

# SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO DOCE



**Relatório Técnico  
de Operação no  
Período de  
novembro  
de 2019  
a abril  
de 2020**



**SERVIÇO GEOLÓGICO  
DO BRASIL - CPRM**



**AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS  
E SANEAMENTO BÁSICO**

## **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

### **Ministro de Estado**

Bento Albuquerque

### **Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**

Alexandre Vidigal de Oliveira

## **SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

### **DIRETORIA EXECUTIVA**

#### **Diretor Presidente**

Esteves Pedro Colnago

#### **Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial**

Alice Silva de Castilho

#### **Diretor de Geologia e Recursos Minerais**

Márcio José Remédio

#### **Diretor de Infraestrutura Geocientífica**

Paulo Afonso Romano

#### **Diretor de Administração e Finanças**

Cassiano de Sousa Alves

## **DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA**

### **Chefe do Departamento de Hidrologia**

Frederico Cláudio Peixinho

### **Chefe do Departamento de Hidrologia**

Frederico Cláudio Peixinho

### **Chefe da Divisão de Hidrologia Aplicada**

Adriana Dantas Medeiros

## **SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE**

### **Superintendente**

Marlon Marques Coutinho

### **Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial**

Fernando Silva Rego

### **Supervisão de Hidrologia**

Breno Guerreiro da Motta

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**  
**DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**  
**PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES NATURAIS**

**LEVANTAMENTOS, ESTUDOS, PREVISÃO E ALERTA DE EVENTOS  
HIDROLÓGICOS CRÍTICOS**

---

**SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO DOCE**  
**Relatório Técnico de Operação no período de novembro de 2019  
a abril de 2020**

**Breno Guerreiro da Motta**

**Belo Horizonte**  
**Dezembro de 2020**

## **CRÉDITOS**

### **Coordenação**

Artur Matos – D.Sc.

### **Equipe técnica**

Breno Guerreiro da Motta

Elizabeth Guelman Davis

Fernando Silva Rego

José Alexandre Pinto Coelho

Maria Letícia Patrus

Emilia Yumi Kawaguchi

Gerson Limas Alves

Paula Rossana Dório Anastacio

Gustavo Gonçalves dos Santos

### **Consultora técnica**

Alice Silva de Castilho – Pesquisadora em Geociências - M. Sc.

### **Plantonistas**

Alessandro José da Silva

José Geraldo Alves Franco

Wanda Xavier Franca

### **Observadores Hidrológicos**

Ponte Nova Jusante - José Mol Guimarães Filho

Fazenda Cachoeira D'Antas - Carlos Cesar Gerônimo

Cachoeira Dos Óculos - Augusto Luiz da Silva

Nova Era Telemétrica - Maria das Graças Bueno Silva

Mário De Carvalho - Edilson Marcelino de Lima

Belo Oriente - Irene Salviano Venuto

Naque Velho - Neuza Soarea Andreade Arruda

Governador Valadares - José Ferreira da Silva

Vila Matias Montante - Edvaldo Alves da Silva

Colatina (Corpo Bombeiro) - Darcyr Varnier

Linhares - Cais Do Porto - Rosângela do Nascimento Silva

Este relatório está em consonância com o Programa de Mineração e Desenvolvimento que traça o Plano de Metas e Ações 2020/2023 da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia, especificamente no Plano 3.3 – Ampliar o Conhecimento Geológico e dentro das Metas I – Ampliar o conhecimento dos riscos geológicos para a prevenção de desastres naturais e J – Ampliar e aperfeiçoar os sistemas de alertas de cheias.

Este relatório está em consonância com os Objetivos de desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU)<sup>1</sup>.

A Agenda 2030 e os ODS afirmam que para pôr o mundo em um caminho sustentável é urgentemente necessário tomar medidas ousadas e transformadoras. Os ODS constituem uma ambiciosa lista de tarefas para todas as pessoas, em todas as partes, a serem cumpridas até 2030. Se cumprirmos suas metas, seremos a primeira geração a erradicar a pobreza extrema e iremos poupar as gerações futuras dos piores efeitos adversos da mudança do clima.

Os Sistemas de Alertas Hidrológicos (SAH) estão inseridos nos seguintes objetivos da ODS:



<sup>1</sup> Link para cartilha da ODS dos SAHs:

[http://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/21778/1/7\\_sistemas\\_de\\_alerta\\_hidrologico\\_outubro\\_ok.pdf](http://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/21778/1/7_sistemas_de_alerta_hidrologico_outubro_ok.pdf)

## AGRADECIMENTOS

A operação do sistema de alerta hidrológico da bacia do rio Doce, no período de dezembro de 2019 a março de 2020, só foi possível com a utilização dos dados hidrológicos provenientes da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), operada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e demais parceiros. Por meio de Termo de Execução Descentralizada (TED) de operação da RHN, a Agência Nacional de Águas disponibiliza apoio operacional e financeiro para operação e manutenção das estações da RHNR, bem como para uso de equipamento de medição. As previsões realizadas pelos engenheiros da CPRM são baseadas em modelos hidrológicos e estão sujeitas às incertezas inerentes aos mesmos.

Agradecemos, também (por ordem alfabética):

Agência Nacional de Águas – ANA;

Belgo-Arcelor Brasil;

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN;

Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – CBH Doce;

Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Estado de Minas Gerais – CEDEC;

Coordenação Estadual de Defesa Civil do Espírito Santo;

Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG;

Corpo de Bombeiros do Estado de Minas Gerais;

Defesa Civil dos Municípios de Coronel Fabriciano, Governador Valadares, Ipatinga, Linhares, Nova Era, Ponte Nova e Timóteo;

ESCELSA – Energias do Brasil;

Instituto Mineiro de Gestão das Águas – Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais - IGAM

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

Novelis Brasil Ltda;

Polícia Militar do Estado de Minas Gerais;

Prefeituras Municipais de Açucena, Aimorés, Antônio Dias, Baixo Guandu, Colatina, Conselheiro Pena, Coronel Fabriciano, Galiléia, Governador Valadares, Ipatinga, Linhares, Nova Era, Ponte Nova, Resplendor, Timóteo e Tumiritinga.

Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais - SIMGE

Serviço Autônomo de Água de Esgoto - SAAE Governador Valadares

Serviço Colatinense de Saneamento Ambiental – SANEAR Colatina

## SUMÁRIO

<b>Apresentação</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Caracterização da Região</b> .....	<b>13</b>
<b>3. Descrição do Sistema Existente</b> .....	<b>17</b>
<b>4. Operação do Sistema de Alerta no período de dezembro de 2019 a março de 2020</b> <b>27</b>	
4.1. 23 de janeiro a 01 de fevereiro de 2020 .....	28
4.2. 13 a 19 de fevereiro de 2020 .....	37
4.3. 28 de fevereiro a 10 de março de 2020 .....	40
<b>5. Estudos hidrológicos desenvolvidos</b> .....	<b>47</b>
5.1. Ponte Nova .....	47
5.1.1. Precipitação causadora de cheias em Ponte Nova .....	49
5.1.2. Modelo de transformação chuva em vazão para Ponte Nova .....	52
5.2. Cachoeira dos Óculos .....	53
5.3. Nova Era.....	55
5.3.1. Precipitação causadora de cheias em Nova Era .....	58
5.4. Mário de Carvalho .....	60
5.5. Belo Oriente .....	62
5.6. Naque Velho.....	64
5.7. Governador Valadares.....	65
5.8. Vila Matias .....	67
5.9. Tumiritinga.....	69
5.10. Colatina.....	71
5.11. Linhares .....	74
<b>6. Recomendações</b> .....	<b>76</b>
<b>7. Referencias bibliográficas</b> .....	<b>78</b>
<b>Anexo I – Análise de frequência de vazões máximas</b> .....	<b>81</b>
<b>Anexo II – Curvas-chave</b> .....	<b>86</b>
<b>Anexo III – Vazões Medidas no Período de Operação</b> .....	<b>89</b>

## Apresentação

Sistema de alerta contra enchentes é uma medida não estrutural adotada para a diminuição de prejuízos causados por cheias nas bacias hidrográficas. Estas enchentes são causadas, em grande parte, pela perda crescente da cobertura vegetal nativa, provocando assoreamento dos cursos d'água; falta de regulamentação da ocupação e uso do solo; ocupação das várzeas e impermeabilização das áreas urbanas; bem como frequência elevada dos eventos chuvosos potencialmente causadores de inundação.

O Serviço Geológico do Brasil – CPRM – opera atualmente 16 sistemas de alerta hidrológico em todo o Brasil, emitindo boletins técnicos à Defesa Civil, instituições públicas e privadas, e comunidades, alertando a população localizada nas proximidades dos rios sobre a possibilidade de inundações. A localização espacial dos alertas é apresentada na Figura 1.

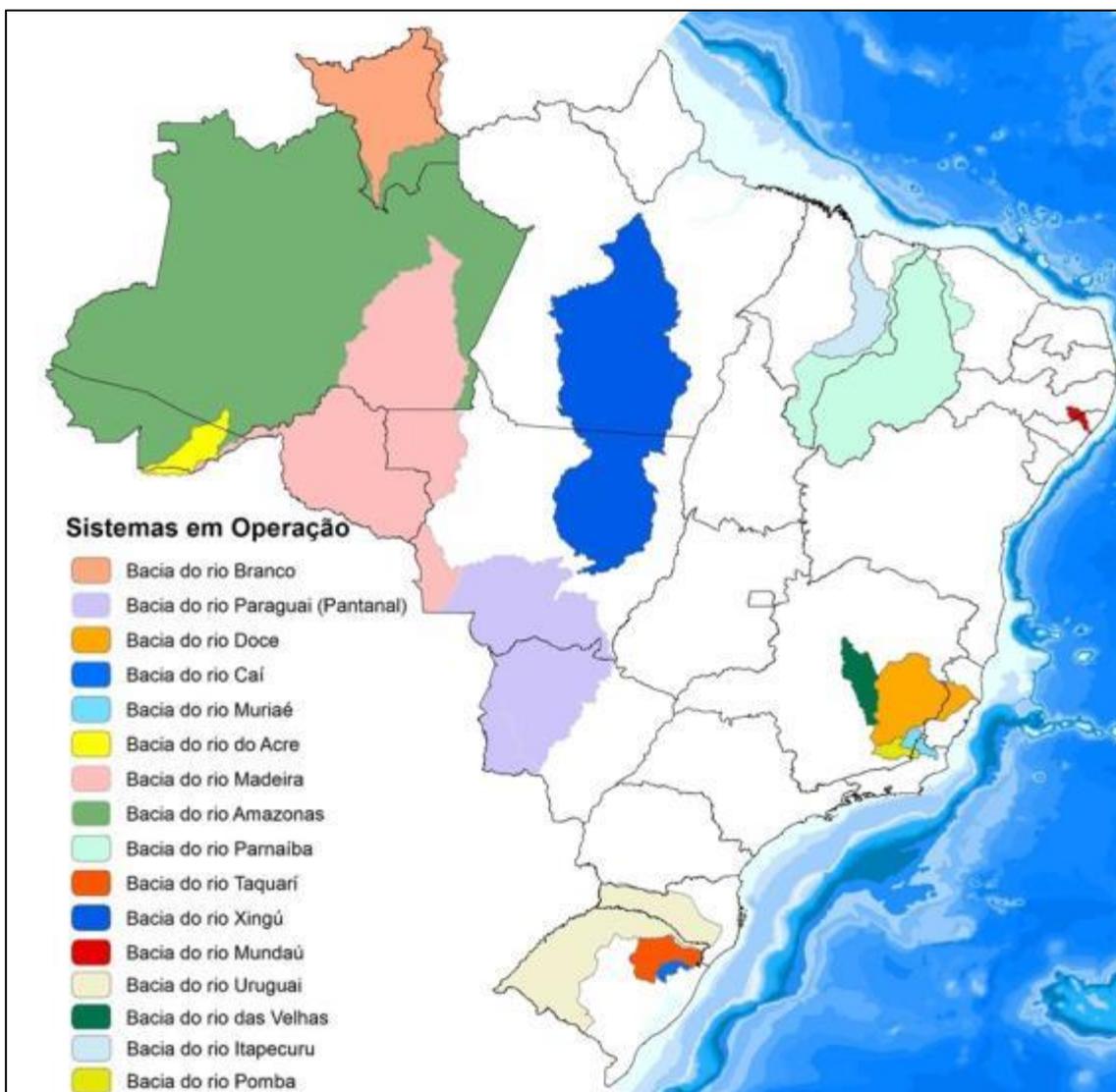


Figura 1 - Sistemas de Alerta Hidrológico operados pela CPRM em 2020

A Superintendência Regional de Belo Horizonte da CPRM opera 2 sistemas de alerta nas bacias dos rios Doce e das Velhas.

O sistema de alerta da bacia do rio Doce é operado desde 1997. Primeiramente por meio de uma parceria entre CPRM, DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica) e IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas), depois CPRM, ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e IGAM e, posteriormente CPRM, ANA (Agência Nacional das Águas) e IGAM e mais recentemente CPRM e ANA.

O presente documento descreve a operação do sistema de alerta no período de novembro de 2019 a abril de 2020.

O relatório está estruturado nos seguintes capítulos:

Capítulo 1 – Introdução

Capítulo 2 – Caracterização da região

Capítulo 3 – Descrição do sistema existente

Capítulo 4 – Operação do Sistema de Alerta no período de dezembro de 2019 a abril de 2020

Capítulo 5 – Estudos hidrológicos desenvolvidos

Capítulo 6 – Recomendações

Capítulo 7 – Referências bibliográficas

## 1. Introdução

Em fevereiro de 1979, houve uma grande cheia na Bacia do Rio Doce, causada por chuvas de longa duração e forte intensidade, as quais atingiram grande parte da bacia provocando uma elevação rápida dos níveis dos rios e a inundação de várias cidades, entre elas: Aimorés, Antônio Dias, Conselheiro Pena, Galiléia, Governador Valadares, João Monlevade, Ipatinga, Itueta, Manhuaçu, Nova Era, Resplendor, Santana do Manhuaçu, Tumiritinga, Timóteo e Coronel Fabriciano.

Em 09 de dezembro de 1981, os Ministérios do Interior e Minas e Energia baixaram uma portaria, criando um Grupo Interministerial de Trabalho, com o objetivo de realizar estudos de prevenção e controle das enchentes do rio Doce. O grupo ressaltou a importância da adoção de medidas estruturais e não estruturais para o controle das cheias. Dentre as medidas não estruturais foi recomendada a criação de um sistema de alerta na bacia.

Assim, na década de 80, o extinto DNAEE – Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica instalou uma série de estações telemétricas na bacia do rio Doce com transmissão via rádio ou telefone; na década de 90 foram instaladas por esse departamento estações com transmissão via satélite e, posteriormente, foram disponibilizados os dados via internet. A rede foi criada e operada continuamente, mas o sistema de alerta não chegou a ser implantado (CPRM, 2003).

Em julho de 1996 foi criada a ADOCE – Agência Técnica da Bacia do Rio Doce tendo como um de seus objetivos replicar a uma agência de bacia, baseada na experiência da França de gerenciamento de recursos hídricos. Essa agência era um projeto financiado e coordenado pelo DNAEE e executado pela CPRM SUREG/BH.

Em janeiro de 1997 as cheias voltaram a atingir a região e não houve qualquer tipo de movimentação preventiva que pudesse minimizar seus danos face ao fato do sistema de alerta não estar implementado. Assim, após esta cheia, a ADOCE começou a repassar os dados hidrometeorológicos telemétricos para as cidades ribeirinhas.

Durante o ano de 1997 a ADOCE elaborou um Termo de Referência sobre o Sistema de Alerta e começou a buscar recursos para o seu financiamento, apresentando-o em diversas cidades da bacia. Em outubro de 1997 a março de 1998, com os recursos da ANEEL, foi implementado o Sistema de Alerta Contra Enchentes da Bacia do Rio Doce, sendo o mesmo operado em conjunto pela ADOCE e CPRM (CPRM, 2003).

Nos períodos de dezembro de 1998 a março de 1999 e dezembro de 1999 a março de 2000, a operação do sistema se deu graças a uma parceria entre a CPRM, a ANEEL e o IGAM, quando meteorologistas passaram a integrar a equipe de trabalho pelo IGAM. No período chuvoso de 2000/2001 apesar de todos os esforços, não houve operação do sistema.

Em 28 de dezembro de 2001 a previsão meteorológica elaborada pelo IGAM/SIMGE detectou a possibilidade de ocorrência de fortes chuvas na região na ocasião do réveillon, assim a equipe foi mobilizada e a operação foi iniciada no dia seguinte, 29 de dezembro de 2001 em parceria com a CPRM, ANA e o IGAM/SIMGE (CPRM, 2003).

