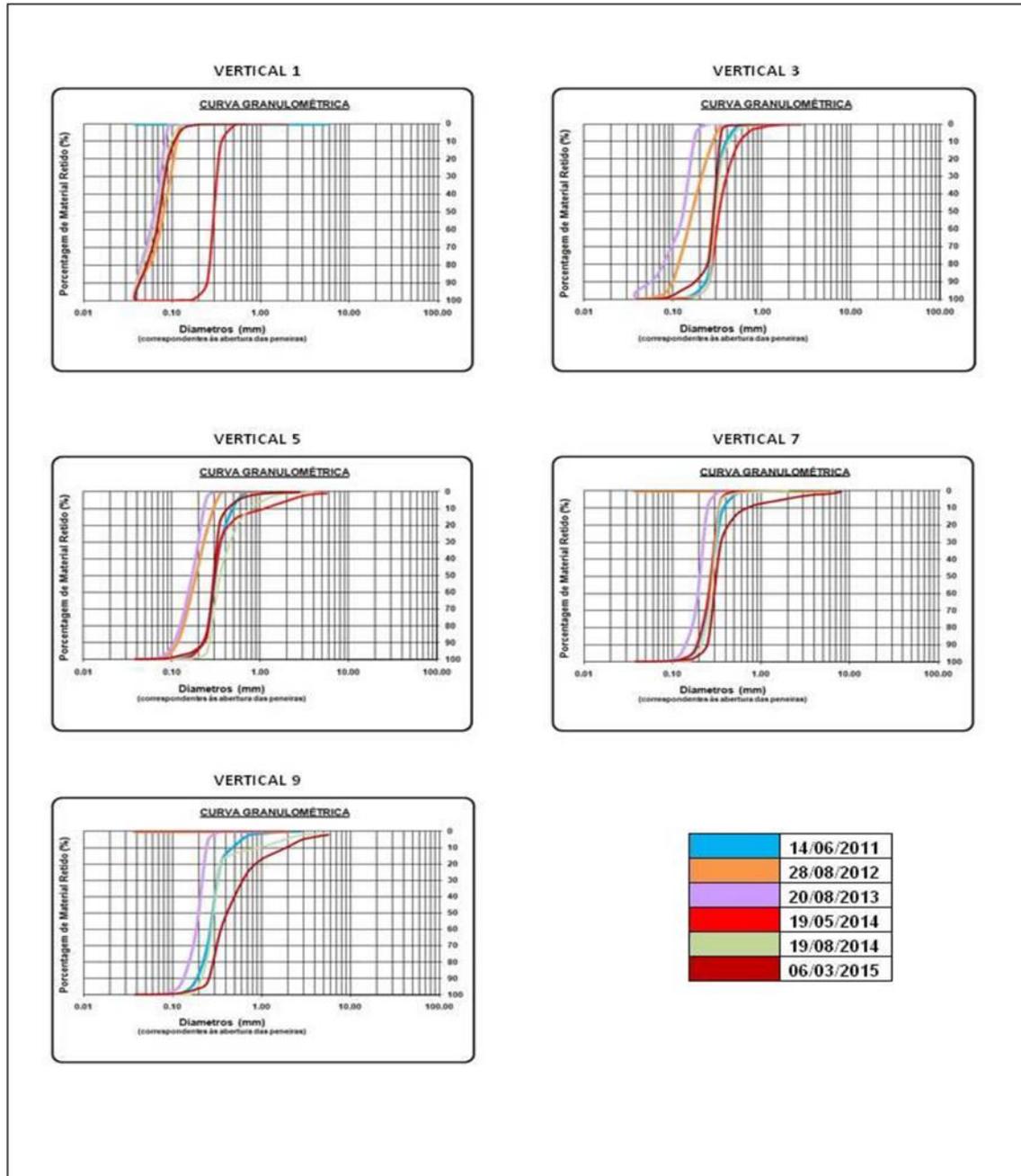


Figura 5.4-18: Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RJ07

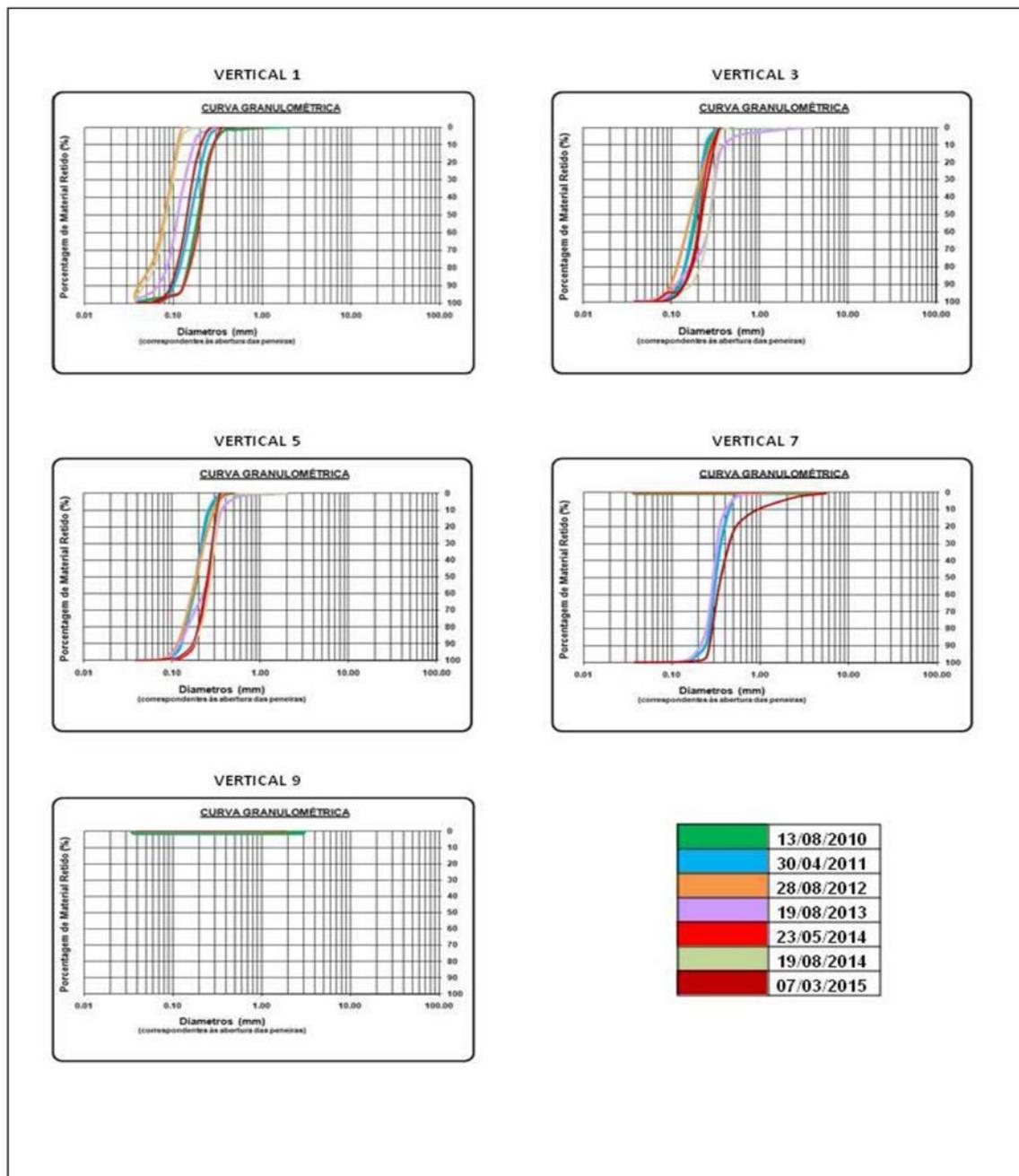


Figura 5.4-19: Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RJ06

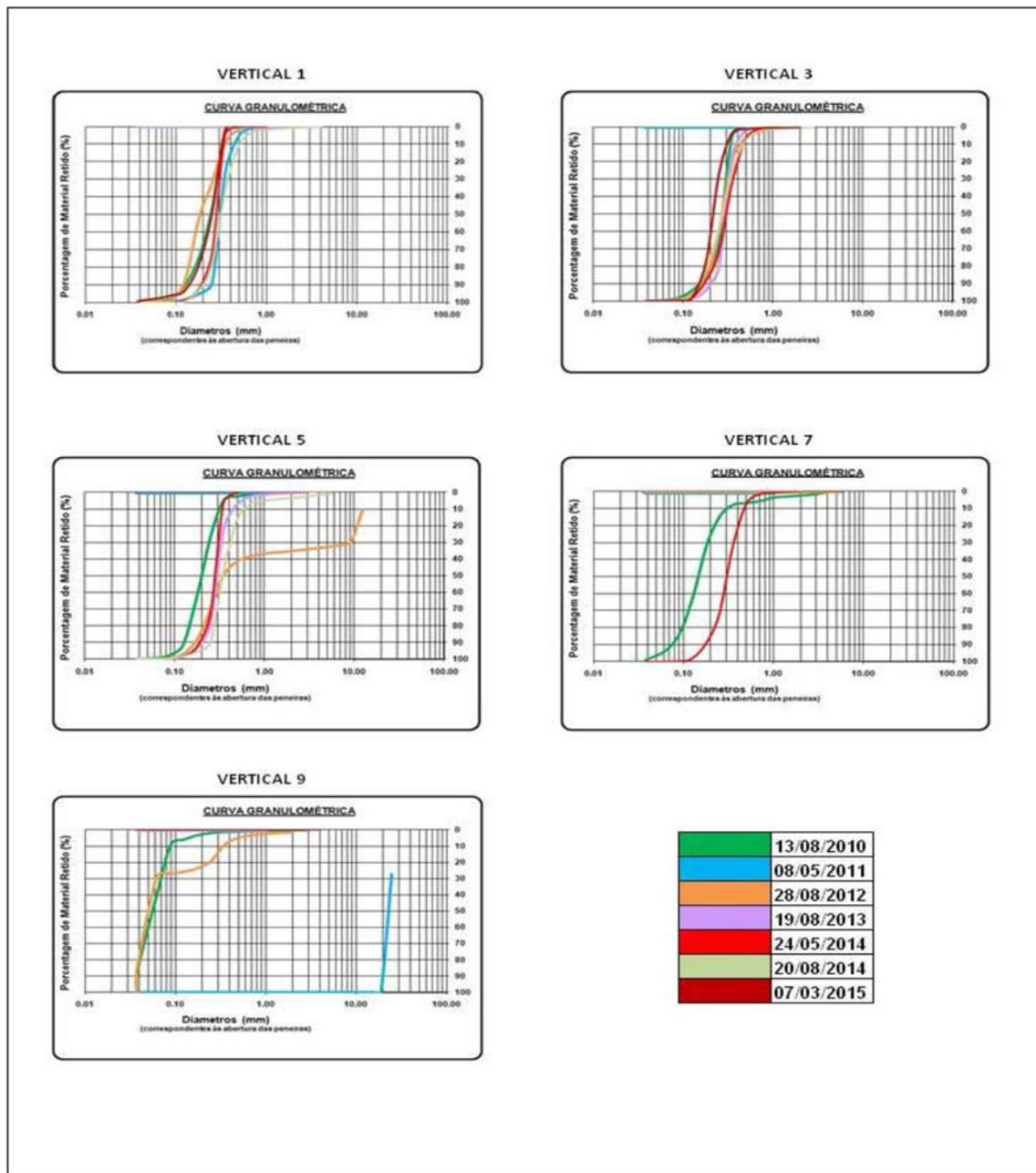


Figura 5.4-20: Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RJ05

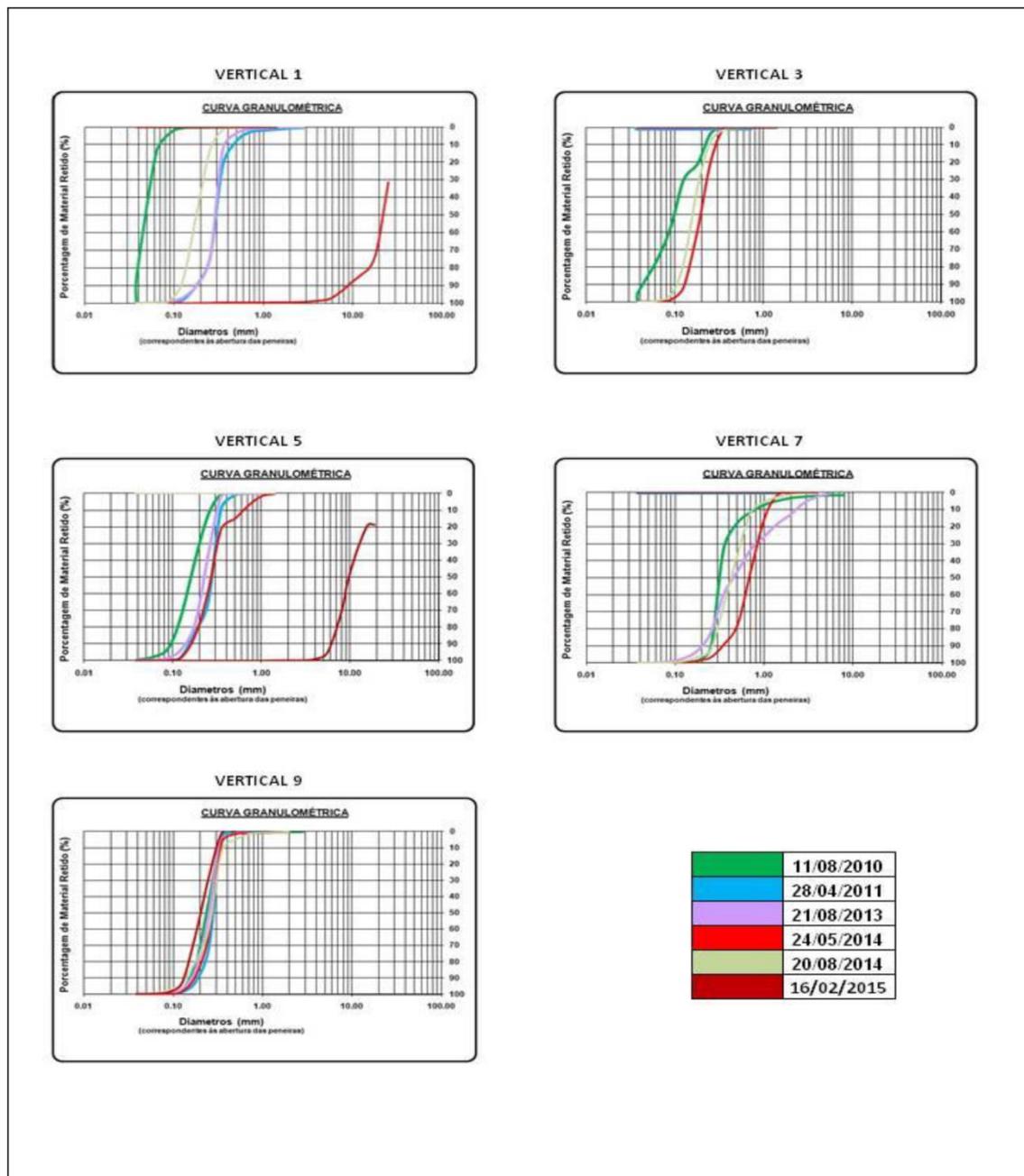


Figura 5.4-21: Evolução da Granulometria de Fundo da Seção S36

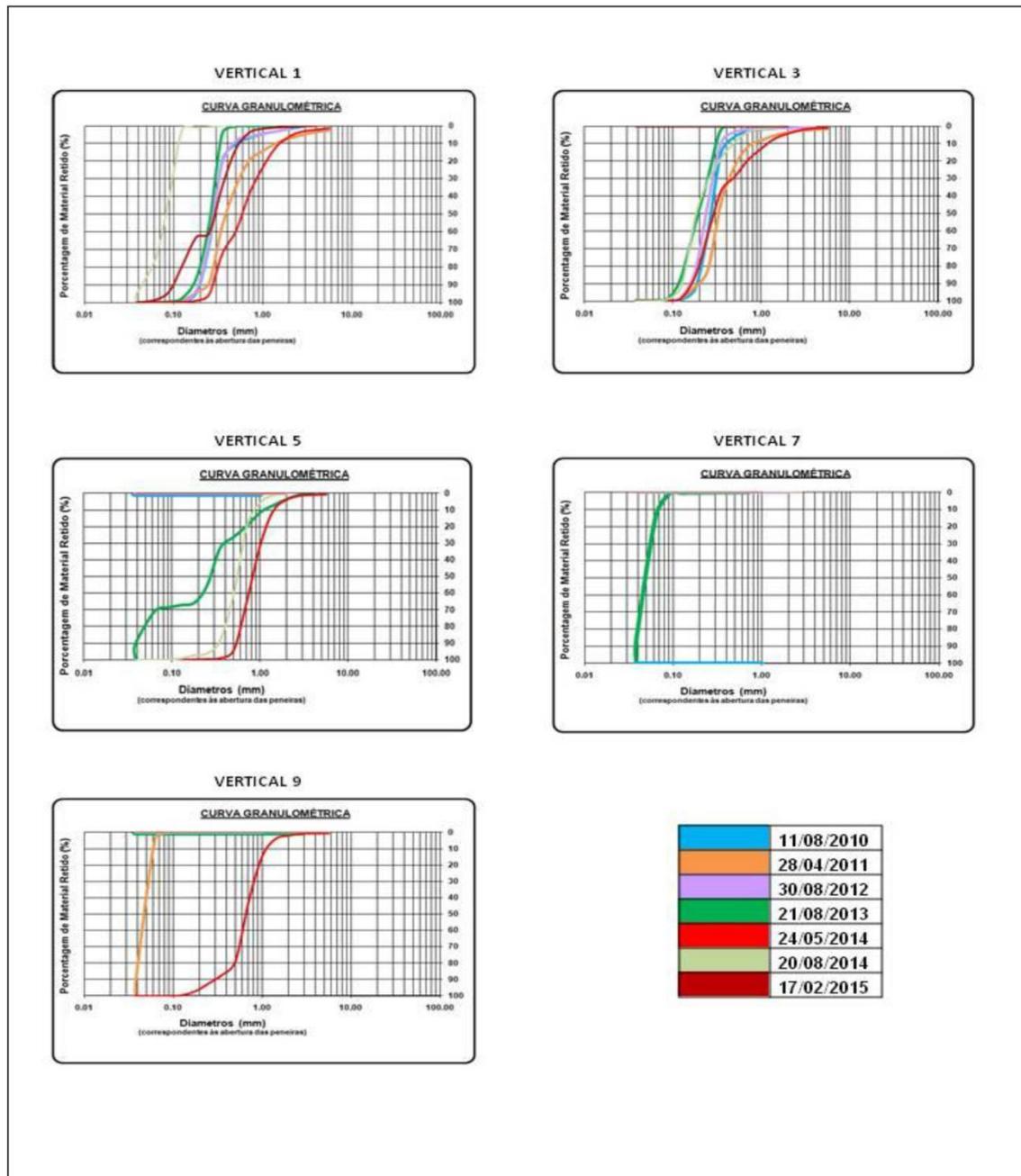


Figura 5.4-22: Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RJ04

