



FUNDAÇÃO  
**renova**

**PLANO DE MANEJO DE REJEITO**

**APLICAÇÃO PRELIMINAR DO TRECHO 12 – UHE RISOLETA NEVES**

**Outubro/2017**



**APLICAÇÃO PRELIMINAR DO TRECHO 12  
UHE RISOLETA NEVES**

Preparado por:



Belo Horizonte / 2017

## SUMÁRIO EXECUTIVO

Esse documento foi elaborado com o objetivo de apresentar as ações propostas para a execução da Fase 2 da UHE Risoleta Neves (UHE). Esse plano de trabalho visa demonstrar o andamento dos estudos hidrológicos e sedimentológicos, , monitoramentos específicos que irão compor o processo de tomada de decisão e como essas informações se relacionam com as atividades previstas do Plano de Manejo de Rejeito, específicas para esse trecho (Trecho 12).

Para cumprimento dos compromissos relativos à UHE, os projetos de recuperação ambiental foram divididos em 2 fases. As atividades previstas na Fase 1 foram sucintamente descritas, todavia as mesmas foram objeto de plano de trabalho específico. Em resumo as seguintes atividades foram ou estão em execução, relativas às atividades da Fase 1:

- Construção dos barramentos A, B e C;
- Dragagem dos 400 metros;
- Limpeza do canal a jusante da UHE Risoleta Neves;
- Enchimento do Reservatório;
- Recuperação do sistema da casa de máquinas;
- Estudos e análises das encostas do reservatório da UHE;
- Fechamento das áreas de disposição.

Para a Fase 2, foi realizada uma descrição dos estudos hidrológicos e sedimentológicos em andamento e previstos, cujo principal resultado será definir o volume a ser dragado visando garantir uma solução de longo prazo, para que ocorra a continuidade operacional da UHE. Serão considerados vários cenários de vida útil da usina, incluindo alternativas de manejo (cenários futuros). Concomitante aos estudos de avaliação do volume de rejeito, será realizada a caracterização ambiental da área com estudos de avaliação química e física do rejeito, avaliação de dados de monitoramentos, entre outros.

Após a conclusão desses estudos, está prevista a aplicação do processo simplificado de tomada de decisão, conforme previsto no plano de manejo de rejeito, com a apresentação das alternativas e a melhor decisão considerando diversos aspectos e impactos relacionados à alternativa selecionada. Mas a ação de remoção já foi previamente identificada como pertinente, sendo necessárias novas informações para definir o volume a ser removido.

**Palavras-chave:** Reservatório Risoleta Neves, Fase 1 e 2, volume de dragagem, Plano de Manejo.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução e objetivo .....</b>	<b>7</b>
1.1	Fase 1 .....	9
1.1.1	Barramento A .....	11
1.1.2	Barramento B .....	11
1.1.3	Barramento C .....	11
1.1.4	Dragagem dos 400 metros.....	11
1.1.5	Limpeza do canal a jusante da UHE Risoleta Neves .....	12
1.1.6	Plano de enchimento do reservatório .....	12
1.1.7	Recuperação do sistema da casa de máquinas .....	12
1.1.8	Estudos e análises das encostas do reservatório da Usina Hidroelétrica. .	13
1.1.9	Fechamento das áreas de disposição .....	14
1.1.10	Cronograma.....	16
1.2	Fase 2 .....	16
<b>2</b>	<b>DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS REALIZADOS .....</b>	<b>17</b>
2.1	Caracterização hidrológica .....	17
2.2	Caracterização hidrossedimentológica.....	18
2.3	Avaliação preliminar da vida útil da usina .....	18
2.3.1	Principais Resultados .....	18
<b>3</b>	<b>ESTUDOS PREVISTOS E/OU EM ANDAMENTO.....</b>	<b>20</b>
3.1	Estudos de modelagem .....	20
3.1.1	Calibração do modelo .....	21
3.1.2	Vida útil da usina sob vários cenários de manejo .....	22
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL .....</b>	<b>24</b>
4.1	Área de disposição do rejeito da Fase 2 – Fazenda Floresta.....	26

4.2	Monitoramentos Ambientais.....	28
<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO DO PLANO DE MANEJO DE REJEITO.....</b>	<b>30</b>
5.1	Cronograma proposto .....	35
<b>6</b>		

Anexo 1 - Cronograma

Anexo 2 - Estudo hidrológico e hidrossedimentológico

Anexo 3 - ART\_28027230172721986\_FRenova

## 1 Introdução e objetivo

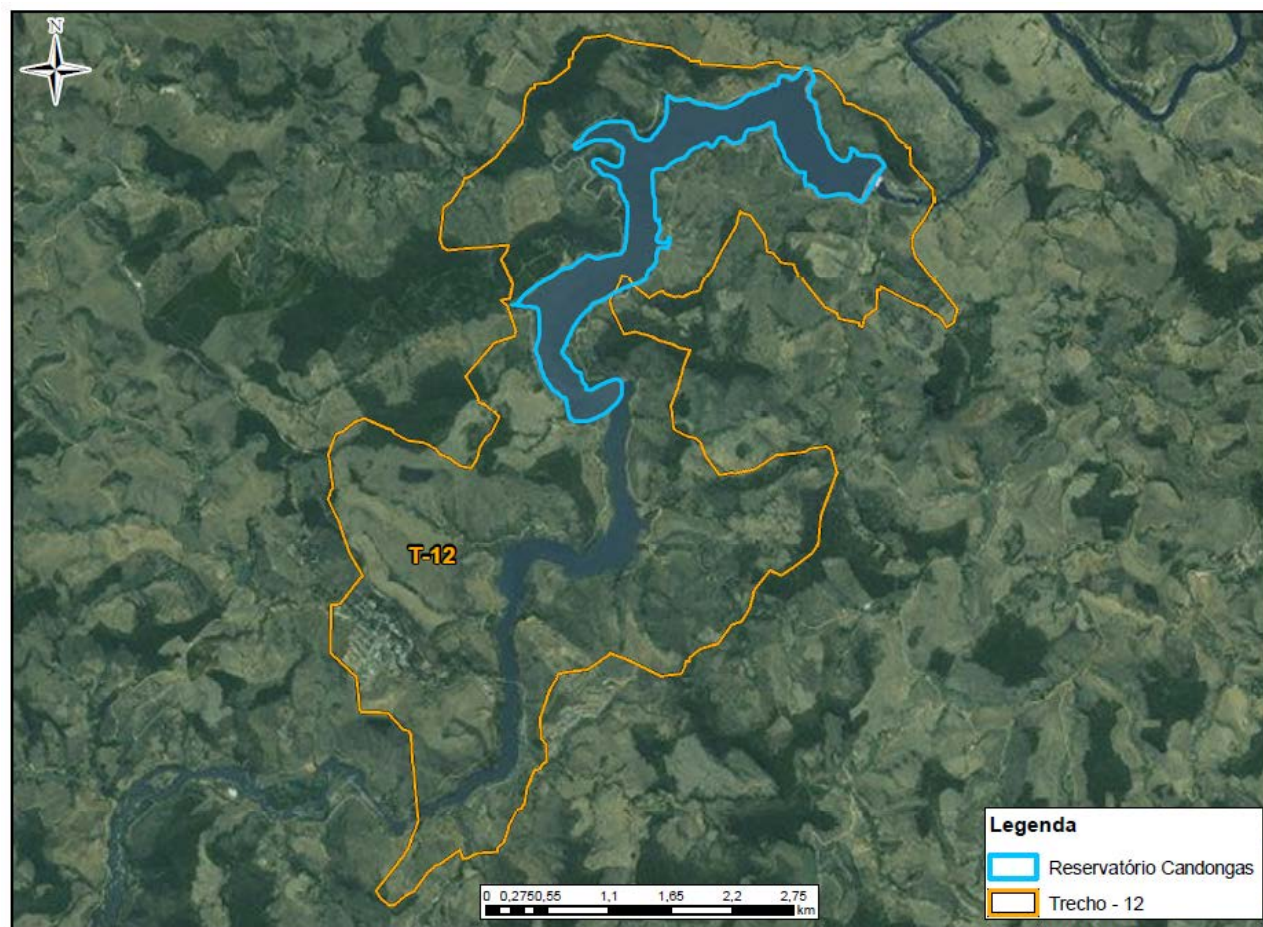
Conforme descrito no Plano de Manejo de Rejeito (Revisão 01), a área impactada em razão do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, no dia 05/11/2015, foi subdividida em 17 trechos. Dentre esses, o reservatório da UHE Risoleta Neves (Candonga) foi denominado como Trecho 12, separadamente de outros trechos, por apresentar características e compromissos específicos.

Esse documento foi elaborado com o objetivo de apresentar as ações propostas para a execução da Fase 2 da UHE Risoleta Neves. Esse plano de trabalho visa demonstrar o andamento dos diversos estudos hidrológicos e sedimentológicos, as atividades previstas do Plano de Manejo de Rejeito, específicas para esse trecho (Trecho 12) e estudos e monitoramentos específicos que irão compor o processo de tomada de decisão.

Esse documento incorpora e sumariza o Relatório elaborado pela Fundação Renova, denominado Plano de Trabalho – recuperação UHE Risoleta Neves – Candonga Manejo de Rejeito – Fase 2.

A **Figura 1-1**, mostra o Reservatório de UHE Risoleta Neves, com a delimitação do Trecho 12, adotado no Plano de Manejo de Rejeito.

Figura 1-1 – Localização do reservatório de UHE Risoleta Neves no Trecho 12.



Fonte: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGrid, IGN, and the Gis User Community (2014).

Dentre as obrigações previstas envolvendo a UHE Risoleta Neve podem ser descritas:

### **Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC)**

#### *SUBSEÇÃO II.2: Programa de recuperação do Reservatório da UHE Risoleta Neves;*

- ✓ CLÁUSULA 79: A FUNDAÇÃO deverá desenvolver um programa para tratar das ações necessárias ao desassoreamento do Reservatório da UHE Risoleta Neves e à recuperação das condições de operação da UHE Risoleta Neves.
- ✓ CLÁUSULA 80: Deverão ser desenvolvidas ações para o desassoreamento do Reservatório da UHE Risoleta Neves e para o reparo na infraestrutura da Usina Hidrelétrica, observado o acordo judicial celebrado com o MINISTÉRIO PÚBLICO

DO ESTADO DE MINAS GERAIS e com o ESTADO DE MINAS GERAIS em 6 de fevereiro de 2016 (processo n. 0024.15.086.405-6).

- ✓ CLÁUSULA 81: As ações de reparação deverão ser concluídas de acordo com PROGRAMA a ser aprovado pela FUNDAÇÃO, devendo o PROGRAMA ser mantido ativo até a efetiva retomada da operação da UHE Risoleta Neves, observado o referido acordo.

### **Termo de Acordo firmado entre a Samarco, o Consórcio Candonga e o MPE-MG em 10/06/2016:**

- ✓ CLÁUSULA 8: A COMPROMISSÁRIA obriga-se a incorporar ao plano de dragagem eventuais sugestões a serem formuladas pelos COMPROMITENTES e/ou pela SEMAD, IBAMA, ANEEL e Defesa Civil ou a apresentar justificativa técnica para a não incorporação destas sugestões e obriga-se a executá-lo integralmente, nos estritos termos, condições e cautelas em que foi previsto, com envio de relatórios diários ao Ministério Público e aos referidos órgãos;
- ✓ CLÁUSULA 9: PARÁGRAFO PRIMEIRO: A lama e os demais rejeitos sólidos a serem retirados para cumprimento das obrigações previstas neste Termo deverão ser destinadas a local ambientalmente adequado para tal finalidade.

Para cumprimento dos compromissos relativos à UHE, os projetos de recuperação ambiental foram divididos em 2 fases, que serão descritas sucintamente abaixo:

#### **1.1 Fase 1**

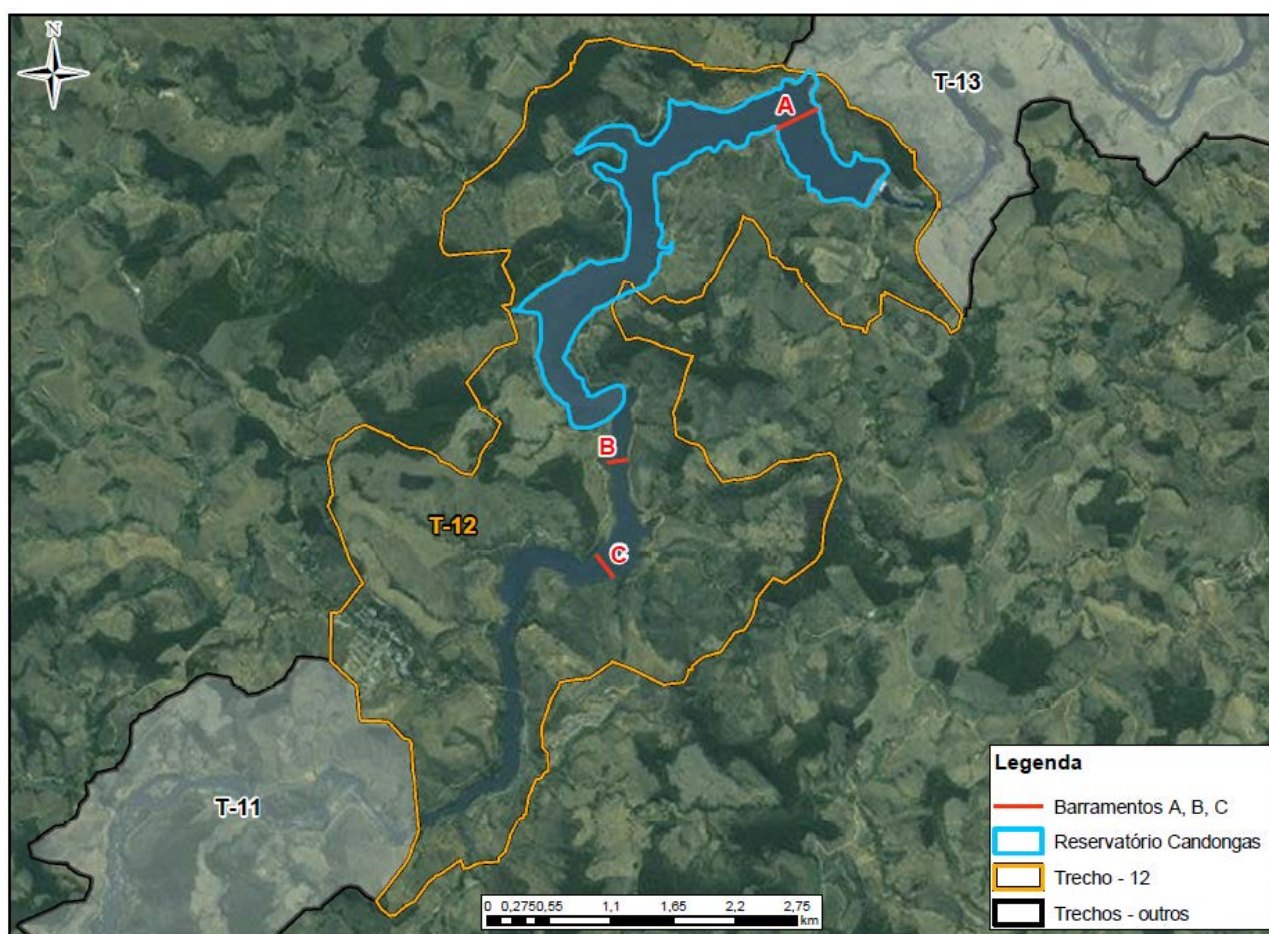
O principal objetivo da Fase 1 é a dragagem dos 400 metros a montante da Barragem UHE Risoleta Neves, visando garantir a conclusão da dragagem o mais breve possível, ganhos na qualidade da água a jusante do Reservatório (Cláusula 150) e condições para retorno operacional da UHE Risoleta Neves (Cláusula 80). Esse processo está em andamento, aguardando a definição da data de assinatura do TAC da Bacia 01 para então confirmação da data de finalização da Fase 01. Conforme os documentos protocolados junto à SEMAD nas datas de 10 (dez) de outubro e registrado na 19ª Reunião ordinária do CIF, a falta de finalização deste termo, impacta diretamente na data de cumprimento firmada junto à deliberação 80 do CIF de 27 (vinte e sete) de junho de 2017.

As principais atividades em execução para a implantação da Fase 1 de Candonga, Programa PG-09, serão descritas sucintamente a seguir, conforme Plano de Trabalho UHE Risoleta Neves.

Estruturas de controle já foram instaladas e estão em operação no reservatório, entre essas as barreiras metálicas, que são estruturas instaladas transversalmente ao lago, sendo prevista a construção de 03 (três) unidades ao longo do Rio Doce até a UHE Risoleta Neves. A primeira foi construída a 400 m (barramento A), concluída em agosto de 2017, a seguinte a 5,1 quilômetros (barramento B), concluída em abril de 2017 e a terceira a aproximadamente 6,5 quilômetros de distância até a usina (barramento C) em que já foi concluído o cravamento das estacas. O objetivo é impedir ou minimizar o aporte de sedimentos na região dos primeiros 400 m a montante da UHE, garantindo a câmara de carga da usina, permitindo a conclusão da dragagem na fase 1 e viabilizando a retomada da operação da usina.

A **Figura 1-2** apresenta a localização dos barramentos A, B e C.

**Figura 1-2** – Localização dos barramentos A, B e C.



**Fonte:** Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGrid, IGN, and the Gis User Community (2014).

### **1.1.1 Barramento A**

A 400 metros da UHE Risoleta Neves encontra-se instalada a Barreira Metálica A, considerada a mais importante para viabilizar a dragagem da área e, conseqüentemente, permitir o retorno operacional da usina. Em função da proximidade com o vertedouro, a barreira possui 250 metros de comprimento (margem a margem) e já se encontrando em operação. Os serviços de cravação de estacas do Barramento A foram concluídos em agosto/2017, com o fechamento definitivo do mesmo em setembro/2017.

### **1.1.2 Barramento B**

Em seguida encontra-se a Barreira Metálica B, distante 5,1 quilômetros da UHE Risoleta Neves. Os serviços de cravação de estacas do Barramento B foram concluídos em março/17, com o fechamento definitivo do mesmo em abril/2017. A Barreira B tem capacidade de contenção de sedimentos no fundo do reservatório num volume total de 1.300.000 m<sup>3</sup>.

### **1.1.3 Barramento C**

A primeira barreira à montante no Rio Doce é a Barreira Metálica C, distante cerca de 6,5 quilômetros da UHE Risoleta Neves. O barramento C desempenha um papel similar ao barramento B no sentido de prover, a partir da sua instalação, um local capaz de acumular um volume na ordem de 2.000.000 m<sup>3</sup>. As obras do barramento estão em andamento, com previsão de fechamento do rio em 30/10/2017, e conclusão dos serviços em dezembro de 2017. Juntas as Barreiras B e C possuem uma capacidade de contenção de 3.000.000 m<sup>3</sup> de sedimentos.

### **1.1.4 Dragagem dos 400 metros**

Em paralelo à execução dos barramentos metálicos estão sendo executados os serviços de dragagem dos 400 m a jusante da UHE Risoleta Neves. Dados específicos sobre volume, áreas de disposição, caracterização do material e o método de dragagem são divulgados para os órgãos reguladores no contexto da Fase 1 e dentro do Programa PG-09.

### **1.1.5 Limpeza do canal a jusante da UHE Risoleta Neves**

Para possibilitar a retomada da operação da UHE Candonga será necessário realizar a limpeza do canal a Jusante da usina. Serão utilizadas bombas submersíveis para transportar os sedimentos de jusante para montante, dentro da área dos 400 metros, sendo posteriormente dragado para as estruturas da Fazenda Floresta. O nível de sedimentos atualmente encontra-se na cota El. 275,00 e tem um volume estimado de dragagem de 25.000,00 m<sup>3</sup>. O prazo de conclusão desta atividade é 31/05/2018.

### **1.1.6 Plano de enchimento do reservatório**

Foi estabelecida a data de 18/07/2017 como data-alvo para a conclusão da dragagem o que vai possibilitar o início do enchimento definitivo do reservatório, visando mitigar questões ambientais e contribuir com os trabalhos de reabilitação da UHE. Após a conclusão da Fase 1 e retomada da operação da usina pelo Consórcio Candonga, fica sob responsabilidade da Fundação Renova, manter as condições para continuidade de operação da mesma.

Foi elaborado um Plano de Enchimento do Reservatório da UHE Risoleta Neves, elaborado pela SPEC Planejamento, Engenharia e Consultoria de Outubro de 2017. Este documento também será encaminhado na presente data.

### **1.1.7 Recuperação do sistema da casa de máquinas**

Foi preparada pela Andritz (fabricante dos turbogeradores) e validada pela Aliança Energia (representante da Engenharia do Consórcio Candonga) uma proposta para a reabilitação das Unidades Geradoras, paradas desde o incidente do dia 06/11/2015.

Uma parada prolongada de equipamentos rotativos de alto desempenho é altamente danosa, ainda mais quando não houve tempo para eventuais ações de descomissionamento.

Os serviços consistem no levantamento de dados da operação, atividades de pré-inspeção, por meio da instalação e descida das comportas das ensecadeiras a montante e a jusante. Posteriormente, será realizada a desmontagem do sistema eletromecânico (sistema gerador, turbina e hidromecânico), e por meio de uma perícia, será providenciada a reabilitação dos equipamentos. Após esse processo será realizado o processo de comissionamento das mesmas para liberação para início do processo de geração de energia, após o enchimento do lago.

### 1.1.8 Estudos e análises das encostas do reservatório da Usina Hidroelétrica.

Foram realizados estudos e análises das encostas do reservatório da UHERisoleta Neves, pela empresa WALM, buscando não somente a sua caracterização, mas também verificar a estabilidade dos mesmos. Este levantamento busca definir os pontos para os quais serão previstas intervenções a serem realizadas antes do enchimento do reservatório da UHE Risoleta Neves, garantindo, dessa forma a segurança das encostas quando do enchimento do reservatório.

Este estudo considerou três etapas distintas de enchimento, sendo:

- ETAPA 1 – Elevação do reservatório para a cota 318 a montante do barramento metálico B;
- ETAPA 2 – Elevação do reservatório para a cota 322 a montante do barramento metálico; e
- ETAPA 3 – ETAPA FINAL, a que considera o fechamento das comportas da UHE Risoleta Neves, elevando o reservatório para a cota 327,50.

A partir da base topográfica disponibilizada pela SAMARCO foi elaborado o mapa de declividades para as encostas do reservatório da usina hidroelétrica Risoleta Neves. A área de influência do reservatório da UHE Risoleta Neves apresenta diversos pontos nos quais foram detectados indícios de movimentação quando do esvaziamento rápido do lago, possibilitando a passagem da onda de cheia proveniente da Barragem do Fundão em novembro de 2015. Assim sendo, foi realizada extensa campanha de mapeamento de campo para percorrer os acessos existentes às margens do reservatório e também percorrendo de barco as margens do reservatório, buscando identificar pontos que não pudessem ser inspecionados pelos acessos.

A partir do mapeamento de campo realizado, a etapa seguinte foi o preenchimento da planilha de risco – com indicação das principais características das encostas, visando à obtenção de dados suficientes para que os impactos referentes às encostas pudessem ser avaliados segundo os seguintes parâmetros:

- Financeiro;
- Não financeiro:
  - Saúde e segurança
  - Meio ambiente;

- Legal;
- Comunidade;
- Reputação.

Dos 75 pontos identificados na análise de risco, 16 (~21% do total) foram caracterizados como de risco alto, 10 (~13% do total) como de risco moderado e 49 (~66% do total) como de risco baixo.

Para os 26 pontos considerados de risco alto e moderado foram realizadas análises de estabilidade considerando quatro diferentes níveis de água (El. 313/315m, El. 318m, El. 322m e El. 327,5m).

Os resultados mostraram que a El. 322m do N.A. do reservatório é a mais crítica em termos de estabilidade das encostas. O FS (Fator de Segurança) das encostas tende a diminuir até o N.A. atingir a El. 322m, voltando a subir à medida que o N.A. continuar a subir.

As análises de estabilidade também indicaram que 10 pontos (~38% dos 26 pontos considerados de criticidade alta ou moderada) necessitarão de alguma intervenção de engenharia para que o Fator de Segurança (FS) mínimo exigido seja alcançado. Para estes casos, recomenda-se a execução de investigações geotécnicas específicas (sondagens e ensaios laboratoriais) para o desenvolvimento dos respectivos projetos em nível de detalhe.

As soluções propostas consistem basicamente de reforço no pé dos taludes com aterro ou solo reforçado (p.ex.: terramesh) ou, em alguns poucos casos, o retaludamento com a suavização do talude de corte.

### 1.1.9 Fechamento das áreas de disposição

Foram mapeadas as seguintes áreas para a disposição de resíduos provenientes da dragagem dos 400 metros. O **Quadro 1-1** Esse é o volume ainda disponível nos setores:

**Quadro 1-1** - Resumo dos setores de disposição de rejeito (informações atualizadas em 08/10/2017)

ITEM	SETOR	CAPACIDADE		STATUS	OBSERVAÇÕES
		ARMAZENAMENTO	(M3)		
1	Setor 1	15.000		Dragagem operando	
2	Setor 2	-		Estoque de material	Material estocado/canteiro da Parex
3	Setor 3	-		Dragagem operando	Bota fora de material seco
4	Setor 4	40.000			Volume com a remoção da paliçada e os BAG's
5	Setor 5	22.000		5A e 5C com dragagem operando	5B descomissionado
6	Setor 6	-		Dragagem operando	Bota fora de material seco
7	Setor 8	200.000		Em descomissionamento	
8	Setor 11 (fazenda floresta)	3.791.000		-	-
8.1	Bacia 1	42.000		Obras paralisadas	Área de APP
8.2	Bacia 2A	100.000		Obras em andamento	
8.3	Bacia 2 B	98.500		Obras em andamento	
8.3	Dique intermediário (el 354)	116.000		Obras em andamento	
8.4	Dique principal (el 375)	226.483		Obras não iniciadas	
8.5	Dique principal (el 390)	1.506.554		Obras não iniciadas	
8.6	Pilha 1	1.313.000		Obras não iniciadas	
	Pilha 2	2.478.000		Obras não iniciadas	

Fonte: UHE Risoleta Neves – Candonga Manejo de Rejeito – Fase 2 (2017)

Após o término de aproveitamento de cada setor com a disposição de sedimentos dragados do fundo do reservatório na área dos 400 metros, a Fundação Renova descomissionará, até a data do início de enchimento do reservatório, estes setores evitando, nos locais que serão alagados, a movimentação dos sedimentos dentro da área do reservatório. Já os locais que estiverem fora da cota

de alagamento, será providenciada a reabilitação do local com a elaboração de projetos executivos específicos para cada local. Atualmente, as obras de descomissionamento estão sendo executados nos setores 4, 5 e 8.

### **1.1.10 Cronograma**

O cronograma previsto para as ações proposta na Fase 1 consta no Anexo 1.

## **1.2 Fase 2**

O principal objetivo da Fase 2 é a implementação de um plano de dragagem do volume de sedimentos da área do reservatório, não dragados na Fase 1, visando garantir uma solução de longo prazo. Sua implementação, de um volume a ser determinado pelos estudos hidrosedimentológicos, ocorrerá através da criação de um ponto de dragagem de manutenção dentro do reservatório em local a ser determinado e que, terá a função de evitar o carreamento de rejeitos para dentro da câmara de carga da usina. Para a Fase 2, estão em andamento estudos específicos, que serão detalhados a seguir, que irão determinar o volume total a ser dragado, para que ocorra a continuidade operacional.

A Fase 2 também tem como premissa a utilização da Fazenda Floresta como local de disposição final do sedimento dragado de dentro do reservatório da UHE, com a disposição de sedimentos desaguados através da formação das pilhas.

Estão em andamento diversos estudos que irão embasar o processo de tomada de decisão, os próximos itens irão relatar os estudos já executados e propostos, bem como como esses dados serão incorporados ao Plano de Manejo e processo de tomada de decisão.

A partir da conclusão dos estudos e monitoramento em andamento, a proposta de manejo será reavaliada conforme previsto no fluxograma do Plano de Manejo de Rejeitos.

## 2 DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS REALIZADOS

Estão sendo desenvolvidos estudos hidrossedimentológicos e de hidráulica fluvial para o reservatório da UHE Risoleta Neves pela empresa Potamos Engenharia e Hidrologia Ltda.

Tais estudos estão sendo elaborados com objetivo de avaliar o impacto das frentes de assoreamento, sejam elas decorrentes de sedimentação natural e induzida pelo reservatório ou daquelas originadas a partir do rompimento da Barragem do Fundão (SAMARCO), ocorrido em novembro de 2015, nas curvas de remanso do rio Doce e na vida útil da usina. Os resultados dessa análise serão confrontados com os projetos e ações de dragagem e recuperação do volume do reservatório, atividades que vêm sendo empreendidas pela SAMARCO/RENOVA desde a data de ocorrência da ruptura da Barragem do Fundão.

O primeiro produto destes estudos é a compilação de dados, caracterização do regime hidrológico e hidrossedimentológico do rio Doce até o eixo da UHE Candonga. Este estudo (Anexo 2) apresenta uma síntese descritiva da metodologia e dos principais resultados dos estudos de caracterização hidrológica e sedimentológica do trecho fluvial do rio Doce que abrange a área de inserção da UHE Candonga.

### 2.1 Caracterização hidrológica

Os estudos hidrológicos englobam: (i) a análise de consistência das curvas-chaves das estações fluviométricas com disponibilidade de dados suficiente para análise, localizadas na região de abrangência da usina e operadas pela Agência Nacional de Águas (ANA); (ii) a restituição da série de vazões afluentes ao reservatório, a partir dos dados citados, bem como sua comparação com os registros de vazão monitorados pelo empreendedor; e (iii) a estimativa das vazões de cheia, associadas a diferentes períodos de retorno e que serão utilizadas nas simulações de avaliação da influência do reservatório nas curvas de remanso.