O sistema de alerta tem sido operado continuamente desde então pela CPRM em parceria com a ANA e IGAM. Gradualmente, por volta do ano de 2008, o IGAM reduz sua participação em termos de previsões dedicadas à bacia do rio Doce e a CPRM passa a atuar somente em parceria com a ANA.

Em 2012 após os deslizamentos ocorridos na região Serrana do estado do Rio de Janeiro, foi criado no Brasil um sistema de Prevenção de Desastres Naturais, com a criação do CEMADEN – Centro de Monitoramento de Desastres Naturais. A CPRM passou a integrar este sistema, levando em conta sua experiência na operação de sistemas de alerta hidrológico, bem como no mapeamento das áreas de risco geológico. Até esta data, a CPRM operava quatro sistemas de alerta hidrológicos: para Manaus e Pantanal, desde a década de 90; na bacia do rio Doce nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, e na bacia do rio Caí no estado do Rio Grande do Sul. A partir daí, coube a CPRM instalar novos sistemas de alerta, sendo que em 2020, encontram-se em operação 16 sistemas.

Em 05 de novembro de 2015, a barragem de Fundão, da mineradora Samarco, pertencente à Vale e a BHP Billiton, localizada no município de Mariana, rompeu gerando uma propagação de um fluxo de rejeitos na bacia do rio Doce. A barragem estava localizada na bacia do rio Gualaxo do Norte, sendo este afluente do rio do Carmo e este, por sua vez, afluente do rio Doce. A CPRM iniciou, já no dia 06 de novembro e em parceria com o IGAM, um monitoramento especial para acompanhamento diário da movimentação dessa onda de rejeitos, através do monitoramento da qualidade de água e coleta de sedimentos, com publicação várias vezes ao dia através de boletins, Figura 2, que mostravam o deslocamento da onda de cheia e sedimentos pela bacia do rio Doce, Figura 3. Foram publicados quatro relatórios contendo as informações compiladas deste evento, Figura 4, que podem ser visualizados na íntegra no link [http://www.cprm.gov.br/sace/index\\_monitoramento\\_especial.php#](http://www.cprm.gov.br/sace/index_monitoramento_especial.php#).

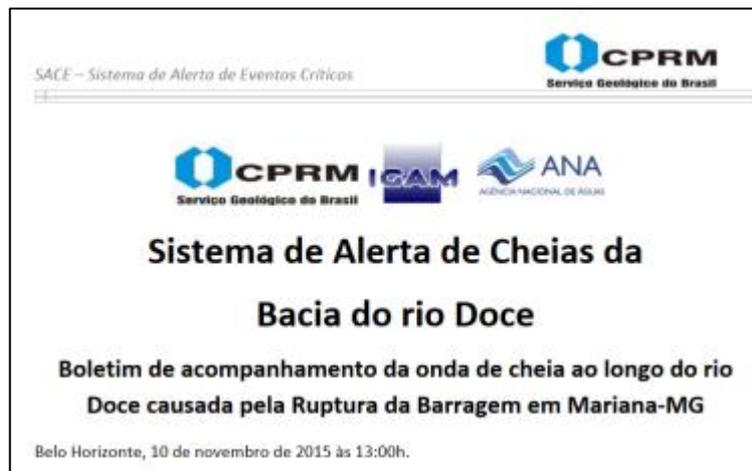


Figura 2 – Boletim especial para acompanhamento

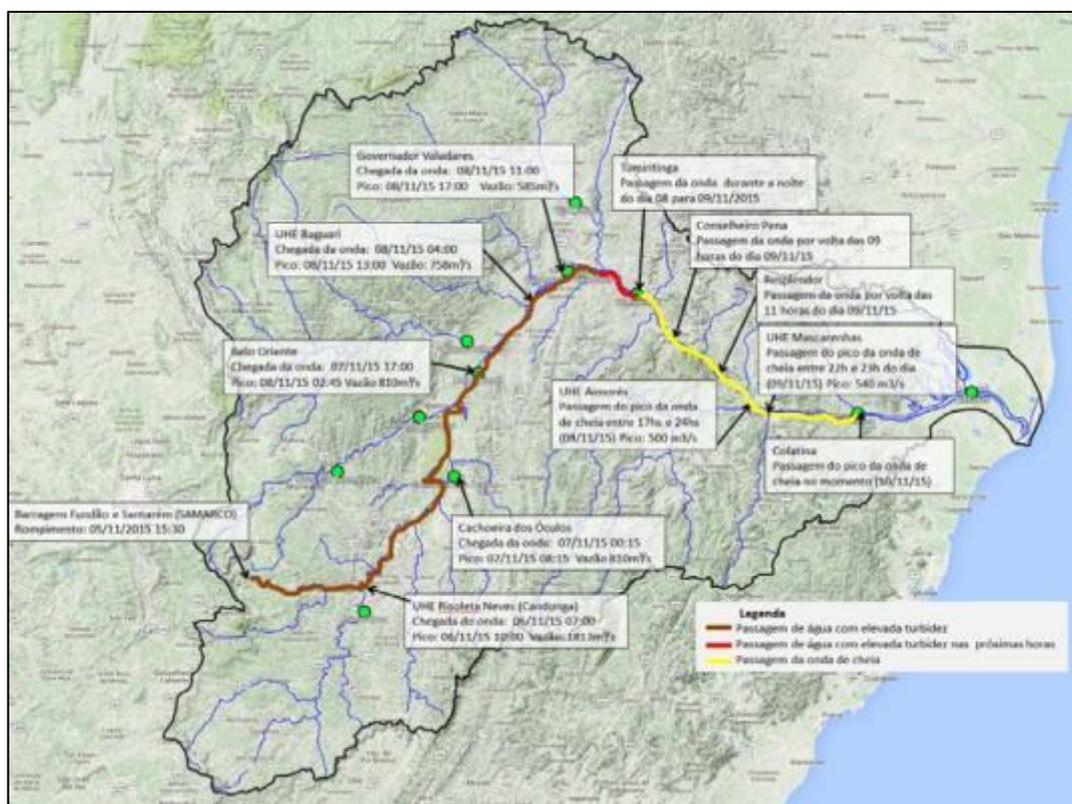


Figura 3 – Exemplo de publicação contida no boletim especial

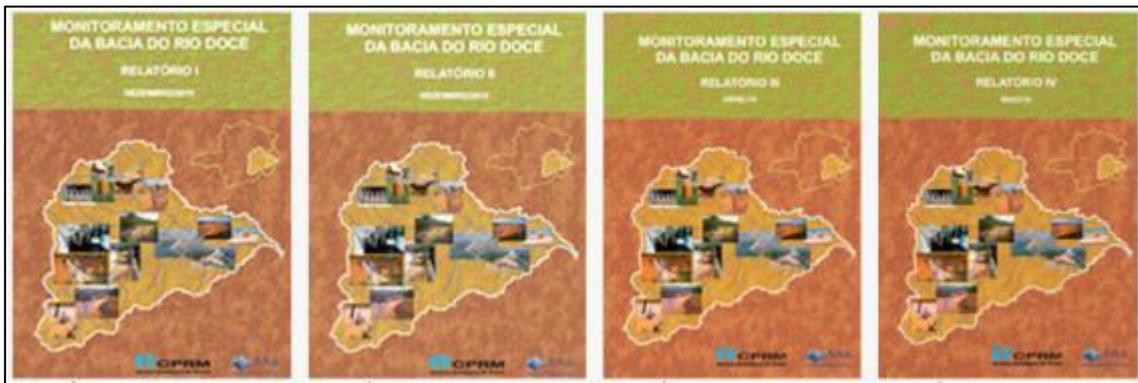


Figura 4 – Relatórios do Monitoramento Especial do rio Doce

Paralelamente as operações do alerta foram desenvolvidas ferramentas que auxiliam a operação do sistema de alerta na bacia do rio Doce:

- Em 2004 – Definição da Planície de Inundação da cidade de Governador Valadares (CPRM, 2004);
- Em 2012 – Levantamento da mancha de inundação de Ponte Nova;
- Em 2014 – SACE – Sistema de Alerta de Eventos Críticos;
- Em 2016 – Definição da Planície de Inundação da cidade de Colatina (CPRM, 2016).

Os trabalhos de definição da planície de inundação consistem em modelagem hidráulica da área inundada para diferentes vazões/cotas associadas a diferentes períodos de retorno, auxiliando assim a retirada da população atingida, minimizando prejuízos, bem como na gestão territorial de áreas ainda não ocupadas. As manchas de inundação produzidas pela CPRM estão dispostas em: [http://www.cprm.gov.br/sace/index\\_manchas\\_inundacao.php](http://www.cprm.gov.br/sace/index_manchas_inundacao.php)

O SACE é um sistema computacional que permite a aquisição, armazenamento e tratamento dos dados em tempo real, obtidos por meio de plataformas de coleta de dados (PCDs), pertencentes a CPRM e a terceiros, principalmente do setor elétrico. Em locais onde ainda não há disponibilidade de PCDs, os dados são transmitidos em tempo quase real por telefone, pelos observadores hidrológicos ou operadores de usinas hidrelétricas. O SACE pode ser acessado através do link <http://www.cprm.gov.br/sace/>.

## 2. Caracterização da Região

A bacia do Rio Doce localiza-se na região Sudeste do Brasil e possui uma área de drenagem de 83.400 km<sup>2</sup>. A Figura 5 mostra o mapa de localização da mesma, sendo que 86% de sua área localiza-se no Estado de Minas Gerais e o restante no Estado do Espírito Santo.

O rio Doce nasce nas Serras da Mantiqueira e Espinhaço, em Minas Gerais, e percorre 853 km até atingir o oceano Atlântico junto ao povoado de Regência, no Espírito Santo. Seus principais afluentes pela margem esquerda são os rios do Carmo, Piracicaba, Santo Antônio, Corrente Grande, Suaçuí Grande, São José e Pancas e pela margem direita são os rios Casca, Matipó, Caratinga/Cuité, Manhuaçu, Guandu e Santa Joana. As maiores vazões específicas são encontradas na sub-bacia do rio do Carmo entre 30 a 35 L/s km<sup>2</sup> e as menores na sub-bacia do Suaçuí Grande entre 05 a 10 L/s km<sup>2</sup>.



Figura 5 - Mapa de localização da bacia do rio Doce

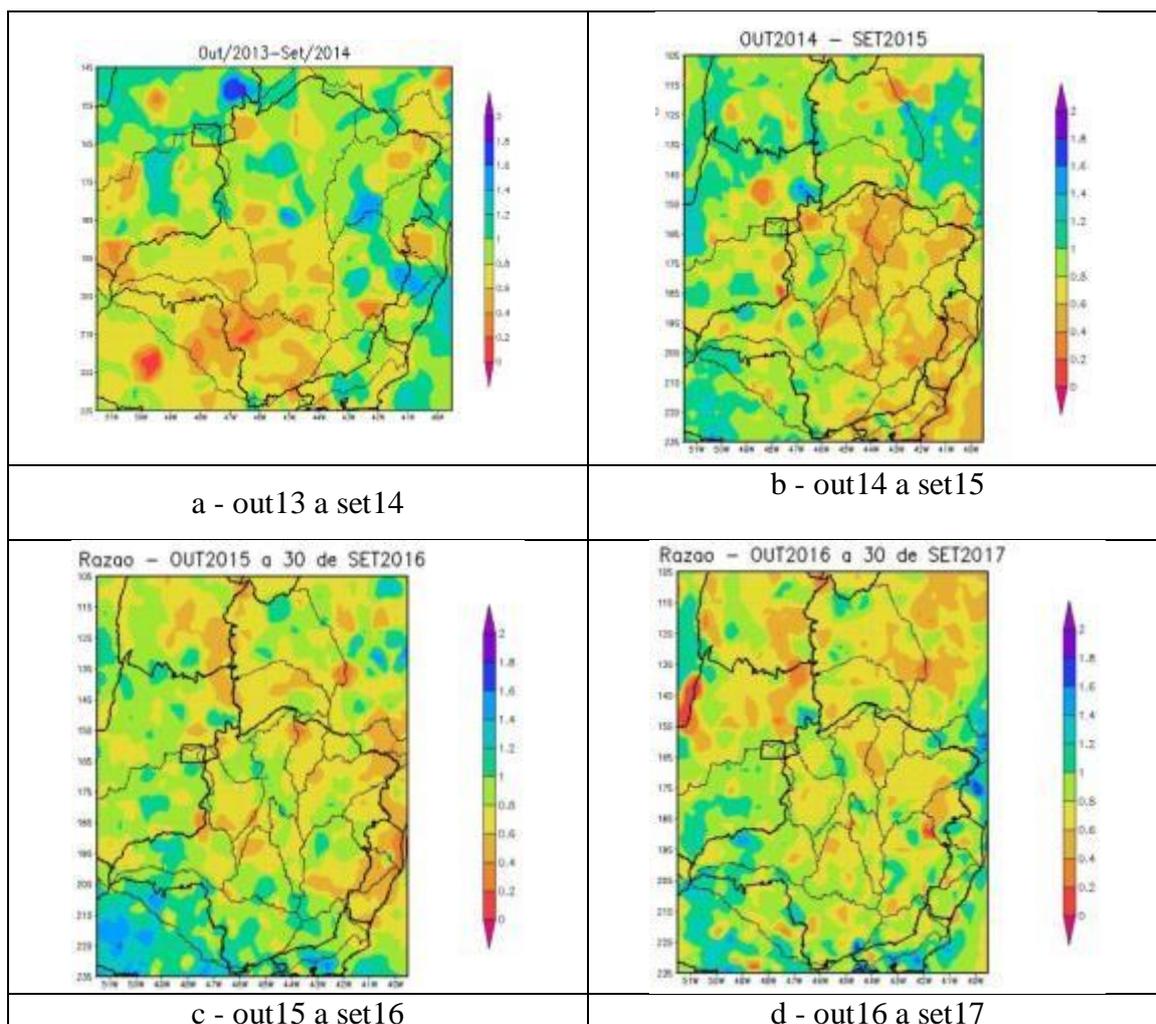
A precipitação média anual da bacia varia de 1500 mm, nas nascentes do rio Doce, a 900 mm na região da divisa dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, voltando a crescer na região do litoral.

O clima na bacia pode ser dividido em: clima tropical de altitude com chuvas de verão e verões frescos presentes nas vertentes das Serras da Mantiqueira e do Espinhaço e nas nascentes do rio Doce; clima tropical de altitude com chuvas de verão e verões quentes, presentes nas nascentes dos seus afluentes; e clima quente com chuvas de verão, presente nos trechos médio e baixo do rio Doce e seus afluentes.

As atividades econômicas que se destacam na região são: a agropecuária, com destaque para o reflorestamento, culturas de café, suinocultura e criação de gado leiteiro e de corte; agroindústria; mineração (ferro, ouro, bauxita, manganês, pedras preciosas e outros); indústrias de turismo, celulose, siderurgia e laticínios; geração hidroelétrica; no setor terciário destaca-se o comércio e o serviço de apoio ao setor industrial.

As inundações que assolam a região têm sua origem agravada por ações antrópicas como o desmatamento e o manejo inadequado do solo e o assoreamento advindo de resíduos minerais, industriais e domésticos. As áreas próximas ao leito principal, denominadas de planície de inundação, vêm sendo sistematicamente ocupadas pela população agravando os impactos ocasionados pelas enchentes (CPRM, 2003).