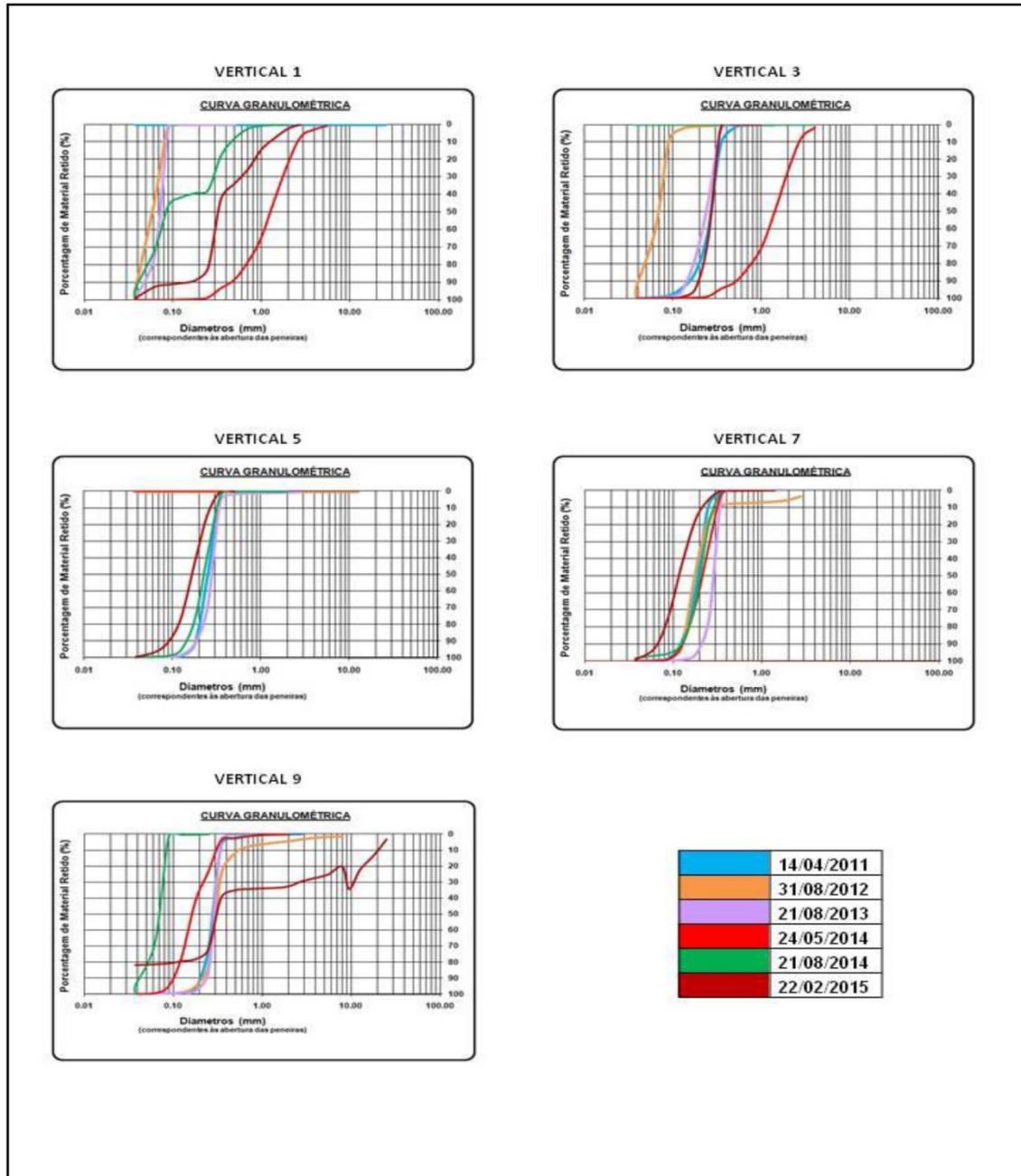


Figura 5.4-23: Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RJ03

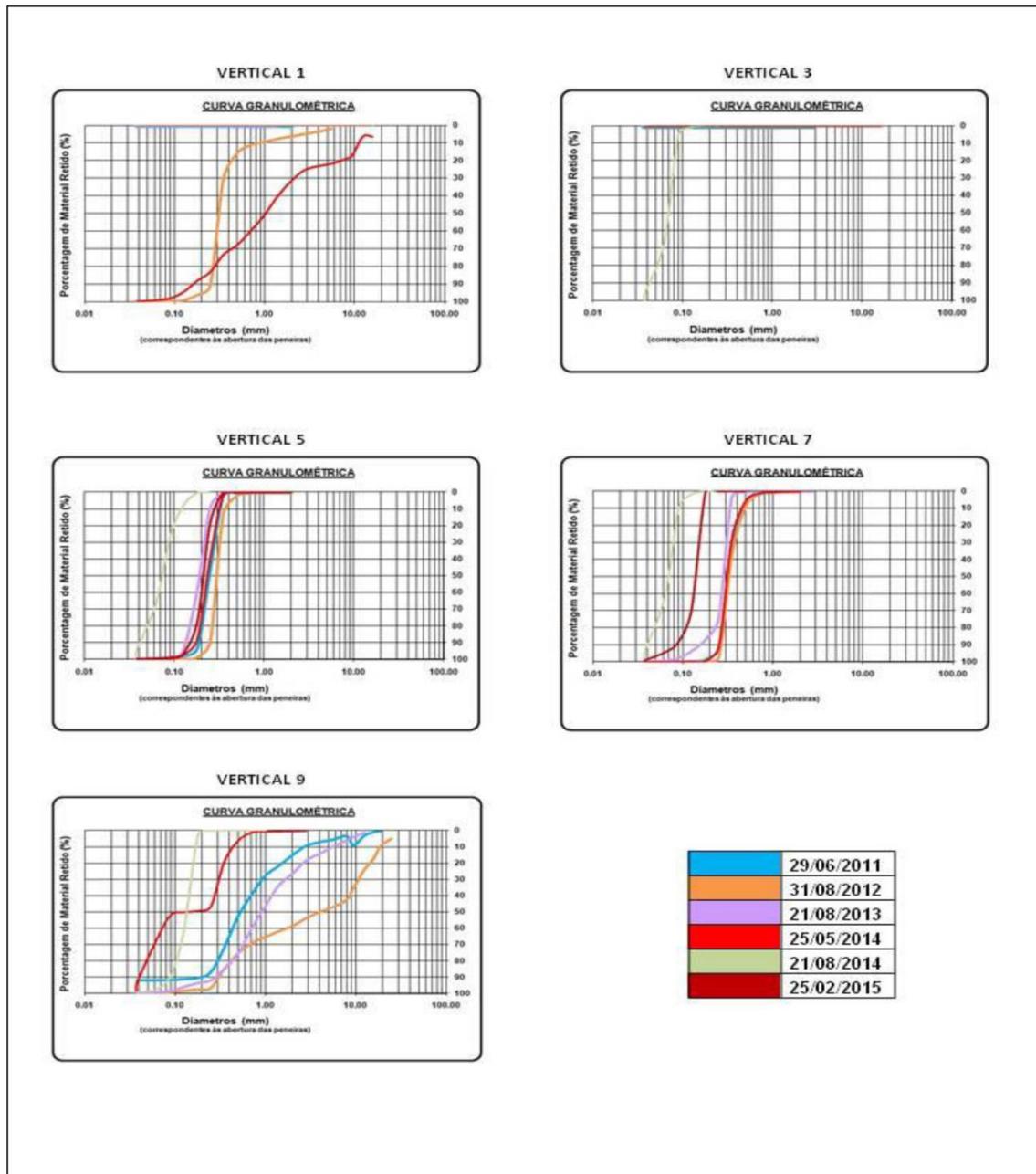


Figura 5.4-24: Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RN31

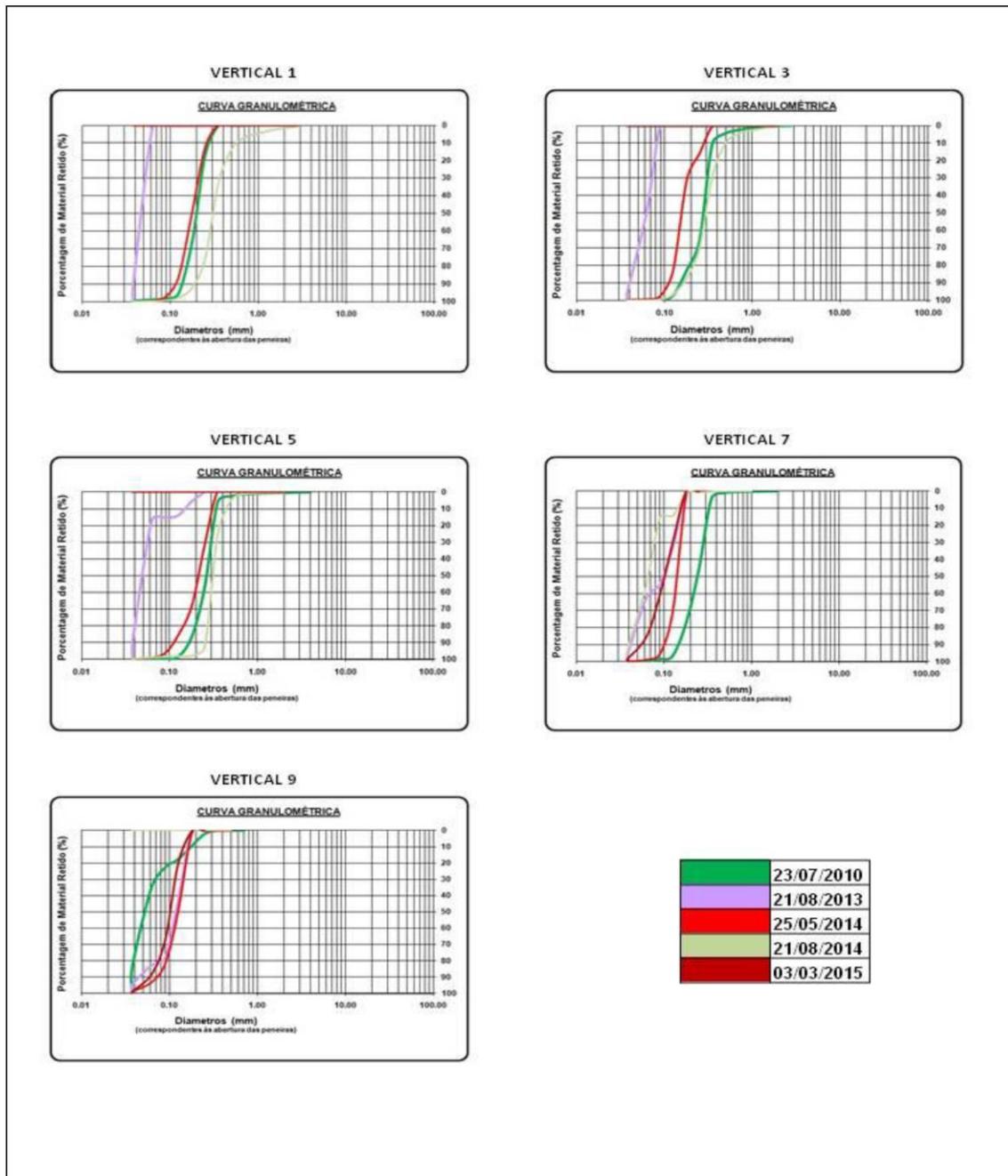


Figura 5.4-25: Evolução da Granulometria de Fundo da Seção SJ01

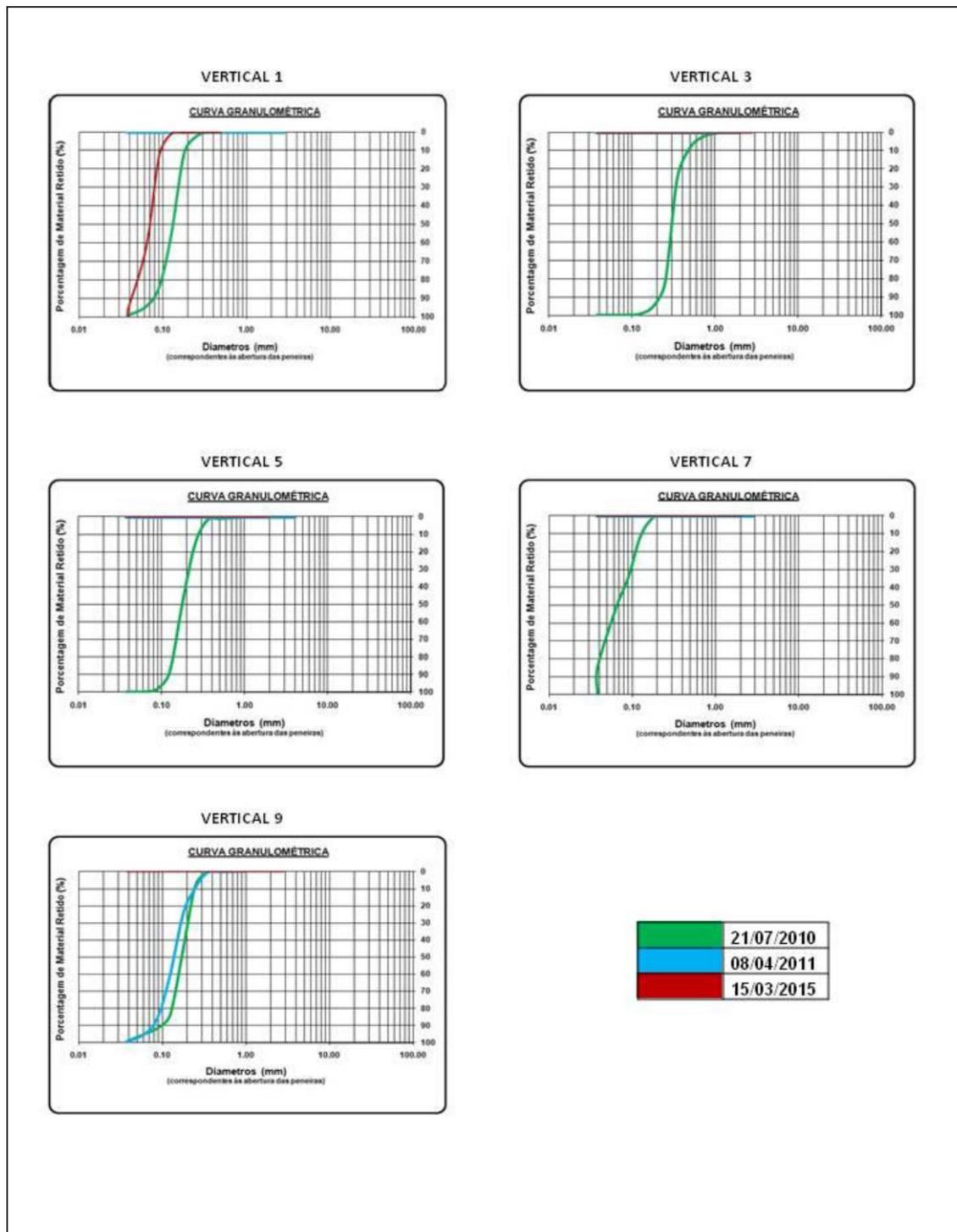


Figura 5.4-26: Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RN10

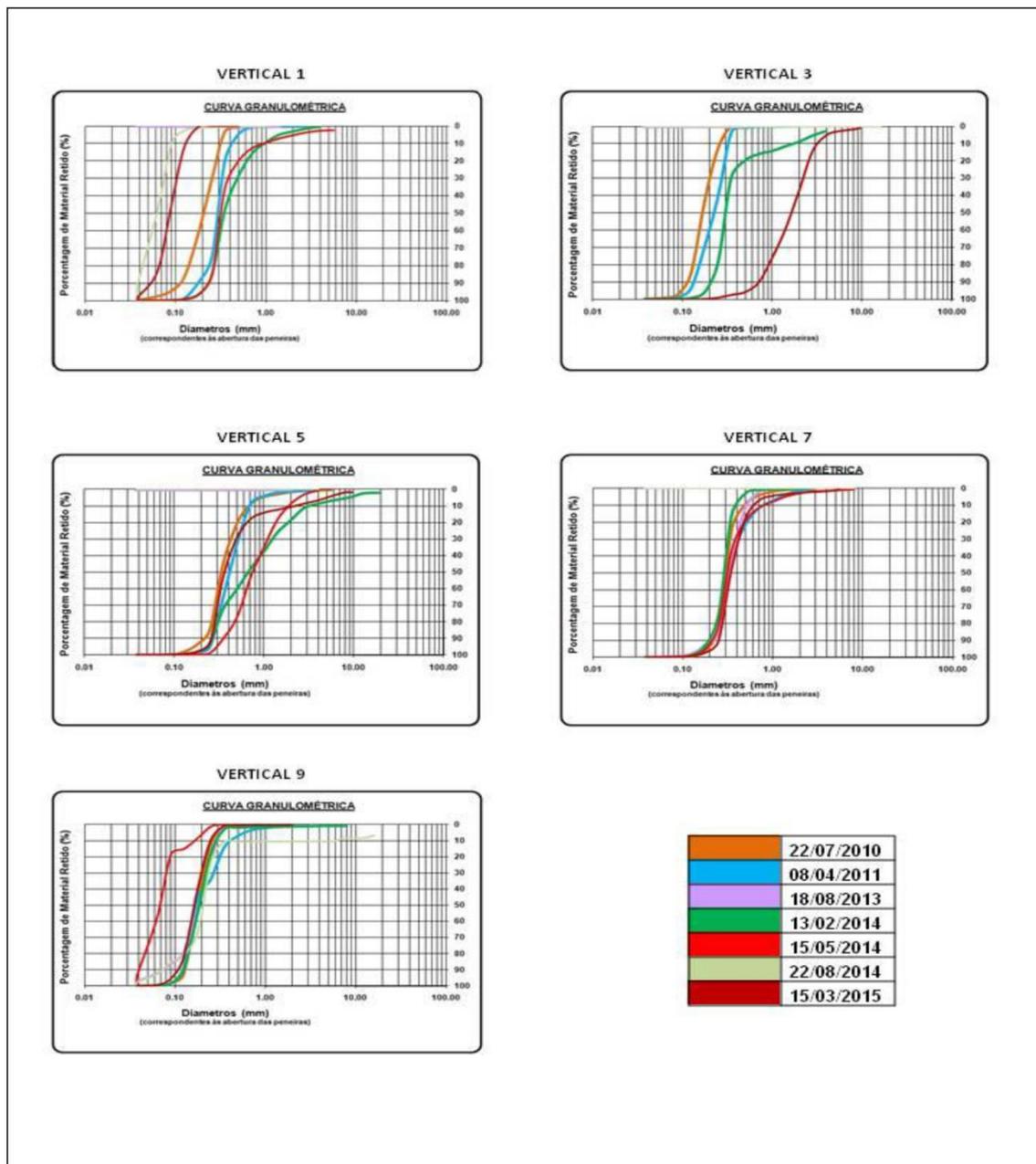