Esta avaliação segue os seguintes passos:

- Análise e Consistência dos Dados Básicos;
- Reavaliação da Série de Vazões Médias Mensais Afluentes à Usina; e
- Vazões Extremas Máximas.

## 2.2 Caracterização hidrossedimentológica

Os estudos hidrossedimentológicos englobam a análise e traçado de curvas-chaves de sedimentos e a estimativa da descarga sólida total afluyente ao reservatório, tomando por base os registros históricos da rede de monitoramento fluviométrico e sedimentométrico, existentes na bacia. Quando possível, também foram utilizadas, em caráter complementar, informações disponibilizadas pela rede de monitoramento do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e pela rede de monitoramento quali-quantitativa operada pela RENOVA.

Esta avaliação segue os seguintes passos:

- Caracterização Regional da Bacia quanto à Produção de Sedimentos;
- Caracterização Hidrossedimentológica do Trecho Fluvial de Interesse;
  - Caracterização com base nos dados de monitoramento sedimentométrico;
  - Caracterização preliminar com base nos dados de batimetria.

## 2.3 Avaliação preliminar da vida útil da usina

A partir da nova série de vazões médias mensais afluentes ao eixo da UHE, bem como nova taxa de aporte de sedimentos totais afluentes ao reservatório, foi realizada uma reavaliação da vida útil da usina e do reservatório.

Esta avaliação segue os seguintes passos:

- Cálculo do Peso Específico Aparente de Sedimentos;
- Cálculo da Eficiência de Retenção Inicial de Sedimentos; e
- Estimativa do Tempo de Assoreamento e Vida Útil da Usina.

### 2.3.1 Principais Resultados

Os estudos de caracterização hidrológica e hidrossedimentológica do rio Doce até o eixo da UHE Candonga indicaram que a vazão média de longo termo afluyente ao eixo da usina é da ordem de 163 m<sup>3</sup>/s e os quantis de cheia para 2, 100 e 10.000 anos são respectivamente iguais a 740 m<sup>3</sup>/s, 2327 m<sup>3</sup>/s e 4196 m<sup>3</sup>/s. Tais dados diferem dos valores constantes nos estudos de Projeto Básico da usina seja pela extensão de período de dados considerados ou em virtude dos métodos aplicados.

O aporte de sedimentos afluentes ao reservatório foi estimado, em nível preliminar, em cerca de 3,20 Mm<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/ano, cerca do dobro daquele estimado nos estudos de Projeto Básico. No entanto esse valor é coerente com as informações preliminares obtidas a partir dos levantamentos batimétricos, considerando a eficiência inicial de retenção desse material de aproximadamente 47%. Com estes valores, ter-se-ia uma vida útil para o reservatório (volume útil total) da ordem de 50 anos pelo método de Churchill e entre 100 a 150 anos pelo método de Brune.

Considerando a utilização do método empírico de redução de áreas, a cota de segurança para proteção das máquinas (El. 297,00 m) e a cota da tomada de água seriam atingidas em 14 anos e 28 anos, respectivamente. Esses resultados indicam, em média, que a partir de 14 anos de operação e desconsiderando o evento de ruptura da Barragem de Fundão, poderia haver algum tipo de comprometimento na operação do circuito hidráulico de geração.

Os dados de batimetria do reservatório, anteriores ao evento de ruptura da Barragem do Fundão e atuais, indicam uma taxa anual de retenção de sedimentos da ordem de 1,10 Mm<sup>3</sup> e 1,90 Mm<sup>3</sup>, respectivamente. Considerando a taxa de eficiência de retenção da ordem de 47% e o peso específico de sedimentos adensado e correspondente a 14 anos de operação, estariam aportando ao reservatório cerca de 3,30 Mm<sup>3</sup> (média dos dois períodos), valor coerente, em termos de ordem de grandeza, com os 3,20 m<sup>3</sup> estimados no presente estudo para o período anterior ao evento de ruptura. Os dados referentes ao período posterior ao acidente indicam aportes da ordem de 5,00 Mm<sup>3</sup>. Esse número, no entanto, deve ser melhor investigado durante a análise dos dados de levantamento disponíveis.

Estudos adicionais estão em andamento para a verificação dos resultados iniciais, conforme descrito no Item 3. Estudos Previstos e/ou Andamento.

### 3 ESTUDOS PREVISTOS E/OU EM ANDAMENTO

#### 3.1 Estudos de modelagem

O escopo dos trabalhos compreende a realização de estudos hidrossedimentológicos e de hidráulica fluvial aplicados ao reservatório da UHE Risoleta Neves, com objetivo de avaliar o impacto das frentes de assoreamento nas curvas de remanso do rio Doce e na vida útil da usina, sejam essas frentes decorrentes de sedimentação natural e induzida pelo reservatório ou daquelas que se originaram a partir do rompimento da Barragem do Fundão, em contraposição às ações de dragagem e recuperação do volume do reservatório que vêm sendo empreendidas pela SAMARCO/RENOVA desde aquela data.

Especificamente, pretende-se avaliar o regime de assoreamento natural do reservatório, tanto aquele considerado à época dos estudos de viabilidade e projetos da usina quanto o que vinha sendo registrado nos monitoramentos realizados pela Consórcio Candonga, anteriormente ao rompimento, de forma a se atualizar os estudos de remanso do reservatório para a condição prévia ao acidente.

Na sequência, serão avaliados os impactos sobre as curvas de remanso decorrentes do assoreamento promovido pelo rompimento, bem como avaliadas as interferências e efetividade das obras executadas e previstas sobre essas curvas e sobre a vida útil da usina, frente ao novo cenário de produção e transporte de sedimentos que se instalou na bacia afluente após o rompimento.

Os estudos de remanso serão executados considerando as seguintes vazões em trânsito pelo rio Doce e afluentes à UHE Risoleta Neves: a vazão média de longo termo (QMLT); vazões de cheias associadas a diferentes períodos de retorno (TR) notáveis (5, 10, 15, 25, 50, 100 e 1000 anos), e a vazão de projeto considerada no dimensionamento do sistema extravasor da barragem.

Os seguintes estudos e etapas estão previstos e serão executados:

- Modelagem de transporte de Sedimentos (anterior e posterior ao acidente);
- Prognóstico de Assoreamento do reservatório e avaliação da vida útil partindo de diferentes cenários (original, antes e depois do acidente e após dragagens);
- Avaliação do remanso do reservatório considerando os cenários atual e de prognóstico de assoreamento;

- Elaboração de mapas com limites das áreas inundáveis para os cenários e horizontes simulados;
- Elaboração de um plano de monitoramento hidrossedimentológico para controle do balanço de sedimentos e do assoreamento ao longo do reservatório e barreiras de contenção.

Questões a serem respondidas nos estudos:

- Qual a efetividade das obras de dragagem e das barreiras sobre a vida útil e operação da usina, considerando a cota operacional definida pela RENOVA?
- Como será o balanço de sedimentos no tempo para os cenários de análise?
- Como ordenar de forma mais efetiva as ações do plano de manejo de rejeitos no reservatório buscando mitigar os impactos na operação da usina?
- Qual o volume de rejeitos deverá ser removido no reservatório para restabelecer a vida útil da usina antes do acidente?
- Qual era a vida útil da usina antes do acidente?
- Quais as diretrizes operacionais podem ser adotadas para evitar a perda do volume útil que vier a ser restabelecido?
- Qual o impacto das frentes de assoreamento no risco de inundações da orla do reservatório? Quais as interferências esperadas?
- Qual ordenamento deverá ser buscado no uso e ocupação da orla do reservatório para mitigar esses riscos?

### **3.1.1 Calibração do modelo**

Para calibração do modelo de transporte de sedimentos em condições naturais, anteriores ao acidente, serão utilizados:

(i) os modelos digitais de terreno obtidos a partir das topobatimetrias disponíveis do reservatório correspondentes à etapa de projeto (antes da construção da usina) e da condição anterior à ocorrência do acidente;

(ii) os registros de monitoramento de descarga sólida e líquida e de caracterização de sedimentos das estações fluviométricas operadas pela SAMARCO, ANA e CPRM na bacia do rio

Doce e outras estações vizinhas, consideradas representativas para a descrição do regime hidrossedimentológico do rio Doce;

(iii) os registros diários de vazões defluentes da UHE, se disponíveis.

### 3.1.2 Vida útil da usina sob vários cenários de manejo

Serão considerados os seguintes cenários para os estudos de remanso e de avaliação do potencial de assoreamento do reservatório:

- Cenário Inicial, imediatamente após a formação do reservatório da UHE, tendo como base a geometria das seções correspondentes à etapa de projeto da usina. Neste cenário serão atualizados os estudos de remanso e delimitadas áreas inundáveis resultantes da formação do reservatório, sem efeitos de assoreamento. O objetivo deste cenário é validar as curvas de remanso apresentadas no projeto básico da usina;
- Cenário 2015, tendo como referência a geometria das seções levantadas na última campanha topobatimétrica disponível em data anterior a 05/11/2015, previamente ao rompimento da Barragem do Fundão. Neste cenário serão atualizados os estudos de remanso e delimitadas áreas inundáveis resultantes dos efeitos de assoreamento do reservatório, em decorrência do regime natural de geração e transporte de sedimentos pela bacia afluyente antecedente à época do levantamento;
- Cenário 2016, tomando como base as seções topobatimétricas obtidas a partir do primeiro levantamento batimétrico realizado após o rompimento da Barragem do Fundão e o término da estação chuvosa 2015/2016 e antes da execução das obras de dragagem do reservatório e/ou execução das Barragens A e B. Neste cenário serão atualizados os estudos de remanso e delimitadas áreas inundáveis resultantes dos efeitos de assoreamento do reservatório, em decorrência do assoreamento observado no cenário anterior e do aporte de sedimentos promovido pelo rompimento da Barragem do Fundão, permitindo-se o cômputo do assoreamento total (ou incremental) do reservatório em decorrência do acidente;
- Cenário Futuro 1, utilizando a geometria final das seções resultante do prognóstico de assoreamento do reservatório na condição de equilíbrio, a partir do Cenário Inicial, na hipótese de não ter ocorrido o rompimento da Barragem do Fundão. O objetivo deste cenário é reavaliar a vida útil da usina a partir de métodos mais avançados e atuais para

prognóstico de assoreamento de reservatórios e atualizar as curvas de remanso para a condição final prevista de assoreamento;

- Cenário Futuro 2, utilizando a geometria das seções resultantes das obras de dragagem e da implantação das Barragens A, B e C, imediatamente após a sua conclusão. Este cenário tem como objetivo avaliar as potenciais consequências iniciais das obras realizadas pela SAMARCO e RENOVA sobre as curvas de remanso;
- Cenário Futuro 3, utilizando a geometria final das seções resultantes do prognóstico de assoreamento do reservatório na condição de equilíbrio e após a implantação das Barragens A, B e C e execução da dragagem a jusante da Barragem A. Neste cenário serão executadas simulações computacionais de transporte de sedimentos até se alcançar a nova condição de equilíbrio após a implantação das barragens A, B e C e determinada a vida útil das respectivas estruturas e da usina.
- Cenário Futuro 4 (I, II, III e IV). Neste cenário será avaliada a vida útil da usina e das barragens A, B e C considerando a remoção do material depositado proveniente do rompimento da Barragem do Fundão no seguintes percentuais: 25% (Cenário 4I), 50% (Cenário 4II), 75% (Cenário 4III) e 100% (Cenário 4IV). Em todos os casos, a jusante da Barragem A, será considerada a superfície inicial resultante dos serviços de dragagem, conforme previsto em projeto.

## 4 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

Para a caracterização Ambiental da área, está proposto a obtenção de dados e compreensão abrangente dos programas socioambientais previstos no TTCA, além do PG-09. Essa caracterização irá seguir o descrito previsto no Plano de Manejo de Rejeito, respeitando as especificidades do Trecho 12. Os seguintes itens minimamente serão endereçados durante essa etapa, como mostra o **Quadro 4-1**.

**Quadro 4-1** – Características específicas do Trecho 12

<b>ASPECTOS FÍSICOS</b>	Tipo de depósito de rejeito
	Área impactada por tipo de depósito (ha)
	Levantamento planimétrico
	Espessura média do rejeito (m)
	Volume de rejeito (m <sup>3</sup> )
	Textura do material
	Composição do material
	Estratigrafia dos depósitos
	Potencial de erosão ou da ressuspensão de material
	Potencial de mobilização de metais
	Qualidade do ar (geração de poeira)
	Atributos da paisagem local (relevo predominante, nascentes, fragmentos de vegetação nativa, dentre outros)
	Ações de controle ambiental existentes
<b>ASPECTOS QUÍMICOS</b>	Qualidade da água superficial (turbidez, cor aparente, metais dissolvidos)
	Qualidade da água subterrânea (metais dissolvidos)
	Qualidade do solo (teor de metais)
	Qualidade dos sedimentos (teor de metais)
<b>ASPECTOS BIOLÓGICOS</b>	Ecossistema aquático (impactos na biodiversidade a longo prazo)
	Ecossistema terrestre (supressão de floresta nativa/ supressão de pastagem ou áreas antropizadas)
	Conectividade de habitats
	Potencial ecotoxicológico

<b>ASPECTOS FÍSICOS</b>	Tipo de depósito de rejeito
	Área impactada por tipo de depósito (ha)
	Levantamento planimétrico
	Espessura média do rejeito (m)
	Volume de rejeito (m <sup>3</sup> )
	Textura do material
	Composição do material
	Estratigrafia dos depósitos
	Potencial de erosão ou da ressuspensão de material
	Potencial de mobilização de metais
	Qualidade do ar (geração de poeira)
	Atributos da paisagem local (relevo predominante, nascentes, fragmentos de vegetação nativa, dentre outros)
	Ações de controle ambiental existentes
	Eficácia das ações de hidro-semeadura com levantamento das espécies preponderantes
<b>ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS</b>	Uso e ocupação do solo
	Uso da paisagem (praias, cachoeiras)
	Alteração de cota do terreno / drenagem
	Restrições legais (APP/Reserva legal)
	Uso da água
	Abastecimento (superficial ou subterrâneo)
	Dessedentação de animais
	Lazer de contato primário
	Pesca
	Irrigação
Geração de energia	
Navegação	

Os aspectos físicos relacionados à questão da espessura e volume de rejeito do reservatório serão estimados pelos estudos em andamento a serem realizados conforme descrito no Item 3.1.

Para os aspectos químicos, serão realizadas coletas de dados adicionais para a caracterização dos sedimentos. No trecho 12, objetivo desse documento foram previstos transectos, cuja localização será definida em campo.

Todos os dados coletados em campo, tais como pontos de amostragem, método de amostragem, localização, data e hora, condições do tempo, equipamentos utilizados, amostras coletadas, descrições das sondagens, características da área, fotos, coordenadas geográficas, croqui da área, serão documentadas nas fichas de campo.

Em alguns transectos ao longo do trecho 12 serão coletadas amostras para análises laboratoriais. Serão feitas análises químicas de metais e granulometria e comparados com os valores da CONAMA 454/2012.

#### **4.1 Área de disposição do rejeito da Fase 2 – Fazenda Floresta**

A Fazenda Floresta será a área de disposição do rejeito dragado da Fase II de Candonga. As obras para a implantação estão em andamento com conclusão prevista para Fevereiro de 2018.

Todas as obras na Fazenda Floresta e em Candonga foram realizadas de forma emergencial, portanto, não foram precedidas de licenciamento ambiental. O processo de regularização ambiental atualmente em andamento, é um processo de licenciamento corretivo. Os estudos ambientais já estão em andamento, com previsão de protocolo para Fevereiro/2018.

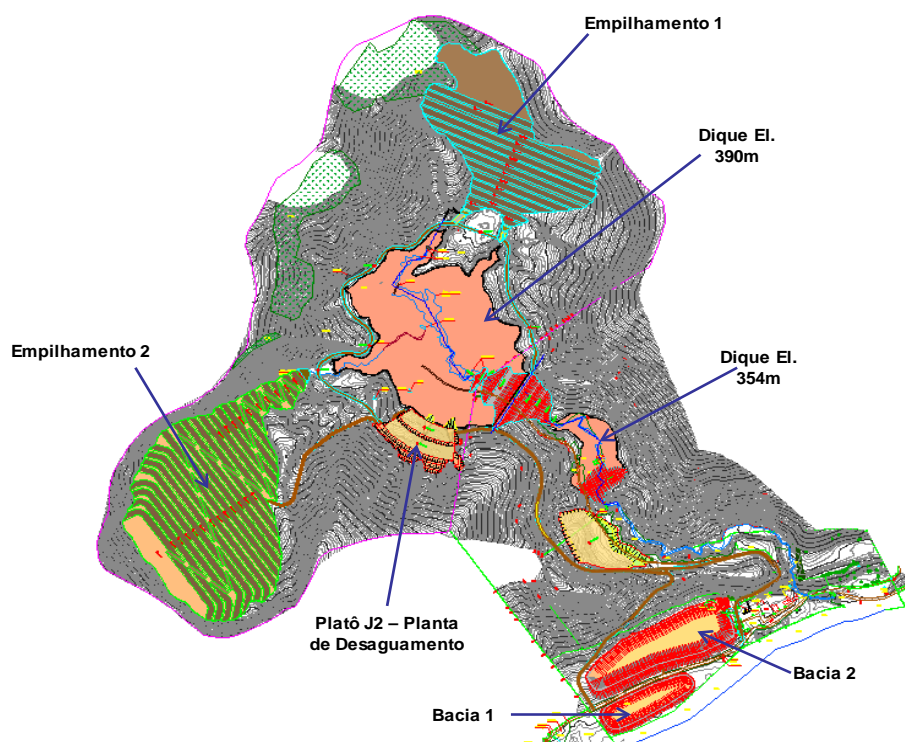
O licenciamento ambiental não diferencia Fase 1 de Fase 2, ele contempla todas as estruturas da Fazenda Floresta com sua capacidade total e os setores. O detalhamento das medidas de controle ambiental a serem implementados ainda está em andamento, com previsão de conclusão até Fevereiro/18.

As seguintes estruturas estão previstas na Fazenda Floresta, como mostra a **Figura 4-1**:

- Construção de um sistema de tratamento de efluentes, composto de duas bacias que desempenham um importante papel, também voltado para a garantia da qualidade da água, sendo a Bacia 1 e a Bacia 2 estruturas projetadas para o tratamento do efluente proveniente do processo de dragagem.

- Construção de dois diques, sendo um intermediário e um principal, ambos para disposição dos sedimentos dragados, na elevação 354 e 390. Importante observar que o dique principal será construído em 2 etapas, sendo a primeira etapa executado com núcleo em argila até a elevações 375, e a segunda etapa de construção a ser executada até a cota 390, com capacidades para bombeamento de 113.000 m<sup>3</sup> e 1.380.000 m<sup>3</sup> de rejeito, respectivamente. Para a execução do processo da dragagem definitiva para a Fazenda Floresta até a cota 390, será necessário o posicionamento de uma draga ou de uma estação de bombeamento no reservatório do dique intermediário para direcionamento dos sedimentos para o dique principal.
- Construção de duas pilhas de rejeito no sentido leste / oeste das áreas denominadas empilhamentos 1 e 2. Estes dois empilhamentos apresentam um volume geométrico na ordem de 3.700.000 m<sup>3</sup>.

**Figura 4-1** – Localização das estruturas da Fazenda Floresta



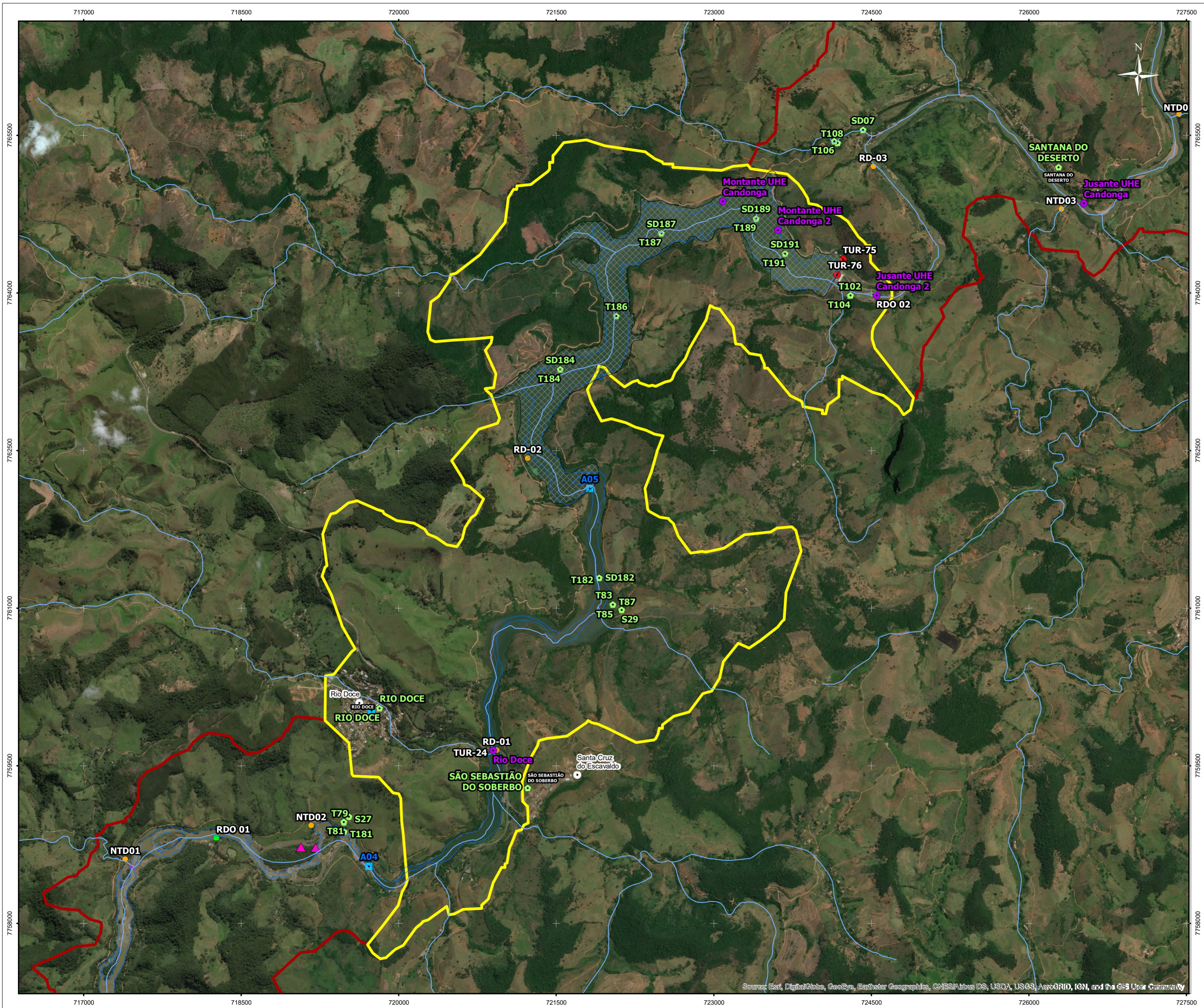
**Fonte:** UHE Risoleta Neves – Candonga Manejo de Rejeito – Fase 2 (2017).

## 4.2 Monitoramentos Ambientais

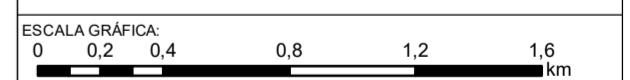
Os estudos realizados bem como os programas de monitoramentos que estão sendo executados especificamente dentro da área de abrangência do Trecho 12 correspondem aos destacados no **Quadro 4-2** e na **Figura 4-2**.

**Quadro 4-2** – Monitoramentos ambientais no trecho 12

# PG	PROGRAMA/ESTUDO	PARÂMETROS	TRECHO 12	EXECUÇÃO
PG 28	Programa de Monitoramento da Fauna Aquática	- Ictiofauna, perifíton, fitoplâncton, zooplâncton, macroinvertebrados bentônicos, invertebrados aquáticos, bentos e carcino/malacofauna - Qualidade da água	1 ponto (A05)	Início: 21/abril Entrega da 1ª campanha prevista para outubro/2017
PG 30	Programa de Monitoramento de Fauna Terrestre	Fauna, vegetação, solo	Não há área no T12	Monitoramento com previsão de início em dezembro/17
PG 38	Monitoramento de Turbidez diário (encerrado)	Turbidez	4 pontos	Monitoramento encerrado. A turbidez da água será monitorada pelo PMQQS/PMQQVAI
	PMQQS – Programa de Monitoramento Qualiquantitativo de Água e Sedimentos	- Água superficial - Sedimento - Estações Automáticas	1 ponto (RDO-02)	Início em Agosto/17
	PMQQVAI - Plano de Monitoramento Qualiquantitativo de Vigilância para Avaliação de Impactos	- Água Superficial - Sedimento	2 pontos	Início em Outubro/17
PG 17	Programa de Desenvolvimento Rural Sustentável	Recuperação dos viveiros de peixe	Não há área no T12	Monitoramento ainda não iniciado
PG023	Análise Geoquímica e obras na calha principal - Estudo de Avaliação dos Impactos no Meio Físico (Golder, 2016)	Análise de solo e sedimento para granulometria, metais e mineralogia	6 pontos (solo) 11 pontos (sedimento)	Estudo



- LEGENDA:
- Monitoramento Diário de Turbidez da Fundação Renova (encerrado)
  - Curso d'Água
  - ▭ Calha do Rio Doce
  - ▨ Reservatório Candongas
- COBACIA
- ▭ Áreas de Abrangência - Trecho
  - ▭ Áreas de Abrangência
- PG23 - Estudo Geoquímico Solo Sedimento (Golder)
- PG38 - PMQQVAI
- PG28 - Biodiversidade aquática (zooplâncton, fitoplâncton, ictofona, bentos e perifiton)
- PG25 - Pontos Fitossociológico (Levant.Florístico)
- PG25 - Turbidez/Tributários
- Tributários com Intervenção
- ▭ Área de Intervenção em Tributários
- Municípios / Distritos Afetados



NOTAS:

REFERÊNCIA:



TÍTULO:  
Monitoramentos realizados no Trecho 12

PROJETO: Plano de Trabalho - Candonga

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
	31/10/2017				

## 5 APLICAÇÃO DO PLANO DE MANEJO DE REJEITO

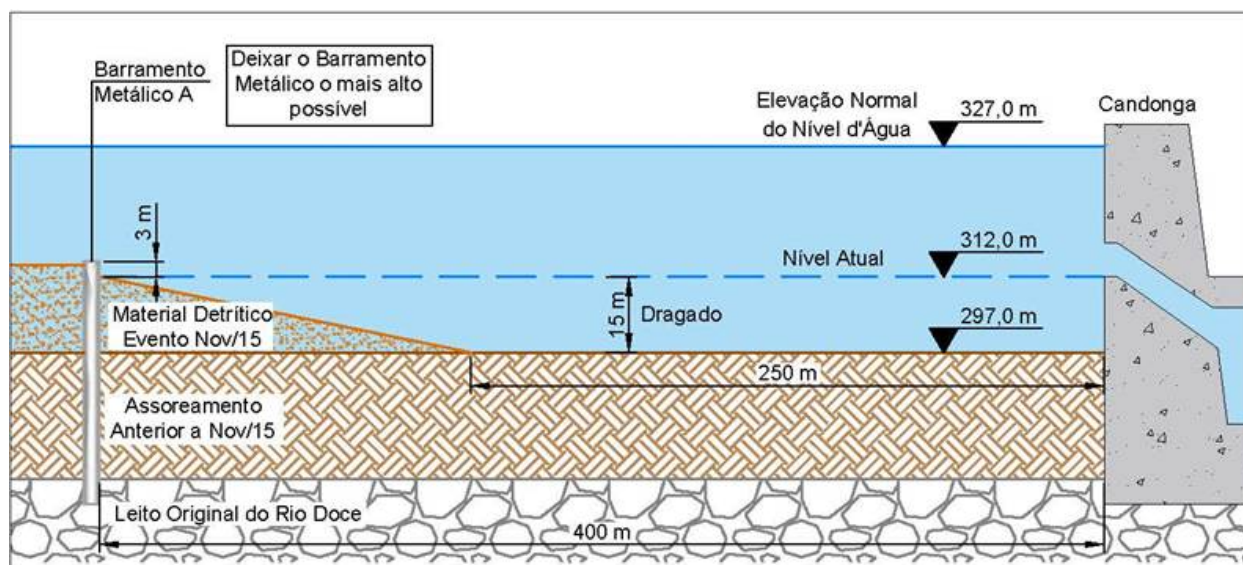
Foi proposto pelos órgãos ambientais um fluxograma para gerenciamento do Plano de Manejo de Rejeito, que será seguido na definição da alternativa do trecho 12, conforme fases previstas abaixo:

- Fase 1A – Caracterização ambiental da área afetada;
- Fase 1B – Complementação da caracterização ambiental da área afetada;
- Fase 2 – Tomada de decisão e seleção das alternativas de manejo;
- Fase 3 – Avaliação governamental da proposta apresentada;
- Fase 4 – Comunicação aos proprietários;
- Fase 5 – Implementação e monitoramento da alternativa selecionada.

Com os resultados dos estudos previstos de caracterização hidrológica, sedimentológica e ambiental e com a conclusão da modelagem (Fase 1A e 1B), a próxima etapa refere-se à tomada de decisão e seleção da alternativa de manejo (Fase 2), conforme a metodologia proposta. No processo de tomada de decisão será definido o objetivo, que nesse caso, refere-se a definir a melhor alternativa de manejo com os melhores resultados socioeconômicos e socioambientais, garantindo a operação intermitente da UHE Risoleta Neves.

A partir de janeiro de 2018, a operação da barragem da UHE exigirá que a elevação do nível d'água seja mantida em 327,0 m (elevação normal). Qualquer tecnologia selecionada para a remoção de sedimentos durante a Fase 2, precisa levar em consideração esta nova condição, ilustrada na **Figura 5-1**.