Desde 2014 a região Sudeste do Brasil tem enfrentado uma estiagem severa. Em vários cursos d'água na bacia do rio Doce foram registradas vazões mínimas históricas. A Figura 6 apresenta o total precipitado na bacia no período de outubro de 2013 a setembro de 2019. Neste período o déficit de precipitação média foi da ordem de 1050mm, equivalente a um ano hidrológico. (CPRM, 2019)



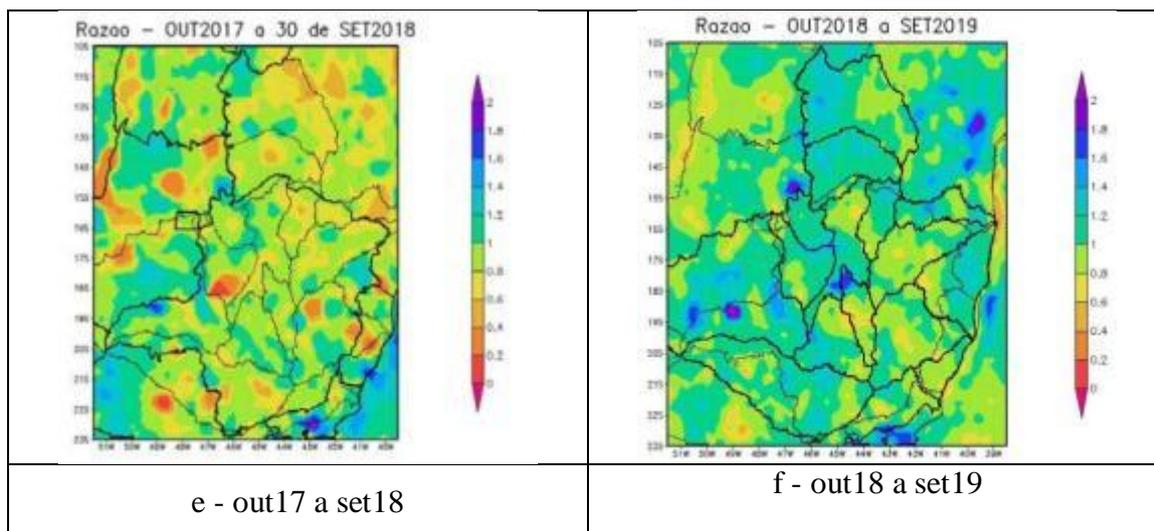


Figura 6 – Anomalia de precipitação na bacia do rio Doce

As últimas grandes cheias na bacia do rio Doce, monitoradas pelo sistema de alerta, haviam sido registradas em:

- Dezembro de 2013: foram registrados eventos pontuais de precipitação, chegando a serem registradas chuvas da ordem de 940 mm para o mês, enquanto a média esperada é de 206 mm (Figura 7). Foram registrados os seguintes eventos:
  - Cidade de Colatina: Entre os dias 17 e 28 de dezembro foi observado um grande evento de cheia na cidade. No dia 19 atingiu-se a cota de 782 cm nas réguas. As equipes da CPRM foram deslocadas para o local e realizaram medições nos dias 20 e 21 de dezembro, com cotas medidas aproximadamente entre 450cm e 700cm. Posteriormente, ocorreu um segundo evento de maior magnitude no dia 24, atingindo aproximadamente a cota 941 cm nas réguas, após as equipes já terem sido deslocadas de campo para o escritório, com recorrência maior do que 70 anos. O trabalho de definição da planície de inundação de Colatina, já estava em curso desde 2009, quando foram instaladas várias seções de réguas no rio Doce, ao longo da cidade. Os levantamentos de campo realizados durante e após a cheia extraordinária de 2013 permitiram a conclusão do trabalho.
  - Cidade de Linhares: o mesmo evento de cheia da cidade de Colatina foi observado em Linhares, uma vez que esta cidade está localizada a jusante, também às margens do rio Doce, tendo sido observado o maior nível de cheia já observada no município até então, com nível de 658 cm no dia 19 de dezembro, com tempo de recorrência de 18 anos, e 548 cm no dia 25.

- Janeiro de 2016: foi registrado um evento na estação Naque Velho, atingindo a cota de 831 cm na manhã do dia 21, com recorrência de 100 anos, ultrapassando o maior registro até então no rio Santo Antônio, de janeiro de 2003, com cota 756 cm. Na noite do dia 21 foi registrada uma cota de 486 cm em Governador Valadares, sendo o primeiro ponto de monitoramento após a confluência do rio Santo Antônio com o rio Doce.

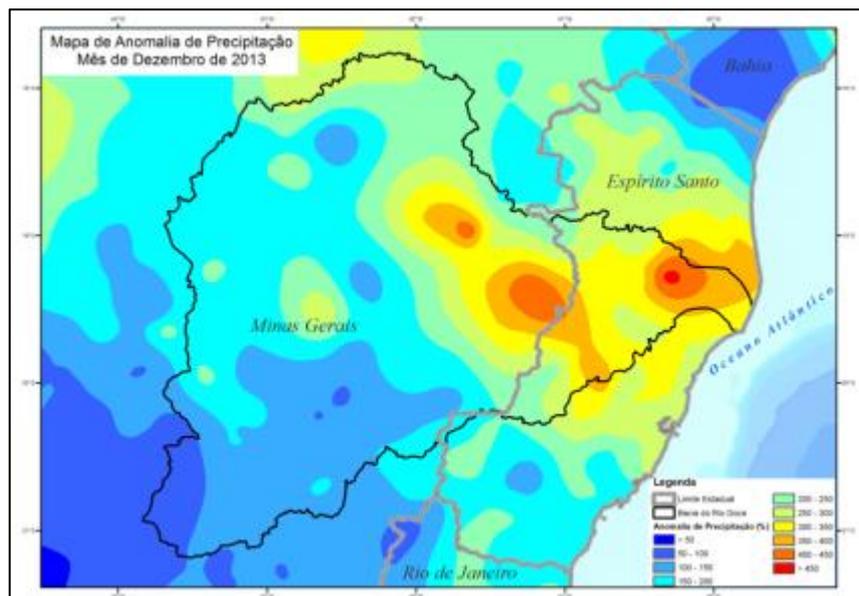


Figura 7 – Anomalia de precipitação na bacia do rio Doce em dezembro de 2013

No monitoramento 2019/2020 foram registradas cheias históricas na bacia, conforme será descrito neste relatório.

### 3. Descrição do Sistema Existente

O Sistema de Alerta contra Enchentes da Bacia do Rio Doce beneficia 15 municípios localizados às margens dos rios Piranga, Piracicaba e Doce, apresentados na Tabela 1. Os tipos de previsão ditos “Direta” são aqueles nas quais há um modelo específico no alerta para esta localidade. Nas previsões do tipo “Indireta”, o município se beneficia do sistema de alerta através do acompanhamento de outras estações a montante.

Tabela 1 - Municípios Beneficiados pelo Sistema de Alerta.

Município	Unidade de Federação	População (habitantes)	Rio	Tipo de Previsão
Açucena	Minas Gerais	10.276	Santo Antônio	Direta
Aimorés	Minas Gerais	25.193	Doce	Indireta
Antônio Dias	Minas Gerais	9.565	Piracicaba	Indireta
Baixo Guandu	Espírito Santo	29.081	Doce	Indireta
Colatina	Espírito Santo	111.788	Doce	Direta
Conselheiro Pena	Minas Gerais	22.242	Doce	Indireta
Coronel Fabriciano	Minas Gerais	103.69	Piracicaba	Direta
Galiléia	Minas Gerais	6.951	Doce	Indireta
Governador Valadares	Minas Gerais	263.689	Doce	Direta
Ipatinga	Minas Gerais	239.468	Piracicaba	Indireta
Linhares	Espírito Santo	141.306	Doce	Direta
Nova Era	Minas Gerais	17.528	Piracicaba	Direta
Ponte Nova	Minas Gerais	57.390	Piranga	Direta
Resplendor	Minas Gerais	17.089	Doce	Indireta
Timóteo	Minas Gerais	81.243	Piracicaba	Direta
Tumiritinga	Minas Gerais	6.293	Doce	Direta

Fonte: IBGE, 2018.

O Sistema foi operado no período chuvoso de 25 de novembro de 2019 a 14 de abril de 2020 nas dependências da CPRM SUREG/BH, 24 horas por dia.

Resumidamente, o Sistema consiste nas seguintes etapas: coleta de dados hidrometeorológicos, armazenamento de dados, análise dos dados, elaboração da previsão meteorológica, elaboração da previsão hidrológica e transmissão das informações, conforme ilustra o fluxograma da Figura 8.

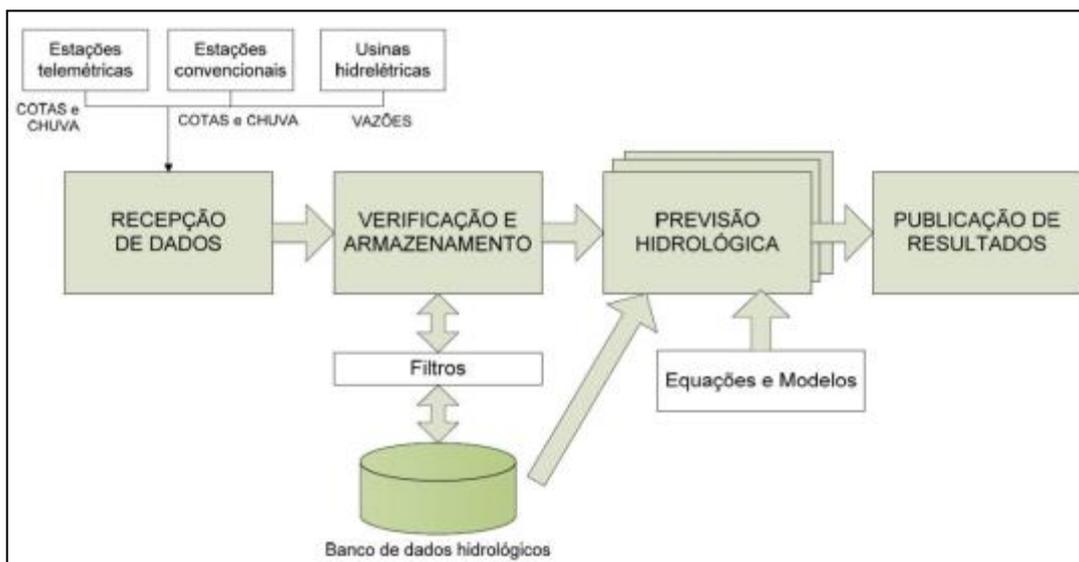


Figura 8 – Fluxograma de operação do sistema de alerta

A primeira atividade executada no sistema de alerta é a coleta de dados, os quais são obtidos nas estações hidrometeorológicas da RHN – Rede Hidrológica Nacional operada na região pela CPRM e gerenciada pela ANA, CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais e IGAM, além de dados das usinas hidrelétricas.

Os pontos de monitoramento são:

- ✓ 10 estações hidrometeorológicas da RHN com equipamento de transmissão automática via satélite (Ponte Nova, Nova Era, Fazenda Cachoeira D’Antas, Cachoeira dos Óculos, Mário de Carvalho, Belo Oriente, Naque Velho, Governador Valadares, Vila Matias e Colatina) e backup do observador hidrológico por telefone;
- ✓ 2 estações hidrometeorológicas da RHN com transmissão via observador hidrológico por telefone (Tumiritinga e Linhares);
- ✓ 11 usinas hidrelétricas: Brecha, Risoleta Neves (antiga Candonga), Peti, Piracicaba, Guilman Amorim, Sá Carvalho, Salto Grande, Porto Estrela, Baguari, Aimorés e Mascarenhas, com transmissões automáticas ou via telefone pelo operador;
- ✓ 50 (aproximadamente) estações hidrometeorológicas das usinas hidrelétricas instaladas para atendimento a resolução conjunta ANEEL/ANA nº 003, utilizadas de forma esporádica e complementar;

✓ 120 (aproximadamente) estações pluviométricas com transmissão via satélite do CEMADEN e INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, utilizadas de forma esporádica e complementar.

Os principais pontos de coleta do sistema de alerta encontram-se expostos com mais detalhes na Tabela 2. O diagrama unifilar do sistema de alerta, a localização dos pontos de monitoramento e o mapa de localização dos municípios beneficiados pelo sistema de alerta e estão representados entre a Figura 9 e a Figura 12.

Os dados registrados durante a operação do alerta encontram-se armazenados no sistema SACE, o qual permite a análise dos mesmos, por meio do traçado de cotogramas, fluviogramas e hietogramas, bem como com o cálculo das vazões das estações fluviométricas, elaboração de previsão hidrológica e a confecção de boletim de acompanhamento dos dados. Este sistema permite a consulta dos dados pelos usuários no site da CPRM <http://www.cprm.gov.br/sace/>.

Os dados das estações fluviométricas, principalmente aquelas da resolução ANA/ANEEL nº003 encontram-se disponíveis no site Hidrotelemetria do SNIRH (<http://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Mapa.aspx>).

A previsão meteorológica é elaborada e disponibilizada na internet pelos órgãos de meteorologia brasileiros, como INMET, INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – e CEMADEN.

Tabela 2 – Principais Pontos de Monitoramento do Sistema de Alerta

Estação / Código ANA	Latitude (GMS)			Longitude (GMS)			Entidade	Transmissão	Tipo de Dado	Rio/Município
Belo Oriente (BO) / 56719998	19	19	40	42	23	51	ANA	Automática	Cota e Precipitação	Rio Doce
Cachoeira dos Óculos Montante (CO) / 56539000	19	46	37	42	28	35	ANA	Automática	Cota e Precipitação	Rio Doce
Colatina (CL) / 56994510	19	31	48	40	37	25	ANA	Automática	Cota e Precipitação	Rio Doce
Fazenda Cachoeira D'Antas (CD) / 56425000	19	59	40	42	40	28	ANA	Automática	Cota e Precipitação	Rio Doce
Governador Valadares (GV) / 56850000	18	52	56	41	57	03	ANA	Automática	Cota e Precipitação	Rio Doce
Linhares Cais do Porto(LI) / 56998200	19	24	23	40	04	02	ANA	Telefone	Cota	Rio Doce
Mário de Carvalho (MC) / 56696000	19	31	27	42	38	27	ANA	Automática	Cota e Precipitação	Rio Piracicaba
Naque Velho (NV) / 56825000	19	11	18	42	25	21	ANA	Automática	Cota e Precipitação	Rio Santo Antônio
Nova Era Telemétrica (NE) / 56661000	19	46	00	43	01	34	ANA	Automática	Cota e Precipitação	Rio Piracicaba
Ponte Nova Jusante (PN) / 56110005	20	23	02	42	54	10	ANA	Automática	Cota e Precipitação	Rio Piranga
Tumiritinga (TU) / 56920000	18	58	16	41	38	30	ANA	Telefone	Cota	Rio Doce
Vila Matias Montante (VM) / 56891900	18	34	19	41	54	51	ANA	Automática	Cota e Precipitação	Rio Suaçuí Grande
UHE Aimorés (AI)	19	29	58	41	01	23	Vale/CEMIG	Automática	Vazão	Rio Doce
UHE Baguari (BA)	19	01	20	42	07	27	CEMIG	Automática	Vazão	Rio Doce
UHE Brecha (BR)	20	32	00	42	59	00	Novelis	Telefone	Vazão	Rio Piranga
UHE Risoleta Neves*	20	15	29	42	53	3	Novelis e VALE	Telefone	Vazão	Rio Carmo
UHE Guilman Amorim (GA)	19	42	00	42	59	00	Belgo-Arcelor e Samarco Mineração	Telefone	Vazão	Rio Piracicaba
UHE Mascarenhas (MS)	19	30	00	40	57	00	ESCELSA	Telefone	Vazão	Rio Doce
UHE Peti (PE)	19	48	00	43	14	00	CEMIG	Automática	Vazão	Rio Santa Bárbara
UHE Piracicaba (PI)	19	56	00	43	10	00	Belgo-Arcelor	Telefone	Vazão	Rio Piracicaba
UHE Porto Estrela (PS)	19	07	00	42	40	00	CEMIG	Automática	Vazão	Rio Santo Antônio
UHE Sá Carvalho (SC)	19	38	13	42	48	21	CEMIG	Automática	Vazão	Rio Piracicaba
UHE Salto Grande (SG)	19	09	09	42	44	52	CEMIG	Automática	Vazão	Rio Santo Antônio

\*a usina Risoleta Neves não tem sido operada desde o rompimento do barramento da SAMARCO em Mariana, estando suas comportas do vertedouro abertas continuamente desde então.