Figura 5.4-27: Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RN07

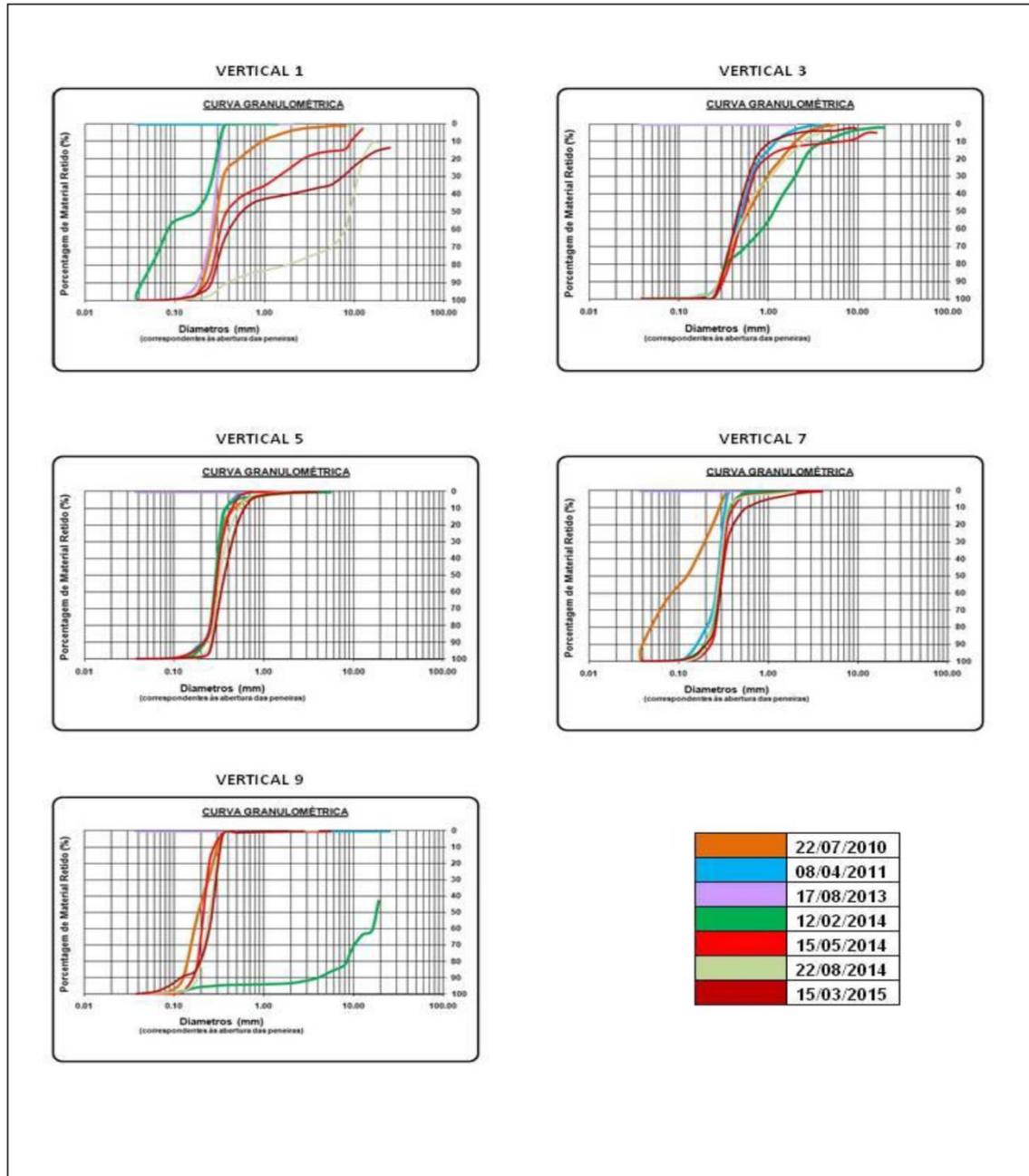


Figura 5.4-28: Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RN04

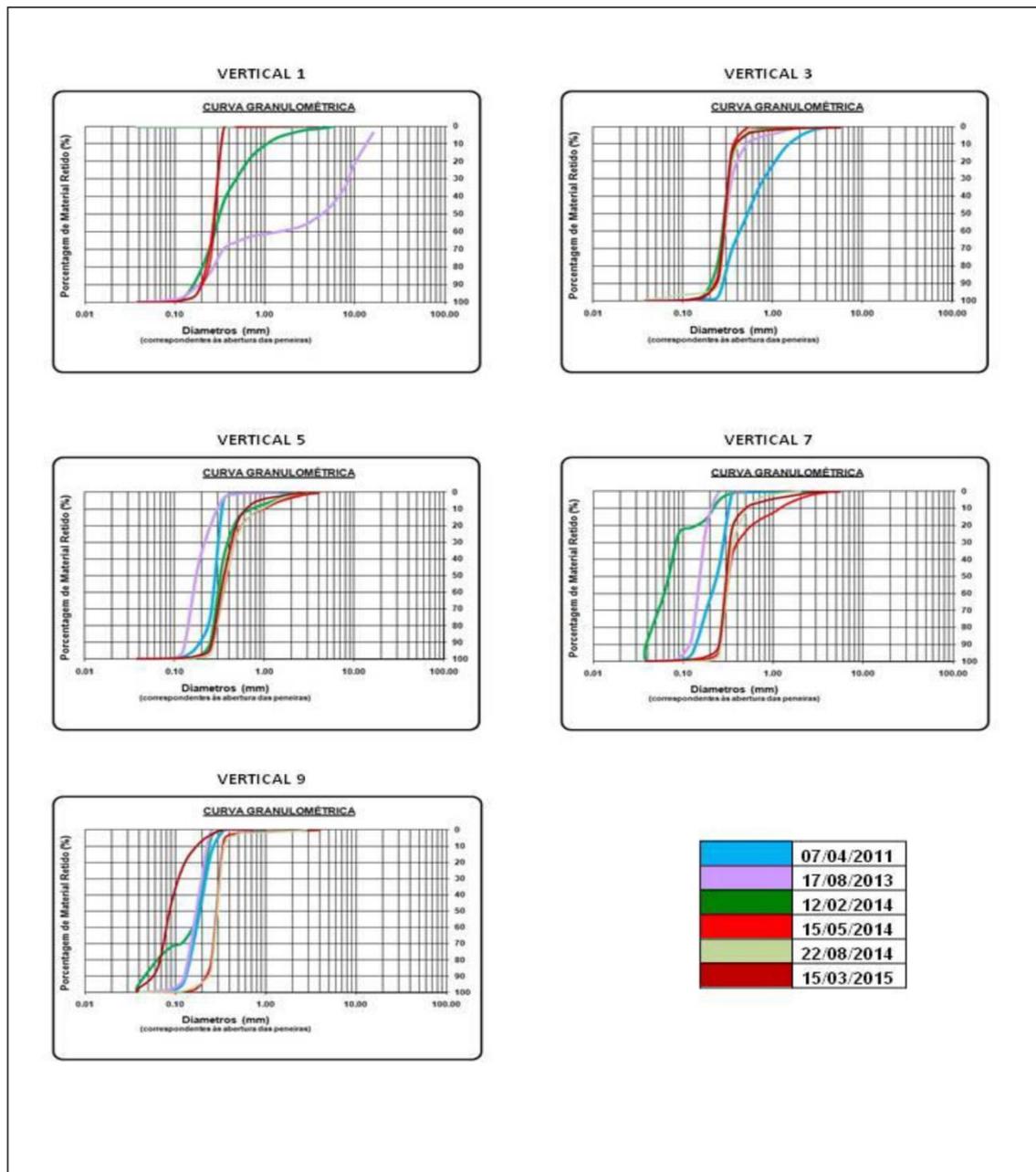


Figura 5.4-29: Evolução da Granulometria de Fundo da Seção RN01

5.5 Análise de Correlação entre Concentração de Sedimentos em Suspensão e Índice de Turbidez

Conforme apresentado anteriormente, na fase inicial de operação do reservatório, observou-se uma tendência de redução das concentrações de sedimentos em suspensão no trecho do rio Madeira a jusante da usina de Jirau.

A análise de correlação entre os resultados de concentração de sedimentos nas estações Jusante Rio Beni (entrada do reservatório) e Porto R4 (jusante da usina), apresentada nas Figuras 5.3-46 e 5.3-47, mostrou que após o início da operação do empreendimento as concentrações em suspensão na estação Porto R4 passaram a apresentar taxas menores do que antes do enchimento do reservatório.

Num outro enfoque, a análise de correlação entre a concentração de sedimentos em suspensão e os índices de turbidez foi atualizada com os dados dos dois últimos semestres de monitoramento. O comportamento do índice de turbidez é retratado pelas medições em tempo real efetuadas em dois sensores instalados no corpo do reservatório e na margem direita do rio Madeira a jusante do aproveitamento de Jirau, resultando em um histórico observado desde o início do enchimento do reservatório. As Figuras 5.5-1 e 5.5-2 apresentam a evolução da turbidez nestes dois locais no período de novembro de 2015 a março de 2016.