**Figura 5-1** – Situação no reservatório após Janeiro 2018.



Na avaliação de uma técnica de dragagem para um projeto, existem dois métodos principais para remoção de sedimento: dragagem mecânica e dragagem hidráulica. Para determinar o método mais efetivo para um projeto específico, a avaliação precisa considerar os requerimentos de manuseio, transporte, desidratação e disposição do material dragado. O Quadro 5-1 compara as diferentes técnicas de dragagem.

OPÇÃO DE TECNOLOGIA E/OU PROCESSO	DESCRIÇÃO	EFETIVIDADE	VIABILIDADE	CUSTO RELATIVO	COMENTÁRIO DA ANÁLISE
Dragagem Mecânica	A dragagem mecânica consiste tipicamente de uma caçamba suspensa ou manipulada (e.g., caçamba Clamshell) que coleta o sedimento e o eleva até a superfície por meio de cabo, vara ou escada. O sedimento é depositado em uma balsa transportadora ou outra embarcação de transporte para uma instalação de processamento ou local de disposição.	Boa	Fraca a Razoável	Médio a Alto	É possível que a dragagem mecânica pudesse ser utilizada ao longo do reservatório, entretanto, os níveis de turbidez seriam uma preocupação.
Dragagem Hidráulica	A dragagem hidráulica remove os sedimentos por sucção hidráulica. Os sedimentos são então bombeados através de uma tubulação para uma área intermediária (e.g., local de desidratação).	Boa	Razoável a Boa	Médio a Alto	A dragagem hidráulica é uma tecnologia de remoção efetiva, mas requer uma área intermediária para apoiar o processo. O volume de lodo produzido pela dragagem hidráulica seria significativamente maior do que o volume de sedimento gerado pela dragagem mecânica e o lodo requer maior desidratação e solidificação se comparado com os sedimentos removidos utilizando dragagem mecânica.
Dragagem Hidráulica (Dragflow)	Uma variação da dragagem hidráulica que pode ser encaixada com um envoltório para prevenir e minimizar a turbidez. Os sedimentos são então bombeados através de uma tubulação para uma área intermediária (e.g., local de desidratação).	Boa	Boa	Médio a Alto	A draga Dragflow é uma tecnologia de remoção efetiva, mas requer uma área intermediária para apoiar o processo. O volume de lodo produzido pela draga Dragflow seria significativamente maior do que o volume de sedimento gerado pela dragagem mecânica,

	<p>porém menor do que o gerado pela dragagem hidráulica padrão. Adicionalmente, o lodo produzido pela bomba da draga Dragflow tem maior conteúdo sólido do que pela dragagem hidráulica padrão, porém menos do que na dragagem mecânica. Portanto, requer mais desidratação e solidificação do que a dragagem mecânica, porém menos do que na dragagem hidráulica padrão.</p>
--	---

**Quadro 5-1 - Técnicas de dragagem**

A tomada de decisão na definição de cada um dos métodos de remoção de rejeitos para as diferentes áreas deve considerar os fatores listados a seguir:

- Características físicas e químicas do rejeito;
- Características geomorfológicas do local;
- Volume e distribuição;
- Acessibilidade do equipamento ao local de deposição do rejeito, infraestrutura existente, necessidade de construção de vias de acesso temporárias, remoção de vegetação;
- Distância da área de remoção até a área de disposição;
- Impactos gerados pelas atividades de remoção (elevação da turbidez, supressão da vegetação, emissões atmosféricas, etc.);
- Metodologia de transporte e disposição.

A definição das metodologias para cada etapa do processo deve levar em consideração as interferências e impactos decorrentes de cada atividade. Desta forma, para cada uma das configurações a serem implantadas, os seguintes impactos e interferências devem ser analisados:

- Impacto real na qualidade da água (turbidez, cor, sólidos em suspensão, oxigênio dissolvido, teor de metais, entre outros);
- Impacto na qualidade do ar (geração de poeira, emissão de gases, entre outros);
- Impacto por geração de ruído / vibração;
- Impacto da supressão de vegetação, incorrendo em alterações no habitat (fauna e flora) que possam ocasionar modificações permanentes;
- Interferência no bem-estar da comunidade circunvizinha, incluindo interferência na saúde e segurança da comunidade e impacto no trânsito e vias;
- Impactos socioeconômicos regionais e locais;
- Interferência na morfologia das planícies de inundação e da dinâmica fluvial;
- Impacto na qualidade do solo (desestabilização, erosão, entre outros);
- Impactos gerados na área de disposição dos rejeitos retirados;
- Impacto no volume de água consumido e produzido no processo.
- Entre outros.

No caso do reservatório de Candonga, as alternativas de manejo propostas podem ser resumidas na Dragagem dos sedimentos:

- Alternativa A: Remoção de todo o material detritico depositado dentro do reservatório de Candonga, oriundo da barragem de rejeitos do Fundão;
- Alternativa B: Nenhuma remoção do material detritico depositado dentro do reservatório de Candonga, além dos 400 metros (removidos durante a Fase I).
- Alternativa C: A remoção de um volume de sedimentos mínimo, a ser determinado pelos estudos hidrosedimentológicos, e, se necessário, a criação de um ponto de dragagem de manutenção dentro do reservatório num local a ser determinado que terá a função de evitar o carregamento de rejeitos para dentro da câmara de carga da usina.

Após a conclusão dos estudos, modelagens e caracterização ambiental será realizada a Aplicação do Plano de Manejo, com a descrição detalhada dos impactos previstos das atividades de dragagem do reservatório.

## 5.1 Cronograma proposto

O **Quadro 5-2** apresenta o cronograma que descreve as principais entregas previstas até a aplicação do plano de manejo:

**Quadro 5-2 - Cronograma**

ATIVIDADES	MESES						
	2017			2018			
	Out/	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
Modelo Conceitual de Transporte de Sedimentos e Avaliação de Assoreamento	X	X	X	X	X	X	
Caracterização Ambiental com os transectos e análises químicas					X	X	
Interface /Correlação com outros Programas						X	
Tomada de decisão e seleção das alternativas de manejo - Fase 2							X
Elaboração de Relatório de Aplicação do Plano de Manejo							X

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FUNDAÇÃO RENOVA. **Plano de Trabalho Recuperação UHE Risoleta Neves – Candonga Manejo de Rejeitos - Fase 2**. Belo Horizonte, 2017. 37 p.

POTAMOS ENGENHARIA E HIDROLOGIA. **UHE Risoleta Neves (Candonga) Avaliação do Impacto das Frentes de Assoreamento nas Curvas de Remanso do Reservatório**. 2017. 11 slides.

SAMARCO MINERAÇÃO S.A. **Germano – Geral Área Externa Uhe Candonga – Recuperação Do Reservatório Disposição De Rejeitos Dragados Memorial Descritivo – Comunicação De Ação Emergencial**. 2017. 80 p.

SPEC PLANEJAMENTO ENGENHARIA CONSULTORIA. **Sócio Ambiental 01 – Programa 24 – Sistema De Contenção De Rejeitos Santa Cruz Do Escalvado Relatório Técnico Plano De Enchimento Do Reservatório Da UHE Risoleta Neves**. 2017. 23 p.

## **Anexo 1**















## **Anexo 2**



FUNDAÇÃO  
**renova**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS FRENTES DE ASSOREAMENTO NAS  
CURVAS DE REMANSO DO RESERVATÓRIO DA UHE CANDONGA**

**Agosto/2017**

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>	<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 2/62</b>	
	POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>	



**AValiação DO IMPACTO DAS FRENTES DE ASSOREAMENTO NAS CURVAS  
DE REMANSO DO RESERVATÓRIO DA UHE CANDONGA**

**PRODUTO 01**

**CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE  
CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO**



		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TECNICO</b>		<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 4/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>

Belo Horizonte / 2017

## RESUMO

Este documento apresenta uma síntese descritiva da metodologia e dos principais resultados dos estudos de caracterização hidrológica e sedimentológica do trecho fluvial do rio Doce que abrange a área de inserção da UHE Candonga. Tais estudos foram elaborados dentro de um escopo maior que engloba a avaliação do impacto das frentes de assoreamento do reservatório, decorrentes de causas naturais e/ou antrópicas, bem como a verificação da eficiência de operações de dragagem do mesmo para permitir a retomada de operação da usina e restabelecer o período de vida útil estimado em projeto. Como resultado desses estudos, fundamentados nos dados de monitoramento de estações fluviométricas e sedimentométricas pertencentes à rede de monitoramento da Agência Nacional de Águas (ANA), foram determinadas: (i) a atualização da série de vazões médias mensais afluentes ao eixo da usina; (ii) as vazões de cheia associadas a diferentes períodos de retorno notáveis; e (iii) o aporte de sedimentos ao reservatório para o período anterior e posterior ao rompimento da Barragem do Fundão.

**Palavras-chave:** Caracterização. Hidrologia. Hidrossedimentologia.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TECNICO</b>	<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 5/62</b>	
	POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>	

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>INFORMAÇÕES BÁSICAS.....</b>	<b>9</b>
2.1	Estudos Anteriores.....	9
2.2	Cartografia, Levantamentos Topográficos e Topobatimétricos.....	10
2.3	Dados Fluviométricos e Sedimentométricos.....	11
<b>3.</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO GERAL DO EMPREENDIMENTO.....</b>	<b>17</b>
3.1	Localização Geral.....	17
3.2	Informações Técnicas e Dados Cadastrais.....	18
<b>4.</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA.....</b>	<b>22</b>
4.1	Análise e Consistência dos Dados Básicos.....	22
4.2	Reavaliação da Série de Vazões Médias Mensais Afluentes à Usina.....	30
4.3	Vazões Extremas Máximas.....	33
<b>5.</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROSEDIMENTOLÓGICA.....</b>	<b>44</b>
5.1	Caracterização Regional da Bacia quanto à Produção de Sedimentos.....	44
5.2	Caracterização Hidrossedimentológica do Trecho Fluvial de Interesse.....	45
	5.2.1 Caracterização com Base nos dados de Monitoramento Sedimentométrico.	45
	5.2.2 Caracterização Preliminar com Base nos dados de Batimetria.....	54
5.3	Reavaliação Preliminar da Vida Útil da Usina.....	55
	5.3.1 Cálculo do Peso Específico Aparente de Sedimentos.....	56
	5.3.2 Cálculo da Eficiência de Retenção Inicial de Sedimentos.....	57
	5.3.3 Estimativa do Tempo de Assoreamento e Vida Útil da Usina .....	59
<b>6.</b>	<b>COMENTÁRIOS FINAIS.....</b>	<b>63</b>

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>	<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 6/62</b>	
	POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>	

## 1 INTRODUÇÃO

Através de contrato celebrado entre a FUNDAÇÃO Renova e a POTAMOS Engenharia e Hidrologia Ltda., estão sendo desenvolvidos estudos hidrossedimentológicos e de hidráulica fluvial para o reservatório da UHE Risoleta Neves (UHE Candonga), usina hidrelétrica implantada no rio Doce, na divisa dos municípios de Santa Cruz do Escalvado e Rio Doce, estado de Minas Gerais. A Figura 1.1 mostra a área de abrangência considerada nos estudos, incluindo a localização geral da usina.

Tais estudos estão sendo elaborados com objetivo de avaliar o impacto das frentes de assoreamento, sejam elas decorrentes de sedimentação natural e induzida pelo reservatório ou daquelas originadas a partir do rompimento da Barragem do Fundão (SAMARCO), ocorrido em novembro de 2015, nas curvas de remanso do rio Doce e na vida útil da usina. Os resultados dessa análise serão confrontados com os projetos e ações de dragagem e recuperação do volume do reservatório, atividades que vêm sendo empreendidas pela SAMARCO/RENOVA desde a data de ocorrência da ruptura da Barragem do Fundão.

Para subsidiar os trabalhos citados estão sendo desenvolvidos estudos hidrológicos, hidrossedimentológicos e de hidráulica fluvial. Os **estudos hidrológicos** englobam: (i) a análise de consistência das curvas-chaves das estações fluviométricas com disponibilidade de dados suficiente para análise, localizadas na região de abrangência da usina e operadas pela Agência Nacional de Águas (ANA); (ii) a restituição da série de vazões afluentes ao reservatório, a partir dos dados citados, bem como sua comparação com os registros de vazão monitorados pelo empreendedor; e (iii) a estimativa das vazões de cheia, associadas a diferentes períodos de retorno e que serão utilizadas nas simulações de avaliação da influência do reservatório nas curvas de remanso.

Os **estudos hidrossedimentológicos** englobam a análise e traçado de curvas-chaves de sedimentos e a estimativa da descarga sólida total afluente ao reservatório, tomando por base os registros históricos da rede de monitoramento fluviométrico e sedimentométrico existente na bacia e citada anteriormente. Quando possível, também serão utilizadas, em caráter complementar, informações disponibilizadas pela rede de monitoramento do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e pela rede quali-quantitativa operada pela SAMARCO/RENOVA.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TECNICO</b>		<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 7/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>

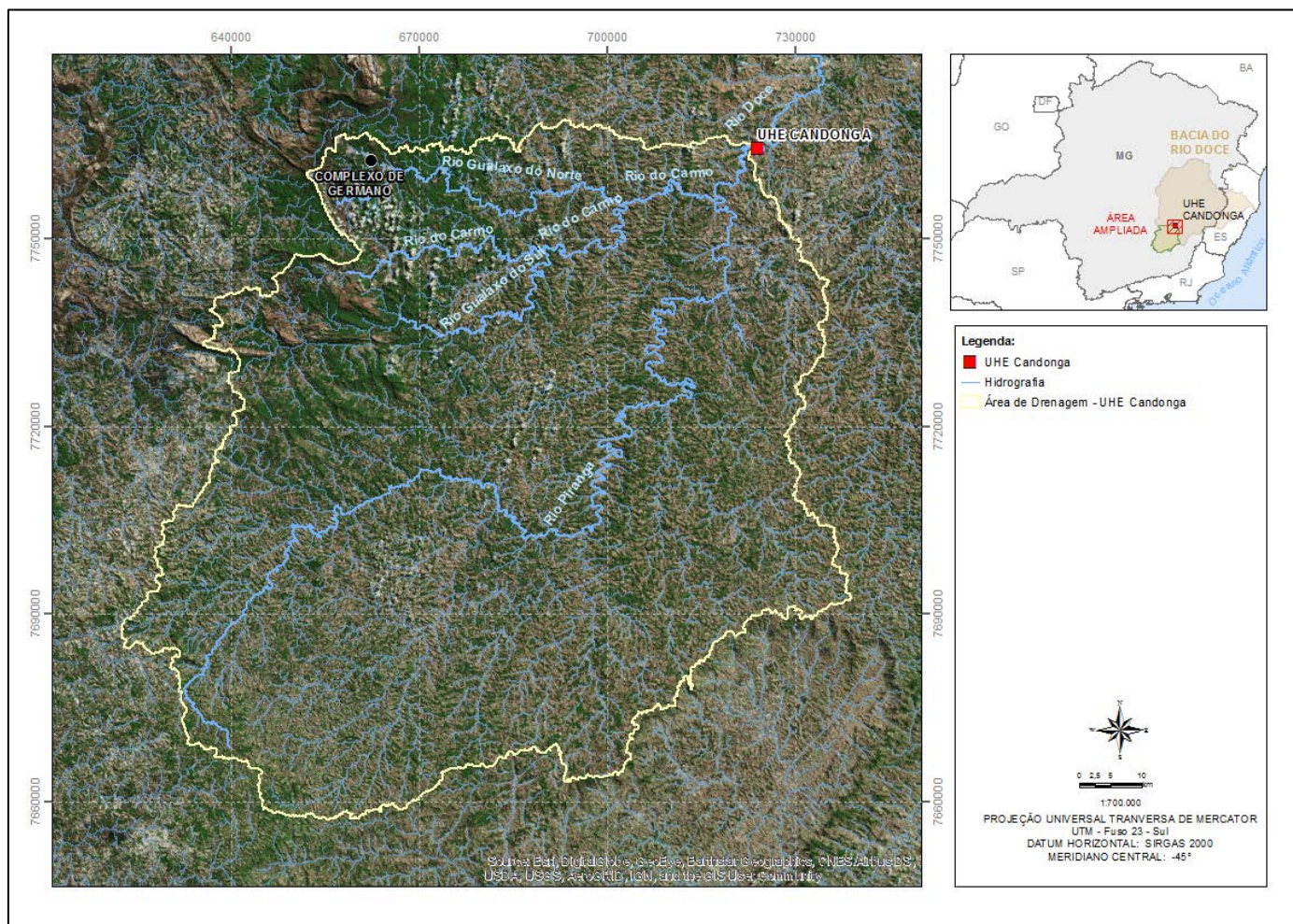
Também faz parte do escopo dos estudos hidrossedimentológicos a calibração de um modelo de simulação do transporte de sedimentos no trecho fluvial de inserção da usina, bem como o prognóstico de assoreamento do reservatório partindo das condições naturais e antecedentes ao evento de ruptura citado e das condições atuais de assoreamento do reservatório e após as operações de dragagem.

Os **estudos de hidráulica fluvial** englobam a realização de simulações computacionais, valendo-se de um modelo de escoamento bidimensional, para determinar as curvas de remanso do reservatório considerando: (i) o modelo digital de terreno do reservatório correspondente às condições anteriores e posteriores a ruptura da Barragem do Fundão; e (ii) as vazões de cheias associadas a diferentes períodos de retorno e estimadas para o eixo da usina. A partir do resultado dessas simulações será definido o volume total e indicada a área correspondente de dragagem do reservatório e/ou essas mesmas variáveis associadas a uma frequência de dragagem do mesmo. Tais variáveis serão definidas de forma a permitir a retomada da operação da usina dentro o período de vida útil previsto para a mesma nos estudos de projeto básico/executivo, desde que esta estimativa seja considerada válida e procedente.

O presente documento apresenta uma breve descrição da metodologia empregada e os resultados dos estudos de caracterização hidrológica e hidrossedimentológica da bacia do rio Doce até o eixo da UHE Candonga.



**Figura 1.1** – Área de abrangência dos estudos, incluindo a localização geral da UHE Candonga.



Fonte: POTAMOS, 2017.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>	<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 9/62</b>	
	POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>	

## 2 INFORMAÇÕES BÁSICAS

As informações básicas utilizadas neste trabalho referem-se aos relatórios de estudos anteriores; à cartografia da região de interesse e levantamentos topográficos e topobatimétricos da área de inserção e/ou do reservatório; aos registros fluviométricos e sedimentométricos de estações hidrométricas localizadas nos limites da área de interesse e cujos dados foram disponibilizados pelos órgãos gestores responsáveis; e, eventuais resultados de campanhas de medição das variáveis hidrológicas (descargas líquidas) e sedimentológicas (descargas sólidas) disponibilizadas pela RENOVA e/ou outras entidades/órgãos públicos.

### 2.1 Estudos Anteriores

Como estudos anteriores foram consultados os relatórios fornecidos pela RENOVA e que abordam temas de interesse relativos ao assunto contemplado neste documento. Os itens subsequentes relacionam os principais documentos citados e o capítulo de *Referências Bibliográficas* lista outros documentos e publicações utilizadas como fonte de informação.

- Consórcio Candonga – *Usina Hidrelétrica Candonga, Relatório do Projeto Básico, Texto*, elaborado pela Companhia Vale do Rio Doce, EPP Energia Elétrica Promoções e Participações, Geoprojetos Engenharia e LI Lahmeyer International, setembro de 2000.
- Germano Geral, Área Externa, *UHE Candonga, Dragagem Reservatório - Relatório Hidrológico e Hidráulico da Operação de Dragagem*, Projeto Executivo, G006900-O-1RT005, elaborado pela ALLONDA Ambiental, junho de 2016.
- Germano Geral, Área Externa, *UHE Candonga, Dragagem Reservatório – Estudo de Recuperação do Reservatório – Relatório do Estudo de Remanso*, Projeto Executivo, G006900-O-1RT002, elaborado pela SPEC Planejamento, Engenharia e Consultoria, fevereiro de 2016.
- Germano Geral, Área Externa, *UHE Candonga, Dragagem Reservatório – Estudo de Recuperação do Reservatório – Relatório dos Estudos de Sedimentologia*, Projeto Executivo, G006900-O-1RT003, elaborado pela SPEC Planejamento, Engenharia e Consultoria, julho de 2016.
- Germano Geral, Área Externa, *UHE Candonga, Dragagem Reservatório – Relatório de*

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 10/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>

*Estudo de Remanso – Barramento C, Projeto Executivo, G006900-D-1RT001, elaborado pela SPEC Planejamento, Engenharia e Consultoria, dezembro de 2016.*

## 2.2 Cartografia, Levantamentos Topográficos e Topobatimétricos

Para determinar as características fisiográficas da bacia hidrográfica de interesse aos estudos, bem como subsidiar os estudos hidrológicos, hidrossedimentológicos e de hidráulica fluvial, foram utilizadas:

- As bases cartográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) que incluem as seguintes cartas topográficas, em escala 1:50.000: Acuruí, Catas Altas, Alvinópolis, Dom Silvério, Ouro Preto, Mariana, Barra Longa, Ponte Nova, Ouro Branco, Piranga, Porto Firme, Teixeiras, Carandaí, Capela Nova, Rio Espera, Senador Firmino, Viçosa, Ervália, Senhora dos Remédios, Mercês e Tocantins.
- Arquivos em meio digital (*shapefiles*) das ottobacias, correspondentes à codificação de bacias hidrográficas de nível 12 e disponibilizadas na biblioteca virtual do IGAM.
- Todos os levantamentos topográficos relacionados à área de inserção do empreendimento, disponibilizados pela RENOVA e listados no capítulo de *Referências Bibliográficas*. Tais levantamentos incluem: (i) a restituição aerofotogramétrica do reservatório (setembro, 2000); (ii) as batimetrias do reservatório de 2007 e abril de 2014, realizadas pela HDC Engenharia, e as de novembro de 2015, maio e dezembro de 2016, realizadas pela CF Engenharia e Projetos; (iii) o levantamento de algumas seções topobatimétricas realizado em junho e agosto de 2016 pela CF Engenharia e Projetos; e (iv) o levantamento batimétrico quinzenal do trecho de cerca de 400 m a montante do maciço da barragem, iniciado em junho de 2016 e mantido até a data atual. Embora identificadas referências ao levantamento de seções topobatimétricas representativas da calha do rio Doce à época anterior à operação da usina, utilizadas nos estudos de remanso do Projeto Básico, estas não foram disponibilizadas para o presente estudo.
- Perfilamento a laser realizado pela ARYA em setembro de 2016, compreendendo o trecho fluvial que se estende desde a Barragem do Fundão até a jusante da UHE Candonga e incluindo ortofotos, com resolução das imagens de 5,0 cm.
- O utilitário Google *Earth*<sup>®</sup>, ferramenta de sensoriamento remoto de amplo alcance visual,

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº	PÁGINA <b>11/62</b>	
	POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>	

consultado como instrumento alternativo para o reconhecimento da área de interesse, incluindo a identificação da usina e de seu reservatório, da área de influência do mesmo e de sua bacia de contribuição.

### 2.3 Dados Fluviométricos e Sedimentométricos

Para embasar os estudos hidrológicos e hidrossedimentológicos foi consultado o Inventário de Estações Fluviométricas (ANEEL, 2001), por meio do qual foram identificados pontos de monitoramento hidrométrico e sedimentométrico na região. Paralelamente, buscou-se no banco de dados *online* da ANA, denominado HidroWEB ([www.hidroweb.gov.br](http://www.hidroweb.gov.br)), a localização geográfica das estações de monitoramento e os respectivos registros históricos, a fim de permitir a escolha daquelas com período de dados suficientes para o cumprimento dos objetivos propostos.

A partir de tal consulta foram selecionadas as estações hidrossedimentométricas (dados fluviométricos e sedimentométricos) cujas características principais se encontram listadas no Quadro 2.1 e cuja localização é mostrada na Figura 2.1. A escolha dessas estações baseou-se em sua localização e proximidade em relação à área de interesse, no tipo de informação e período de registros históricos disponíveis, ambos suficientes para avaliar as curvas-chaves na seção fluvial correspondente, bem como calcular os indicadores hidrossedimentológicos de interesse.

As informações fluviométricas disponibilizadas pela ANA correspondem às medições de descargas líquidas (cota x vazão), suficientes para determinação das correspondentes curvas-chaves e estimativa das vazões em trânsito na seção fluvial correspondente, valendo-se das leituras de cota diária, realizadas por observador local. Tais informações englobam, ainda, as fichas descritivas das estações e os perfis transversais das seções de régua e/ou medição.

As informações hidrossedimentométricas disponibilizadas pela ANA incluem apenas a Concentração de Sedimentos em Suspensão (CMA), estimada a partir de algumas campanhas de medição de descarga líquida e da coleta de material para análise em laboratório. As informações disponíveis permitem a estimativa, por meio de formulações teóricas e empíricas, das descargas sólidas em suspensão e total anual, bem como a correspondente caracterização da dinâmica de sedimentos dos cursos de água nas seções fluviais correspondentes.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 12/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>

Conforme indicado no Quadro 2.1 e na Figura 2.1, não existe estação de monitoramento sedimentométrico ao longo rio Gualaxo do Norte, que recebe como tributário o córrego Santarém, em cuja bacia encontra-se o Complexo Germano e mantinha-se em operação a Barragem do Fundão. Entretanto as seções de monitoramento existentes nos demais cursos de água (rios do Carmo, Piranga e Doce), são consideradas representativas para caracterização regional do regime hidrossedimentológico afluente ao reservatório da UHE Candonga.

Os dados de monitoramento sedimentométrico, contratados pela SAMARCO e disponibilizados pela RENOVA, os quais compreendem seções de monitoramento localizadas ao longo da extensão fluvial que se abrange desde o rio Gualaxo do Norte, a jusante da extinta Barragem do Fundão, até a foz do rio Doce no oceano Atlântico, incluindo algumas estações com monitoramento automático, incluem análise dos parâmetros de Turbidez, Cor Aparente, Cor Verdadeira, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Dissolvidos, Sólidos Suspensos, Sólidos Totais (GOLDER, 2017). Entretanto, as variáveis citadas não são monitoradas em todos os pontos e, naqueles em que o são, as coletas foram e são realizadas com frequência reduzida e de forma não compatível com os padrões das práticas nacionais e internacionais de hidrometria, com vistas a análises quantitativas. Desta forma, os dados não podem ser utilizados como base para caracterização completa do transporte de sedimentos no trecho fluvial de interesse, podendo apenas servir de base para avaliações de caráter qualitativo. A Figura 2.2 mostra a abrangência da rede de monitoramento mantida pela RENOVA.



Da mesma forma, os dados disponibilizados pela rede de monitoramento mantida pelo IGAM na área de interesse e cujos pontos também são indicados na Figura 2.2, não puderam ser utilizados como base nos estudos, tendo em vista que os mesmos englobam apenas resultados de Sólidos Dissolvidos Totais (igual à CMA), obtidos pela análise de material coletado em apenas um ponto da seção de monitoramento correspondente.

Diante do exposto, foi solicitada a RENOVA a contratação de campanhas de medição de descargas líquidas e sólidas complementares, em seções fluviais consideradas de referência para determinação das descargas sólidas totais, bem como das correspondentes curvas granulométricas do material em suspensão e de fundo. Tais informações visam a

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>	<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 13/62</b>	
	POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>	

caracterização do material transportado pelos cursos de água de maior relevância (rios Gualaxo do Norte, do Carmo, Piranga e Doce) e posterior regionalização para o eixo da usina.

Como bibliografia complementar para caracterização hidrossedimentológica do trecho de interesse também foi utilizada a publicação *Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros* (ELETROBRÁS, 1998), cujo estudo tem como objetivo dar indicações da situação de um ponto específico dentro de determinada bacia hidrográfica com relação à sua produção de sedimentos. Na referida publicação são apresentadas informações relacionadas à bacia hidrográfica do rio Doce e às estações hidrossedimentométricas Ponte Nova (56110000) e Ponte Nova Jusante (56110005), localizadas no rio Piranga, e Acaiaca Jusante (56335001), situada no rio do Carmo.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO: RELATÓRIO TÉCNICO		Nº	PÁGINA <b>14/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

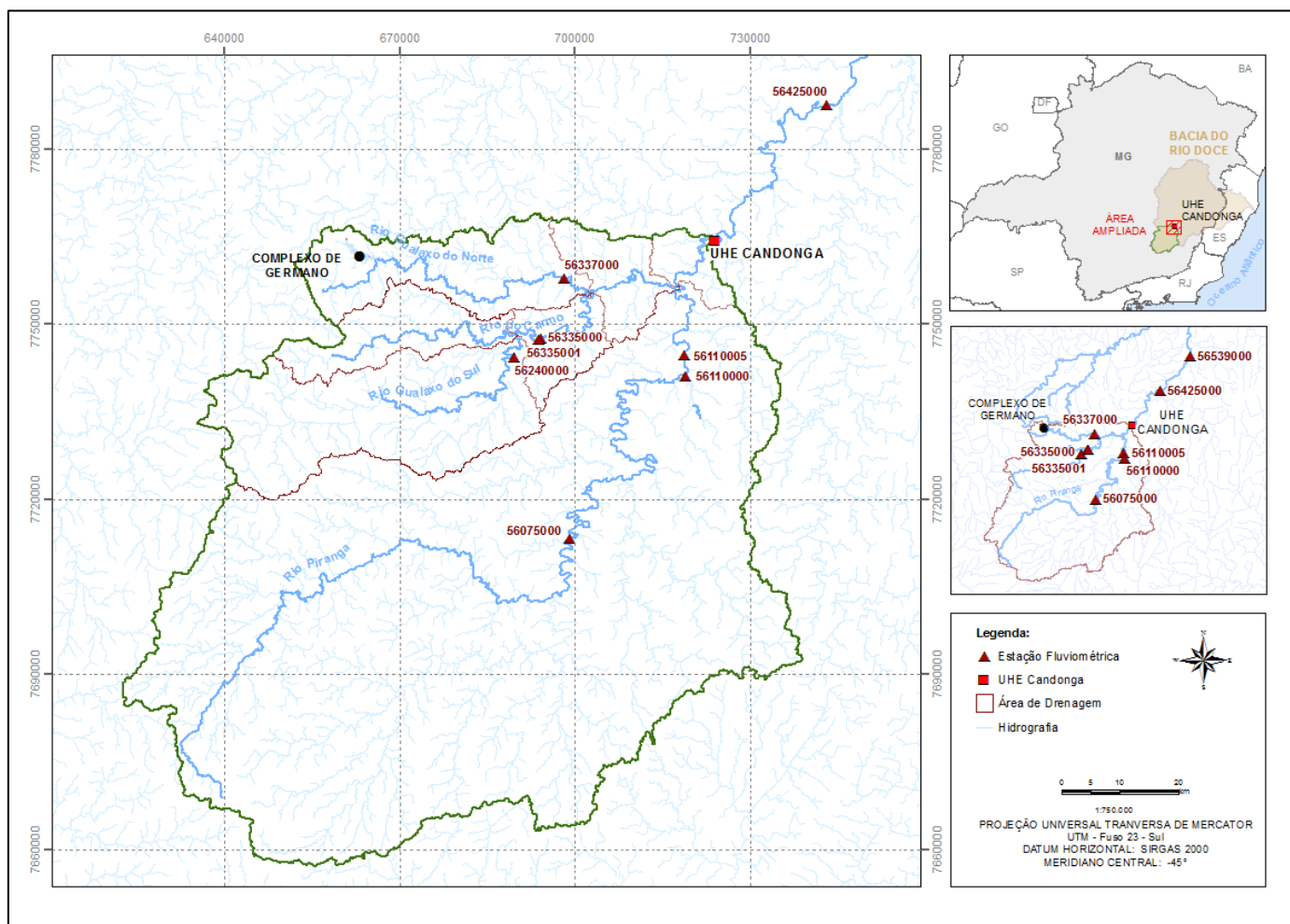
**Quadro 1.1** – Estações fluviométricas e sedimentométricas utilizadas no estudo.