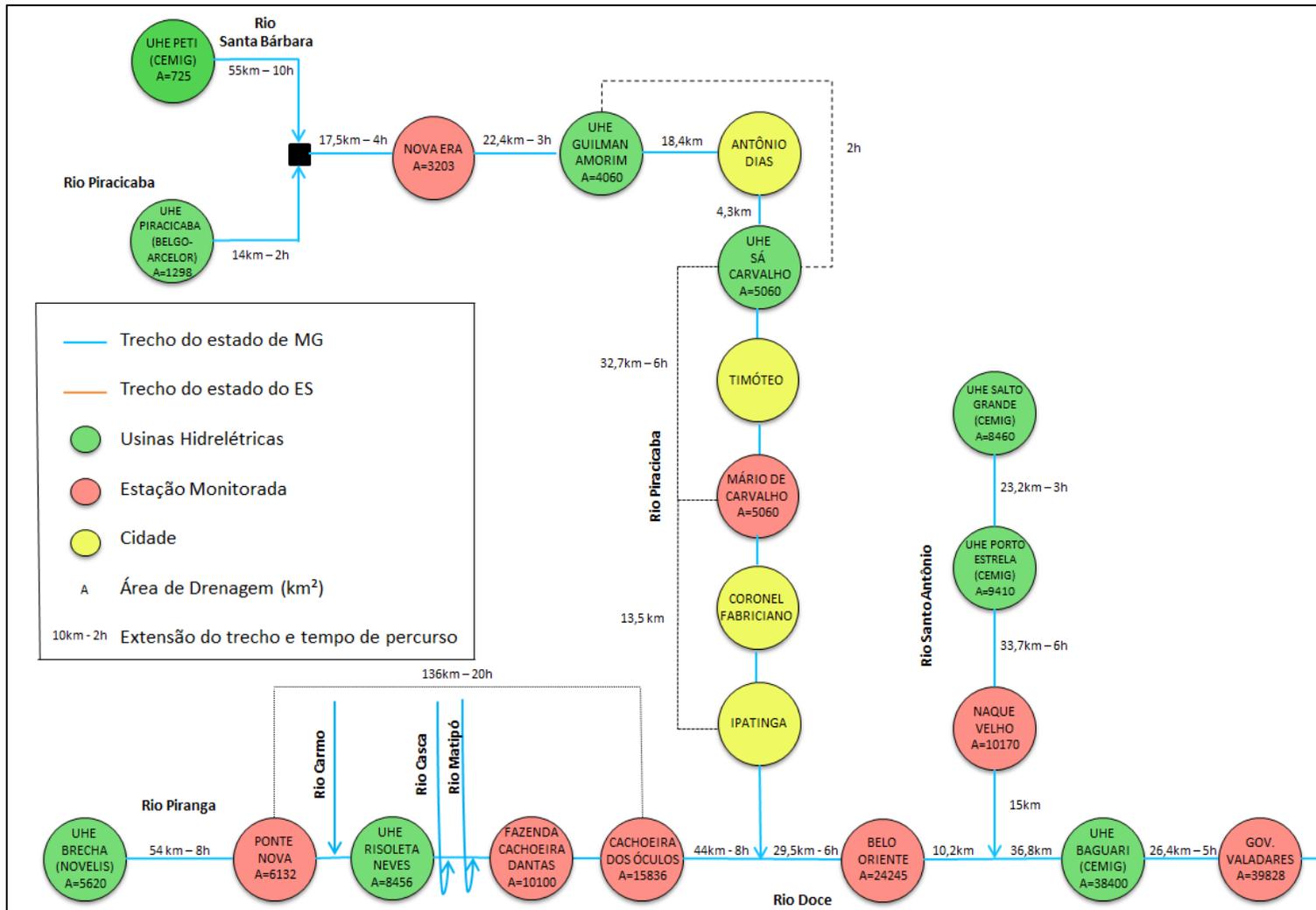


Figura 9 – Diagrama Unifilar do Sistema de Alerta – (parte 1)

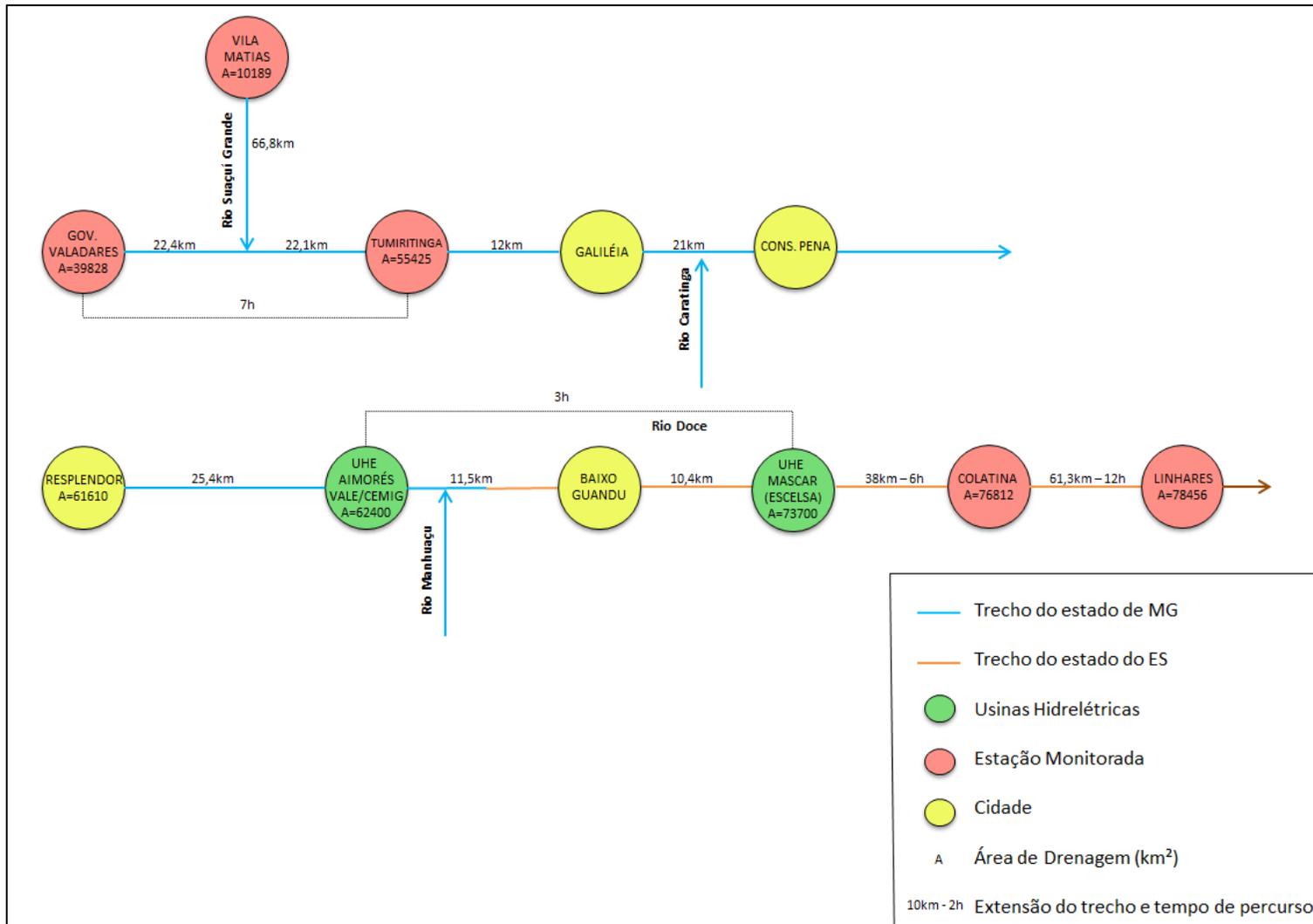


Figura 10 – Diagrama Unifilar do Sistema de Alerta – (parte 2)

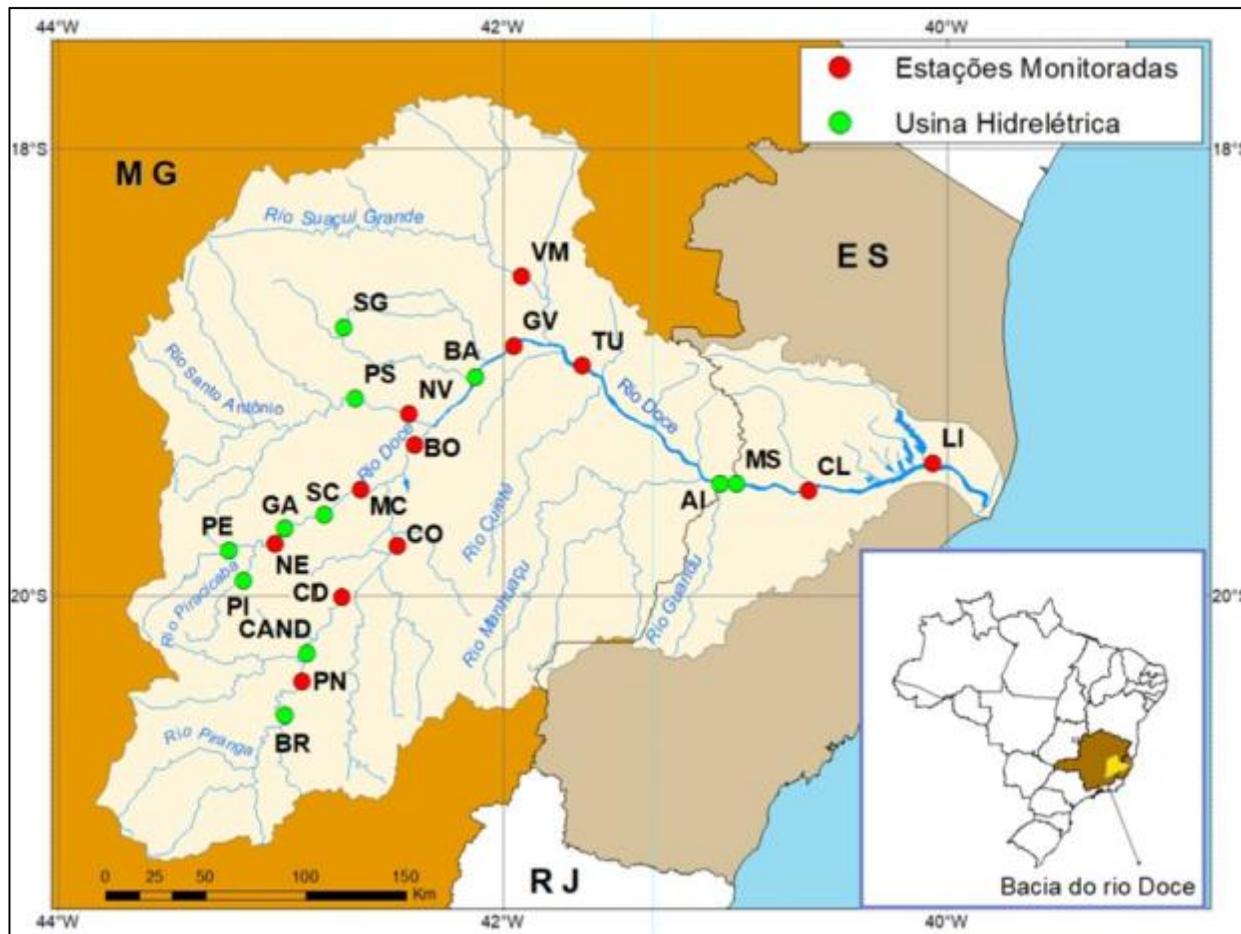


Figura 11 – Pontos de monitoramento do Sistema de Alerta



Figura 12 – Municípios beneficiados pelo Sistema de Alerta

A previsão hidrológica consiste da estimativa da evolução dos níveis dos rios para 10 pontos de monitoramento com antecedência de 6 a 24 horas dependendo da localidade. A Tabela 3 apresenta um resumo dos tempos de antecedência da previsão hidrológica e cidades beneficiadas. Maiores detalhes sobre a previsão hidrológica nas estações de monitoramento podem ser vistos no Capítulo 5.

Tabela 3 - Resumo da Previsão Hidrológica

Cidade	Estações usadas na previsão hidrológica	Tempo de antecedência da previsão (h)
Colatina	Usina de Mascarenhas e Estação Colatina	6
Governador Valadares	Estações Mário de Carvalho e Cachoeira dos Óculos e UHE Salto Grande	24
	Estações Belo Oriente, Naque Velho e Governador Valadares	12
Linhares	Estações Colatina e Linhares	12
Mário de Carvalho	UHE Guilman e Estação Mário de Carvalho	8
Nova Era	UHE Peti e Piracicaba	6
Naque Velho	UHE Porto Estrela e Estação Naque Velho	6
Ponte Nova	Usina da Brecha e Estação Ponte Nova	8
Tumiritinga	Estações Governador Valadares e Vila Matias	7

Para algumas cidades consideradas estratégicas foram definidas cotas de alerta e cotas de inundação, determinadas em campo, através de nivelamento topográfico da cota do início da inundação no ponto mais baixo da cidade. Já as cotas de alerta foram definidas de acordo com o tempo de subida dos hidrogramas da cheia de janeiro de 1997, discretizados a cada 12 horas (CPRM, 2003), conforme mostra a Tabela 4.

A transmissão da informação foi feita por e-mail para os municípios, defesa civil e outras entidades interessadas, e através do site <http://www.cprm.gov.br/sace/> de duas maneiras:

- boletim ordinário de monitoramento: pelo menos uma vez por dia, com informações de nível de todas as estações;
- boletim extraordinário: enviado somente quando ocorrem cotas de alerta em qualquer uma das estações monitoradas, com frequência maior, contendo previsões para os níveis.

O site traz diversas informações sobre o Sistema de Alerta, tais como: histórico do sistema, municípios beneficiados, características da bacia, pontos de monitoramento, recomendações, referências de trabalhos publicados na área, etc.

Tabela 4 - Cotas de Alerta (A) e de Inundação (I)

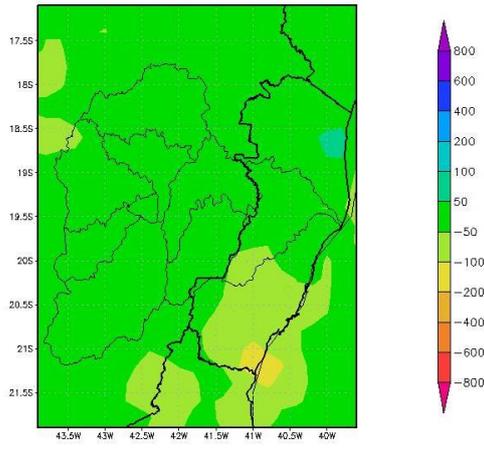
Estação		Cota (cm)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	TR* (anos)	Fonte da Análise de Frequência
Belo Oriente	A	860	4444	54	CPRM, 1999
	I	900	4878	76	
Colatina	A	570	3176	1,5	CPRM, 2016
	I	620	3678	1,9	
Governador Valadares	A	320	1606	1,1	CPRM, 2004
	I	360	2072	1,6	
Linhares Cais do Porto	A	330	-	1,2	Anexo I
	I	345	-	1,3	
Mário de Carvalho	A	540	565	1,6	CPRM, 1999
	I	620	751	2,4	
Naque Velho	A	640	1348	4	CPRM, 1999
	I	740	1877	19	
Nova Era	A	350	355	1,3	Anexo I
	I	470	564	3,8	
Ponte Nova	A	280	319	1,3	CPRM, 2020
	I	330	423	1,7	
Tumiritinga	A	400	2318	1,3	CPRM, 1999
	I	450	2796	1,7	
Vila Matias	A	660	1017	48	CPRM, 1999
	I	700	1177	100	

\*TR - Período de Retorno ou Tempo de Recorrência

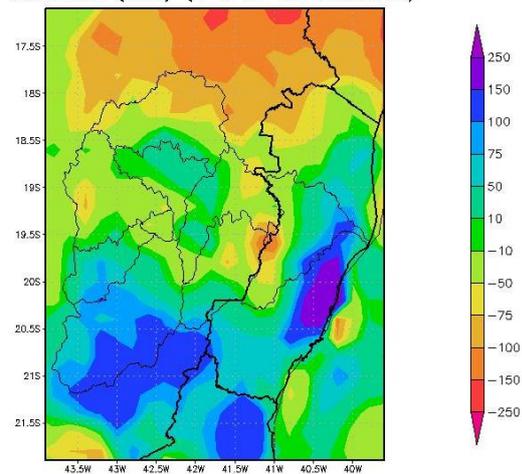
#### 4. Operação do Sistema de Alerta no período de dezembro de 2019 a março de 2020

Conforme foi dito anteriormente, desde 2014 estava sendo registrada uma estiagem severa na região Sudeste do Brasil, onde está localizada a bacia do rio Doce. Entretanto no período de outubro de 2019 a março de 2020 foram registradas precipitações acima da média, conforme pode ser visto na Figura 13.