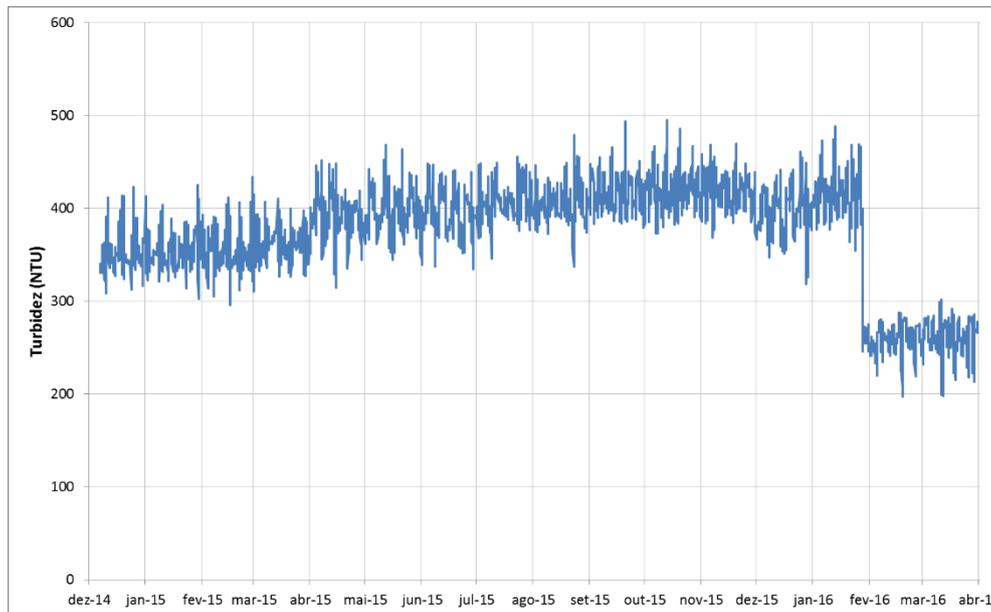


Figura 5.5-1: Monitoramento da Turbidez no Corpo do Reservatório

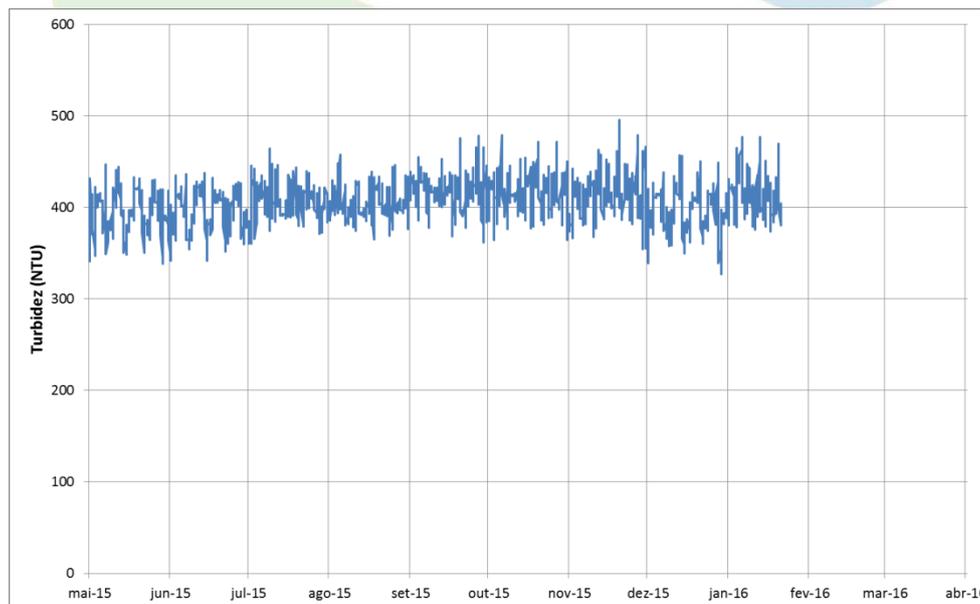


Figura 5.5-2: Monitoramento da Turbidez no Rio Madeira a Jusante do Reservatório

Os resultados ratificam a tendência verificada nos relatórios anteriores, quando a turbidez permaneceu desde maio de 2014 entre os níveis de 200 e 500 NTU. Especificamente no período de novembro a março, no reservatório a turbidez permaneceu oscilando entre uma faixa de 330 a 500 NTU, enquanto a jusante esta faixa foi de 350 a 480 NTU, aproximadamente.



Para análise de correlação com os sedimentos em suspensão, foram utilizados os dados do sensor a jusante da usina, no qual pode-se observar uma faixa estreita de variação da Turbidez.

Num outro enfoque, foram consideradas as medições de descarga sólida realizadas na estação Porto R4, no período de maio de 2015 a fevereiro de 2016. Em cada data de medição, foram identificados os valores máximo e mínimo das concentrações de sedimento determinados em cada uma das 10 (dez) verticais de coletas de material em suspensão, tendo sido calculado o valor médio. A Figura 5.5-3 apresenta os resultados.

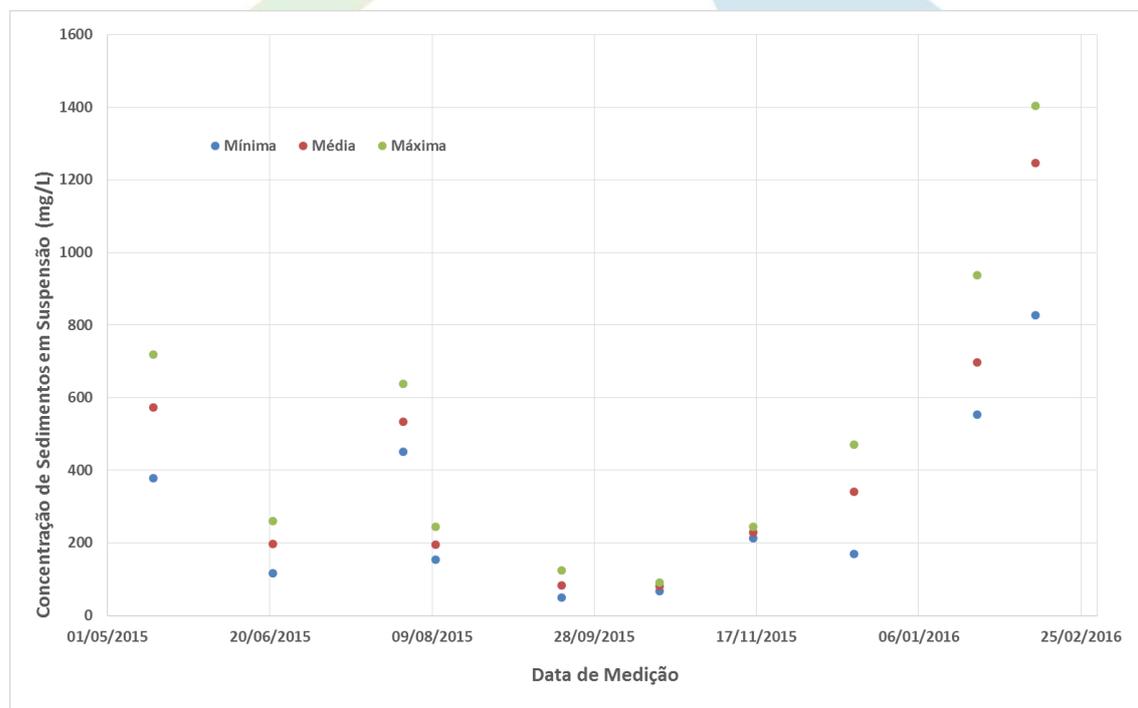


Figura 5.5-3: Concentração de Sedimentos em Suspensão a Jusante Medida em 10 Verticais

Analisando o gráfico, observa-se que a diferença entre os valores máximo e mínimo entre as verticais em uma determinada medição varia ao longo do ano. A maior concentração de sedimentos em suspensão medida foi 1.405 mg/L (vertical 3), em 25/02/2016.

A partir das séries de vazões médias diárias e da correlação entre a concentração de sedimentos em suspensão e a descarga líquida medida na estação Porto R4, foi possível simular a uma série diária de concentração de sedimentos em suspensão a jusante da barragem, apresentada na figura a seguir.

Percebe-se que os valores médios diários simulados, desde outubro de 2013, não ultrapassaram 1.800 mg/L.

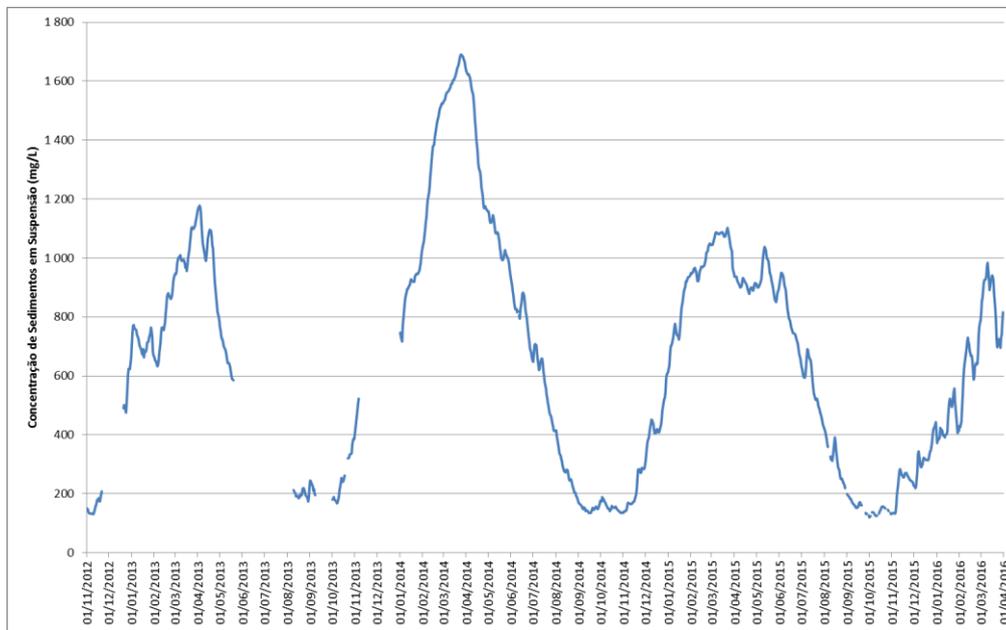


Figura 5.5-4: Simulação da Evolução Temporal das Concentrações de Sedimento em Suspensão na Estação UHE Jirau – Porto R4

5.6 Levantamento de Perfis de Linha d'Água

No PMH foi prevista a realização de campanhas trimestrais de medições de linha d'água, com os menores intervalos de leitura possíveis, de modo a configurar perfis instantâneos de linha d'água, distribuídos de modo a caracterizar os regimes de enchente, cheia, vazante e seca. Os resultados destes levantamentos serão utilizados no aprimoramento da modelagem dos processos hidrossedimentológicos, desenvolvida no âmbito do Programa.

O conjunto das 8 (oito) estações fluviométricas, equipadas com sensor automático e registro horário, e mais 8 (oito) estações limnimétricas, com observador local e leitura de régua duas vezes ao dia, permitiram a elaboração de perfis de linha d'água diários.

Considerando as datas em que foram realizados os levantamentos nas seções de controle batimétrico, foram elaboradas as Figuras 5.6-1 e 5.6-2 que apresentam os perfis de linha d'água no período anterior e posterior à operação do empreendimento.