CÓDIGO	ESTAÇÃO	CURSO DE ÁGUA	COORDENADAS		ÁREA DE DRENAGEM (km <sup>2</sup> )	PERÍODO DE DADOS
			NORTE	LESTE		
56075000	Porto Firme (FS)	Rio Piranga	7.713.170	699.163	4256	06/38 a 02/17
56110000	Ponte Nova (F)	Rio Piranga	7.741.000	719.125	6197	01/36 a 07/75
56110005	Ponte Nova Jusante (FS)	Rio Piranga	7.744.640	718.879	6216	05/74 a 03/17
56240000	Fazenda Paraíso (F)	Rio Gualaxo do Sul	7.744.280	689.734	841	06/30 a 07/16
56335000	Acaiaca (F)	Rio do Carmo	7.747.310	693.819	1332	01/40 a 12/75
56335001	Acaiaca Jusante (FS)	Rio do Carmo	7.747.430	694.207	1372	07/75 a 03/17
56337000	Fazenda Ocidente (F)	Rio Gualaxo do Norte	7.757.810	698.357	530	07/38 a 04/17
56425000	Fazenda Cachoeira d'Antas (FS)	Rio Doce	7.787.450	743.330	10.070	12/81 a 03/17
56539000	Cachoeira dos Óculos Montante (FS)	Rio Doce	7.811.240	764.418	15.848	10/74 a 03/17



**Fonte:** *HidroWEB* (ANA, 2017). OBS.: F fluviométricas e FS fluviométricas e sedimentométricas.



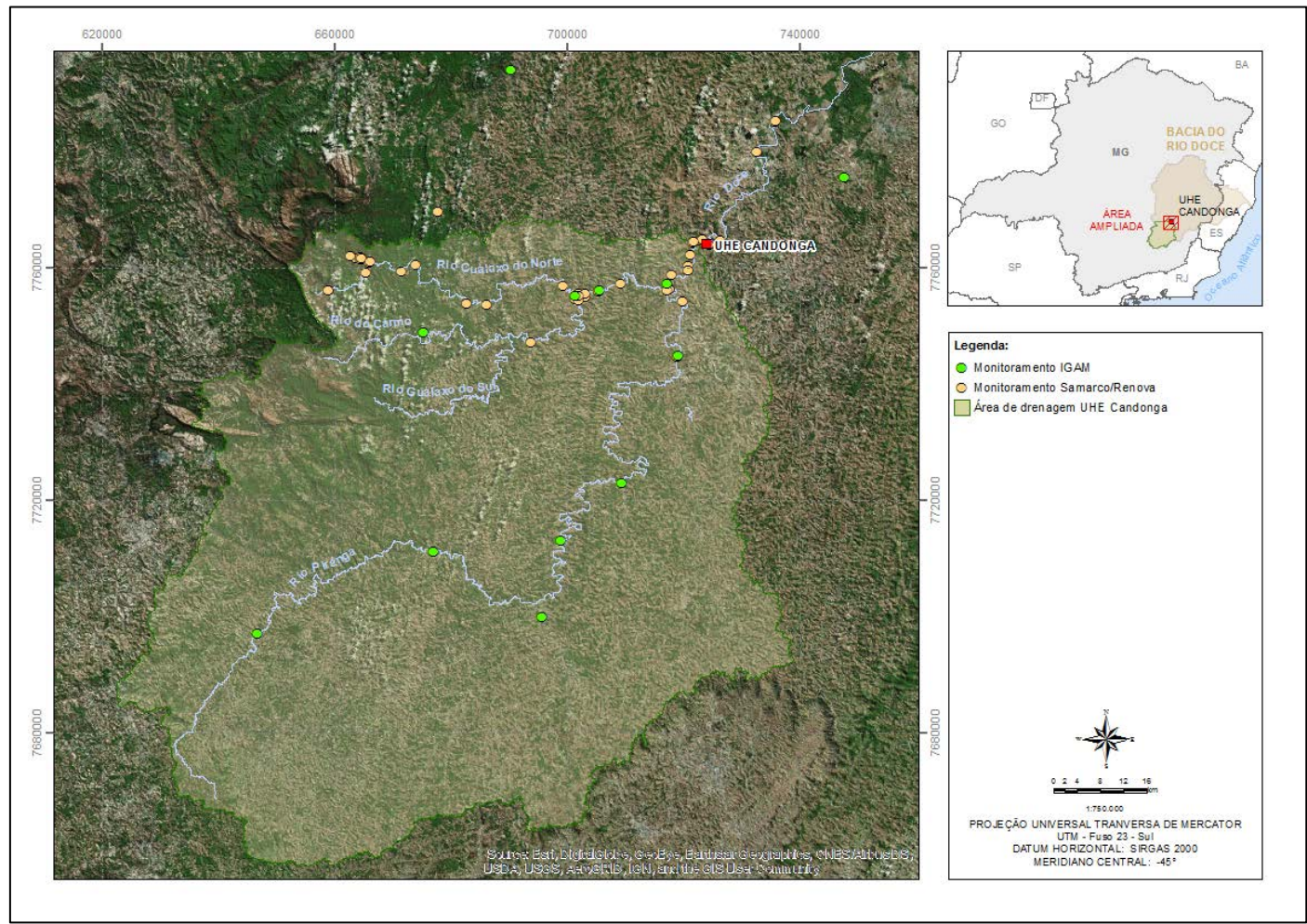
**Figura 2.1** – Localização das estações fluviométricas e sedimentométricas utilizadas nos estudos.



Fonte: POTAMOS, 2017.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO: RELATÓRIO TÉCNICO</b>		<b>Nº</b> POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>PÁGINA 16/62</b>
			<b>REV. 03</b>

**Figura 2.2** – Visão geral da rede de monitoramento de fluviométrico, sedimentométrico e de qualidade das águas da SAMARCO/RENOVA e IGAM até UHE Candonga.



Fonte: POTAMOS, 2017.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº	PÁGINA <b>17/62</b>	
	POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>	

## 3 CARACTERIZAÇÃO GERAL DO EMPREENDIMENTO

### 3.1 Localização Geral

A UHE Candonga, que abrange uma bacia de contribuição com 8990 km<sup>2</sup> de área de drenagem, está implantada no trecho do Alto rio Doce, na divisa dos municípios de Santa Cruz do Escalvado e Rio Doce, estado de Minas Gerais, tal como ilustrado na Figura 3.1.

O eixo do barramento está posicionado em um ponto de coordenadas UTM SIRGAS 2000 (Fuso 23 Sul) aproximadas de 724.135 Leste e 7.764.129 Norte, cerca de 15 km a jusante da confluência dos rios do Carmo e Piranga, formadores do rio Doce e responsáveis pelas vazões que afluem ao reservatório da usina. A BR-120 constitui a principal rodovia local que dá acesso ao empreendimento.

A bacia hidrográfica do rio Doce até a seção do eixo da usina está inserida no quadrilátero delimitado pelas coordenadas UTM SIRGAS 2000 (Zona 23 Sul) 7.653.997 e 7.776.703 Norte e 621.633 e 740.817 Leste, abrangendo apenas o estado de Minas Gerais. É limitada ao norte pela bacia hidrográfica do rio Piracicaba, a oeste pela bacia do rio Paraopeba, ao sul pela bacia do rio Pomba e a leste pelas cabeceiras dos cursos de água afluentes do rio Muriaé e pela bacia do rio Casca.

A bacia de contribuição ao reservatório abrange, total ou parcialmente, os municípios de Acaiaca, Alto Rio Doce, Amparo da Serra, Barra Longa, Brás Pires, Cajuri, Capela Nova, Caranaíba, Carandaí, Catas Altas da Noruega, Cipotânea, Coimbra, Conselheiro Lafaiete, Cristiano Ottoni, Desterro do Melo, Diogo de Vasconcelos, Divinésia, Dolores do Turvo, Guaraciaba, Itaverava, Lamin, Mariana, Mercês, Oratórios, Ouro Branco, Ouro Preto, Paula Cândido, Piranga, Ponte Nova, Porto Firme, Presidente Bernardes, Ressaquinha, **Rio Doce**, Rio Espera, **Santa Cruz do Escalvado**, Santana dos Montes, São Geraldo, Senador Firmino, Senhora de Oliveira, Senhora dos Remédios, Teixeira, Ubá e Viçosa.

O rio do Carmo, principal formador do rio Doce pela margem esquerda, é constituído pela rede de drenagem dos rios Gualaxo do Norte (margem esquerda), ribeirão do Carmo (centro) e Gualaxo do Sul (margem direita), que compreendem uma área de contribuição total da ordem de 2280 km<sup>2</sup>. Nas cabeceiras do rio Gualaxo do Norte, afluente do rio do Carmo pela margem esquerda ou mais especificamente na sub-bacia do córrego Santarém, encontra-se o

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>	<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 18/62</b>	
	POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>	

Complexo Germano, local onde estava implantada a Barragem do Fundão, de propriedade da SAMARCO Mineração e cujo rompimento ocorreu em novembro de 2015. Entretanto, o curso de água que drena a área deste empreendimento encontra-se dotado, hoje, de uma série de barramentos sequenciais, construídos com a finalidade de reter o material remanescente do reservatório da Barragem do Fundão e que pode eventualmente ser transportado pelas drenagens locais.

O rio Piranga, por sua vez, é o principal formador do rio Doce pela margem direita e abrange uma área de contribuição total da ordem de 6600 km<sup>2</sup>. Ao longo deste curso de água foram mapeadas algumas usinas hidrelétricas, mas a grande maioria ainda em fase de estudos de inventário, projeto básico, viabilidade ou outorga, sendo identificada apenas a UHE Brecha em operação.

O trecho fluvial incremental compreendido entre a confluência dos rios do Carmo e Piranga e o eixo da UHE Candonga, que abrange uma área de drenagem de aproximadamente 110 km<sup>2</sup>, é constituído somente por pequenos afluentes do rio Doce.

### **3.2 Informações Técnicas e Dados Cadastrais**

Os estudos relativos à UHE Candonga, usina administrada pelo Consórcio Candonga, composto por Aliança Energia (50%) e Vale (50%), iniciaram por volta do ano de 1999, quando foi concedida pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) a Licença Prévia (LP), autorizando a fase preliminar de planejamento do empreendimento.

A construção da usina foi iniciada no ano de 2001, após a emissão, pelo citado órgão, da Licença de Instalação (LI) do empreendimento, de acordo com as especificações constantes nos planos, programas e projetos correspondentes e devidamente aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes.

Em março de 2004, a FEAM concedeu a Licença de Operação (LO), a qual teve início, comercialmente, em 07 de setembro de 2004. A partir de agosto de 2005, a UHE Candonga passou a ser denominada também de UHE Risoleta Neves.

A usina, cujo reservatório é mostrado na Figura 3.2 e cujas principais características técnicas e dados cadastrais de projeto são indicados no Quadro 3.1, tem energia assegurada anual de 64,5 MW/h, de acordo com o contrato de concessão da ANEEL. Apesar de seu

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº	PÁGINA <b>19/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

sistema extravasor ser dotado de comportas, que permitem a variação do nível de água no reservatório e a geração em ponta-base, é considerada uma usina a fio d'água, pois o nível de água normal de operação é mantido praticamente constante.

Conforme citado anteriormente, em novembro de 2015, parte do volume útil e a totalidade do volume morto do reservatório foram ocupados pelos rejeitos liberados pelo evento de ruptura da Barragem do Fundão, interrompendo a operação da usina.

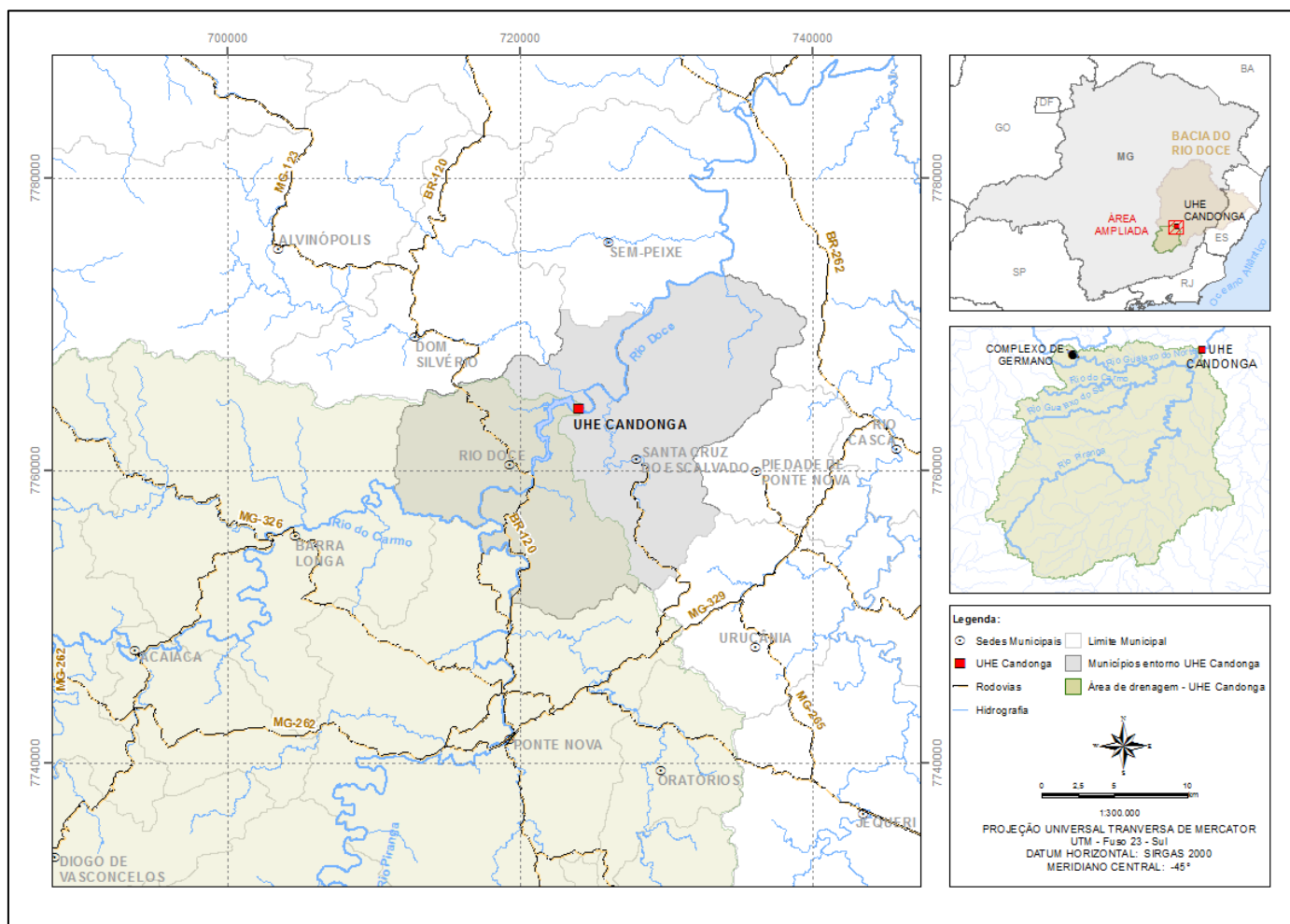
**Quadro 3.1** – Principais características técnicas da UHE Candonga.

ITEM	DADOS
Entrada em operação	07/09/2004
Potencial de geração	140 MW/h
Localização (Coordenadas SIRGAS 2000) 23 Sul	7.764.129 724.135
Barragem Tipo	Gravidade / Concreto compactado a rolo
Comprimento x Altura (m)	250,0 x 53,0
Cota da Crista (m)	330,00
Vertedouro	Superfície com comportas 3 vãos (12,0 m x 16,50 m)
Comprimento Total (m)	57,81 m
Cota da Soleira do Extravasor	311,00
NA Normal de Operação (m)	327,50
NA Máximo <i>Maximorum</i> (m)	327,50
Volume Total do Reservatório (Mm <sup>3</sup> )	54,4
Área Total do Reservatório (km <sup>2</sup> )	2,86
Comprimento Total do Reservatório (m)	10.350
Cota da Soleira da Tomada d'Água (m)	308,20
Unidades Geradoras	3

**Fonte:** Adaptado de Geoprojetos *et. al* (2010).



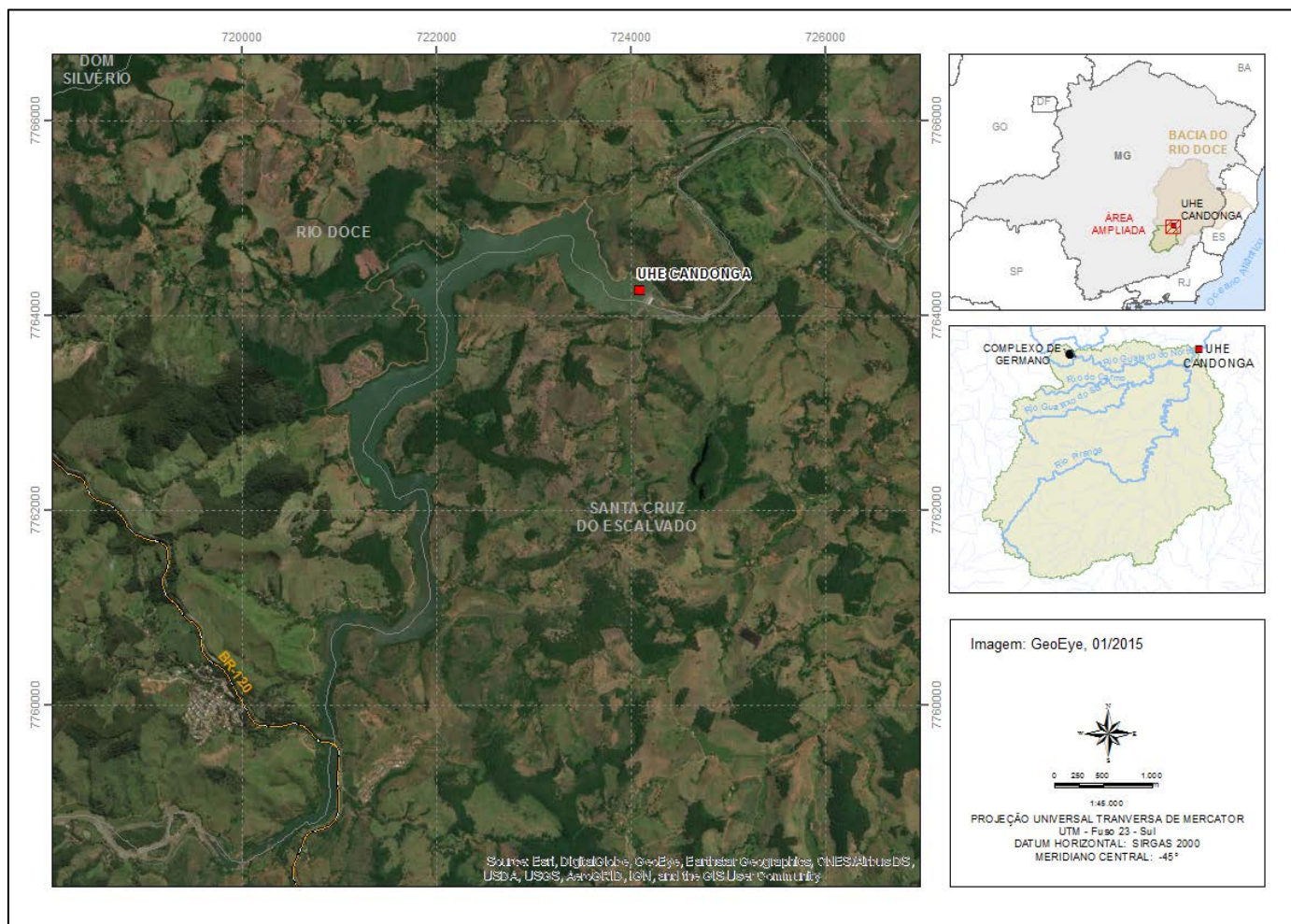
**Figura 3.1 – Localização geral da UHE Candonga.**



Fonte: POTAMOS, 2017.



**Figura 3.2 – Reservatório da UHE Candonga.**



Fonte: POTAMOS, 2017.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>	<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 22/62</b>	
	POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>	

## 4 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA

Conforme citado no Capítulo 1, os estudos de caracterização do regime fluviométrico do rio Doce no trecho fluvial de interesse compreendem o cálculo da série de vazões médias mensais afluentes ao eixo da UHE Candonga, bem como a estimativa das vazões de cheia associadas a diferentes períodos de retorno notáveis. Tais estudos permitiram uma comparação com a série de vazões médias mensais constante nos estudos de Projeto Básico da usina (GEOPROJETOS *et al.*, 2000), bem como atualizar tal informação para o período atual, considerando que a série original foi gerada para o período de 1931 a 1997. O mesmo vale para os estudos de vazão extrema, por meio dos quais foram estimados novos valores de vazão de cheia, os quais foram comparados com aqueles apresentados nos estudos de Projeto Básico.

### 4.1 Análise e Consistência dos Dados Básicos

Para permitir a reavaliação da série de vazões médias mensais no eixo da UHE Candonga, foi necessária a análise dos registros disponíveis nas estações fluviométricas listadas no Quadro 1.1, dentre as quais se encontram as estações cujos dados embasaram a obtenção da série final.

Na primeira fase desses estudos, foram desconsiderados os registros das estações fluviométricas do rio Piranga em Porto Firme (560750000) e do rio Doce em Cachoeira dos Óculos (56539000). Isto porque as demais estações dispõem de dados suficientes para caracterizar os respectivos cursos de água próximo à região de foz, no caso dos rios do Carmo e Piranga, e próximo da UHE Candonga, no caso do rio Doce.

Dessa forma, apenas os registros de cotas médias diárias, vazões médias diárias e mensais, resumos de medição de descargas líquidas e sólidas e perfis transversais das seções de régua e/ou medição das estações Fazenda Ocidente (Gualaxo do Norte), Fazenda Paraíso (Gualaxo do Sul), Acaiaca e Acaiaca Jusante (rio do Carmo), Ponte Nova e Ponte Nova Jusante (rio Piranga) e Fazenda Cachoeira d’Antas (rio Doce) foram submetidos à análise de consistência, de forma a validar as informações coletadas no banco de dados *online* da ANA, para posteriormente serem utilizados nos estudos.

A estação fluviométrica do rio Gualaxo do Sul em Fazenda Paraíso também foi mantida nos estudos de consistência, tendo em vista ser a única estação que dispõe de dados referentes

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 23/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>

ao período anterior ao ano 1940 (até 1931), utilizados para extensão das séries das demais estações, conforme citado posteriormente.

A metodologia adotada na avaliação de consistência dos registros das estações fluviométricas selecionadas pode ser resumida nos seguintes tópicos:

- Avaliação da ficha descritiva da estação, quando disponível.
- Reavaliação da área de drenagem considerando a base cartográfica disponível e as correspondentes fichas descritivas.
- Aferição das séries de cotas médias diárias de cada estação e análise dos cotogramas de todas as estações em conjunto, a fim de detectar inconsistência e erros grosseiros, tais como erros de metro, comportamento anômalo, entre outros.
- Análise das medições de descarga líquida, recalculando área molhada e vazão através da velocidade, largura e profundidade média, como valores médios na seção medidora.
- Avaliação dos perfis transversais da seção medidora e/ou de régua, caso existente, a fim de verificar inconsistências e modificação da morfologia da calha ao longo do tempo.
- Reavaliação do traçado das curvas-chaves, verificando-se sua extensão, comportamento e extrapolação (ramo inferior e superior), bem como a coerência das medições de descarga consolidadas atribuídas aos períodos de validade das curvas.
- Avaliação, verificação e validação da extrapolação das curvas-chaves por meio dos métodos usualmente aplicados (logarítmico, Stevens e área molhada versus velocidade média).
- Restituição das séries de vazões diárias, pela aplicação das curvas-chaves consolidadas aos cotogramas, e análise das séries de estações vizinhas ou da bacia em conjunto, a fim de detectar inconsistências que não foram observadas durante as análises anteriores.
- Preenchimento de falhas e análise de continuidade entre as séries de vazões médias mensais obtidas.

Os resultados dos estudos de avaliação de consistência são sintetizados nos Gráficos 4.1 a 4.7, que apresentam as curvas-chaves determinadas a partir dos registros disponibilizados pela ANA. A partir dessas curvas-chaves consolidadas foi possível calcular novas séries de vazões médias diárias correspondentes à série de cotas médias diárias disponíveis e,

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TECNICO</b>		<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 24/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>

consequentemente, a série de vazões médias mensais para cada estação.

Após o processo de avaliação de consistência citado, as séries de vazões médias mensais das estações selecionadas foram submetidas ao processo de homogeneização, de modo a se obter um período comum de dados. Nesse processo, os dados disponíveis em cada estação foram correlacionados entre si e as relações que proporcionaram o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foram utilizadas para o preenchimento das falhas e extensão do período disponível. No preenchimento das séries foram priorizadas as correlações estabelecidas entre estações situadas no mesmo curso de água e, em seguida, as relações feitas com as estações posicionadas o mais próximo possível do local de interesse, desde que houvesse disponibilidade de dados para preenchimento.

Na aplicação de tal procedimento de homogeneização foram considerados, ainda, os seguintes critérios: (i) semelhança no regime pluviométrico e fluviométrico nas respectivas bacias hidrográficas de referência; (ii) localização o mais próximo possível da região de interesse, com período de dados suficientes para permitir o estabelecimento de correlações que incluíssem o período de falhas que a estação-base dispõe; (iii) relação entre as áreas de drenagem da ordem de 1:4, sempre que possível, de maneira que por meio da transferência de dados não fosse afetada a tendência geral do comportamento e a forma de picos e períodos de recessão observados no local da estação-base; e (iv) verificação de semelhança entre as condições geológicas das sub-bacias hidrográficas nas quais se inserem as estações, no que concerne à sua capacidade de infiltração, absorção e percolação das águas pluviais. Casos de comprovada homogeneidade indicam semelhança no escoamento superficial excedente e na manutenção do escoamento de base dos cursos de água, durante os períodos de estiagem.

Como resultado desse trabalho foi possível obter **séries de vazões médias mensais homogeneizadas para o período de 01/1931 a 12/2016**. A Tabela 4.1 e a Gráfico 4.8 apresentam um resumo desse estudo, ou seja, os valores de vazão média ( $Q_{MLT}$ ) e específica ( $Q_{ESP}$ ) de longo termo, calculados a partir das séries de vazões médias mensais homogeneizadas para cada estação e sua relação com a respectiva área de drenagem. Vale ressaltar que os dados das estações Acaiaca (56335000) e Acaiaca Jusante (56335001), bem com os de Ponte Nova (56110000) e Ponte Nova Jusante (56110005), foram unificados em uma só estação, prevalecendo como base a estação de operação mais recente. Assim, os dados de vazão média

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº	PÁGINA <b>25/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

mensal das estações extintas foram transferidos para a estação de jusante e em operação (Acaiaca Jusante e Ponte Nova Jusante) pelo critério de proporcionalidade entre as respectivas áreas de drenagem, tendo em vista a pequena diferença entre os valores destas e considerando o fato de que não há contribuição fluvial significativa no trecho incremental.

Na Tabela 4.1 também são apresentados os valores de área de drenagem das áreas de contribuição de todas as estações consideradas no estudo, incluindo as inicialmente descartadas, calculados de acordo com as ottobacias (IGAM, 2017). Apesar de as diferenças entre os valores oficiais e calculados tenha sido inferior a 5%, foram adotados no presente estudo os valores calculados pelo sistema de ottobacias. Tais valores também diferem daqueles constantes nos estudos de projeto básico da usina.