Anomalia(mm) OUT2019 a 31 de OUT2019



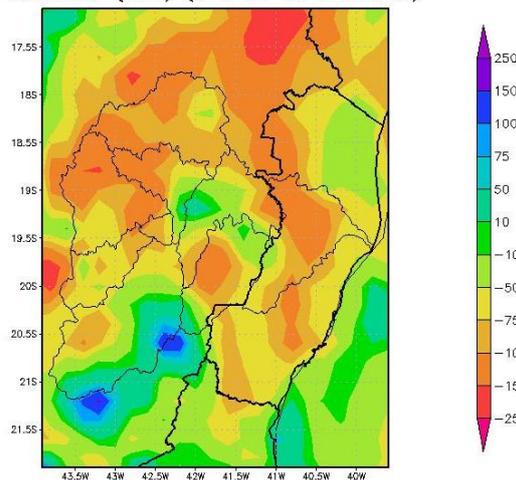
Anomalia (mm) (1 a 30 de NOV2019)



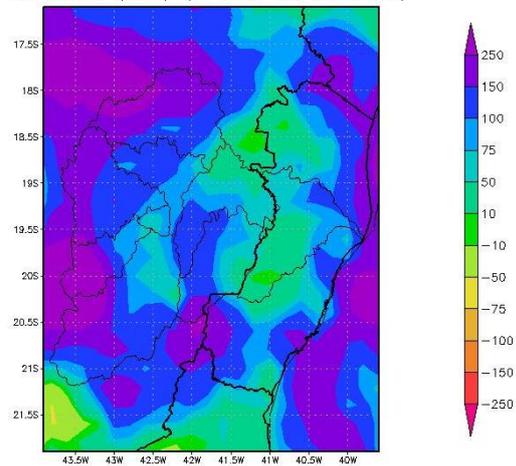
a – anomalia de precipitação na bacia do rio Doce em outubro de 2019

b – anomalia de precipitação na bacia do rio Doce em novembro de 2019

Anomalia (mm) (1 a 31 de DEZ2019)



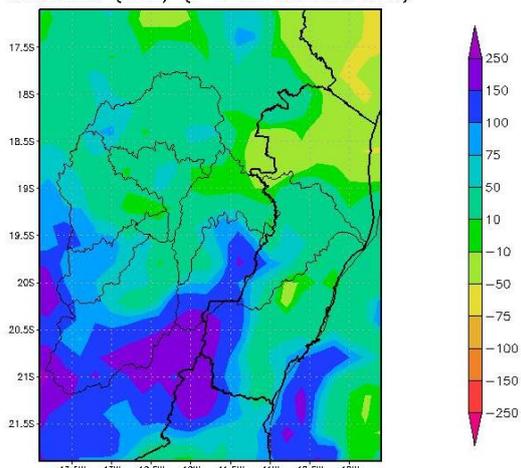
Anomalia (mm) (1 a 31 de JAN2020)



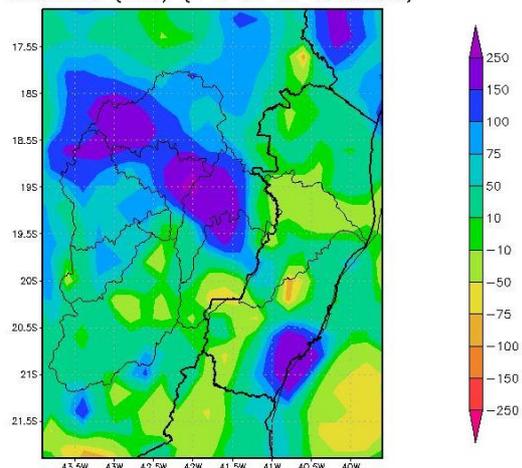
c – anomalia de precipitação na bacia do rio Doce em dezembro de 2019

d – anomalia de precipitação na bacia do rio Doce em janeiro de 2020

Anomalia (mm) (1 a 29 de FEV2020)



Anomalia (mm) (1 a 31 de MAR2020)



e – anomalia de precipitação na bacia do rio Doce em fevereiro de 2020

f – anomalia de precipitação na bacia do rio Doce em março de 2020

Figura 13 – Anomalias de precipitação (Fonte: CPTEC/INPE, 2020)

Na operação do sistema de alerta de novembro de 2019 a abril de 2020 foram registrados três eventos em que foram atingidas cotas de alerta e de inundação na bacia, os quais serão descritos a seguir:

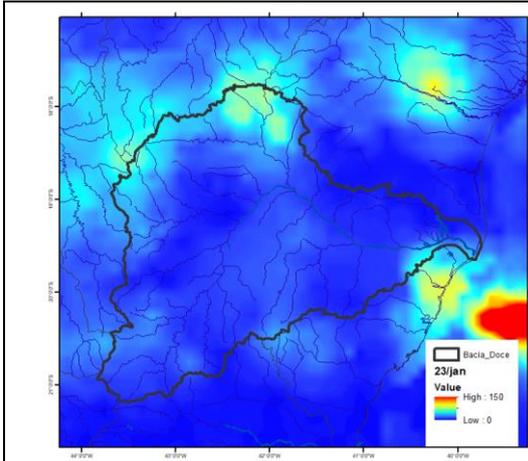
- período de 23 de janeiro a 01 de fevereiro;
- período de 13 a 19 de fevereiro;
- período de 28 de fevereiro a 10 de março de 2020.

Durante o período de operação do alerta, foram realizadas campanhas de campo, com vistas a realizar medições de vazão nos locais de interesse. Os resultados destas medições estão apresentados no Anexo III deste relatório.

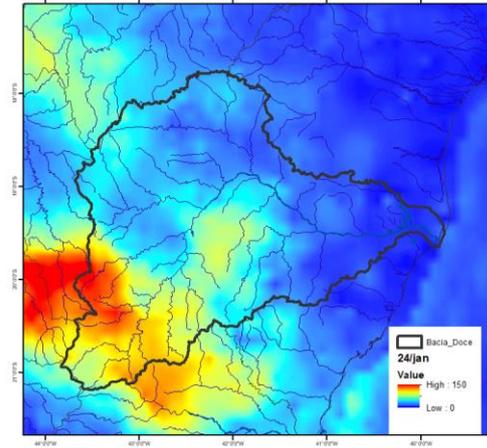
#### 4.1. 23 de janeiro a 01 de fevereiro de 2020

Os órgãos de meteorologia brasileiros emitiram um alerta de precipitações intensas na região Sudeste a partir de 23 de janeiro de 2020 (vide Figura 14). As chuvas mais intensas foram observadas no dia 24, principalmente nas nascentes do rio Doce e no rio Piracicaba, com a chuva deslocando-se para a área mais central da bacia no dia 25, atingindo o rio Doce na área das estações Cachoeira dos Óculos e Belo Oriente, além dos rios Piracicaba e Manhuaçu.

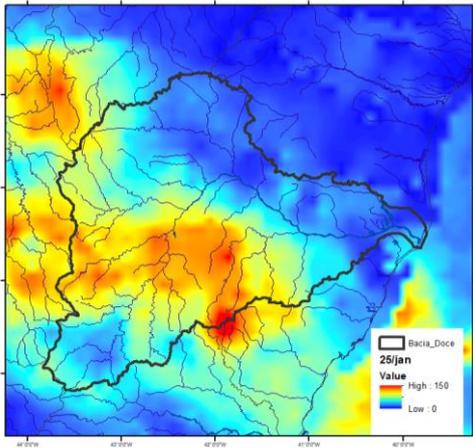
Estes eventos causaram inundações em praticamente toda a bacia do rio Doce.



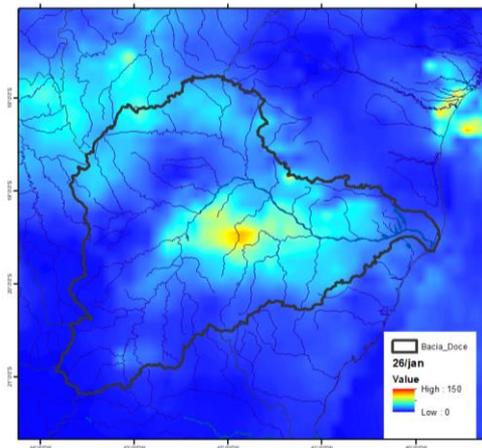
a – Precipitações registradas no dia  
23/01/20



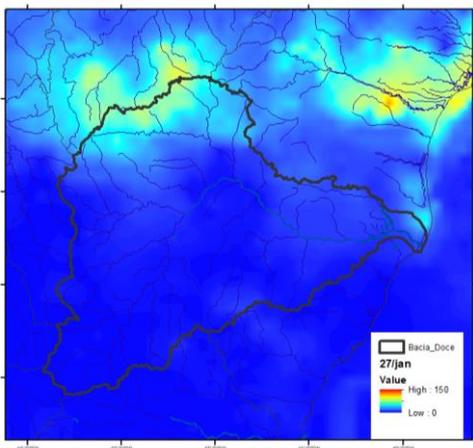
b – Precipitações registradas no dia  
24/01/20



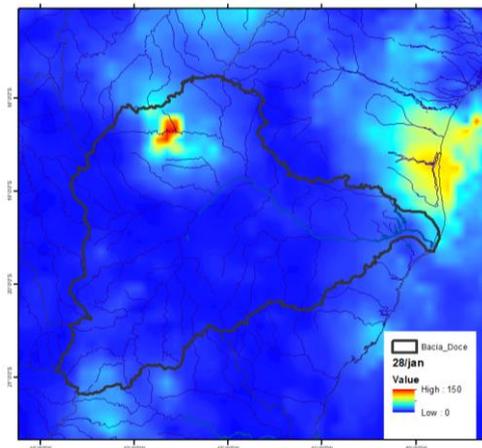
c – Precipitações registradas no dia  
25/01/20



d – Precipitações registradas no dia  
26/01/20



e – Precipitações registradas no dia  
27/01/20



f – Precipitações registradas no dia  
28/01/20

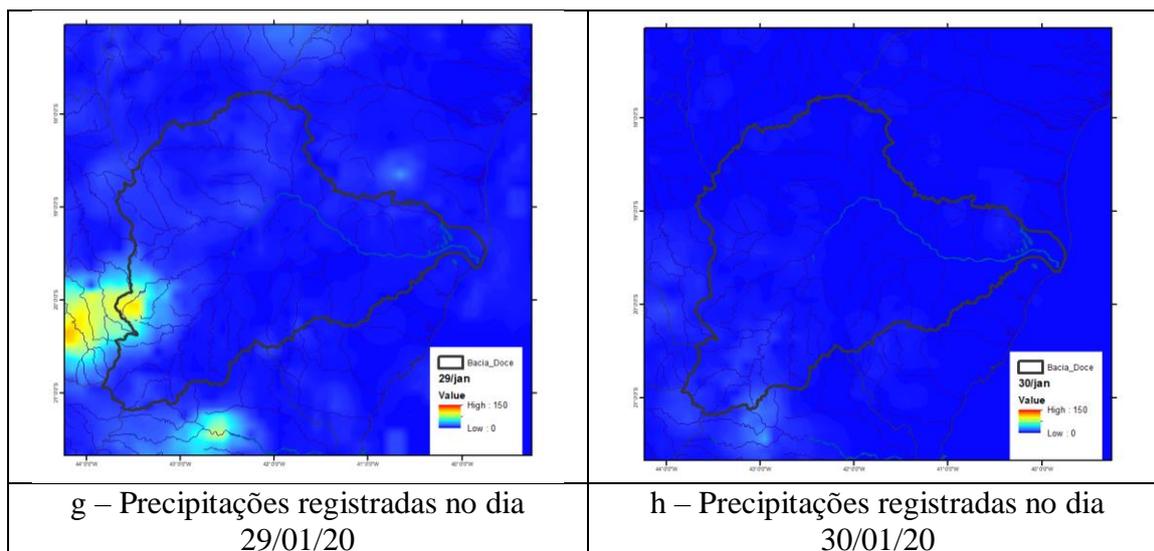


Figura 14 – Precipitações diárias entre 23 a 30 de janeiro

De outubro de 2019 até 20 de janeiro de 2020 havia sido registrado na bacia do rio Doce cerca de 800 mm e a precipitação prevista indicava que as cidades de Ponte Nova e Nova Era entrariam em alerta devido a elevação do nível dos rios Piranga e Piracicaba.

Este evento se estendeu, causando alertas e inundações, para os pontos de Ponte Nova, Nova Era, Mário de Carvalho, Naque Velho, Governador Valadares, Colatina e Linhares.

O rio Piranga atingiu a cota de alerta em Ponte Nova no dia 24/01/20 e de inundação em 25/01/20, permanecendo acima da cota de inundação por três dias e de alerta por cinco dias. A cota máxima atingida foi de 470 cm, correspondente à vazão máxima de 754 m<sup>3</sup>/s, que corresponde a um período de retorno de 5 anos.

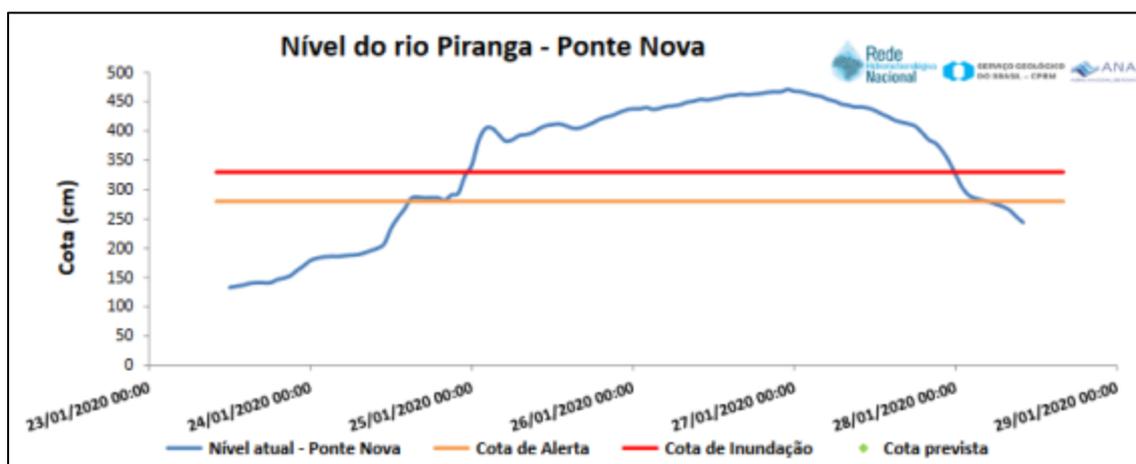


Figura 15 – Nível do rio Piranga na cidade de Ponte Nova no período de 23/01 a 29/01/20

O rio Piracicaba atingiu a cota de alerta em Nova Era no dia 24/01/20 e de inundação em 25/01/20, permanecendo acima da cota de inundação por três dias e de alerta por quatro dias. A cota máxima atingida foi de 700 cm equivalente a uma vazão de 953 m<sup>3</sup>/s, que corresponde a um período de retorno maior do que 60 anos.

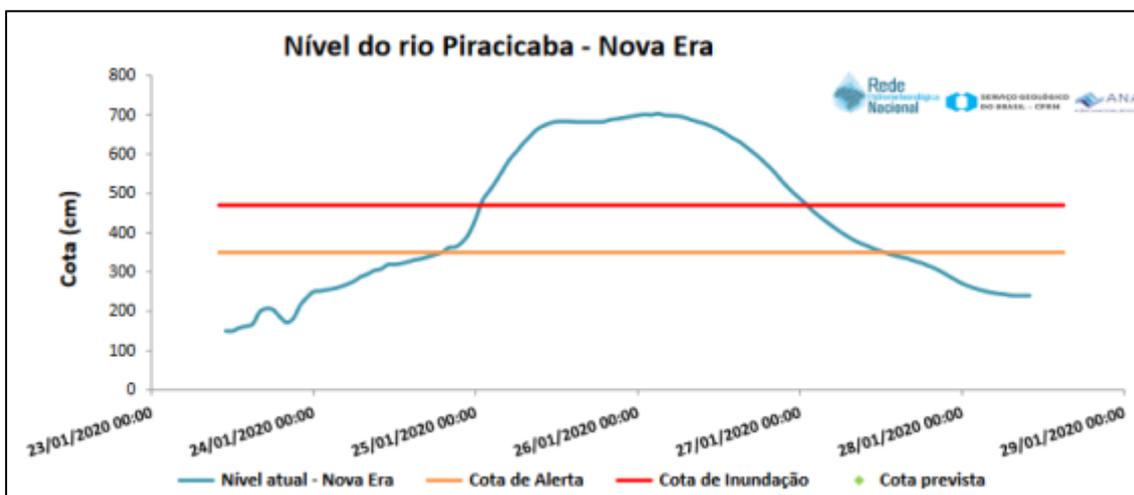


Figura 16 – Nível do rio Piracicaba na cidade de Nova Era no período de 23/01 a 29/01/20

Importante ressaltar que a subida do rio Piracicaba em Nova Era se deu de forma muito rápida, pois uma precipitação intensa foi registrada na área incremental entre a usina de Peti e a confluência do rio Santa Bárbara com o rio Piracicaba, na madrugada do dia 24 para o dia 25, Figura 17. A grande afluência de vazões provavelmente se deu da bacia do rio Una, afluente pela margem esquerda do rio Santa Bárbara. Esta área, destacada na Figura 18, não é monitorada pelo sistema de alerta. As previsões realizadas com base nas vazões defluentes das usinas subestimaram a subida do nível de água em Nova Era. Como a PCH São Gonçalo, localizada a jusante da confluência com o rio Uma, não tem transmitido dados de forma consistente ao Gestor PCD da ANA e a previsão realizada utiliza o somatório das vazões das usinas de Peti e Piracicaba, a vazão que atingiu Nova Era foi maior do que a estimada pelo modelo de previsão, Figura 19.