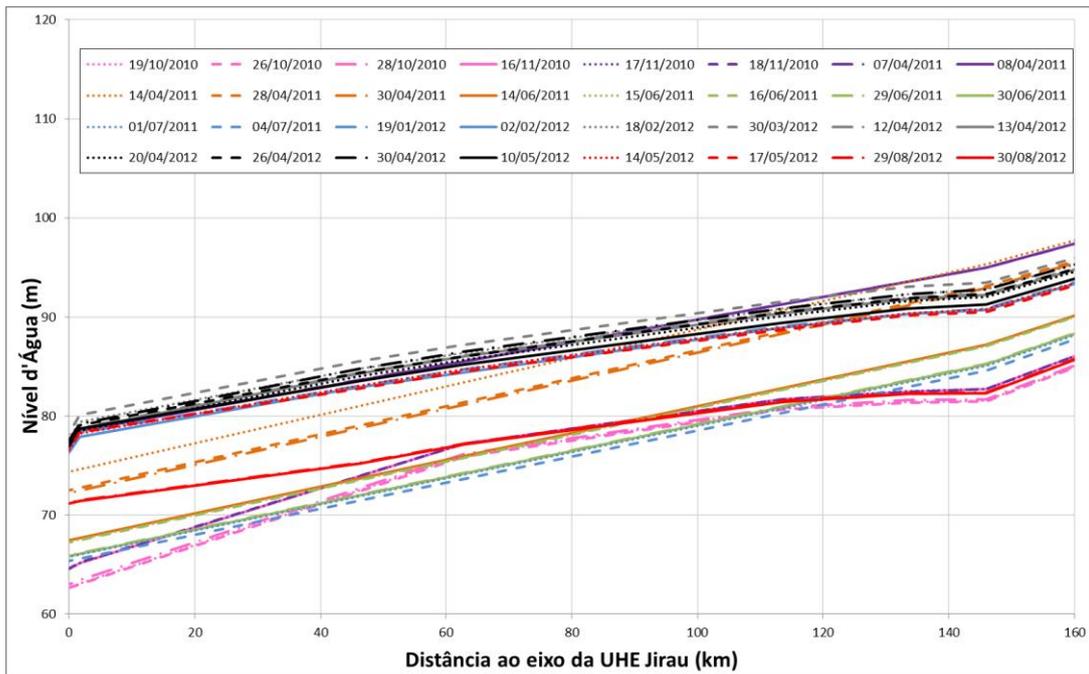


Figura 5.6-1: Perfis de Linha d'Água anteriores à Operação da UHE Jirau

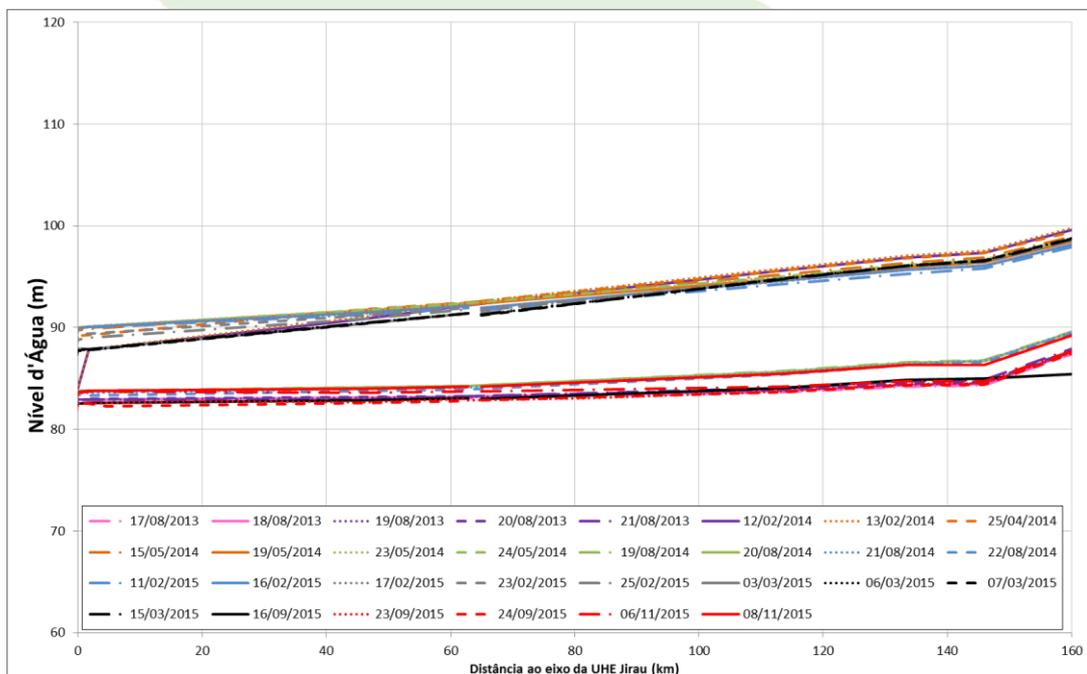


Figura 5.6-2: Perfis de Linha d'Água posteriores ao início da Operação da UHE Jirau

6 INDICADORES

Conforme previsto no PBA, dos indicadores a serem acompanhados pelo Programa citam-se as medições de descarga líquida e sólida nos postos fluviométricos, as avaliações dos volumes de sedimentos afluentes e a modificação do volume do reservatório, a avaliação de retenção de sedimentos e resultados das modelagens.

Neste contexto, foram realizadas até o momento 1046 medições de descarga líquida e 1040 medições de descarga sólida, contemplando o período de junho de 2009 a março de 2016. As medições foram realizadas nas estações fluviométricas pertencentes à rede estabelecida para o Programa, conforme descrito no item 5.3 deste relatório.

Os parâmetros de volume de sedimentos afluentes, a modificação do volume do reservatório e a retenção de sedimentos foram avaliados no modelo físico construído no Instituto SOGREAH e detalhados por meio de modelagem matemática desenvolvida pela COPPE/UFRJ, através da aplicação da ferramenta SisBaHiA, conforme resultados apresentados nos relatórios semestrais anteriores.

Do PMH da Fase da Operação, podem ser destacados como indicadores: as alterações na perda de eficiência de retenção de sedimentos; as alterações na concentração de sedimento em suspensão transportado e as alterações no perfil da linha d'água de remanso.

7 INTERFACES

O Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico tem sido desenvolvido considerando, também, as recomendações da Agência Nacional de Águas (ANA) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A rede inicial de monitoramento hidrossedimentológico da UHE Jirau foi expandida com a instalação e operação das estações telemétricas.

Todos os dados coletados, referentes às campanhas de descarga líquida e sólida e leituras de régua diárias – por sensor telemétrico ou observação duas vezes ao dia - estarão disponibilizadas para cadastro no banco de dados da ANA, servindo assim de consulta pública aos usuários interessados.



Considerando a inter-relação do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico com outros programas ambientais da UHE Jirau, citam-se as seguintes interfaces:

- Programa de Recuperação de Áreas Degradadas, no qual as informações hidrológicas são vitais para determinação das ações, tais como períodos de exposição, ressecamento do solo e áreas de plantio, dentre outros;
- Programa de Monitoramento de Pontos Propensos a Instabilização de Encostas e Taludes Marginais, para o qual as informações hidrossedimentológicas indicam, além dos períodos de exposição dos taludes marginais, o aporte de sedimentos e velocidades da água, agentes dos processos erosivos;
- Programa de Monitoramento Limnológico, no qual a determinação das descargas líquidas e sólidas permite compreender e antecipar eventos de maior ou menor variação dos padrões de qualidade da água e sua interação com a fauna/flora aquática. Nesta interface citam-se também os parâmetros monitorados no âmbito do Programa de Monitoramento Limnológico e relacionados ao transporte de sedimentos, tais como: Índice de turbidez, Cor, Transparência, Sólidos Totais Dissolvidos, Sólidos Totais, Sólidos Suspensos Totais, percentuais de sedimentos coesivos silte e argila e não coesivos representados pelas areias finas e grossas que são obtidas através das campanhas rotineiras. Dos parâmetros monitorados destaca-se o índice de turbidez que tem relação direta com as concentrações de sedimentos em suspensão.
- Programa de Conservação da Ictiofauna, considerando que a água é o habitat dessa fauna específica e, portanto, as informações hidrossedimentológicas descrevem o ambiente ao qual estão habituados esses animais.

8 ATENDIMENTO AO CRONOGRAMA

O cronograma apresentado a seguir contempla as atividades definidas e realizadas desde o início do Programa, em junho de 2009, assim como as atividades futuras, que serão realizadas em etapas posteriores. Na atual fase do empreendimento, o Programa tem duração estimada de 05 (cinco) anos após o início da operação do empreendimento.

Destaca-se que as atividades vêm sendo desenvolvidas dentro dos prazos pré-estabelecidos, considerando não só as atividades de levantamento de dados previstas no Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico, como também as atividades de escritório para análise dos dados e os trabalhos de inspeções periódicas das estações, que visam resguardar a sua integridade e a qualidade das informações.

O cronograma do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico, juntamente com o *status* de atendimento do mesmo encontra-se apresentado no **Quadro 8-1**.



Quadro 8-1 – Cronograma de Atividades do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

Item	Atividade	P/R	ANO 1				ANO 2				ANO 3				ANO 4				ANO 5				ANO 6				ANO 7			
			T1	T2	T3	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
PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO DO AHE JIRAU																														
1	Operação dos Postos Fluviométricos Existentes	P	[Bar chart showing planned (blue) and realized (green) activities across 28 time periods]																											
2	Instalação dos Postos Fluviométricos	P	[Bar chart showing planned (blue) and realized (green) activities across 28 time periods]																											
3	Definição da Rede Telemétrica e Instalação dos Equipamentos Telemétricos	P	[Bar chart showing planned (blue) and realized (green) activities across 28 time periods]																											
4	Análise do Material Coletado nas Campanhas em Laboratório	P	[Bar chart showing planned (blue) and realized (green) activities across 28 time periods]																											
5	Campanhas de Ecobatimetria - Levantamento de Seção Batimétrica	P	[Bar chart showing planned (blue) and realized (green) activities across 28 time periods]																											
6	Levantamento de Processos Erosivos	P	[Bar chart showing planned (blue) and realized (green) activities across 28 time periods]																											
7	Análise de Consistência de Dados Fluviométricos e Sedimentométricos	P	[Bar chart showing planned (blue) and realized (green) activities across 28 time periods]																											
8	Cálculo das Descargas Líquidas e Sólidas	P	[Bar chart showing planned (blue) and realized (green) activities across 28 time periods]																											
9	Modelagem do Física / SOGREAH	P	[Bar chart showing planned (blue) and realized (green) activities across 28 time periods]																											
10	Modelagem Matemática / COPPE-UFRJ	P	[Bar chart showing planned (blue) and realized (green) activities across 28 time periods]																											
11	Cálculo do Balanço de Sedimento	P	[Bar chart showing planned (blue) and realized (green) activities across 28 time periods]																											
12	Banco de Dados Hidrossedimentológico	P	[Bar chart showing planned (blue) and realized (green) activities across 28 time periods]																											
13	Relatórios Mensais	P	[Bar chart showing planned (blue) and realized (green) activities across 28 time periods]																											
14	Relatório Final (Semestral)	P	[Bar chart showing planned (blue) and realized (green) activities across 28 time periods]																											

Previsto
 Realizado

9 CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA A FASE PÓS-RENOVAÇÃO DA LO

O Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico da UHE Jirau, elaborado para os 05 (cinco) primeiros anos após a entrada em operação do empreendimento, tem desenvolvido as atividades previstas, garantindo o atendimento aos objetivos e metas de forma bastante satisfatória.