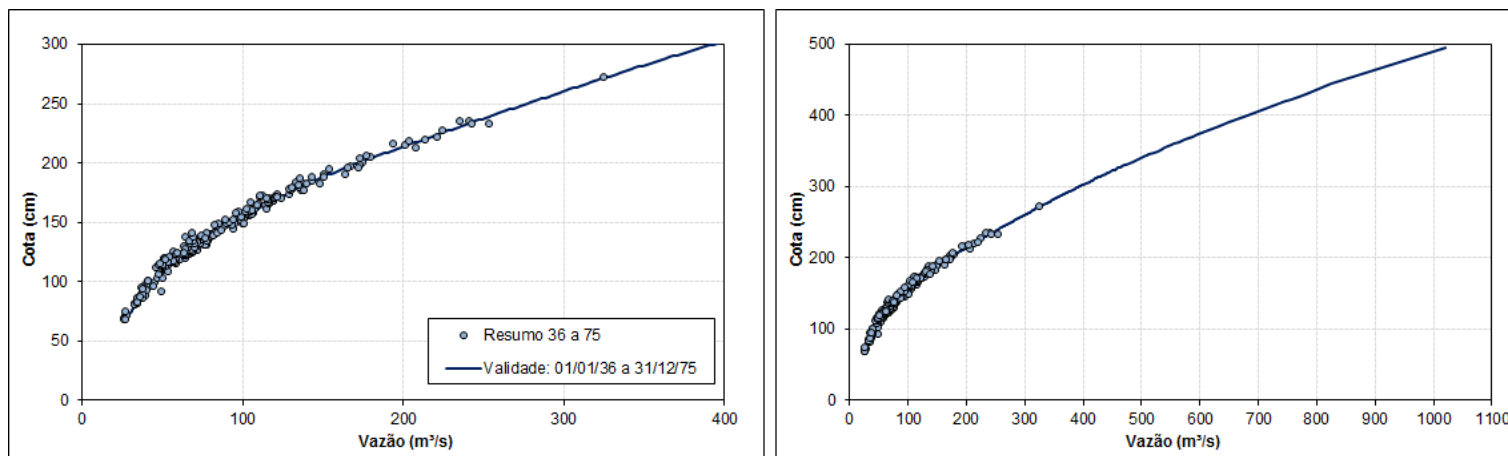
Analisando os dados apresentados na Tabela 4.1 e Gráfico 4.8, no que tange ao regime hidrológico, pode-se verificar que o padrão comportamental dos dados obtidos sugere uma regionalização hidrológica de vazões médias de longo termo praticamente linear. Esses resultados fundamentaram o critério para determinação da série de vazões médias mensais no eixo da usina, conforme descrito no item subsequente.

**Tabela 4.1** – Síntese dos estudos de análise de consistência e homogeneização das séries de vazões médias mensais das estações selecionadas como base.

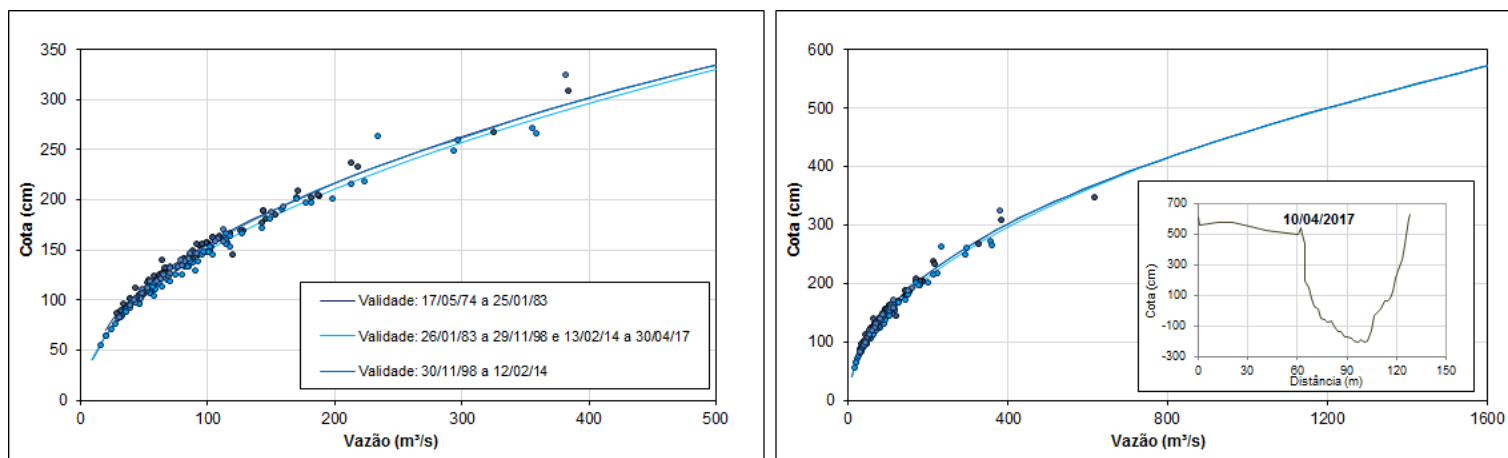
ESTAÇÃO	ÁREA DE DRENAGEM (km <sup>2</sup> )		Q <sub>MLT</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ESP</sub> (L/s.km <sup>2</sup> )
	ANA	CALCULADA E ADOTADA		
Fazenda Paraíso	857	841	19,2	22,9
Acaiaca	1330	1332	-	-
Acaiaca Jusante	1370	1372	31,8	23,2
Fazenda Ocidente	529	530	12,6	23,8
Porto Firme	4260	4256	-	-
Ponte Nova	6210	6197	-	-
Ponte Nova Jusante	6230	6216	102	16,3
Fazenda Cachoeira d' Antas	10100	10070	161	16,0
Cachoeira dos Óculos	15900	15848	-	-



**Gráfico 4.1** – Curvas-chaves da estação fluviométrica rio Piranga em Ponte Nova (56110000).

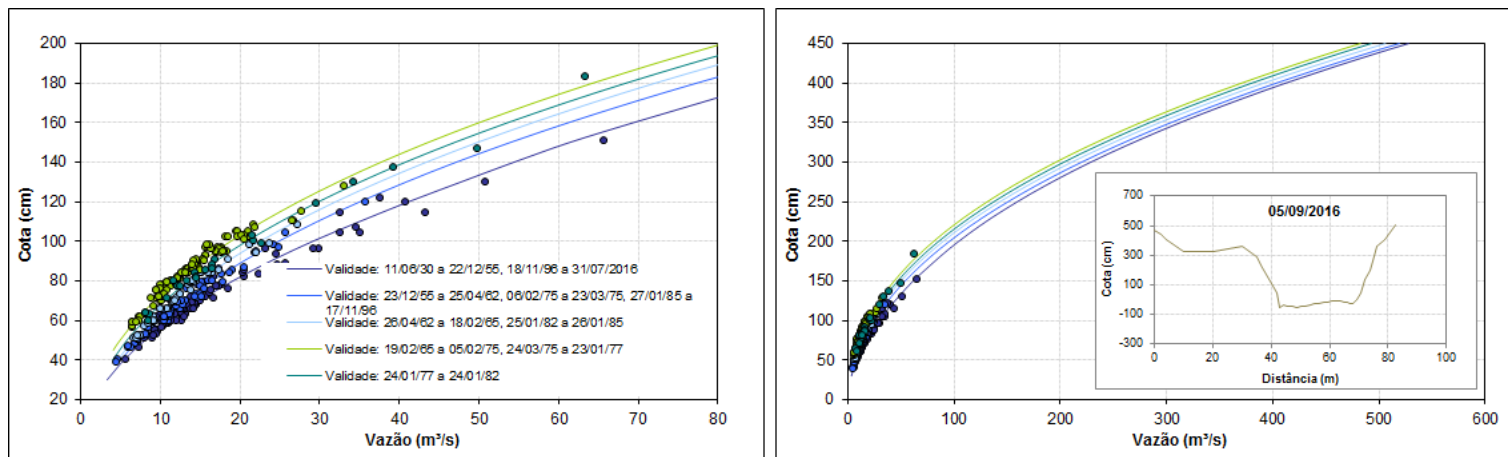


**Gráfico 4.2** – Curvas-chaves da estação fluviométrica rio Piranga em Ponte Nova Jusante (56110005).

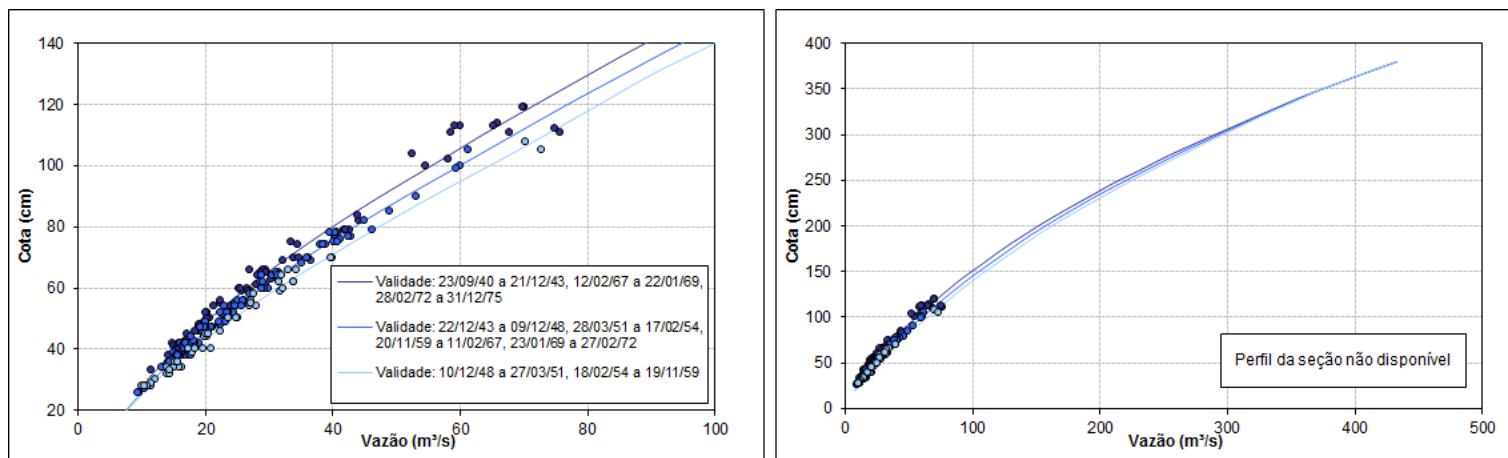




**Gráfico 4.3** – Curvas-chaves da estação fluviométrica rio Gualaxo do Sul em Fazenda Paraíso (56240000).

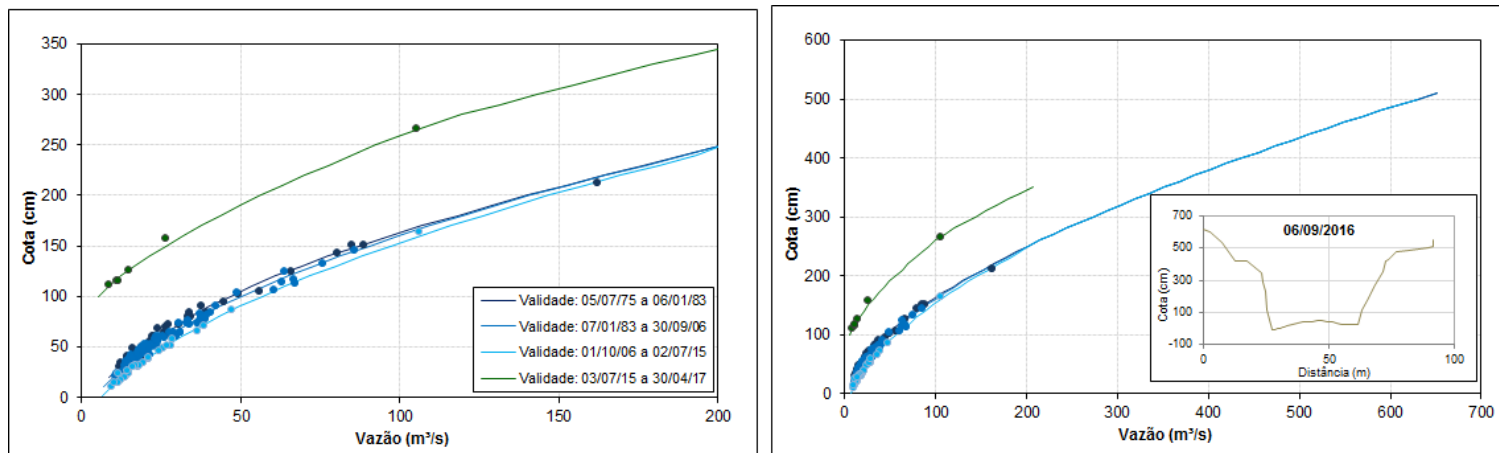


**Gráfico 4.4** – Curvas-chaves da estação fluviométrica rio do Carmo em Acaiaca (56335000).

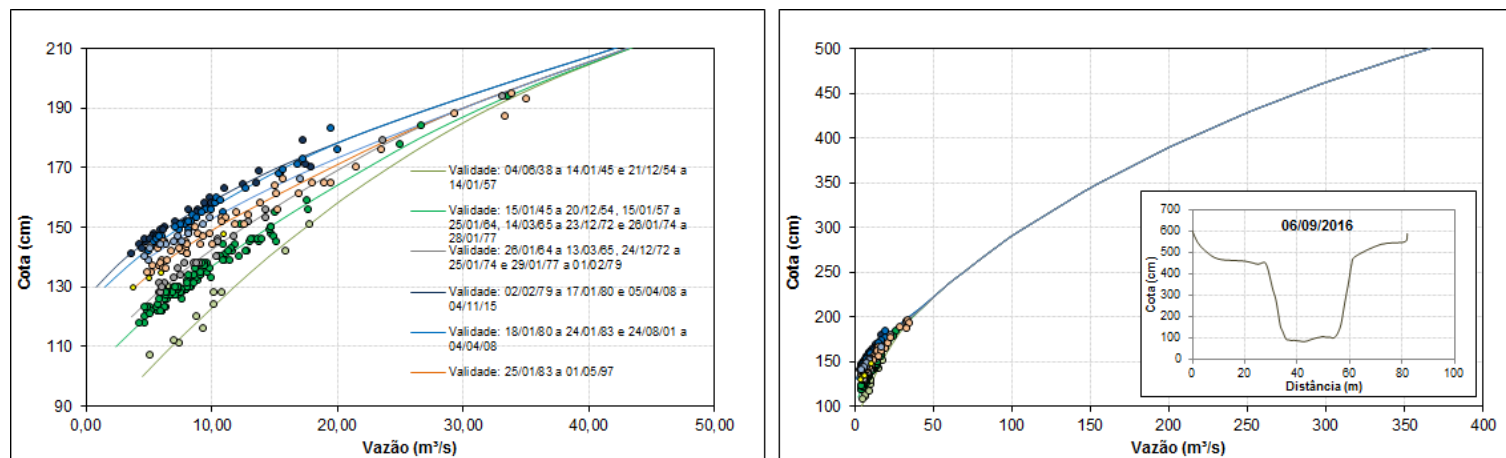




**Gráfico 4.5 –** Curvas-chaves da estação fluviométrica rio do Carmo em Acaiaca Jusante (56335001).

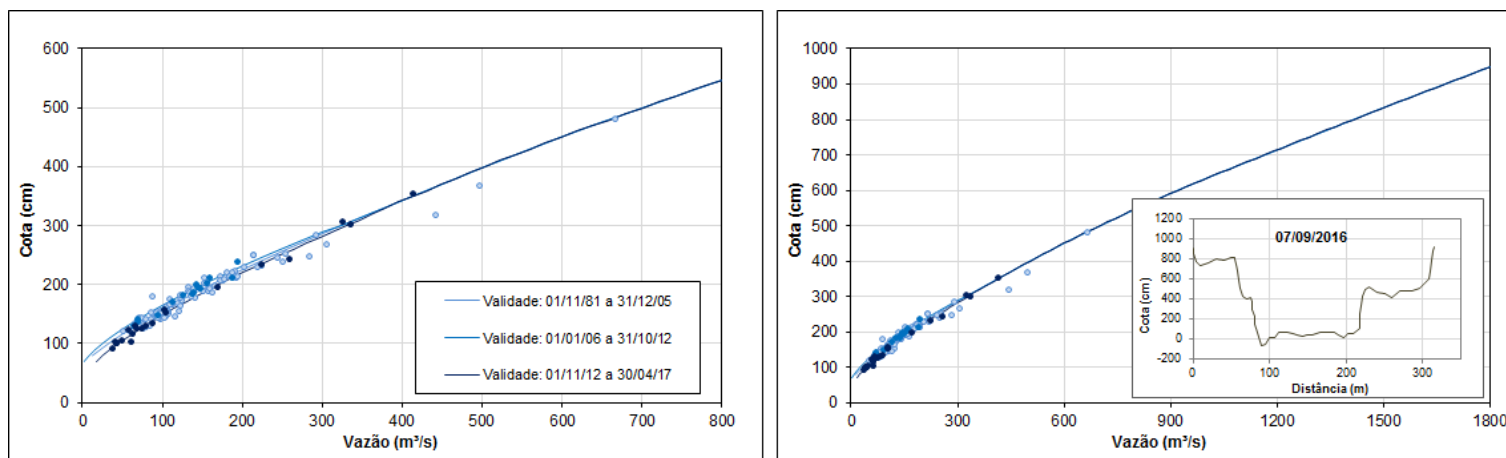


**Gráfico 4.6 –** Curvas-chaves da estação fluviométrica rio Gualaxo do Norte em Fazenda Ocidente (56337000).

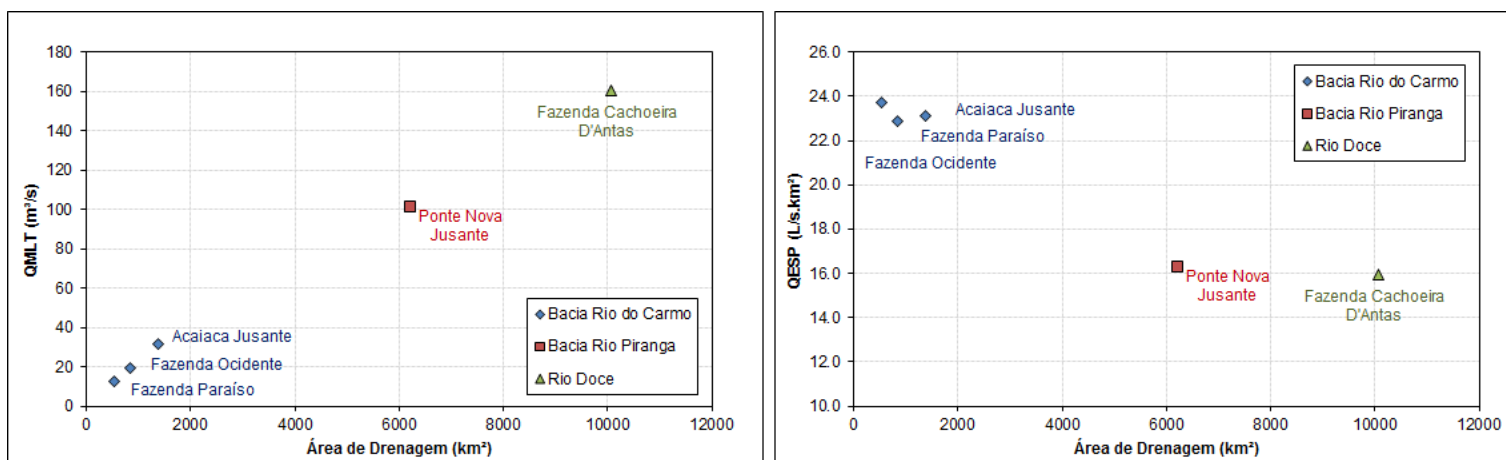




**Gráfico 4.7** – Curvas-chaves da estação fluviométrica rio Doce em Fazenda Cachoeira d’Antas (56425000).



**Gráfico 4.8** – Relação das áreas de drenagem e vazões médias de longo termo das estações submetidas ao processo de homogeneização.



		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 30/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>

## 4.2 Reavaliação da Série de Vazões Médias Mensais Afluentes à Usina

As estações fluviométricas do rio Gualaxo do Norte em Fazenda Ocidente (56337000), do rio do Carmo em Acaiaca Jusante (56335001) e do rio Piranga em Ponte Nova Jusante (56110005) foram selecionadas como base para caracterizar, por meio da série de vazões médias mensais e dos quantis notáveis de cheias, o regime hidrológico do trecho fluvial correspondente ao eixo da UHE Candonga. Tal seleção foi fundamentada no resultado da análise de dados descrita no Item 4.1, na área de contribuição de cada estação, sua posição na bacia hidrográfica (próximo à foz dos cursos de água) e sua distância em relação à usina.

Os dados das demais estações fluviométricas, Fazenda Paraíso (56240000), Fazenda Cachoeira d’Antas (56425000) e Cachoeira dos Óculos (56539000) foram utilizados apenas no processo de homogeneização de dados para um período base comum e/ou para validação da série estimada no eixo da usina, conforme descrito posteriormente.

As séries de vazões médias mensais das estações-base Fazenda Ocidente, Acaiaca Jusante e Ponte Nova Jusante foram regionalizadas, respectivamente, para a foz do rio Gualaxo do Norte (562 km<sup>2</sup>), para a foz do ribeirão do Carmo a montante da confluência com o rio do Carmo (1497 km<sup>2</sup>) e para a foz do rio Piranga (6600 km<sup>2</sup>), tomando por base a relação entre as respectivas áreas de drenagem. As séries da foz do rio Gualaxo do Norte e do rio do Carmo a montante da confluência com o rio Gualaxo do Norte foram somadas (2059 km<sup>2</sup>) e transferidas pelo critério de área de drenagem até a foz do rio do Carmo, a montante da confluência com o rio Piranga (2279 km<sup>2</sup>). Essa série foi então somada à série obtida para a foz do rio Piranga (6600 km<sup>2</sup>), as quais juntam englobam uma área de contribuição de 8879 km<sup>2</sup>. Mais uma vez, valendo-se do critério de proporcionalidade entre as áreas de drenagem, essa série foi transferida para o eixo da UHE Candonga (8990 km<sup>2</sup>).

A série de vazões obtida para o eixo da usina, pelo critério descrito anteriormente, referente ao período de 1931 a 2016 e com  $Q_{MLT}$  de 163 m<sup>3</sup>/s, é apresentada no Quadro 4.1.

De maneira a verificar a coerência do método utilizado, os dados da série de vazões médias mensais do rio Doce em Fazenda Cachoeira d’Antas (10.070 km<sup>2</sup>), disponíveis para o período de 12/1981 a 12/2017 foram transferidos, pelo critério de relação entre as respectivas áreas de drenagem, para o eixo da UHE Candonga. A comparação entre as séries obtidas pelos dois métodos descritos é ilustrada no Gráfico 4.9.



FUNDAÇÃO RENOVA

CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E  
HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE  
CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO  
RELATÓRIO TECNICO

Nº

POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001

PÁGINA

31/62

REV.

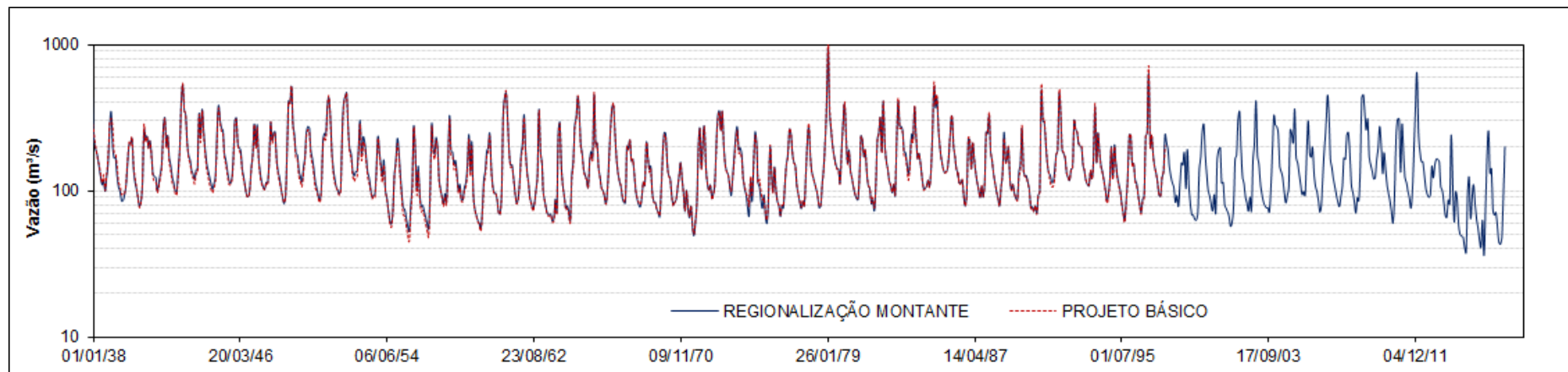
03

Quadro 4.1 – Série de vazões médias mensais do rio Doce em UHE Candonga.