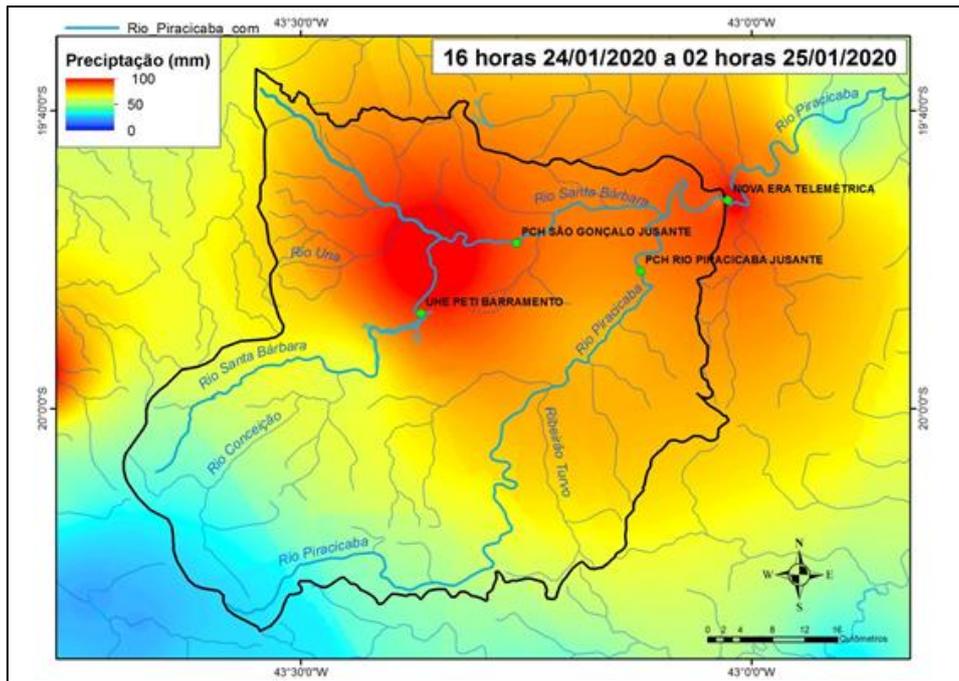


Figura 17 – Chuva acumulada entre as 16h do dia 24 e as 02h do dia 25, a montante da estação Nova Era



Figura 18 – Bacia de drenagem da estação Nova Era com destaque para a área não monitorada no rio Santa Bárbara

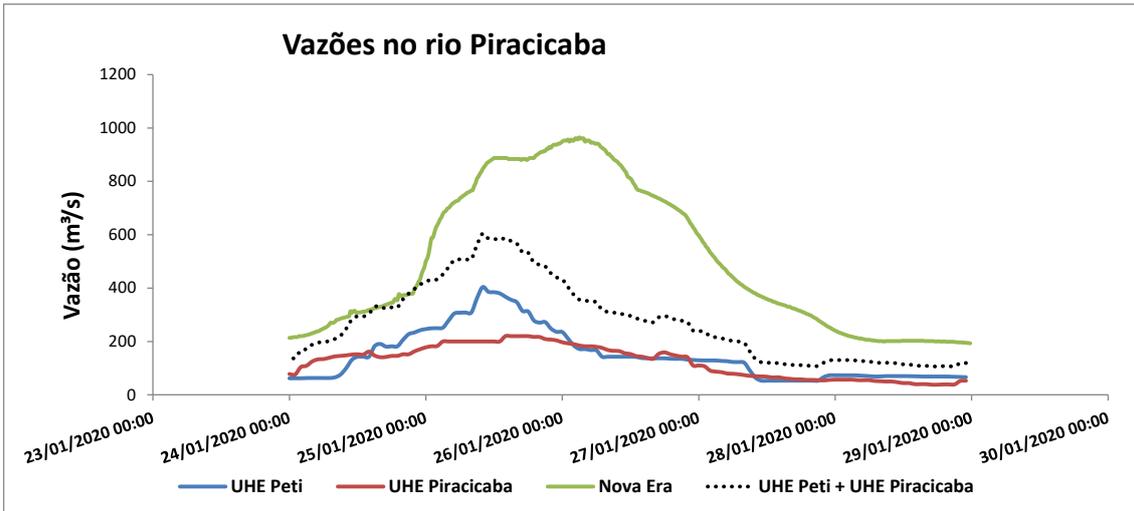


Figura 19 – Vazões Registradas nas usinas de Peti e Piracicaba e na estação de Nova Era

Na estação de Mário de Carvalho localizada em Timóteo, o rio Piracicaba atingiu as cota de alerta e inundação no dia 25/01/20, permanecendo acima da cota de alerta e inundação por três dias. A cota máxima atingida foi de 730 cm, o que equivale a uma vazão máxima de 1754 m³/s, que corresponde a um período de retorno de 50 anos.

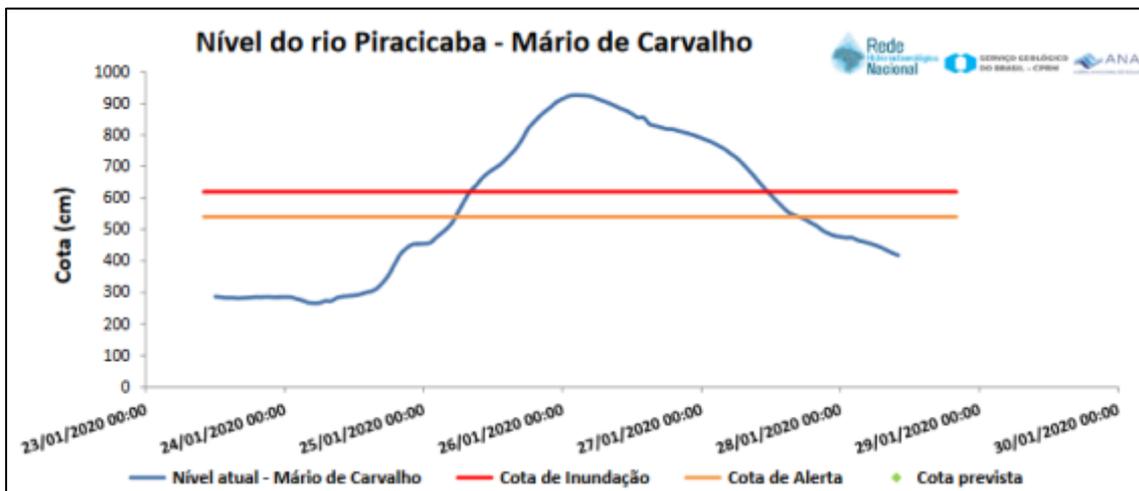


Figura 20 – Nível do rio Piracicaba na cidade de Timóteo (Mário Carvalho) no período de 23/01 a 28/01/20

O rio Santo Antônio atingiu a cota de alerta e a cota de inundação em Naque Velho no dia 26/01/20, permanecendo acima da cota de inundação ao longo deste dia. A cota máxima atingida foi de 800cm, equivalente à uma vazão de 2239 m³/s, que corresponde a um período de retorno de 50 anos.

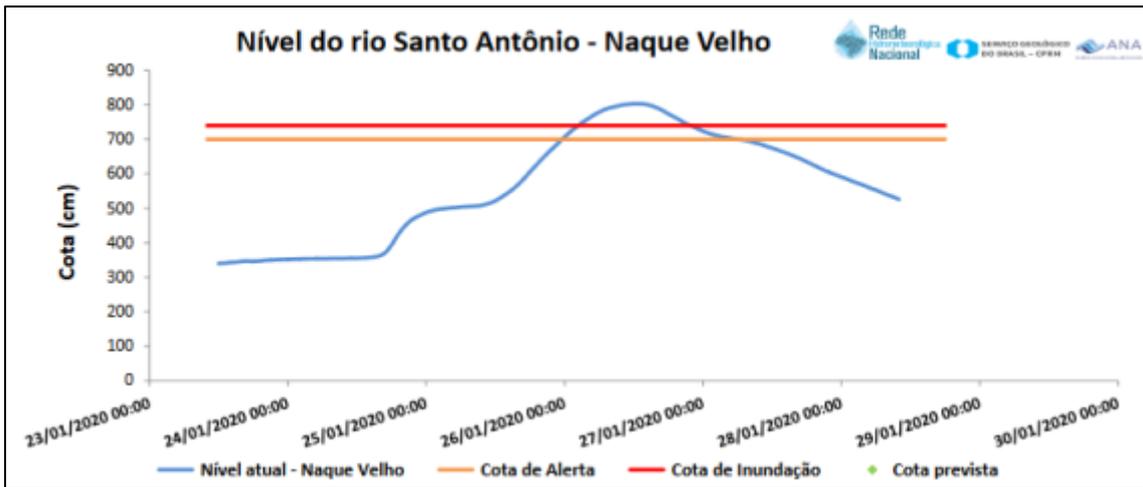


Figura 21 – Nível do rio Santo Antônio na cidade de Naque (Naque Velho) no período de 23/01 a 29/01/20

O rio Doce atingiu a cota de alerta em Governador Valadares no dia 25/01/20 e de inundação em 26/01/20, permanecendo acima da cota de inundação por quatro dias e de alerta por seis dias. A cota máxima atingida foi de 570 cm, equivalente à uma vazão de 5402 m³/s e um período de retorno de 45 anos.

Já em Tumiritinga, o rio Doce atingiu a cota de alerta e inundação no dia 26/01/20, permanecendo acima das cotas de alerta e inundação por cinco dias. A cota máxima atingida foi de 658cm, equivalente à uma vazão máxima de 5518 m³/s e um período de retorno de aproximadamente 15 anos. Ressalta-se que a estação possui seus dados transmitidos por telefone, portanto a cota máxima pode ter sido superior a este valor, caso tenha ocorrido num período entre as leituras do observador.

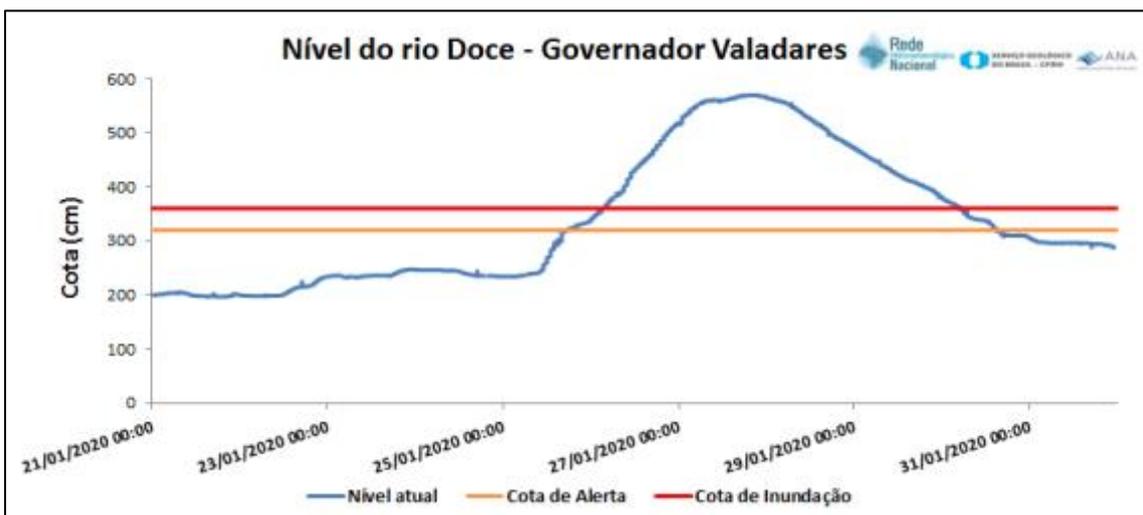


Figura 22 – Nível do rio Doce na cidade de Governador Valadares no período de 21/01 a 31/01/20

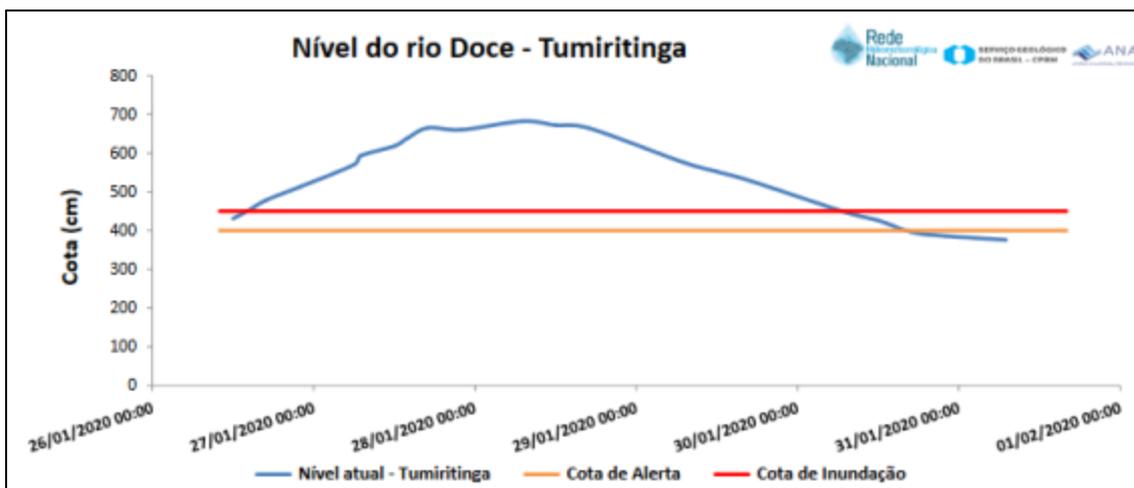


Figura 23 – Nível do rio Doce na cidade de Tumiritinga no período de 26/01 a 31/01/20

Foram registradas precipitações muito elevadas na bacia do rio Manhuaçu, afluente da margem direita do rio Doce e tem sua foz na cidade de Aimorés. Segundo dados da UHE Aimorés, a vazão na foz do rio Manhuaçu foi da ordem de  $1080\text{m}^3/\text{s}$ , no dia 27/01/20, que segundo CPRM (1999), tem recorrência da ordem de 25 anos. Esta cheia atingiu a região de Aimorés, Baixo Guandu e Colatina antes da chegada da cheia do rio Doce propriamente, que estava ocorrendo na região de Governador Valadares e Tumiritinga. Assim, desde dia 22/01 observava-se uma subida gradual do nível de Colatina, Figura 24. Posteriormente, nota-se chegada da cheia do próprio rio Doce, elevando de forma rápida o nível de Colatina.

O rio Doce atingiu a cota de alerta em Colatina no dia 26/01/20 e de inundação em 27/01/20, permanecendo acima da cota de inundação por quatro dias e de alerta por cinco dias. A cota máxima registrada foi de 790 cm, equivalente a uma vazão de  $6240\text{m}^3/\text{s}$ , que corresponde a um período de retorno de 8 anos.

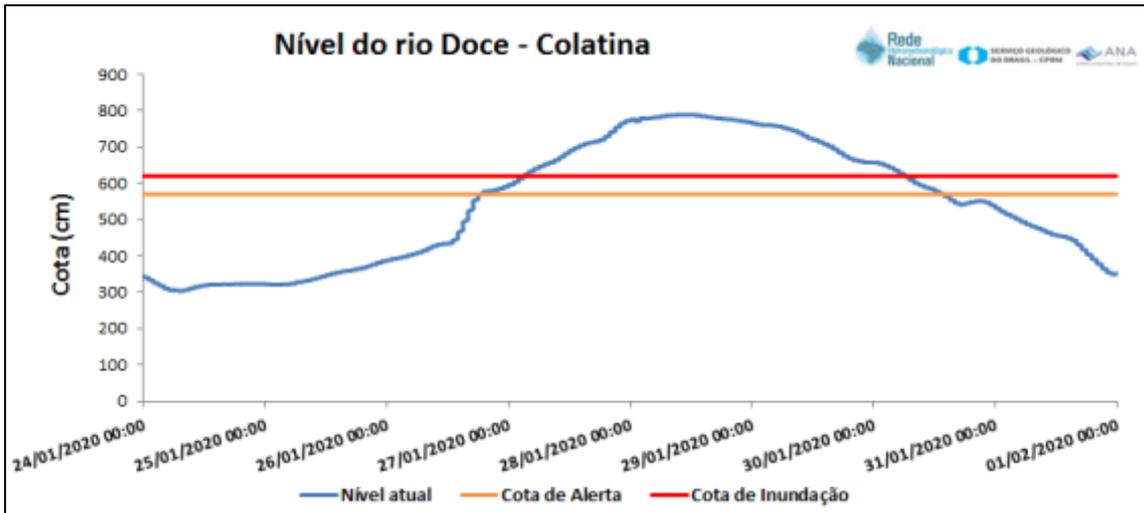


Figura 24 – Nível do rio Doce na cidade de Colatina no período de 24/01  
01/02/20

Já em Linhares, o rio Doce atingiu a cota de alerta e inundação no dia 26/01/20, permanecendo acima das cotas de alerta e inundação por seis dias. A cota máxima atingida foi de 560 cm, com período de retorno de 7 anos. Ressalta-se que a estação possui seus dados transmitidos por telefone, portanto a cota máxima pode ter sido superior a este valor, caso tenha ocorrido num período entre as leituras do observador.