A extensa rede de estações fluviométricas e seções transversais de controle batimétrico, associada a uma alta frequência de registros, alguns contínuos, e de campanhas de campo, permitiu alcançar o objetivo de monitorar a evolução do comportamento hidrossedimentológico do rio Madeira, no trecho do reservatório da UHE Jirau e mais um trecho a jusante, nesta fase de início da operação.

O acompanhamento intenso efetuado por meio de medições de descargas líquidas e sólidas nas estações fluviométricas permitiu ampliar de forma considerável a base de dados e, conseqüentemente, um maior aprofundamento do conhecimento do comportamento sedimentológico do rio Madeira.

Concluída essa etapa inicial, pode-se destacar 6 (seis) estações fluviométricas como relevantes: Porto R4 - monitora o trecho a jusante da usina; Barramento – monitora os níveis d'água junto à barragem; Abunã – monitora o reservatório e tem um histórico longo de dados; Jusante Rio Beni – monitora a afluência ao reservatório pelo rio Madeira; Morada Nova Jusante – monitora a afluência pelo rio Abunã; Guajará-Mirim – serve como segunda referência para afluência ao reservatório pelo rio Madeira e também tem um histórico longo de dados.

Do ponto de vista exclusivo do atendimento aos objetivos do PMH, 2 (duas) estações fluviométricas apresentaram contribuição reduzida. A estação Príncipe da Beira, no rio Guaporé, controla uma área de 244.841 km², equivalente a apenas 25% da área de contribuição ao barramento, e está localizada a uma distância de 632 km a montante do barramento e, superior a 400 km da entrada do reservatório de Jirau. As estações Guajará-mirim (609.000km²) e Jusante Rio Beni (917.000km²) estão situadas entre Príncipe da Beira e a entrada do reservatório, controlando áreas muito maiores da bacia hidrográfica até o barramento, 62% e 94%, respectivamente. A estação Nova Califórnia, no rio Abunã, controla uma área de apenas 12.000 km², equivalente a apenas 1,2% da área de contribuição ao barramento, e está localizada 400 km a montante do barramento, sendo que neste mesmo afluente está situada Morada Nova Jusante, com área de drenagem de 31.100 km².



Com relação ao acompanhamento dos sedimentos a jusante da usina, o parâmetro Turbidez medido em equipamento amostrador automático, localizado a jusante do barramento, não tem apresentado uma correlação robusta com a concentração de sedimentos. Propõe-se que o monitoramento dos sedimentos em suspensão a jusante se concentre nas medições de descarga sólida na estação hidrossedimentométrica Porto R4. Essas medições deverão ser realizadas mensalmente e a concentração do material em suspensão deverá ser determinada em cada uma das 10 (dez) verticais.

As medições de descarga sólida nas outras estações hidrossedimentométricas deverão seguir os procedimentos usualmente adotados, no qual as sub-amostras obtidas em cada vertical são combinadas, de modo a permitir uma única amostra composta, cuja análise representa a concentração média da seção. Desta forma, a análise dos resultados ficará mais objetiva, facilitando especificamente a aplicação destas informações nos cálculos de descarga sólida em suspensão e descarga sólida total. Para isso, deve-se respeitar a proporcionalidade entre os volumes de cada amostra a partir do cálculo de velocidade de trânsito para cada zona amostrada, conforme recomenda Carvalho (2008).

Importantes contribuições foram dadas pela execução do Programa, principalmente na aplicação inédita de modelos físicos sedimentométricos, o que permitiu ampliar e estabelecer conhecimentos da distribuição dos sedimentos em corpos hídricos em condições naturais (Fase Rio) e alterados pela presença do barramento da UHE Jirau (Fase Reservatório), avaliados de forma sistemática com uso de modelo reduzido.

O desenvolvimento e aplicação de um modelo matemático hidrodinâmico e sedimentométrico, aplicado às condições reais levantadas em campo, caracteriza um enorme avanço ao planejamento e operação de aproveitamentos hidrelétricos. Essa ferramenta está sendo atualizada com os dados obtidos na fase de operação e estará disponível para o empreendedor e os órgãos ambientais, permitindo avaliar condições atuais e futuras, além de subsidiar tomadas de decisão, no tocante ao acompanhamento evolutivo da sedimentação no rio Madeira e no reservatório da UHE Jirau.

Os resultados obtidos até a presente data permitem a observação e comparação do comportamento do rio Madeira e contribuintes antes do início do controle de níveis (Fase Rio) e no período posterior ao enchimento (Fase Reservatório).



As observações após o início da Fase Reservatório revelam alterações nos padrões sedimentológicos e batimétricos principalmente nos locais monitorados nas proximidades do barramento da UHE Jirau, a montante e a jusante do mesmo.

Foram observadas as alterações esperadas nos padrões de nível d'água no trecho fluvial do reservatório, tendo em vista o controle exercido pela operação do aproveitamento hidrelétrico. Na estação UHE Jirau – Porto R4, as medições de descarga líquida indicam o efeito de remanso provocado pelo reservatório da UHE Santo Antônio.

Ressalta-se que as observações registradas no período compreendido entre novembro de 2013 e abril de 2014 representaram um cenário de vazões recordes. Configurou-se neste período um comportamento hidráulico completamente anômalo do rio Madeira, com vazões e níveis d'água, taxas de transporte e deposição de sedimentos atípica, sendo difícil comparar com períodos anteriores, devido exclusivamente à falta de outro período com características semelhantes às experimentadas.

Neste contexto, os registros entre novembro de 2013 e abril de 2014, correspondem a um excelente retrato de comportamento do rio Madeira em condições extremas, as mais extremas já registradas e estudadas de fato. Diante da magnitude deste evento, que coincidiu com o enchimento do reservatório, algumas questões sobre o comportamento desse corpo d'água em sua fase de reservatório com condições hidrológicas dentro dos padrões normais precisam ser verificadas no decorrer do monitoramento.

No período mais recente, de novembro de 2015 a março de 2016, foi verificada redução das taxas de concentração de sedimentos em suspensão, principalmente no trecho de jusante, sinalizando uma tendência de comportamento.

Desta forma, espera-se que as ações do Programa a serem continuadas ao longo da operação da UHE Jirau venham consolidar os resultados obtidos através da modelagem matemática e do modelo físico, subsidiando a avaliação da operação hidráulica e energética do empreendimento.



9.1 Proposta de Cronograma para a fase pós-renovação da LO

A proposta de cronograma do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico para a fase de pós-renovação da LO encontra-se apresentado no **Quadro 9-1**.



Quadro 9-1– Proposta de cronograma de atividades do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico

Item	Atividade	P/R	7	ANO 8				ANO 9				ANO 10				ANO 11				ANO 12			
			T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO DO AHE JIRAU																							
1	Operação dos Postos Fluviométricos Existentes	P	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
		R	█																				
2	Instalação dos Postos Fluviométricos	P																					
		R																					
3	Definição da Rede Telemétrica e Instalação dos Equipamentos Telemétricos	P																					
		R																					
4	Análise do Material Coletado nas Campanhas em Laboratório	P	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
		R	█																				
5	Campanhas de Ecobatimetria - Levantamento de Seção Batimétrica	P					█					█					█					█	
		R																					
6	Levantamento de Processos Erosivos	P			█	█	█	█	█														
		R																					
7	Análise de Consistência de Dados Fluviométricos e Sedimentométricos	P	█																				
		R																					
8	Cálculo das Descargas Líquidas e Sólidas	P	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
		R																					
9	Modelagem do Física / SOGREAH	P																					
		R																					
10	Modelagem Matemática / COPPE-UFRJ	P																					
		R																					
11	Cálculo do Balanço de Sedimento	P																					
		R																					
12	Banco de Dados Hidrossedimentológico	P	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
		R	█																				
13	Relatórios Mensais	P	█																				
		R	█																				
14	Relatório Final (Semestral)	P	█		█		█		█		█		█		█		█		█		█		█
		R																					

█ Previsto
█ Realizado



10 EQUIPE TÉCNICA

NOME	CARGO	CTF/ÓRGÃO DE CLASSE	ASSINATURA
Arthur Prado Barboza	Engenheiro Ambiental	2014134559	
Jonatas Costa Moreira	Engenheiro Hidrólogo Sênior	34040-D	
Maria Clara Rodrigues Xavier	Engenheira Hidróloga Sênior	1981122392	
Mariana Chaves Barros	Engenheira Ambiental	2015114794	

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, N. O. (2008) Hidrossedimentologia Prática. 2ª edição. Interciência. Rio de Janeiro, Brasil.

GARCIA, M. (2008) Sedimentation Engineering: Theories, Measurements, Modeling and Practice: Processes, Management, Modeling, and Practice (Asce Manual and Reports on Engineering Practice No. 110). 1st edition. ASCE.



Rio de Janeiro, 01 de maio de 2016



Maria Clara Rodrigues Xavier

Maria Clara Rodrigues Xavier

Hicon Engenharia Ltda.