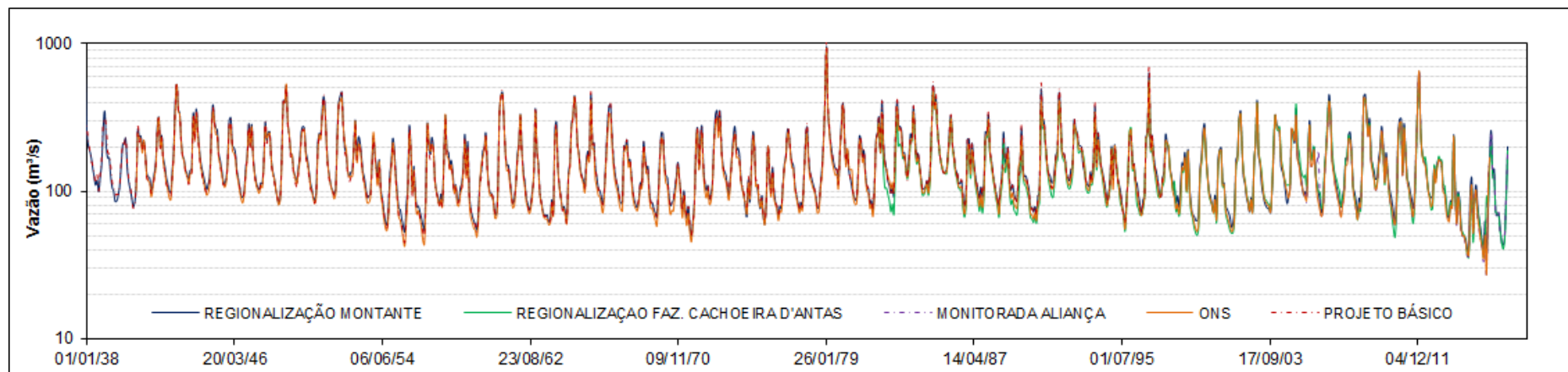
Série Natural de Vazões Médias Mensais (m³/s)															
UHE Candonga															
Rio Doce															
Área de Drenagem: 8990 km²															
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA	MÁXIMA	MÍNIMA
1931	321	579	516	296	211	167	140	120	145	236	222	239	266	579	120
1932	305	220	147	117	111	135	113	120	148	532	772	857	298	857	111
1933	752	222	216	173	134	106	112	94,1	88,1	139	124	404	214	752	88,1
1934	448	159	190	143	118	97,5	88,4	79,8	104	100	168	251	162	448	79,8
1935	360	515	297	223	147	137	115	102	112	125	134	236	209	515	102
1936	136	220	229	164	116	99,1	95,3	87,4	98,6	109	160	228	145	229	87,4
1937	398	375	205	166	167	126	109	93,9	89,2	120	176	608	219	608	89,2
1938	260	204	188	171	145	124	110	119	99,1	124	155	269	164	269	99,1
1939	347	201	168	169	127	106	99,5	85,2	85,7	93,6	110	150	145	347	85,2
1940	208	212	228	146	116	103	90,3	78,2	84,6	111	262	232	156	262	78,2
1941	237	197	222	183	133	125	123	99,3	113	131	155	270	166	270	99,3
1942	317	201	239	169	150	125	114	100	98,3	137	195	395	187	395	98,3
1943	530	350	336	222	176	163	138	131	119	139	142	337	233	530	119
1944	230	361	264	196	157	139	125	112	102	112	127	244	181	361	102
1945	384	307	268	260	181	161	138	119	112	122	173	305	211	384	112
1946	316	206	198	186	141	123	106	92,2	90,9	101	143	177	157	316	90,9
1947	287	202	284	170	134	115	107	102	114	112	158	294	173	294	102
1948	221	251	253	166	137	123	104	91,0	81,8	91,9	183	411	176	411	81,8
1949	395	519	293	240	181	176	137	126	115	143	170	251	229	519	115
1950	275	268	190	167	142	116	104	92,1	86,4	102	211	247	167	275	86,4
1951	239	365	438	332	198	145	122	107	101	94,7	104	243	207	438	94,7
1952	403	443	468	277	195	180	138	126	135	137	199	304	250	468	126
1953	174	233	221	178	137	124	105	90,0	93,4	95,0	145	236	153	236	90,0
1954	182	148	125	163	103	89,7	73,9	62,8	59,2	73,3	126	161	114	182	59,2
1955	228	186	133	97,3	76,6	75,1	64,8	57,6	53,1	79,6	110	276	120	276	53,1
1956	189	102	148	97,2	78,2	79,6	73,3	66,2	59,4	54,6	104	286	111	286	54,6
1957	200	178	232	200	124	102	91,9	81,2	95,8	83,3	161	328	156	328	81,2
1958	189	184	151	162	133	99,5	111	86,2	86,3	105	114	149	131	189	86,2
1959	243	134	217	96,2	75,4	68,5	62,8	60,0	54,7	71,7	118	136	112	243	54,7
1960	186	199	248	146	109	96,3	96,4	86,3	70,3	69,3	102	333	145	333	69,3
1961	439	467	316	188	149	151	123	96,8	82,2	87,8	114	174	199	467	82,2
1962	216	332	198	137	115	90,2	81,9	74,3	82,6	101	130	361	160	361	74,3
1963	189	153	97,7	85,2	74,1	69,0	68,9	69,1	61,9	64,2	87,8	71,9	91,0	189	61,9
1964	254	295	153	109	92,6	75,9	79,1	72,1	62,6	127	158	279	146	295	62,6
1965	319	442	360	213	182	141	128	119	106	162	187	167	210	442	106
1966	455	207	214	146	125	104	101	90,8	81,2	104	166	266	172	455	81,2
1967	376	385	253	168	135	116	107	89,7	83,0	82,4	202	194	183	385	82,4
1968	223	160	165	129	98,7	86,9	80,3	77,6	89,2	115	108	214	129	223	77,6
1969	175	139	148	99,2	84,7	83,5	75,6	71,2	66,5	99,9	178	250	123	250	66,5
1970	248	157	128	123	95,3	79,9	83,9	86,2	104	125	157	121	126	248	79,9
1971	95,6	72,2	101	77,1	65,4	78,7	57,2	49,3	61,9	83,5	203	269	101	269	49,3
1972	143	228	275	148	112	101	110	88,5	95,8	113	217	326	163	326	88,5
1973	353	258	351	206	151	136	129	107	92,8	125	172	238	193	353	92,8
1974	274	159	197	179	125	103	94,2	76,3	67,7	120	84,4	153	139	274	67,7
1975	252	209	113	106	85,8	75,9	93,7	66,6	60,0	89,5	200	139	124	252	60,0
1976	98,1	146	102	84,7	78,8	68,7	79,4	76,2	112	152	177	264	120	264	68,7
1977	248	182	157	150	110	94,4	83,6	75,3	84,6	78,8	125	212	133	248	75,3
1978	273	175	137	124	113	103	92,0	76,6	78,3	109	143	216	137	273	76,6
1979	401	957	352	260	207	175	154	142	141	112	185	288	281	957	112
1980	395	244	153	190	137	122	106	94,7	88,5	86,5	125	237	165	395	86,5
1981	220	170	188	132	108	103	81,6	86,8	72,8	108	223	249	145	249	72,8
1982	318	185	412	215	162	141	118	109	96,8	111	93,1	225	182	412	93,1
1983	411	275	276	260	185	182	150	129	170	245	228	377	241	411	129
1984	238	166	181	153	124	104	104	108	118	106	139	251	149	251	104
1985	517	370	432	268	199	165	145	134	134	139	177	257	245	517	134
1986	325	207	176	142	132	113	112	118	91,6	78,5	96,6	225	152	325	78,5
1987	225	141	211	168	134	115	101	89,7	107	90,2	114	253	146	253	89,7
1988	246	330	187	160	131	113	98,2	88,7	78,8	106	132	252	160	330	78,8
1989	157	165	197	119	102	111	96,0	88,5	87,0	135	153	268	140	268	87,0
1990	140	125	127	114	102	76,2	78,0	72,3	79,0	69,7	93,8	98,0	98,0	140	69,7
1991	475	299	299	213	157	133	128	114	115	137	178	188	203	475	114
1992	459	334	188	180	168	131	122	118	141	143	302	265	212	459	118
1993	251	207	203	199	152	135	117	110	108	135	121	162	158	251	108
1994	378	156	249	191	151	135	119	103	84,8	95,5	120	202	165	378	84,8
1995	122	206	159	127	112	99,9	82,4	70,8	62,5	87,1	125	242	125	242	62,5
1996	241	151	154	119	112	94,2	81,1	70,8	88,2	92,7	234	250	141	250	70,8
1997	635	200	240	179	148	133	115	92,9	91,9	123	136	242	195	635	91,9
1998	214	188	146	125	113	105	83,4	93,0	78,0	110	155	150	130	214	78,0
1999	182	103	192	110	82,4	68,6	68,3	63,6	63,1	69,1	140	171	109	192	63,1
2000	252	285	179	128	101	91,7	80,1	72,9	94,1	70,3	163	190	142	285	70,3
2001	198	113	114	80,5	76,0	71,8	66,7	57,0	61,0	77,9	164	175	105	198	57,0
2002	307	349	196	125	113	90,5	62,6	72,5	90,7	73,0	158	213	156	349	72,5
2003	413	176	154	112	95,8	84,6	79,3	76,4	76,5	71,5	102	176	135	413	71,5
2004	325	262	275	245	146	135	122	98,1	82,4	93,0	106	262	181	325	82,4
2005	247	214	363	168	156	130	111	94,0	99,1	92,8	178	302	179	363	92,8
2006	177	170	199	132	108	98,2	84,9	71,3	82,7	135	198	279	145	279	71,3
2007	452	316	165	144	121	106	93,2	84,0	78,0	92,1	107	168	160	452	78,0
2008	164	241	251	182	110	97,7	85,1	70,4	89,9	85,3	151	435	164	435	70,4
2009	455	337	260	309	171	151	136	120	122	163	196	276	225	455	120
2010	207	131	183	140	110	95,6	84,7	71,0	60,5	94,8	237	309	144	309	60,5
2011	311	134	286	185	123	114	99,6	89,1	76,1	99,0	193	374	174	374	76,1
2012	643	254	187	159	157	128	104	94,3	90,1	93,5	148	122	182	643	90,1
2013	152	165	164	158	106	101	84,6	68,1	65,8	86,8	81,0	241	123	241	65,8
2014	110	61,0	98,2	87,0	58,0	50,3	48,8	48,3	41,1	37,7	94,9	124	71,6	124	37,7
2015	64,7														



**Gráfico 4.9** – Comparação entre as séries de vazão média mensal calculadas para a UHE Candonga pelos critérios de regionalização adotados no presente estudo.



**Gráfico 4.10** – Comparação entre todas as séries de vazão média mensal calculadas para a UHE Candonga.



		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 33/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>

Além dessa comparação, também foram compiladas e comparadas as séries de vazões médias mensais obtidas nos estudos de Projeto Básico (1931 a 1997), a série de vazões monitorada pelo empreendedor (2005 a 2017) e a série de vazões disponibilizadas pelo ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico (1940 a 2015). As duas últimas séries foram disponibilizadas à RENOVA, pela ALIANÇA Energia. A comparação de todas as séries citadas com aquelas calculadas pelos critérios de regionalização adotados no presente estudo é indicada no Gráfico 4.10.

Analisando os Gráficos 4.9 e 4.10 não se percebem diferenças significativas entre as séries de vazões médias mensais obtidas para a UHE Candonga. Entretanto, quando se comparam as respectivas QMLT, para os períodos base comuns, verificam-se diferenças da entre 3% (projeto básico) e 7% (monitoramento da usina). Tais diferenças estão associadas, provavelmente, à diferença na consistência das estações fluviométricas consideradas como base, à origem dos dados-base e obviamente às especificidades de cada método de regionalização adotado.

### 4.3 Vazões Extremas Máximas

As cheias de projeto, ou vazões extremas máximas, associadas a diferentes períodos de retorno e afluentes ao eixo da UHE Candonga, foram inicialmente calculadas empregando-se a metodologia da cheia de referência, *index-flood method* (DALRYMPLE, 1960). Esta metodologia está fundamentada nos seguintes preceitos:

- Seleção de um conjunto de estações fluviométricas localizadas em uma região homogênea, sob o aspecto hidrológico (mesmo mecanismo climatológico de gênese das enchentes).
- Obtenção das amostras dos máximos anuais de vazão média diária em todas as estações, correspondentes ao ano hidrológico local, no caso, outubro de um ano qualquer a setembro do ano seguinte.
- Complementação, ou não, das referidas amostras, por meio de correlações estabelecidas entre seus dados, com a finalidade de obter um período base comum de observação.
- Definição de uma cheia de referência e posterior adimensionalização das amostras de cada estação, dividindo-se os quantis pelo valor da cheia de referência. Para o presente

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 34/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>

estudo foi adotado como vazão de referência o quantil referente à cheia média, igual à média aritmética das vazões de enchente máximas anuais de cada uma das estações.

- Determinação de uma curva regional de frequência adimensionalizada, definida como a curva mediana ou média entre as amostras de cada estação fluviométrica.
- Identificação de uma distribuição de probabilidades para ajustar-se à curva mediana adimensional de vazões máximas.
- Regionalização da cheia de referência, correlacionando-a com parâmetros físicos das bacias hidrográficas de cada estação fluviométrica; no caso presente o parâmetro usado foi a área de drenagem.
- Obtenção do valor da cheia de referência no local de interesse, empregando a curva de regionalização, com base nas características físicas da respectiva bacia hidrográfica.
- Multiplicação da curva adimensional mediana pelo valor da cheia de referência, inferido no local de interesse, obtendo-se assim a curva de frequência dos máximos anuais de vazão média diária desejada.

Na aplicação do método foram empregadas apenas as amostras dos máximos anuais de vazão média diária registrados nas estações fluviométricas selecionadas para o estudo. Para que essas amostras possam ser consideradas representativas da população a ser estimada (valores extremos em função de períodos de retorno), é necessário utilizar séries com dez ou mais eventos de valores anuais máximos. As amostras das estações utilizadas satisfazem esta condição, sendo consideradas, portanto, satisfatórias para a realização dos estudos de estimativa de vazões extremas máximas.

Neste estudo foram utilizadas as mesmas estações fluviométricas selecionadas para os estudos de regionalização de vazões médias mensais (56075000, 56110000/56110005, 56240000, 56335000/56335001, 56337000; 56425000 e 56539000). As amostras das estações Ponte Nova e Ponte Nova Jusante, bem como as amostras das estações Acaiaca e Acaica Jusante foram agrupadas em uma única amostra.

Na aplicação do método de regionalização adotado não foi feita a complementação das amostras de máximos anuais, tendo em vista que não foram obtidos bons índices de correlação entre os registros das estações-base. A Tabela 4.2 apresenta as amostras

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº	PÁGINA <b>35/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

selecionadas a partir das estações fluviométricas consideradas como base, assim como o quantil referente à cheia média, utilizado para adimensionalização das amostras.

Após a adimensionalização das amostras pelos quantis médios correspondentes, estas foram agrupadas para a obtenção da curva média, ilustrada no Gráfico 4.11.

**Tabela 4.2** - Amostras de máximos anuais de vazão média diária das estações fluviométricas selecionadas.

	Vazões (m³/s)						
Q <sub>MAX MED</sub> (m³/s)	367	502	159	207	106	713	1061
Área (km²)	4260	6230	857	1370	529	10100	15900
Ano/Estação	<b>56075000</b>	<b>56110005</b>	<b>56240000</b>	<b>56335001</b>	<b>56337000</b>	<b>56425000</b>	<b>56539000</b>
30-31	-	-	229	-	-	-	-
31-32	-	-	107	-	-	-	-
32-33	-	-	318	-	-	-	-
33-34	-	-	408	-	-	-	-
34-35	-	-	209	-	-	-	-
35-36	-	-	74,4	-	-	-	-
36-37	-	527	246	-	-	-	-
37-38	-	-	269	-	-	-	-
38-39	315	-	164	-	56,0	-	-
39-40	266	299	147	-	80,5	-	-
40-41	436	556	277	212	101	-	-
41-42	315	344	101	132	132	-	-
42-43	494	533	198	253	127	-	-
43-44	481	556	170	227	117	-	-
44-45	356	444	192	315	201	-	-
45-46	242	328	136	184	88,1	-	-
46-47	307	416	185	212	85,0	-	-
47-48	351	586	201	204	78,3	-	-
48-49	511	756	269	318	162	-	-
49-50	254	396	103	126	67,3	-	-
50-51	507	1021	331	367	125	-	-
51-52	361	428	163	212	93,5	-	-
52-53	257	328	109	177	67,3	-	-
53-54	250	286	97,7	125	63,5	-	-
54-55	226	240	277	160	101	-	-



Continuação

Área (km <sup>2</sup> )	Vazões (m <sup>3</sup> /s)						
	4260	6230	857	1370	529	10100	15900
Ano/Estação	<b>56075000</b>	<b>56110005</b>	<b>56240000</b>	<b>56335001</b>	<b>56337000</b>	<b>56425000</b>	<b>56539000</b>
55-56	256	574	105	149	49,7	-	-
56-57	438	527	86,2	152	91,9	-	-
57-58	217	273	86,2	164	88,8	-	-
58-59	305	321	53,9	135	59,9	-	-
59-60	212	266	77,4	92,0	101	-	-
60-61	710	780	356	413	167	-	-
61-62	393	401	83,5	126	56,0	-	-
62-63	366	485	89,7	205	92,7	-	-
63-64	342	680	89,7	175	109	-	-
64-65	407	498	109	186	166	-	-
65-66	680	840	150	259	97,3	-	-
66-67	338	471	143	210	79,0	-	-
67-68	265	389	81,6	147	51,0	-	-
68-69	291	369	76,5	173	97,3	-	-
69-70	212	314	198,7	334	88,1	-	-
70-71	191	240	78,1	158	51,0	-	-
71-72	284	450	63,6	128	76,8	-	-
72-73	351	507	94,4	163	91,2	-	-
73-74	221	358	43,6	102	102	-	-
74-75	183	218	126	167	61,9	-	1007
75-76	284	305	56,2	103	46,2	-	563
76-77	240	320	90,1	138	73,2	-	861
77-78	412	546	217	294	88,8	-	929
78-79	-	1302	380	630	366	-	2656
79-80	330	771	186	290	132	-	1682
80-81	194	282	62,3	113	77,5	-	652
81-82	344	495	158	263	187	707	1085
82-83	397	398	155	210	94,2	537	991
83-84	337	454	79,8	131	86,5	697	1037
84-85	513	771	288	358	212	1194	2178
85-86	287	439	74,9	153	84,2	667	1144
86-87	302	351	120	129	43,6	465	600

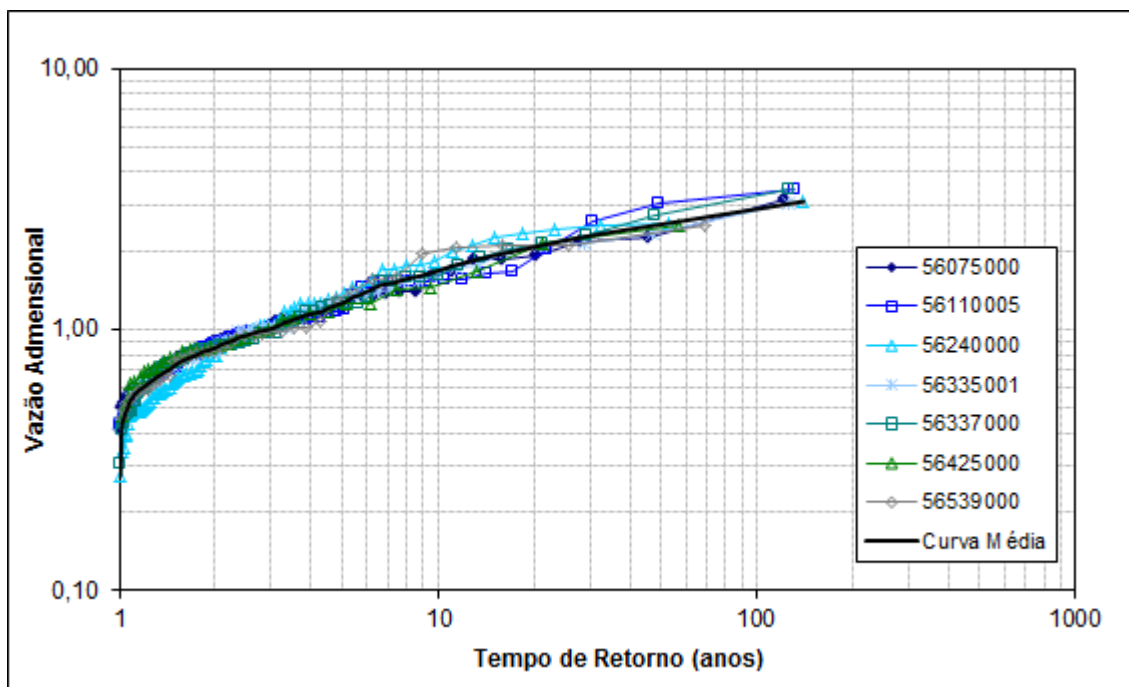
		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº	PÁGINA <b>37/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

Continuação

Área (km <sup>2</sup> )	Vazões (m <sup>3</sup> /s)						
	4260	6230	857	1370	529	10100	15900
Ano/Estação	<b>56075000</b>	<b>56110005</b>	<b>56240000</b>	<b>56335001</b>	<b>56337000</b>	<b>56425000</b>	<b>56539000</b>
87-88	411	478	103	145	73,9	614	876
88-89	-	256	-	-	-	-	-
89-90	-	601	-	-	111	-	901
90-91	593	825	372	435	226	896	1041
91-92	679	783	208	269	130	891	1085
92-93	286	419	126	162	140	592	819
93-94	314	490	108	157	81,3	496	618
94-95	218	321	142	157	61,9	440	623
95-96	-	356	163	275	169	589	678
96-97	1150	1514	492	483	243	1783	2224
97-98	220	299	111	188	75,4	487	664
98-99	204	229	105	133	32,5	377	523
99-00	329	470	198	243	77,5	604	857
00-01	265	382	92,3	115	50,4	552	794
01-02	258	352	-	206	125	597	839
02-03	407	492	142	209	113	833	1475
03-04	616	767	148	202	92,3	775	1003
04-05	499	732	230	281	90,4	1012	1651
05-06	401	483	127	183	90,0	634	806
06-07	-	430	92,7	144	91,5	787	1020
07-08	421	508	121	223	133	657	706
08-09	793	765	164	249	161	1528	2088
09-10	233	312	77,4	139	66,5	596	867
10-11	379	546	116	172	70,3	825	1370
11-12	824	1722	399	440	288	1039	2224
12-13	152	218	82,3	185	78,3	506	618
13-14	275	324	69,0	90,9	85,8	450	580
14-15	257	339	93,2	131	61,9	333	484
15-16	362	433	140	173	-	520	700
16-17	-	387	76,9	94,5	-	560	-

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
		Nº	PÁGINA <b>38/62</b>
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

**Gráfico 4.11** – Distribuições de probabilidade empírica dos máximos anuais de vazão média diária, adimensionalizados pela cheia média.



À curva empírica regional média de máximos anuais de vazão média diária, indicada no Gráfico 4.11, foi aplicada a técnica de análise de frequência, ajustando-se distribuições de probabilidade comumente usadas neste estudo, quais sejam: Exponencial de dois parâmetros, Gumbel, Log-Normal 2 Parâmetros, Pearson III, Log-Pearson III e GEV, através dos programas ALEA e SEAF, desenvolvidos pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais) e por meio de estudos analíticos e análises visuais.

Para verificar a aderência das distribuições citadas e auxiliar na escolha da melhor distribuição de probabilidades a ser aplicada à amostra estudada, foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov.

Os requisitos básicos da análise de frequência, relacionados à homogeneidade e independência dos dados, foram constatados por meio dos testes estatísticos aplicados pelo programa SEAF (kendall e Mann-Kendall). Também não foram identificados *outliers* na amostra selecionada (teste de Grubbs e Beck).

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 39/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>

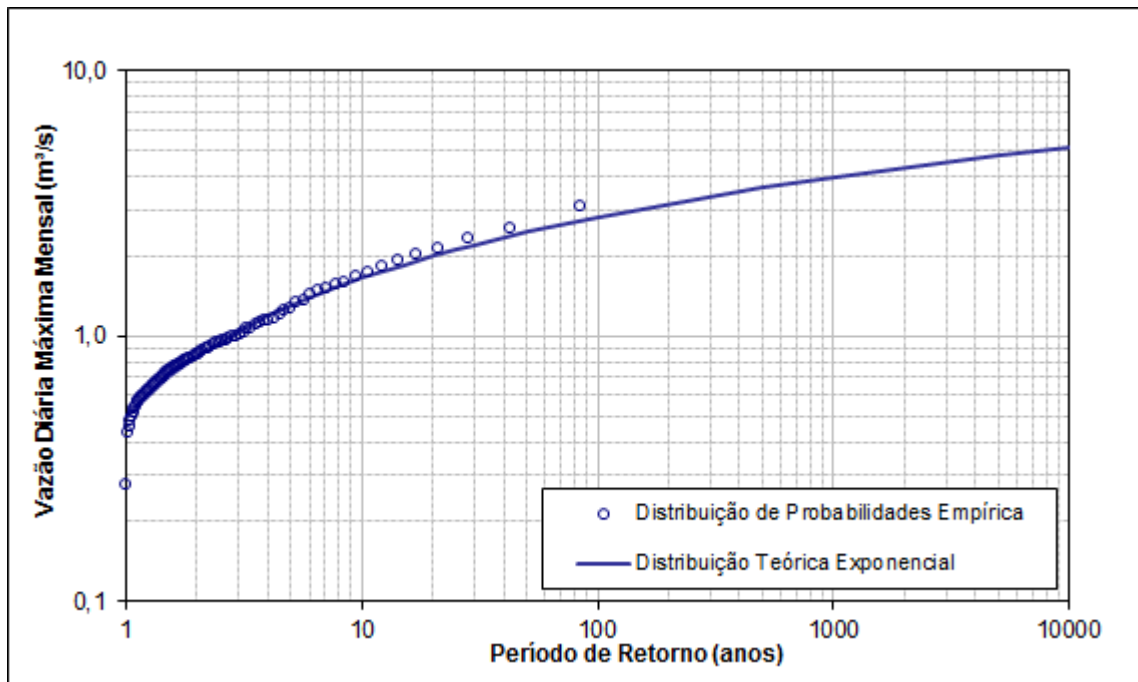
A distribuição de probabilidades que melhor se ajustou à curva regional média foi a Exponencial, tal como mostra o Gráfico 4.12.

O Gráfico 4.13 apresenta a curva de regionalização válida para a bacia do rio Doce até o eixo da UHE Candonga, obtida com base nos valores das cheias de referência de cada estação utilizada nos estudos (indicadas na Tabela 4.2) e nos valores de área de drenagem correspondente como parâmetros físicos das bacias de contribuição a serem associados às respectivas vazões.

A partir da curva citada foi determinado o valor da cheia de referência para a UHE Candonga, igual a 650 m<sup>3</sup>/s. Esse valor foi multiplicado pelos quantis adimensionais obtidos pelo ajuste da distribuição teórica de probabilidades Exponencial à amostra média, para se determinar as vazões de cheia, cujos valores são listados na Tabela 4.3.

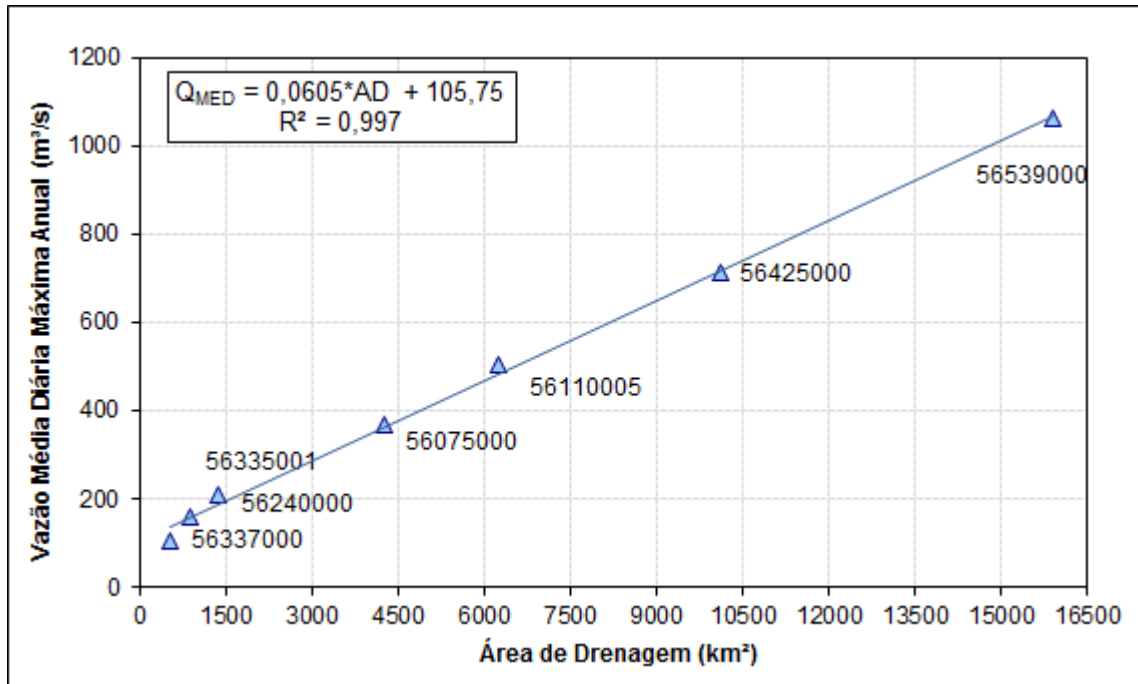
Os valores de vazão constantes na Tabela 4.2 foram determinados a partir das amostras de máximos anuais de vazão média diária, decorrentes das correspondentes séries de cotas máximas médias diárias disponibilizadas no banco de dados da ANA. Desta forma, para determinar os valores de vazão diária instantânea foi aplicada aos quantis de cheia obtidos no estudo a equação proposta por Füller, indicada na sequência.

**Gráfico 4.12** - Ajuste da amostra dos máximos anuais de vazões médias diárias adimensionais, válida para a bacia do rio Doce até o eixo da UHE Candonga.



		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
		Nº	PÁGINA <b>40/62</b>
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

**Gráfico 4.13** - Curva de regionalização de vazão média diária máxima anual para a bacia do rio Doce até o eixo da UHE Candonga.



$$Q_P = Q_{MAX} \left( 1 + \frac{2,66}{A^{0,3}} \right)$$

em que  $Q_P$  representa a vazão de pico ( $m^3/s$ ),  $Q_{MAX}$  a vazão máxima anual média diária ( $m^3/s$ ) e  $A$ , a área de drenagem do aproveitamento ( $km^2$ ). Os quantis instantâneos calculados dessa forma também são apresentados na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3** – Quantis de vazões máximas médias diárias e instantâneas calculados para a UHE Candonga pelo método do *Index Flood*.

PERÍODO DE RETORNO (anos)	$Q_{MED}$ ( $m^3/s$ )	$Q_{INST}$ ( $m^3/s$ )	PERÍODO DE RETORNO (anos)	$Q_{MED}$ ( $m^3/s$ )	$Q_{INST}$ ( $m^3/s$ )
2	548	643	50	1601	1878
5	848	995	100	1827	2144
10	1074	1261	1000	2580	3027
25	1374	1612	10000	3333	3911

Fonte: POTAMOS, 2017.

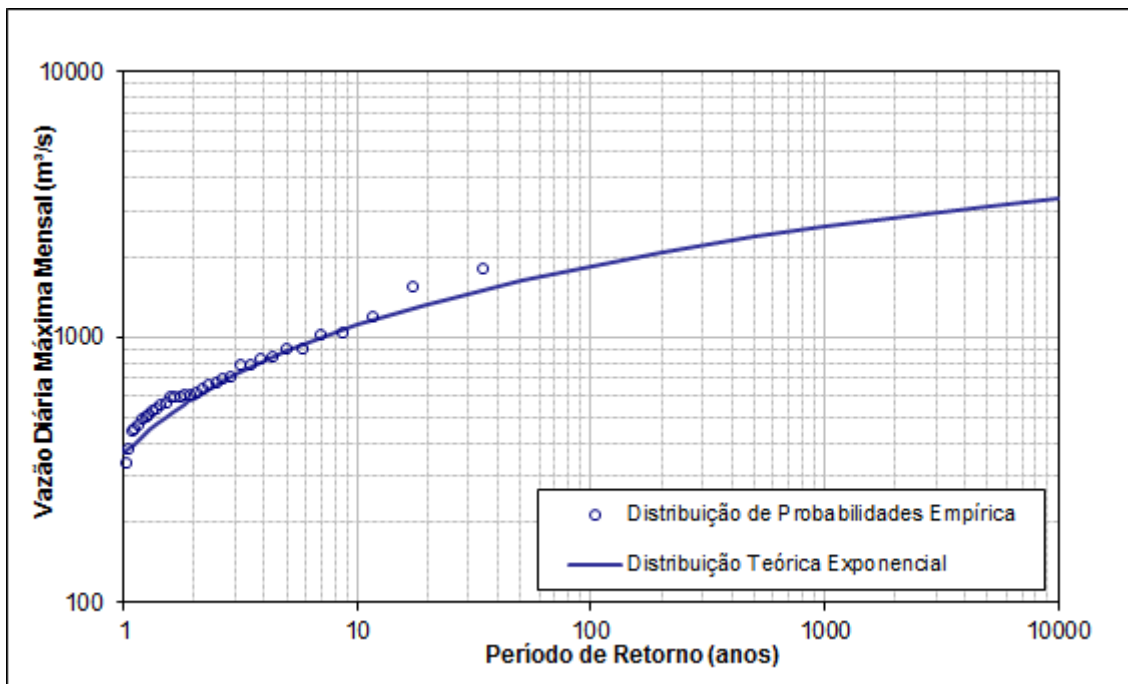
		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 41/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>

Considerando a proximidade da estação Fazenda Cachoeira d’Antas (56425000) em relação à UHE Candonga, o fato de não haver contribuição significativa de vazão no trecho do rio Doce entre ambas e o regime de operação da usina ser a fio-d’água, também foi realizada a análise de frequência local de eventos de cheia máxima anual apenas para os dados amostrais obtidos a partir da estação citada.

A amostra obtida a partir da estação Fazenda Cachoeira d’Antas (ver Tabela 4.2) conta com 34 eventos que abrangem o período de amostragem de 1981 a 2017. Os resultados da análise de frequência dessa amostra, à qual foi ajustada a distribuição de probabilidades teórica Exponencial, são apresentados na Figura 4.14 e Tabela 4.4.