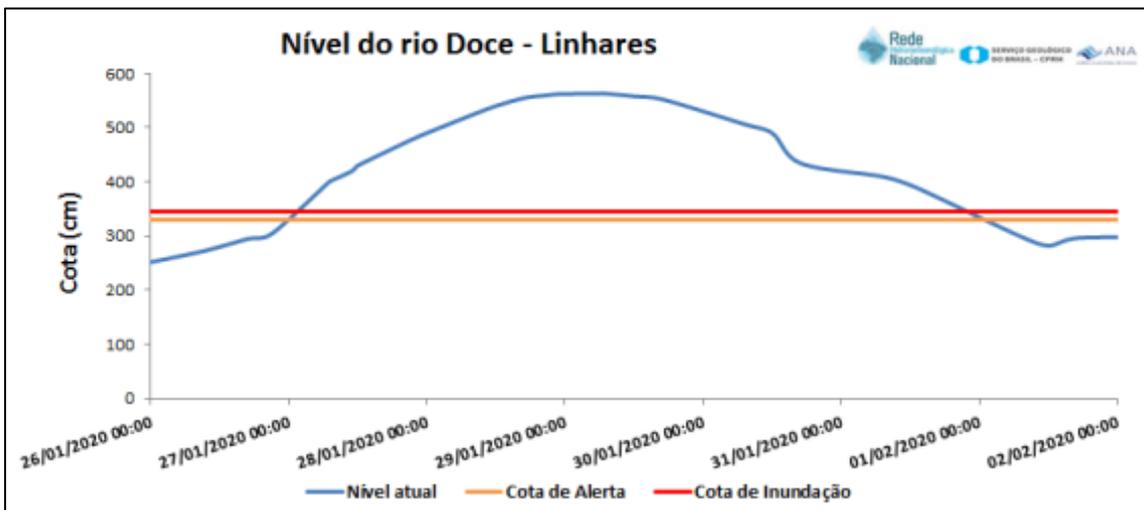
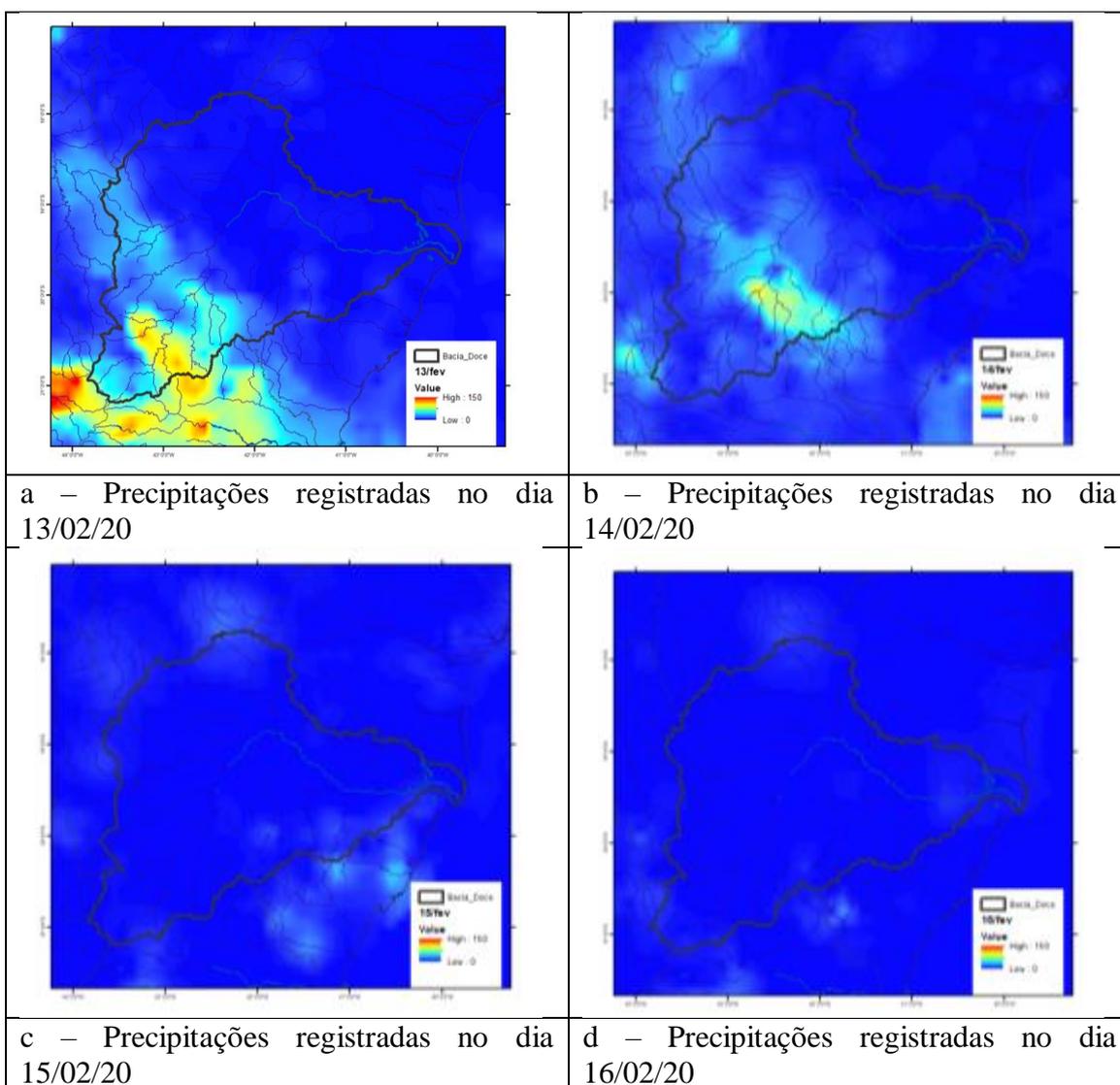


Figura 25 – Nível do rio Doce na cidade de Linhares no período de 26/01 a 02/02/20

#### 4.2. 13 a 19 de fevereiro de 2020

No dia 13 de fevereiro de 2020 foram registradas precipitações intensas nas bacias dos rios Piranga, Casca, Matipó, Piracicaba, Caratinga e Manhuaçu. Figura 26. A elevação do nível, principalmente em Ponte Nova, se deu de forma rápida, a partir da madrugada do dia 13.



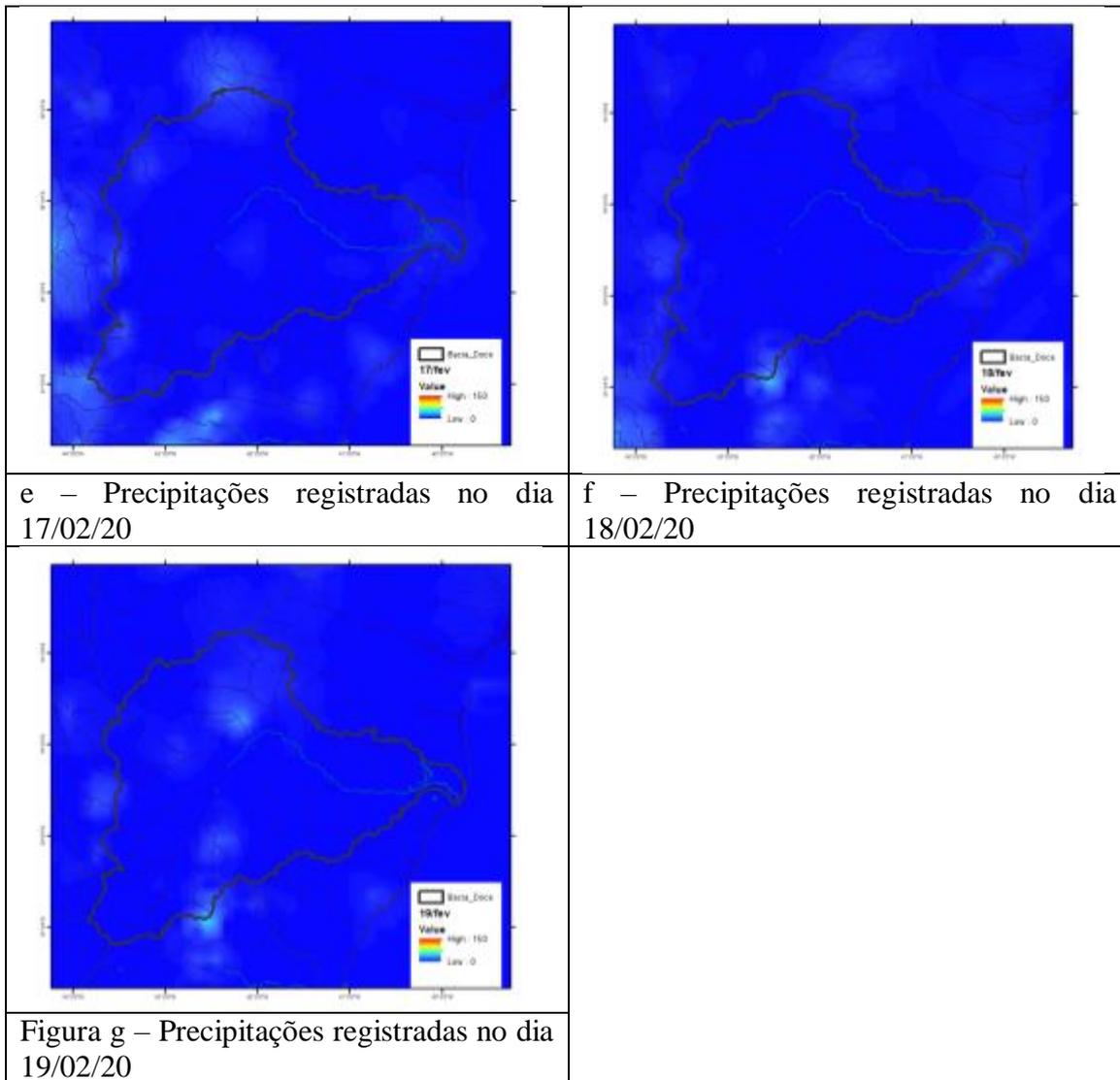


Figura 26 – Precipitações registradas na bacia do rio Doce entre 13 e 19 de fevereiro de 2020

Este evento se estendeu, causando alertas e inundações, para os pontos de Ponte Nova e Governador Valadares. Tumiritinga e Linhares apenas atingiram cotas de alerta.

O rio Piranga atingiu a cota de alerta e inundação em Ponte Nova no dia 13/02/20, permanecendo acima da cota de alerta e inundação por três dias. A cota máxima atingida foi de 410 cm, associado a uma vazão máxima atingida foi de 605 m<sup>3</sup>/s, que corresponde a um período de retorno de aproximadamente 4 anos.

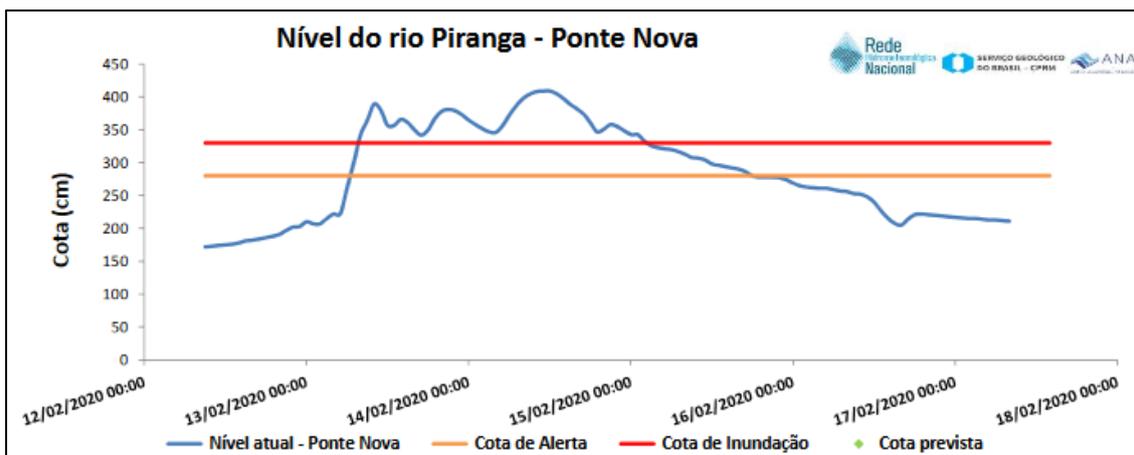


Figura 27 – Nível do rio Piranga na cidade de Ponte Nova no período de 12/02 a 17/02/20

Importante ressaltar que houve uma subida rápida do nível do rio Piranga em Ponte Nova em função de chuva intensa localizada na área incremental entre a usina de Brecha e a cidade de Ponte Nova.

O rio Doce atingiu a cota de alerta e inundação em Governador Valadares no dia 15/02/20, permanecendo acima da cota de inundação por dois dias e de alerta por três dias. A cota máxima atingida foi de 370 cm, correspondente a uma vazão máxima de 2198 m<sup>3</sup>/s, que corresponde a um período de retorno de aproximadamente 2 anos. Já em Tumiritinga, o rio Doce atingiu a cota de alerta no dia 16/02/20, permanecendo acima da cota de alerta somente por poucas horas neste dia.



Figura 28 – Nível do rio Doce na cidade de Governador Valadares no período de 12/02 a 17/02/20

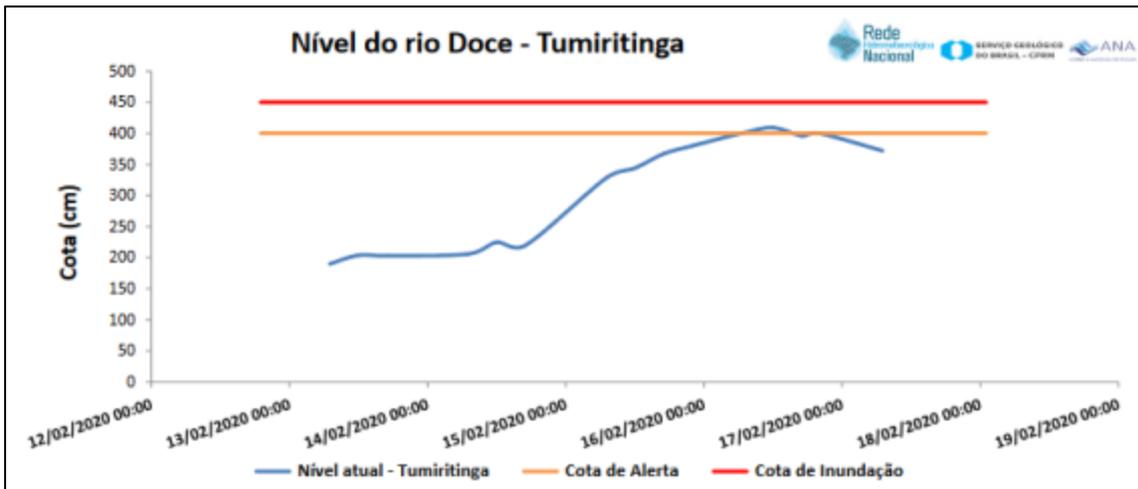


Figura 29 – Nível do rio Doce na cidade de Tumiritinga no período de 12/02 a 17/02/20

Em Linhares, o rio Doce atingiu a cota de alerta no dia 17/02/20 e logo retornou ao nível normal.