Os quantis obtidos foram regionalizados, pela relação entre as respectivas áreas de drenagem, para o eixo da UHE Candonga. Na Tabela 4.4 são mostrados os valores de vazão regionalizados, bem como indicados os quantis instantâneos, obtidos pela aplicação da equação proposta por Füller, já apresentada anteriormente.

**Gráfico 4.14** - Ajuste da amostra dos máximos anuais de vazões médias diárias da estação Fazenda Cachoeira d’Antas (56425000).



		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº	PÁGINA <b>42/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

**Tabela 4.4** – Quantis de vazões máximas médias diárias e instantâneas calculados para a UHE Candonga a partir dos dados da estação fluviométrica do rio Doce em Fazenda Cachoeira d’Antas (56425000).

PERÍODO DE RETORNO (anos)	ESTAÇÃO BASE Q <sub>MED</sub> (m <sup>3</sup> /s)	UHE CANDONGA	
		Q <sub>MED</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>INST</sub> (m <sup>3</sup> /s)
2	590	526	618
5	886	791	928
10	1110	991	1163
25	1407	1256	1473
50	1631	1456	1708
100	1855	1656	1943
1000	2600	2321	2723
10000	3345	2986	3503

Fonte: POTAMOS, 2017.

A Tabela 4.5 apresenta uma comparação entre os quantis de cheia estimados para a UHE Candonga pelo método do *Index Flood*, os valores calculados pelo método de regionalização da análise de frequência local de eventos máximos anuais da estação Fazenda Cachoeira d’Antas, e aqueles obtidos à época dos estudos de projeto básico da usina.

**Tabela 4.3** – Quantis de vazões máximas diárias instantâneas estimados para a UHE Candonga.

PERÍODO DE RETORNO (anos)	QUANTIS DE CHEIA (m <sup>3</sup> /s)		
	INDEX FLOOD	AF LOCAL	PROJETO BÁSICO
2	643	618	-
5	995	928	1114
10	1261	1163	1451
25	1612	1473	1897
50	1878	1708	2235
100	2144	1943	2572
1000	3027	2723	3693
10000	3911	3503	4814

Fonte: POTAMOS, 2017

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>	<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 43/62</b>	
	POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>	

Os resultados obtidos indicam diferenças significativas e crescentes com o período de retorno, entre os quantis determinados no presente estudo e aqueles obtidos durante os estudos de Projeto Básico. Entretanto, vale destacar que o método de cálculo utilizado nos estudos de Projeto Básico não é usual, tendo em vista que o mesmo se vale da regionalização de vazões médias diárias e posterior soma dos dados regionalizados. Além disso, o período utilizado nesses estudos anteriores (1941 a 1997) é bastante inferior e diferente do período considerado no presente estudo (1930 a 2017), considerado mais representativo para caracterização do regime de cheias na bacia.

Entre os valores estimados pelos métodos descritos no presente estudo (Index Flood e regionalização por análise de frequência local de eventos máximos anuais), pode-se notar pequena diferença entre os quantis. Como base para as análises subsequentes foram adotados os quantis obtidos pelo método do *Index Flood*, tendo em vista que os mesmos são mais conservadores.

Apenas a título de verificação, foi feita, ainda, uma análise expedita de amostras das estações selecionadas apenas para o período utilizado nos estudos de Projeto Básico. Os quantis obtidos nessa análise se aproximaram bastante daqueles obtidos nos estudos anteriores de Projeto Básico. Entretanto, como a análise atual envolve uma maior gama de dados históricos, caracterizando melhor o regime fluviométrico e permitindo ajustes de distribuições teóricas de probabilidades às referidas amostras, mais robusto e consistente, os quantis de cheia obtidos na presente análise foram considerados como característicos das vazões de cheia afluentes ao eixo da UHE Candonga.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº	PÁGINA <b>44/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

## 5 CARACTERIZAÇÃO HIDROSEDIMENTOLÓGICA

### 5.1 Caracterização Regional da Bacia quanto à Produção de Sedimentos

De acordo com ELETROBRÁS (1998), a bacia hidrográfica do rio Doce até o eixo da UHE Candonga encontra-se inserida na Zona Mineira (E6) de produção de sedimentos.

A Zona Mineira abrange a região constituída pela bacia do Alto Rio São Francisco e bacias vizinhas, tanto a leste da serra do Espinhaço, como nas cabeceiras dos rios Grande e Paranaíba. A região é caracterizada pelo relevo acentuado e vegetação pouco densa, resultante da ação antrópica. A grande variabilidade na erodibilidade dos solos e da erosividade das chuvas faz com que o comportamento hidrossedimentológico dos cursos de água nela inseridos seja bastante complexo. De qualquer maneira, esta zona é marcada por altas concentrações médias anuais de sedimentos - CMA e altas taxas de erosão. A primeira assume valores entre 100 e 1200 mg/L, em torno de uma média de 315 mg/L, e a segunda varia de 90,0 a 1500 t/km<sup>2</sup>.ano, com média de 250 t/km<sup>2</sup>.ano para bacias de 5000 km<sup>2</sup> de área de drenagem. A relação entre a descarga sólida de fundo e em suspensão varia na faixa de 1,0 a 0,5.

Levando-se em conta os valores regionais, a vazão média de longo do aproveitamento (igual a 163 m<sup>3</sup>/s) e a área de drenagem da usina (8990 km<sup>2</sup>), ter-se-ia a descarga sólida total estimada (DST) pela CMA média de 315 mg/L e pela PES de 250 t/km<sup>2</sup>.ano, conforme valores apresentados na Tabela 5.1. Na determinação da DST foi considerado o valor de 0,50 para a relação DSA/DSS (descarga sólida de arraste/ descarga sólida em suspensão), tal como indicado em ELETROBRÁS (1997).

A Tabela 5.2 apresenta os valores de descarga sólida total (DST) afluyente ao eixo da UHE Candonga, calculados com base nos valores médios ponderados de CMA e PES indicados para as estações Ponte Nova Jusante e Acaiaca Jusante na citada publicação.

**Tabela 5.1** – Estimativa da Descarga Sólida Total Afluyente a UHE Candonga com base em dados regionais.

MÉTODO	DESCARGA SÓLIDA TOTAL (m <sup>3</sup> /ano)
CMA Regional (315 mg/L)	2.428.785
PES Regional (250 t/km <sup>2</sup> .ano)	3.371.250

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº	PÁGINA <b>45/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

**Tabela 5.2** – Estimativa da Descarga Sólida Total Afluente a UHE Candonga com base nos dados regionais indicados para as estações Ponte Nova Jusante e Acaiaca Jusante.

MÉTODO	DESCARGA SÓLIDA TOTAL (m <sup>3</sup> /ano)
CMA Ponderado (135,5 mg/L)	1.044.606
PES Ponderado (73,6 t/km <sup>2</sup> .ano)	992.516

Analisando os dados apresentados pode-se notar grande discrepância entre os valores de DST calculados pelas diferentes metodologias, tomando por base ambos os critérios de regionalização, pela CMA e pela PES.

Nenhum dos valores apresentados pode ser descartado ou considerado preciso, tendo em vista que a diferença do dado base utilizado, ou seja:

(i) os dados regionais, baseados na análise de várias estações disponíveis na Zona de referência, servem para dar uma ideia da ordem de grandeza da DST das áreas de interesse quando não se tem outra informação disponível; (ii) os dados das estações Ponte Nova Jusante (CMA 91,0 mg/L e PES 51,0 t/km<sup>2</sup>.ano) e Acaiaca Jusante (CMA 337 mg/L e PES 176 t/km<sup>2</sup>.ano) refletem o comportamento individualizado de cada seção fluvial/bacia, característicos da época dos estudos. Além disso, esses dados foram ponderados pelas respectivas áreas de drenagem, promovendo um abatimento do valor estimado para a UHE Candonga.

## 5.2 Caracterização Hidrossedimentológica do Trecho Fluvial de Interesse

### 5.2.1 Caracterização com base nos dados de Monitoramento Sedimentométrico

Conforme indicado na Figura 2.1 (Capítulo 2), o rio Doce recebe, até o eixo da UHE Candonga, a contribuição dos rios do Carmo, pela margem esquerda, e do rio Piranga, pela margem direita. O rio do Carmo é monitorado pela estação sedimentométrica Acaiaca Jusante (56355001) e o rio Piranga pelas estações Porto Firme (56075000) e Ponte Nova Jusante (56110005). A jusante do empreendimento, o rio Doce é monitorado por outras estações sedimentométricas, incluindo Fazenda Cachoeira d'Antas (56425000) e Cachoeira dos Óculos (56539000), estações mais próximas à área do empreendimento.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 46/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>

Em todas as estações citadas são realizadas medições de descarga líquida e coletadas amostras de sedimentos em suspensão para caracterização da concentração de sedimentos em suspensão (CSS). Os dados sedimentométricos existentes na região, fruto do monitoramento realizado pela SAMARCO/RENOVA e IGAM, são meramente qualitativos, uma vez que se restringem a amostras coletadas em apenas um ponto da seção fluvial correspondente.

Valendo-se da aplicação do método de Colby (CARVALHO, 2008) e dos registros de vazão média diária e concentração de sedimentos em suspensão disponibilizados pela ANA para cada estação citada anteriormente, foram calculadas as descargas sólidas em suspensão e as descargas sólidas totais. Os resultados obtidos são sintetizados nos Gráficos 5.1 e 5.2. Os Gráficos 5.1(a) e 5.1(b) apresentam a relação entre as descargas líquidas e as descargas sólidas em suspensão respectivamente para o período anterior e posterior ao evento de ruptura da Barragem do Fundão. Os Gráficos 5.2(a) e 5.2(b) apresentam a relação entre as descargas líquidas e as descargas sólidas totais para os mesmos períodos citados. A Tabela 5.3 apresenta a síntese numérica desses dados.

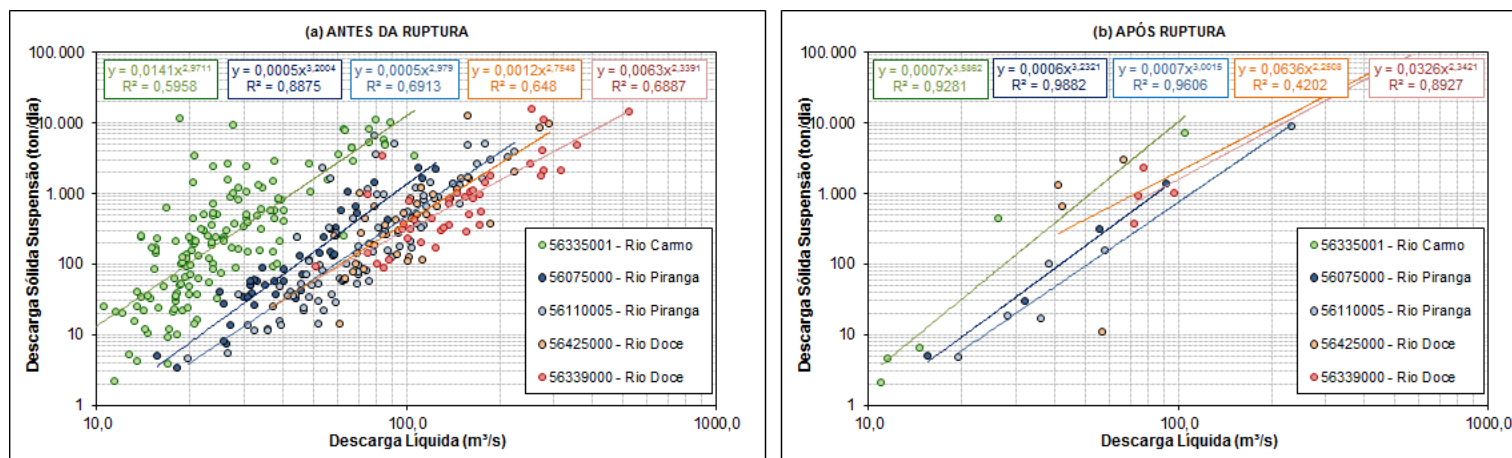
Os dados apresentados nos Gráficos 5.1(a) e 5.2(a) e Tabela 5.3 sugerem inicialmente que a maior parcela dos sedimentos (suspensão e total) que aportavam ao reservatório da UHE Candonga, no período anterior ao evento de ruptura da Barragem do Fundão, provinha do rio do Carmo, que apresenta as maiores taxas médias de produção de sedimentos.

Entretanto, as curvas de descargas sólidas em suspensão e total da estação sedimentométrica Ponte Nova Jusante (56335001), situada bem próximo à foz do rio Piranga, praticamente coincidem com as curvas do rio Doce em Fazenda Cachoeira d’Antas (56425000), situada no trecho de jusante da UHE Candonga e que incorpora, do eixo da usina até sua seção fluvial, cerca de 1000 km<sup>2</sup> de área incremental. Essas curvas (Ponte Nova Jusante e Fazenda Cachoeira d’Antas) também praticamente coincidem com as curvas da estação Cachoeira dos Óculos (56359000), que incorpora cerca de 6000 km<sup>2</sup> de área incremental a partir da estação Fazenda Cachoeira d’Antas.

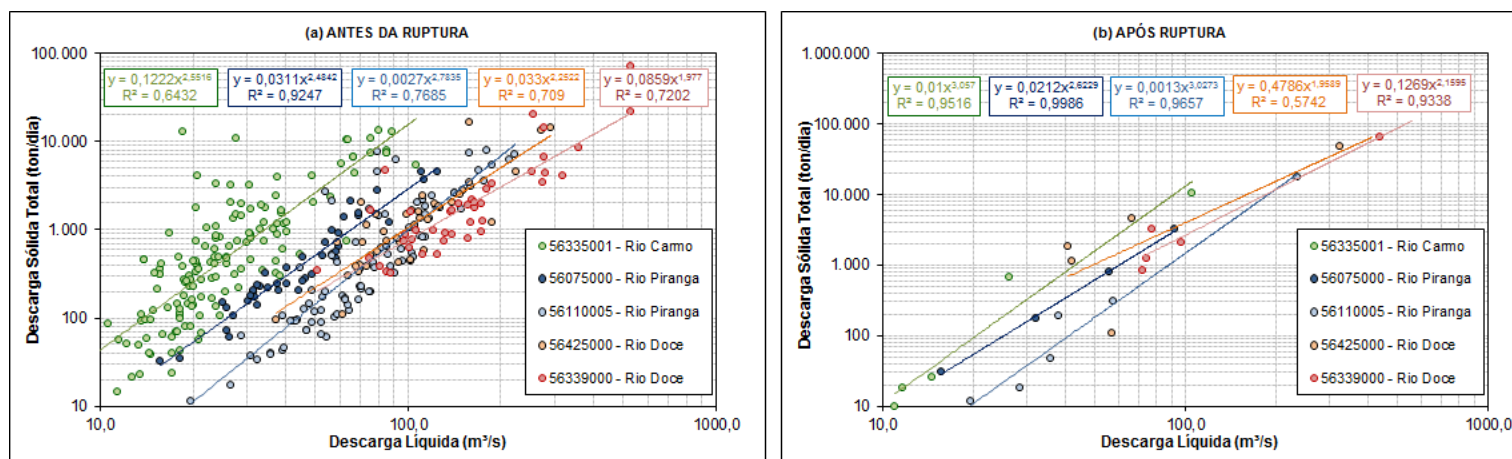
Os dados supracitados indicam que os sedimentos oriundos da bacia hidrográfica do rio do Carmo, que representa cerca de 25% da área de drenagem na confluência dos rios Carmo e Piranga, eram diluídos no rio Doce, após receberem a afluência do rio Piranga, com baixa taxa de produção de sedimentos e com 75% de representatividade das vazões afluentes.



**Gráfico 5.1** – Relação entre as descargas sólidas em suspensão e descargas líquidas na bacia de contribuição ao reservatório da UHE Candonga.



**Gráfico 5.2** – Relação entre as descargas sólidas totais e descargas líquidas na bacia de contribuição ao reservatório da UHE Candonga.



Fonte: POTAMOS, 2017.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº	PÁGINA <b>48/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

**Tabela 5.3** – Estimativa da Descarga Sólida Total Afluente a UHE Candonga com base em dados regionais.

<b>PERÍODO ANTES DA RUPTURA</b>					
<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>AD (km<sup>2</sup>)</b>	<b>DSS (t/ano)</b>	<b>DST (t/ano)</b>	<b>PES (t/km<sup>2</sup>.ano)</b>
56075000	Porto Firme	4256	111.987	280.119	65,8
56110005	Ponte Nova Jusante	6216	278.311	468.904	75,4
56335001	Acaiaca Jusante	1372	383.075	563.107	410,4
56425000	Faz. Cachoeira d'Antas	10.070	434.523	797.594	79,2
56539000	Cachoeira dos Óculos	15.848	1.163.643	1.724.799	108,8
<b>PERÍODO APÓS A RUPTURA</b>					
<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>AD (km<sup>2</sup>)</b>	<b>DSS (t/ano)</b>	<b>DST (t/ano)</b>	<b>PES (t/km<sup>2</sup>.ano)</b>
56075000	Porto Firme	4256	151.916	378.891	89,0
56110005	Ponte Nova Jusante	6216	550.351	1.095.701	176,3
56335001	Acaiaca Jusante	1372	537.124	797.982	581,6
56425000	Faz. Cachoeira d'Antas	10.070	3.240.701	4.042.545	401,4
56539000	Cachoeira dos Óculos	15.848	4.164.060	5.333.421	336,5

**Fonte:** POTAMOS, 2017. AD (Área de Drenagem), DSS (descarga sólida em suspensão), DST (descarga sólida total) e PES (produção específica de sedimentos).

Em relação ao rio Gualaxo do Norte, afluente do rio do Carmo pela margem esquerda e em cuja bacia se localizava a Barragem do Fundão, nada se pode afirmar sobre taxa de produção de sedimentos anterior ao acidente, devido à ausência de monitoramento ao longo do mesmo. Porém, os dados disponíveis, incluindo também os registros da estação sedimentométrica do rio Piranga em Porto Firme (56075000) corroboram o fato de que as cabeceiras de cursos de água, ou bacias de pequeno porte, são lugares propícios a apresentar maior produção de sedimentos, ao contrário das bacias com maiores áreas de drenagem.

Os dados apresentados nos Gráficos 5.1(b) e 5.2(b) e Tabela 5.3, construídos com a eliminação dos registros de CSS referentes ao período chuvoso imediatamente posterior ao acidente (novembro de 2015 a abril de 2016), indicam, obviamente, alteração no comportamento das curvas-chaves de sedimentos e acréscimo de 20% a 30% na taxa média de produção de sedimentos nas estações que incorporam a drenagem proveniente do córrego Santarém ou do rio Gualaxo do Norte e rio do Carmo. Os dados referentes ao período chuvoso

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 49/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>

imediatamente posterior ao evento de ruptura da Barragem do Fundão foram desconsiderados em virtude da instabilidade geomorfológica e temporária promovida em todo o trecho, causadora de altas concentrações de material em trânsito, e que não representam a condição atualmente vigente dos cursos de água.

Entretanto, analisando os dados das estações sedimentométricas (Porto Firme, Ponte Nova Jusante e Acaiaca Jusante) cujos cursos de água não foram influenciados pelo evento de ruptura, pode-se notar que o comportamento das curvas-chaves não foi alterado, mas as taxas médias de produção de sedimentos aumentaram em cerca de 70% (Acaiaca Jusante e Porto Firme) e 40% (Ponte Nova Jusante). Esse fato se deve aos eventos significativos de chuva e vazão, registrados em dezembro de 2015.

Tomando por base as análises citadas, as curvas-chaves de sedimentos da estação sedimentométrica do rio Piranga em Ponte Nova Jusante foram selecionadas como base para caracterizar o aporte de material (suspensão e total) ao reservatório da UHE Candonga no período anterior ao acidente, apesar de estar situada em apenas um dos contribuintes do rio Doce afluentes ao trecho, o rio Piranga. Essa escolha foi fundamentada no fato de que este curso de água representa cerca de 75% da área de contribuição ao reservatório da usina e de que as curvas-chaves dessa estação são praticamente coincidentes com as curvas-chaves da estação situada no trecho de jusante da UHE Candonga (ver Figuras 5.2(a) e 5.3(a)). Tais curvas são semelhantes, pois a primeira representa a diluição da produção de sedimentos provenientes do rio do Carmo no rio Doce e a segunda incorpora os efeitos de retenção de sedimentos pelo reservatório dessa usina.

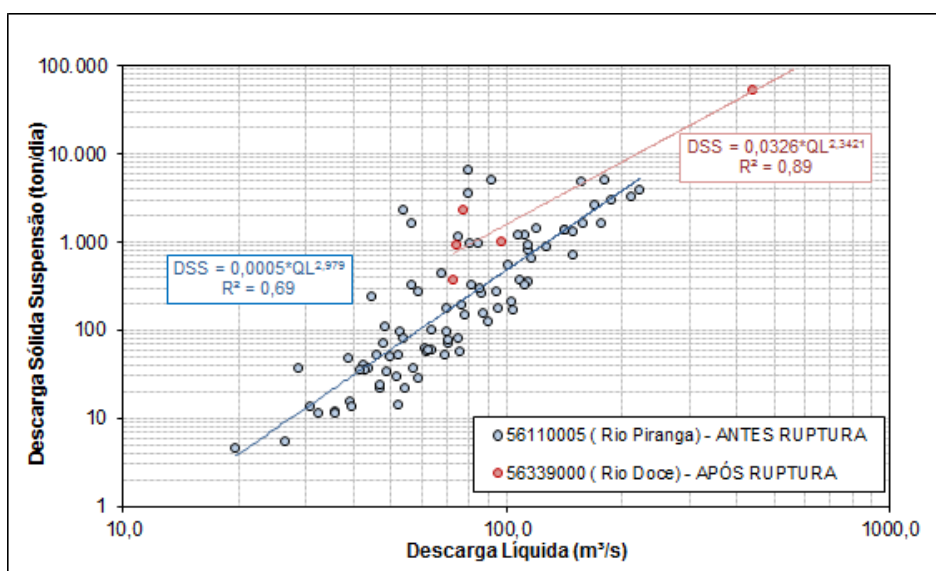
Para o período posterior ao evento de ruptura da Barragem do Fundão foram selecionadas inicialmente como base as curvas-chaves da estação sedimentométrica do rio Doce em Fazenda Cachoeira d'Dantas, na qual foi registrada praticamente toda a parcela de sedimentos provenientes das bacias de contribuição ao reservatório, tendo em vista que a eficiência de retenção do reservatório da UHE Candonga se tornou praticamente nula após a ruptura da Barragem do Fundão. Entretanto, essas curvas apresentam coeficiente de determinação não representativo de bom ajuste aos dados (ver Figuras 5.2(b) e 5.3(b)). Assim, por serem praticamente idênticas às curvas da estação Cachoeira dos Óculos e por apresentarem melhores coeficientes de determinação, essas últimas foram consideradas como

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 50/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>

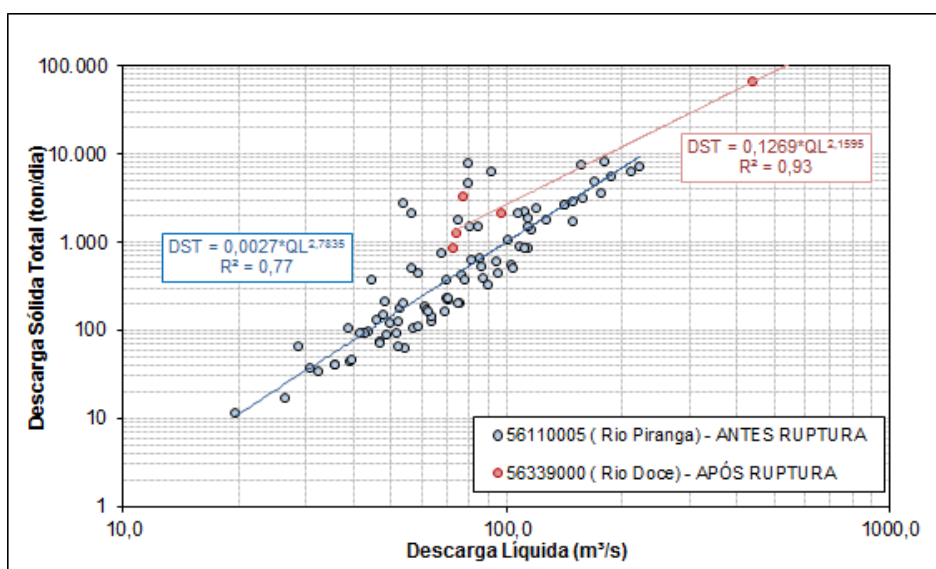
base para o cálculo de aporte de sedimentos à usina no período posterior ao evento de ruptura da Barragem de Fundão.

As séries de descargas sólidas em suspensão e descargas sólidas totais estimadas para a UHE Candonga com base nas curvas-chaves de sedimentos selecionadas e reproduzidas nos Gráficos 5.3 e 5.4, são apresentadas nos Quadros 5.1 e 5.2.

**Gráfico 5.3** – Curvas-chaves utilizadas para estimativa das descargas sólidas em suspensão afluentes ao reservatório da UHE Candonga.



**Gráfico 5.4** – Curvas-chaves utilizadas para estimativa das descargas sólidas totais afluentes ao reservatório da UHE Candonga.





FUNDAÇÃO RENOVA

CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TECNICO

Nº

PÁGINA 51/62

POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001

REV. 03

Quadro 5.1 – Série descargas sólidas em suspensão do rio Doce em UHE Candonga.

Série de Descargas Sólidas em Suspensão (t)

Table with columns: UHE CANDONGA, Rio Doce, Área de Drenagem: 8990 km², DSS (t/ano), PES (t/km².ano), and a monthly data grid from 1931 to 2016. Includes summary statistics at the bottom.



FUNDAÇÃO RENOVA

CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TECNICO

Nº

POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001

PÁGINA 52/62

REV. 03

Quadro 5.2 – Série descargas sólidas totais do rio Doce em UHE Candonga.

Descargas Sólidas Totais (t)

Table with columns: Ano, Jan, Feb, Mar, Abr, Mai, Jun, Jul, Ago, Set, Out, Nov, Dez, Total. Includes summary rows for 'Características do Período' and 'Média'.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº	PÁGINA <b>53/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

De acordo com a classificação das bacias quanto à produção de sedimentos apresentada no Quadro 5.3 (ANEEL, 2001) e o valor de Produção Específica de Sedimentos (PES) calculado com base nesses dados (361 t/km<sup>2</sup>.ano) para a UHE Candonga, pode-se dizer que o rio Doce apresenta, até o eixo do aproveitamento em análise, alta taxa de produção e transporte de sedimentos. Também segundo os dados apresentados, pode-se verificar que a relação entre a descarga sólida em de arraste e a descarga sólida em suspensão é da ordem de 0,60, dado indicado também pela relação entre os valores de descarga sólida em suspensão e de arraste calculados com base nos dados de todas as estações analisadas neste estudo.

Comparando o valor de descarga sólida total estimado para a UHE Candonga pela metodologia descrita neste Item ( $\cong$  3.200.000 t/ano) com aqueles apresentados no Item 5.1, verifica-se maior proximidade deste com os valores calculados pelos dados regionais do que com aqueles calculados pela ponderação dos dados das estações Acaiaca Jusante e Ponte Nova Jusante. A taxa de descarga sólida total afluyente ao reservatório, estimada nos estudos de Projeto Básico e com base nos dados da estação sedimentométrica do rio Piranga em Ponte Nova Jusante, foi de 1.263.000 t/ano, menos da metade do valor estimado no presente estudo.

**Quadro 5.3** – Valores de produção de sedimentos aceitáveis.

TOLERÂNCIA	PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS	
	(t/mi <sup>2</sup> .ano)	(t/km <sup>2</sup> .ano)
Alta	> 500	> 175
Moderada	200 a 500	70 a 175
Baixa	< 100	< 35,0

Fonte: Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios (ANEEL, 2000).

Como não há disponibilidade de dados de monitoramento relativos à composição granulométrica do material transportado pelos cursos de água nas estações sedimentométricas utilizadas no presente estudo, não foi possível, ainda, caracterizar a composição dos sedimentos afluentes ao reservatório da UHE Candonga. Entretanto, utilizando os dados apresentados em ELETROBRÁS (1997) e indicados no Quadro 5.4, pode-se considerar, inicialmente, que o material em suspensão e o material de fundo afluyente ao reservatório da

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TECNICO		Nº	PÁGINA <b>54/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

UHE Candonga eram compostos basicamente por areia, sendo o primeiro com cerca de 30% de silte e argila, e o segundo com 13% de cascalho como materiais secundários.

**Quadro 5.4**– Composição granulométrica dos sedimentos afluentes ao eixo da estação sedimentométrica do rio Piranga em Ponte Nova Jusante (56110005).

MATERIAL	COMPOSIÇÃO (%)	
	SUSPENSÃO	FUNDO
Argila	16,5	0,0
Silte	11,5	1,0
Areia	72,0	86,0
Cascalho	0	13,0

Fonte: ELETROBRÁS, 1997.

Caso não sejam disponibilizadas outras informações, tais dados, juntamente com algumas informações oriundas das campanhas de sedimentos realizadas pela SAMARCO/RENOVA ao longo da bacia de contribuição ao eixo da UHE Candonga antes e/ou após o evento de ruptura da Barragem do Fundão, serão utilizados para caracterizar a composição do material afluente ao reservatório da usina. Esses dados serão incorporados ao modelo de simulação de transporte de sedimentos da UHE Candonga, em fase de elaboração. Esse critério de base de dados também será aplicado às taxas de descarga sólida total afluentes ao reservatório, cujos valores foram estimados e apresentados neste Item.

## 5.2.2 Caracterização Preliminar com base em dados de Batimetria do Reservatório

As informações e dados extraídos de todos os levantamentos topográficos e topobatimétricos disponibilizados foram analisadas no intuito de se avaliar o volume de sedimentos depositado ao longo do reservatório ao longo dos 14 anos de operação da UHE Candonga.

A Tabela 5.4 apresenta uma síntese compilada a partir dos relatórios de análise dos levantamentos topobatimétricos do reservatório, listados no Item 2.3 (Capítulo 2) e nas Referências Bibliográficas.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº	PÁGINA <b>55/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

**Tabela 5.4** – Estimativa dos volumes de levantamentos batimétricos do reservatório da UHE Candonga.

BATIMETRIA	VOLUME DISPONÍVEL (Mm <sup>3</sup> )	RETENÇÃO DE SEDIMENTOS (Mm <sup>3</sup> )	PERÍODO (ANOS)	RETENÇÃO ANUAL DE SEDIMENTOS (m <sup>3</sup> )
PROJETO BÁSICO (2001)	54,44	-	-	-
12*/2004	52,70	1,74	3,51	496.288
12*/2007	46,90	5,80	3,00	1.932.274
04/2014	41,94	4,96	6,26	792.557
<b>11/2015</b>	<b>32,80</b>	<b>9,14</b>	<b>1,59</b>	<b>5.758.674</b>
05/2016	31,12	1,68	0,50	3.367.385
12/2016	30,86	0,26	0,59	443.215

Fonte: Levantamentos Topobatimétricos UHE CANDONGA (Referências Bibliográficas). \*Data estimada.

Os dados apresentados indicam uma taxa média anual de assoreamento da ordem de 1.100.000 m<sup>3</sup> antes do evento de ruptura e uma taxa média de 1.900.000 m<sup>3</sup> após o acidente. Considerando os valores de eficiência de retenção do reservatório (47%) e do peso específico médio dos sedimentos ao longo dos 14 anos de operação da usina (1,45 t/m<sup>3</sup>), cuja estimativa é apresentada no Item 5.3, o aporte de sedimentos correspondente teria sido de aproximadamente 3.300.000 m<sup>3</sup> e 5.800.000 m<sup>3</sup>, respectivamente para o período anterior e posterior ao evento de ruptura da Barragem do Fundão. Os 5,80 Mm<sup>3</sup> foram estimados com base nas batimetrias de 05/2016 e 12/2016 e podem estar superestimados, dada a ainda instabilidade da calha fluvial dos cursos de água afetados no que tange ao transporte de sedimentos no final do período chuvoso.

O valor citado e referente ao período anterior ao acidente é bastante semelhante à estimativa de descarga sólida total média anual afluente ao reservatório da UHE Candonga, estimada no Item 5.2.1 e igual a 3.200.000 m<sup>3</sup>. Entretanto, vale destacar que todas as informações apresentadas neste Item serão melhor avaliadas nas próximas fases do estudo, quando os dados topobatimétricos serão submetidos a uma avaliação de consistência.

### 5.3 Reavaliação Preliminar da Vida Útil da Usina

Considerando que foi estimada uma nova série de vazões médias mensais afluentes ao eixo da UHE Candonga, bem como nova taxa de aporte de sedimentos totais afluentes ao

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO	Nº	PÁGINA <b>56/62</b>	
	POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>	

reservatório, são apresentadas neste Item as informações necessárias e os resultados da reavaliação da vida útil da usina e do reservatório.

### 5.3.1 Cálculo do Peso Específico Aparente de Sedimentos

O peso específico aparente inicial ( $\gamma_i$ ) dos sedimentos depositados no reservatório da UHE Candonga foi estimado por meio da equação estabelecida por Lara e Pemberton (CARVALHO, 2008), indicada na sequência.

$$\gamma_i = W_C p_C + W_M p_M + W_S p_S$$

em que  $W_C$ ,  $W_M$  e  $W_S$  representam coeficientes de compactação da argila, silte e areia, respectivamente, obtidos segundo o tipo de operação do reservatório (Quadro 5.5); e  $p_C$ ,  $p_M$ ,  $p_S$ , representam frações (%) de quantidade de argila, silte e areia contidas no sedimento afluente. Esses valores são obtidos pela média ponderada das frações presentes no material em suspensão e arraste.

**Quadro 5.5** - Constantes W e K para o cálculo do peso específico aparente de sedimentos.

TIPO DE OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO	ARGILA		SILTE		AREIA	
	$W_C$	$K_C$	$W_M$	$K_M$	$W_S$	$K_S$
Sedimentos sempre ou quase sempre submersos	0,416	0,2563	1,121	0,0913	1,554	0,0
Depleção pequena a média do reservatório	0,561	0,1346	1,137	0,0288	1,554	0,0
Reservatório normalmente vazio	0,641	0,0	1,153	0,0	1,554	0,0
Reservatório vazio	0,961	0,0	1,169	0,0	1,554	0,0

Fonte: CARVALHO, 2008.

As frações das quantidades de argila, silte e areia, contidas na descarga sólida de arraste afluente, foram obtidas a partir da análise granulométrica do material de fundo da estação Ponte Nova Jusante (ELETROBRÁS, 1997), dada a ausência deste tipo de informação no eixo da usina. A Tabela 5.4 reapresenta os dados citados, bem como as proporções de descarga sólida em suspensão e descarga sólida total para o local de estudo, determinadas a partir das séries apresentadas nos Quadros 5.1 e 5.2.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº	PÁGINA <b>57/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

**Tabela 5.4** – Porcentagens médias de argila, silte e areia (+ cascalho), utilizadas na obtenção do peso específico aparente de sedimentos do reservatório da UHE Candonga.

MATERIAL	PORCENTAGEM	PORCENTAGEM	% DAS DESCARGAS NO MATERIAL AFLUENTE	MÉDIA PONDERADA (%)	
	NO MATERIAL EM SUSPENSÃO (%)	NO MATERIAL DE ARRASTE (%)			
Argila	16,5	0,00	<b>Suspensão</b>	pc	9,9
Silte	11,5	1,0		60,0	pm
Areia + Cascalho	72,0	99,0	<b>Arraste</b>	ps	82,8
Total	100,0	100,0		40,0	-

Considerando os valores apresentados na Tabela 5.4 e o tipo de reservatório I (sedimentos sempre ou quase sempre submersos), foi obtido o peso específico aparente inicial ( $\gamma_i$ ) igual a 1,41 t/m<sup>3</sup>.

O peso específico aparente de depósitos em reservatórios varia com o tempo devido à sua compactação, promovida tanto pelo peso da água quanto do próprio sedimento. Assim, durante a aplicação do método para a determinação da vida útil da usina/reservatório (Item 5.3.2), considera-se a evolução desse valor por meio da aplicação de outras equações, também desenvolvidas por Lara e Pemberton (CARVALHO, 2008), indicadas na sequência e que permitem a determinação do peso específico para camadas específicas de sedimentos e médio por camadas. Aplicando tais equações obteve-se o valor de 1,45 t/m<sup>3</sup> (camadas específicas) para os 14 anos de operação da usina e 1,44 t/m<sup>3</sup> (médio por camadas) para 100 anos, por exemplo.

$$\gamma_T = \gamma_i + 0,4343 \times K \times \left[ \text{Ln} T \times \frac{T}{T-1} - 1 \right], \text{ sendo } T \text{ o tempo em anos.}$$

$$K = K_C P_C + K_M P_M + K_S P_S$$

### 5.3.2 Cálculo da Eficiência de Retenção Inicial de Sedimentos

A capacidade de retenção de sedimentos, ou a eficiência de retenção, estimada em função das dimensões do reservatório analisado, pode ser determinada através da curva de Brune (VANONI *et al.*, 1977, citado em ANEEL, 2000), caso este se trate de médios e

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 58/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>

grandes reservatórios ou através da curva de Churchill, elaborada para pequenos reservatórios (ANNANDALE, 1987, citado em ANEEL, 2000).

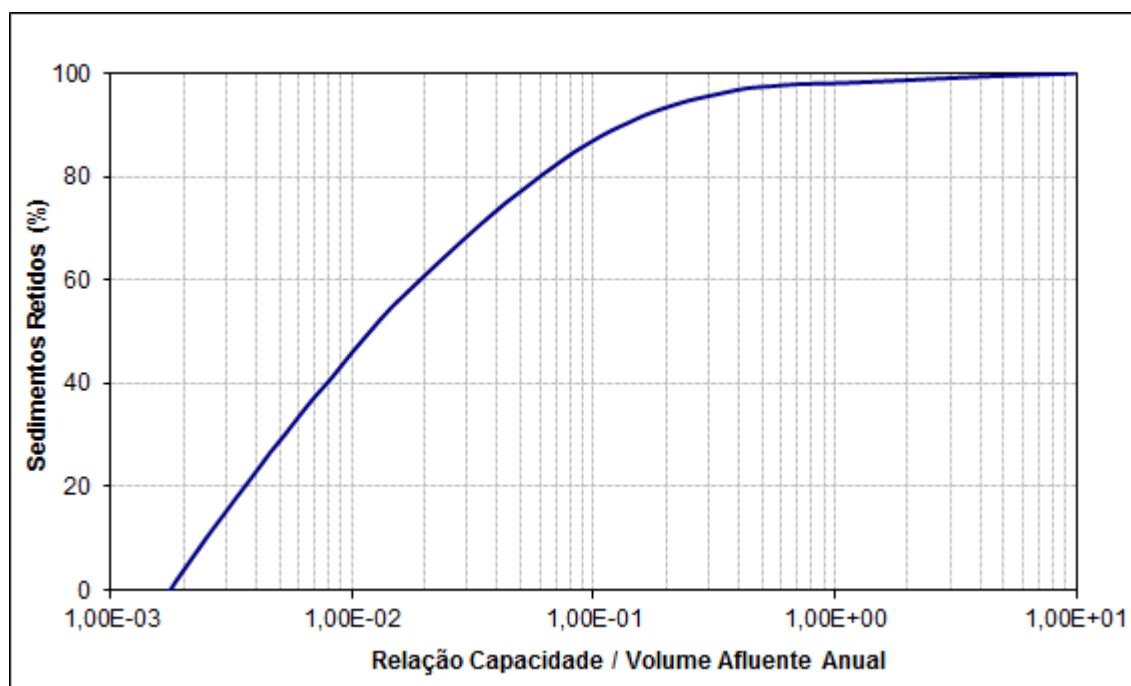
Para o reservatório em análise, que apresentava volume total de 54,44 Mm<sup>3</sup>, recomenda-se a aplicação da curva de Brune, mostrada no Gráfico 5.5. A citada curva apresenta no eixo das ordenadas o valor da eficiência de retenção de sedimentos no reservatório e no eixo das abscissas a Capacidade de Afluência (CA), calculada por:

$$CA = \frac{V_{res}}{Q}$$

em que  $V_{res}$  representa o volume máximo normal do reservatório (m<sup>3</sup>) e  $Q$ , o deflúvio médio anual (m<sup>3</sup>) afluente ao reservatório. Com base no exposto, tem-se para a UHE Candonga uma Eficiência de Retenção ( $E_r$ ) inicial de 47,3%.

Assim como o peso específico de sedimentos varia ao longo do tempo, a capacidade de retenção também varia, diminuindo com o passar do tempo em função da perda da capacidade de volume do reservatório e do conseqüente aumento das velocidades de fluxo. Dessa maneira, no cálculo da vida útil da usina/reservatório a estimativa da eficiência de retenção deve ser avaliada a cada passo de tempo, levando-se em conta o novo volume disponível.

**Gráfico 4.1 - Curva de Brune.**



Fonte: ANEEL, 2000.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		<b>Nº</b>	<b>PÁGINA 59/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>

### 5.3.3 Estimativa do Tempo de Assoreamento e da Vida Útil da Usina

A estimativa do tempo de assoreamento e vida útil do reservatório da UHE Candonga (referente ao aspecto de geração de energia) foi feita aplicando-se o **método empírico de redução de área**, desenvolvido por Bortland e Miller (CARVALHO, 2008), a partir de levantamentos sistemáticos de 30 reservatórios pelo *U.S. Bureau of Reclamation* e outras entidades dos Estados Unidos.

Por meio da aplicação de tal método é possível estimar a vida útil do reservatório, a altura de depósitos de sedimentos no pé da barragem (vida útil da usina) e a distribuição dos depósitos ao longo de todo o lago, expressa pelo cálculo de novas curvas cota x área x volume. Como dados de entrada para o modelo são necessários:

- A vazão média de longo termo afluente ao reservatório ( $Q_{MLT} = 163 \text{ m}^3/\text{s}$ , ver Quadro 4.1, Capítulo 4).
- A descarga sólida total afluente ao reservatório ( $DST = 3.243.821 \text{ t/ano}$ , ver item 5.2.1).
- O peso específico aparente inicial de depósitos ( $P_{ESP} = 1,41 \text{ t/m}^3$ , ver item 5.3.1).
- A eficiência de retenção de sedimentos inicial no reservatório ( $E_r = 47,3\%$ , ver item 5.3.2).
- Compactação com o tempo (cálculo iterativo do peso específico e da eficiência de retenção).
- Curva cota x área x volume inicial do reservatório, constante nos estudos de Projeto Básico da usina e rerepresentada no Quadro 5.6.
- Volume morto do reservatório: considerado até a EL 297,00, indicada pela ALIANÇA como aquela acima da qual os sedimentos depositados colocam em risco a operação da usina. Nesta elevação o reservatório dispunha de um volume de  $4,68 \text{ Mm}^3$ .
- Taxa de aumento do transporte de sedimentos. Em virtude da indisponibilidade de dados suficientes para essa análise não foi considerado aumento na descarga sólida total afluente com o passar do tempo.
- Tipo de operação do reservatório (ver item 5.3.1): sedimentos sempre ou quase sempre submersos.
- Tipo de reservatório, estabelecido com base no perfil do reservatório, nas suas características geométricas e com o auxílio das curvas de “enchimento”, definidas por Bortland e Miller (CARVALHO, 2008) e embutidas no modelo utilizado como base.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº	PÁGINA <b>60/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

**Quadro 5.6** – Curvas cota x área x volume do reservatório da UHE Candonga.

COTA (m)	ÁREA (km <sup>2</sup> )	VOLUME (Mm <sup>3</sup> )	COTA (m)	ÁREA (km <sup>2</sup> )	VOLUME (Mm <sup>3</sup> )
280,0	0,00	0,00	310,0	1,42	17,69
285,0	0,13	0,33	315,0	1,70	25,50
290,0	0,26	1,32	320,0	2,08	34,96
295,0	0,54	3,33	325,0	2,48	48,38
300,0	0,81	6,70	<b>327,5</b>	<b>2,86</b>	<b>54,44</b>
305,0	1,08	11,44	330,0	2,99	60,05



Fonte: GEOPROJETOS *et al.* (2000).

Para aplicação do método foram adotados os modelos **SEDIMENT** (Cálculo do Assoreamento de Reservatórios, Versão 1.1 de 2004) e **DPOSIT** (Distribuição de Sedimentos em Reservatórios, Versão 1.1 de 2005), ambos disponibilizados gratuitamente por CARVALHO (2008). Levando-se em conta os dados disponíveis, a dinâmica de evolução do assoreamento com o passar do tempo e os modelos citados, o processo de assoreamento do reservatório da UHE Candonga foi avaliado com passo de tempo de 5 em 5 anos, até o ano 500.

Os resultados obtidos são apresentados, de forma resumida, nas Tabelas 5.5 e 5.6. A Tabela 5.5 mostra a evolução média do assoreamento do volume do reservatório com o passar do tempo. A Tabela 5.6 apresenta a altura média de sedimentos depositados no pé da barragem ao longo do tempo.

De acordo com os resultados preliminares obtidos, a cota correspondente à El. 297,00 m, no pé da barragem, seria atingida em cerca de 14 anos de operação. Esses resultados indicam que com 14 anos de operação, tal cota estaria no limite de ser atingida, independente da ocorrência do evento de ruptura da Barragem do Fundão.

Ainda com base nos resultados obtidos e indicados na Tabela 5.6, pode concluir que, em 50 anos, cujo valor é geralmente utilizado para dimensionamento da vida útil de usinas com características semelhantes à da UHE Candonga, a cota atingida pelos sedimentos no pé da barragem seria igual a 315,80 m, superior a cota da soleira da tomada de água, posicionada na El. 308,20 m. Essa última cota seria atingida em cerca de 28 anos, definindo, assim, o limite superior de prazo para continuidade da operação da usina sem adoção de medidas complementares para desassoreamento do reservatório.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO: RELATÓRIO TÉCNICO		Nº	PÁGINA <b>61/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

**Tabela 5.5** – Volume de sedimentos depositados com o passar do tempo no reservatório da UHE Candonga.

TEMPO (anos)	VOLUME DE SÓLIDOS		EFICIÊNCIA DE RETENÇÃO (%)	PESO ESPECÍFICO APARENTE (t/m <sup>3</sup> )	VAZÃO SÓLIDA		VOL. DEPOSITADO / VOL. TOTAL
	DEPOSITADO (hm <sup>3</sup> )	EFLUENTE (hm <sup>3</sup> )			AFLUENTE (t/ano) x 10 <sup>3</sup>	EFLUENTE (t/ano) x 10 <sup>3</sup>	
1	1,1	2,5	46,6	1,410	3.243,82	1734	0,020
<b>3</b>	<b>3,2</b>	<b>4,9</b>	<b>45,6</b>	<b>1,422</b>	<b>3.243,82</b>	<b>1763</b>	<b>0,058</b>
<b>5</b>	<b>5,2</b>	<b>7,4</b>	<b>44,7</b>	<b>1,428</b>	<b>3.243,82</b>	<b>1793</b>	<b>0,095</b>
10	10,0	13,8	42,3	1,437	3.243,82	1870	0,184
15	14,6	20,5	39,9	1,442	3.243,82	1951	0,268
20	18,9	27,4	37,3	1,446	3.243,82	2035	0,347
25	22,8	34,6	34,4	1,448	3.243,82	2127	0,419
30	26,4	42,2	31,2	1,451	3.243,82	2231	0,485
50	37,2	75,9	18,4	1,458	3.243,82	2647	0,683
100	45,1	178,2	1,6	1,467	3.243,82	3192	0,829
150	45,6	287,0	0,2	1,473	3.243,82	3237	0,837
200	45,6	395,9	0,1	1,477	3.243,82	3240	0,838
250	45,6	504,6	0,1	1,480	3.243,82	3241	0,838
300	45,6	613,1	0,1	1,482	3.243,82	3242	0,838
350	45,6	721,4	0,1	1,484	3.243,82	3242	0,838
400	45,6	829,6	0,1	1,486	3.243,82	3242	0,838
450	45,6	937,6	0,0	1,488	3.243,82	3242	0,838
500	45,6	1045,6	0,0	1,489	3.243,82	3243	0,838

Fonte: SEDIMENT (POTAMOS, 2017).

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO		Nº -	PÁGINA <b>62/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	REV. <b>03</b>

**Tabela 5.6** - Altura de Sedimentos no Pé da Barragem da UHE Candonga.

TEMPO (anos)	COTA (m)	TEMPO (anos)	COTA (m)
1	* * *	35	311,3
3	* * *	40	314,8
5	286,9	45	315,2
<b>10</b>	<b>293,3</b>	50	315,8
<b>15</b>	<b>298,2</b>	55	318,0
20	302,8	60	320,0
25	306,4	65	319,8
30	310,0	-	-

Fonte: DPOSIT (POTAMOS, 2017).

Posteriormente, os valores obtidos nesta avaliação serão verificados a partir da análise mais detalhada dos dados de batimetria do reservatório disponíveis e que englobem o período de operação da usina anterior ao acidente. Também será possível obter informações para validação das estimativas realizadas no presente estudo, tomando como base os resultados da modelagem computacional de transporte de sedimentos do trecho fluvial em análise.

Ainda de acordo com os resultados em análise, pode-se notar que o assoreamento do reservatório atingiria a condição de equilíbrio entre 100 e 150 anos, conforme indicado na Tabela 5.5. Considerando a aplicação de outra metodologia de cálculo, denominada método iterativo de Churchill, descrito detalhadamente em ANEEL (2000) e que foi adotado nos estudos do projeto básico da usina, o volume total do reservatório seria assoreado em torno de 50 anos.

Nos estudos de Projeto Básico da UHE Candonga (GEOPROJETOS *et al.*, 2000), não foi calculado o tempo necessário para os sedimentos alcançarem a El. 308,20 ou El. 297,00 m, mas apenas o tempo esperado para assorear o volume total do reservatório (54,44 Mm<sup>3</sup>), associado à El. 327,50 m (NA máximo normal de operação). Com uma estimativa de aporte de sedimentos da ordem de 1,30 Mm<sup>3</sup> t/ano foi obtida uma estimativa de tempo para assoreamento do volume total de 127 anos.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>		<b>Nº -</b>	<b>PÁGINA 63/62</b>
		POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>

## 6 COMENTÁRIOS FINAIS

O presente documento apresentou os resultados dos estudos de caracterização hidrológica e hidrossedimentológica do rio Doce até o eixo da UHE Candonga. Tais estudos indicaram que a vazão média de longo termo afluente ao eixo da usina é da ordem de 163 m<sup>3</sup>/s e os quantis de cheia para 2, 100 e 10.000 anos são respectivamente iguais a 740 m<sup>3</sup>/s, 2327 m<sup>3</sup>/s e 4196 m<sup>3</sup>/s. Tais dados diferem dos valores constantes nos estudos de Projeto Básico da usina seja pela extensão de período de dados considerados ou em virtude dos métodos aplicados.

O aporte de sedimentos afluentes ao reservatório foi estimado, em nível preliminar, em cerca de 3,20 Mm<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/ano, cerca do dobro daquele estimado nos estudos de Projeto Básico. No entanto esse valor é coerente com as informações preliminares obtidas a partir dos levantamentos batimétricos, considerando a eficiência inicial de retenção desse material de aproximadamente 47%. Com estes valores, ter-se-ia uma vida útil para o reservatório (volume útil total) da ordem de 50 anos pelo método de Churchill e entre 100 a 150 anos pelo método de Brune.

Considerando a utilização do método empírico de redução de áreas, a cota de segurança para proteção das máquinas (El. 297,00 m) e a cota da tomada de água seriam atingidas em 14 anos e 28 anos, respectivamente. Esses resultados indicam, em média, que a partir de 14 anos de operação e desconsiderando o evento de ruptura da Barragem de Fundão, poderia haver algum tipo de comprometimento na operação do circuito hidráulico de geração.

Os dados de batimetria do reservatório, anteriores ao evento de ruptura da Barragem do Fundão e atuais, indicam uma taxa anual de retenção de sedimentos da ordem de 1,10 Mm<sup>3</sup> e 1,90 Mm<sup>3</sup>, respectivamente. Considerando a taxa de eficiência de retenção da ordem de 47% e o peso específico de sedimentos adensado e correspondente a 14 anos de operação, estariam aportando ao reservatório cerca de 3,30 Mm<sup>3</sup> (média dos dois períodos), valor coerente, em termos de ordem de grandeza, com os 3,20 m<sup>3</sup> estimados no presente estudo para o período anterior ao evento de ruptura. Os dados referentes ao período posterior ao acidente indicam aportes da ordem de 5,00 Mm<sup>3</sup>. Esse número, no entanto, deve ser melhor investigado durante a análise dos dados de levantamento disponíveis.

A próxima etapa dos estudos envolve o tratamento dos levantamentos topobatimétricos disponíveis, bem como a calibração de um modelo computacional para avaliação do

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>	<b>Nº -</b>	<b>PÁGINA 64/62</b>	
	POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>	

transporte de sedimentos ao longo do reservatório da UHE Candonga, para posterior prognóstico do assoreamento do mesmo, partindo das condições anteriores ao evento de ruptura da Barragem do Fundão e das condições atuais de assoreamento do lago.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>	<b>Nº -</b>	<b>PÁGINA 65/62</b>	
	POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>	

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA, Agência Nacional das Águas. Sistema de Informações Hidrológicas, *HidroWEB*. Disponível em [www.hidroweb.gov.br](http://www.hidroweb.gov.br).
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Guia para Avaliação de Assoreamento de Reservatórios, 2000.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Inventário de Estações Fluviométricas, 2001.
- CARVALHO, N.O. Hidrossedimentologia Prática. Editora Interciência, 2ª edição, 2008.
- DALRYMPLE, T. Flood-Frequency Analyses, Manual of Hydrology, Geological Survey Water-Supply, Part 3, Paper 1543-A, 1960.
- ELETROBRÁS. Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros, 1998.
- Engenharia CF, Batimetria e Aerolevanteamento com Vant - Lago UHE Risoleta Neves, Santa Cruz do Escalvado e Rio Doce, dezembro de 2016.
- Engenharia CF. Batimetria e Aerolevanteamento com Vant - Lago UHE Risoleta Neves, Santa Cruz do Escalvado e Rio Doce, novembro de 2015.
- Engenharia CF. Batimetria e Aerolevanteamento com Vant - Lago UHE Risoleta Neves, Santa Cruz do Escalvado e Rio Doce, maio de 2016.
- Engenharia CF. Levantamento Topobatimétrico de 17 Seções no Rio Doce, a 21 km de Distância do Barramento da UHE Risoleta Neves, agosto de 2016.
- Engenharia CF. Levantamento Topobatimétrico de 21 Seções no Rio Doce, entre as Cidades de Rio Doce e Governador Valadares – MG, Rio Doce, junho de 2016.
- GOLDER Associates Brasil, Relatório Técnico, Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistema de Água e Sedimentos, T-029\_159-515-2282\_07-J, abril de 2017.

		<b>FUNDAÇÃO RENOVA</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO AO RESERVATÓRIO RELATÓRIO TÉCNICO</b>	<b>Nº -</b>	<b>PÁGINA 66/62</b>	
	POTSAM0030-001-1-TC-RTE-0001	<b>REV. 03</b>	

HDC, Hydrologic Data Collections Engenharia Ltda. Consórcio Candonga, Levantamento Batimétrico do Reservatório da Usina Hidrelétrica Risoleta Neves, Rio Doce, MG, março de 2014.

IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. *Shape* de Ottobacias. Disponível em: <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/mapas-e-bases-cartograficas/basescartograficas/ottocodificada/7295-ottobacias>, consultado em agosto de 2017.

NEOGEO GeoTecnologia, Levantamento Batimétrico Montante Barramento B, SAMARCO Mineração SA, maio de 2017.

NEOGEO GeoTecnologia, Levantamento Batimétrico Montante Barramento B, SAMARCO Mineração SA, junho de 2017.

NEOGEO GeoTecnologia, Relatório de Acompanhamento e Resultados de Levantamento Batimétrico, UHE Risoleta Neves, SAMARCO Mineração SA, REV00, Julho de 2016.

NEOGEO GeoTecnologia, Relatórios Quinzenais de Progresso e Resultados de Levantamentos Batimétricos, Fiscalização de Dragagem e monitoramento de turbidez, UHE Risoleta Neves, SAMARCO Mineração SA, REV00, setembro de 2016 a maio de 2017.

## **Anexo 3**

**Anotação de Responsabilidade Técnica - ART**  
**Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977**  
**Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de São Paulo**

**CREA-SP**

**ART de Obra ou Serviço**  
**28027230172721986**

1. Responsável Técnico

**LUCILA CAVALARI DALKMIN TELLES FELDBERG**

Título Profissional: **Engenheira Civil**

Empresa Contratada: **CH2M HILL DO BRASIL ENGENHARIA LTDA**

RNP: **2602632155**

Registro: **5060383441-SP**

Registro: **0531425-SP**

2. Dados do Contrato

Contratante: **FUNDAÇÃO RENOVA**

Endereço: **Avenida GETÚLIO VARGAS**

Complemento:

Cidade: **Belo Horizonte**

Contrato:

Valor: R\$ **5.715.557,73**

Ação Institucional:

Celebrado em: **06/09/2017**

Tipo de Contratante: **Pessoa Jurídica de Direito Privado**

Bairro: **SAVASSI**

UF: **MG**

Vinculada à Art nº:

CPF/CNPJ: **25.135.507/0001-83**

Nº: **671**

CEP: **30112-021**

3. Dados da Obra Serviço

Endereço: **Avenida GETÚLIO VARGAS**

Complemento:

Cidade: **Belo Horizonte**

Data de Início: **06/09/2017**

Previsão de Término: **20/09/2018**

Coordenadas Geográficas:

Finalidade:

Nº: **671**

Bairro: **SAVASSI**

UF: **MG**

CEP: **30112-021**

Código:

CPF/CNPJ:

Endereço: **Rua DO ROCIO**

Complemento: **1º ANDAR**

Cidade: **São Paulo**

Data de Início: **06/09/2017**

Previsão de Término: **20/09/2018**

Coordenadas Geográficas:

Finalidade:

Nº: **351**

Bairro: **VILA OLÍMPIA**

UF: **SP**

CEP: **04552-000**

Código:

CPF/CNPJ:

4. Atividade Técnica

				Quantidade	Unidade
<b>Consultoria</b>					
<b>1</b>	<b>Avaliação</b>	<b>Plano</b>	<b>Recuperação de Áreas Degradadas</b>	<b>8,00000</b>	<b>hora por dia</b>

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

PN 697445

6. Declarações

**Acessibilidade: Declaro atendimento às regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas da ABNT, na legislação específica e no Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004.**

\_\_\_\_\_ 7. Entidade de Classe

68 - SEESP - SINDICATO DOS ENGENHEIROS NO ESTADO DE SÃO PAULO - SEESP

\_\_\_\_\_ 8. Assinatura

Declaro serem verdadeiras as informações acima

\_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_  
Local data

\_\_\_\_\_  
LUCILA CAVALARI DALKMIN TELLES FELDBERG - CPF: 153.614.188-70

Valor ART R\$ 214,82

Registrada em:

Valor Pago R\$

Nosso Numero: 28027230172721986

Versão do sistema

Impresso em: 01/11/2017 13:56:38

VALIDADE POR 10 DIAS COM O RECIBO DE PAGAMENTO