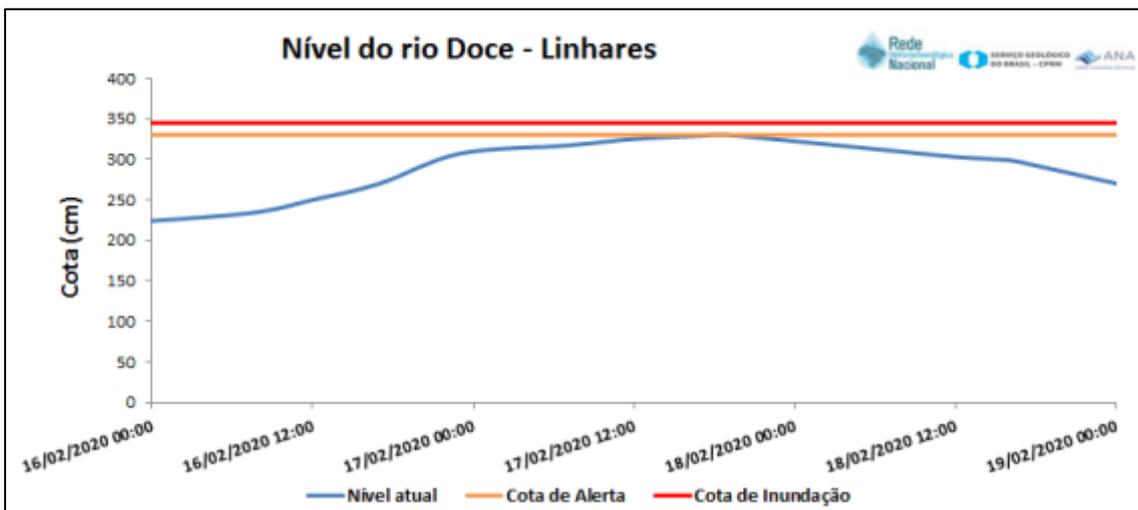


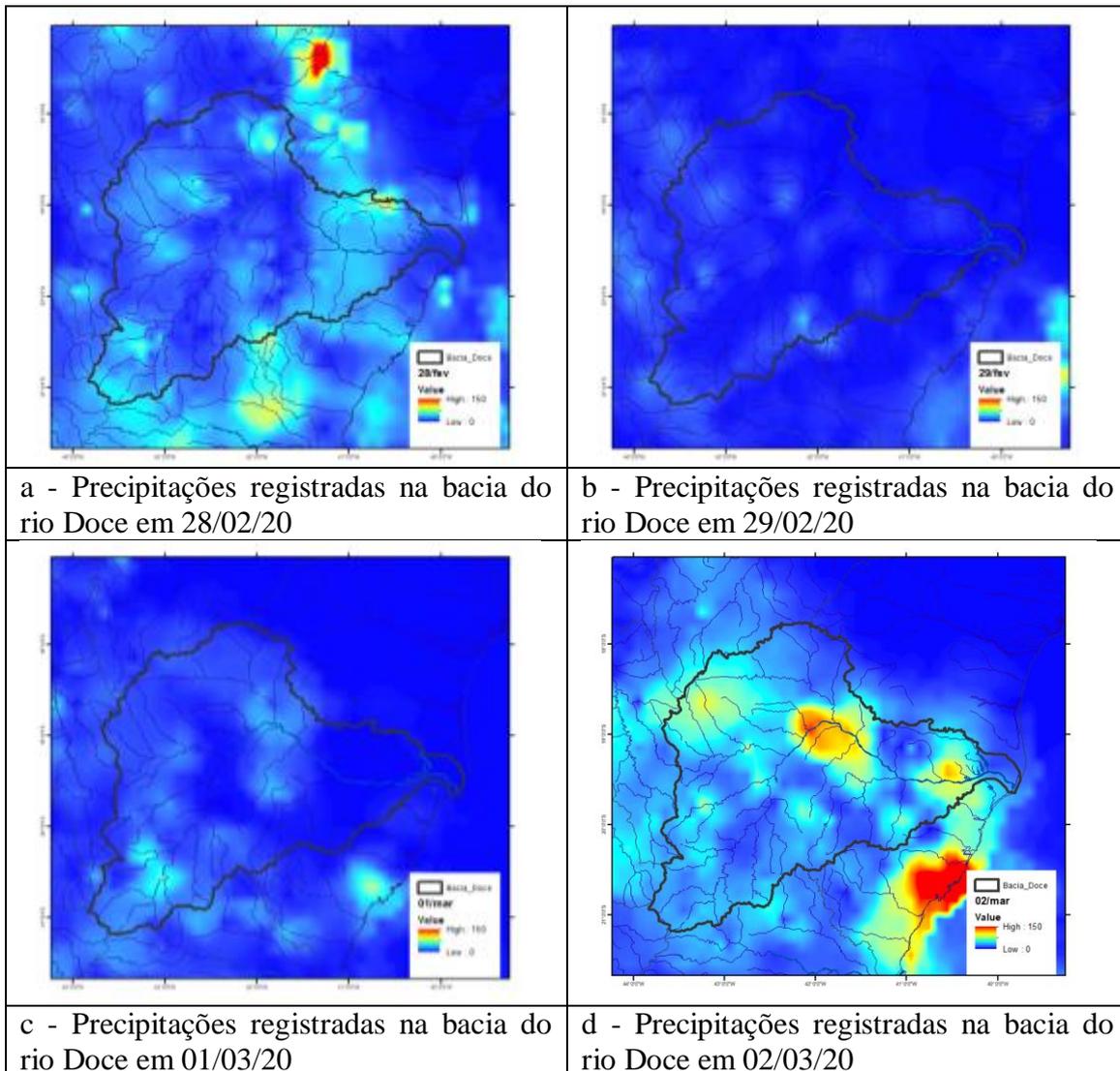
Figura 30 – Nível do rio Doce na cidade de Linhares no período de 16/02 a 19/02/20

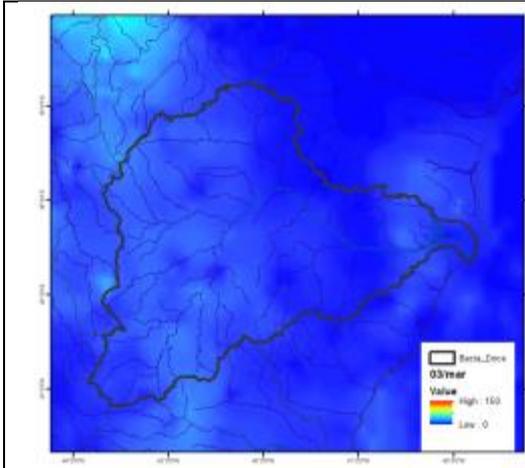
#### 4.3. 28 de fevereiro a 10 de março de 2020

No período de 28 de fevereiro a 10 de março de 2020 foram registradas precipitações novamente na bacia do rio Doce, que já apresentava saturação devido aos eventos anteriores. A chuva do dia 28, mais amena, causou elevação principalmente nas estações de Ponte Nova e Nova Era, sem que estas atingissem cotas muito elevadas. No dia 02 de março, núcleos de chuva mais intensa foram observadas nas nascentes do rio Santo Antônio e sobre os municípios de Governador Valadares e Colatina, causando

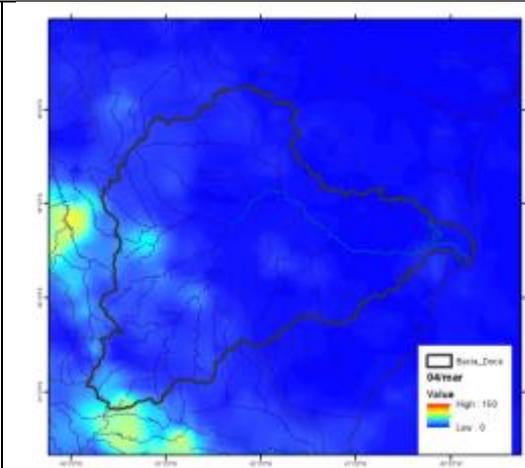
inundações nestas estações, além de Tumiritinga e Linhares. Posteriormente foram observadas mais chuvas distribuídas na bacia, o que contribuiu para manter as cotas nas estações afetadas altas por mais tempo.

Este evento se estendeu, causando alertas e inundações, para os pontos de Ponte Nova, Nova Era, Governador Valadares, Tumiritinga, Colatina e Linhares. A estação Mário de Carvalho apresentou problemas de transmissão no dia 03/03, não havendo registro deste evento.

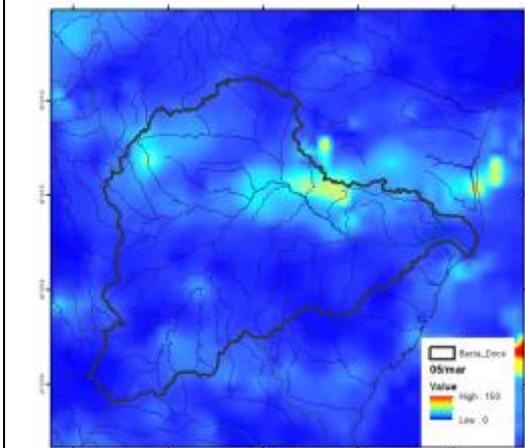




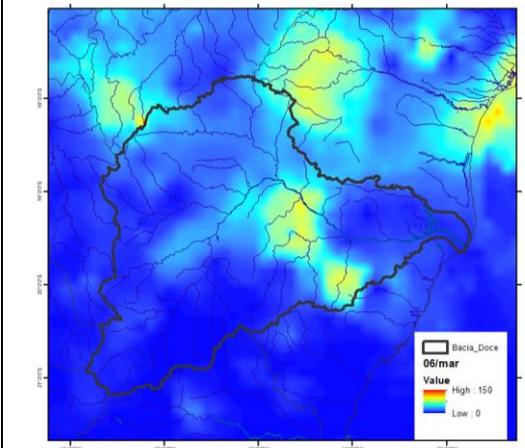
e - Precipitações registradas na bacia do rio Doce em 03/03/20



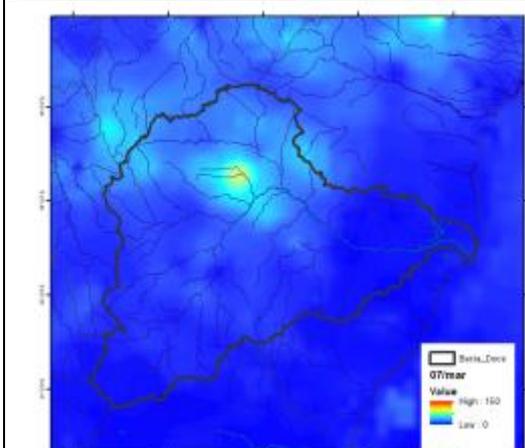
f - Precipitações registradas na bacia do rio Doce em 04/03/20



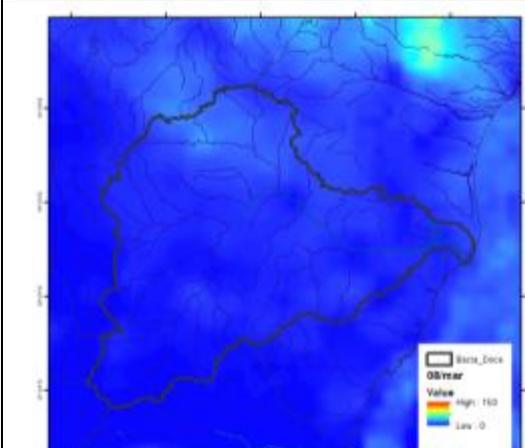
g - Precipitações registradas na bacia do rio Doce em 05/03/20



h - Precipitações registradas na bacia do rio Doce em 06/03/20



i - Precipitações registradas na bacia do rio Doce em 07/03/20



j - Precipitações registradas na bacia do rio Doce em 08/03/20

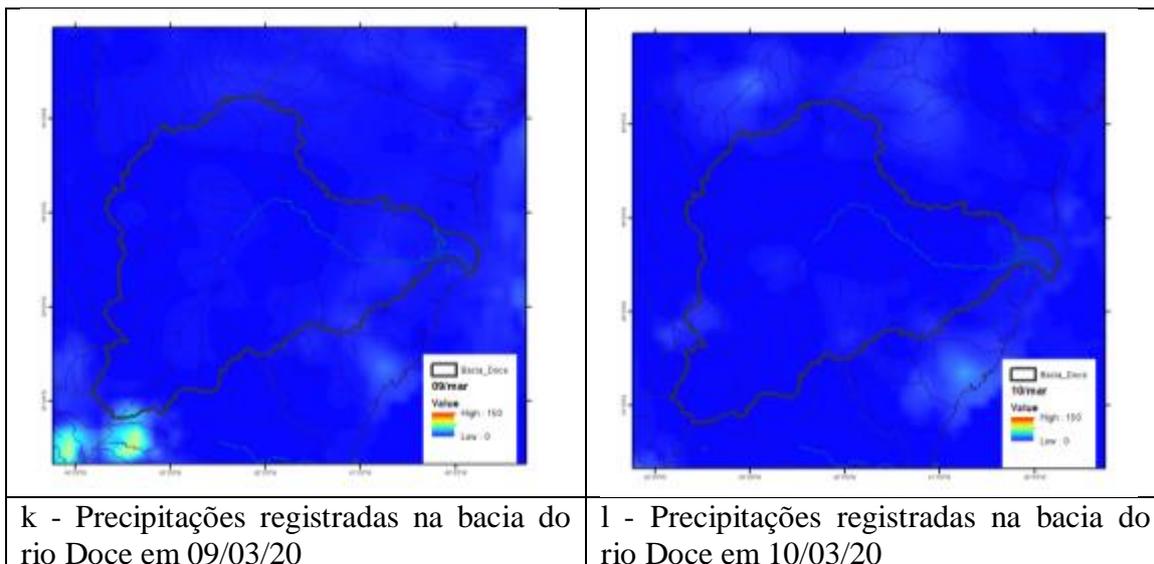


Figura 31 – Precipitações registradas na bacia do rio Doce entre 28 de fevereiro e 10 de março de 2020

O rio Piranga atingiu a cota de alerta em Ponte Nova no dia 29/02/20, não atingindo a cota de inundação, reduzindo gradualmente seu nível até o dia 02/03/20, quando ocorreram novos eventos e chuva e o nível voltou a se elevar, atingindo a cota de alerta ainda no dia 02/03 e a cota de inundação no dia 03/03, permanecendo assim por um dia. O nível voltou a apresentar tendência de queda quando, em mais um evento de chuva, o nível ultrapassou a cota de alerta mais uma vez, no dia 05/03, atingindo a cota 350 cm, equivalente a vazão de 466 m<sup>3</sup>/s. O nível do rio permaneceu acima da cota de alerta por sete dias neste local.

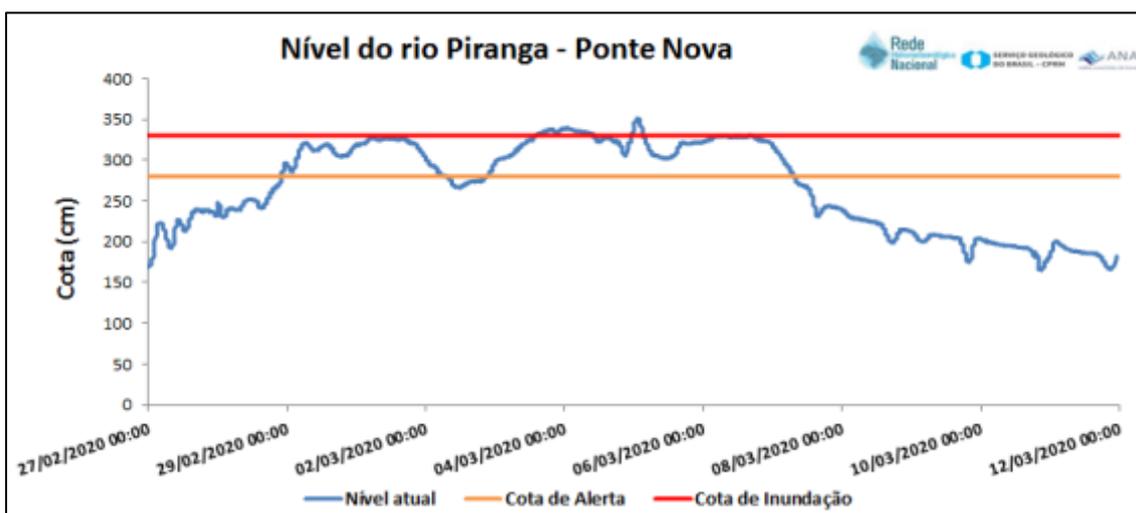


Figura 32 – Nível do rio Piranga na cidade de Ponte Nova no período de 27/02 a 12/03/20

O rio Piracicaba atingiu a cota de alerta em Nova Era no dia 03/03/20, permanecendo por poucas horas neste nível.

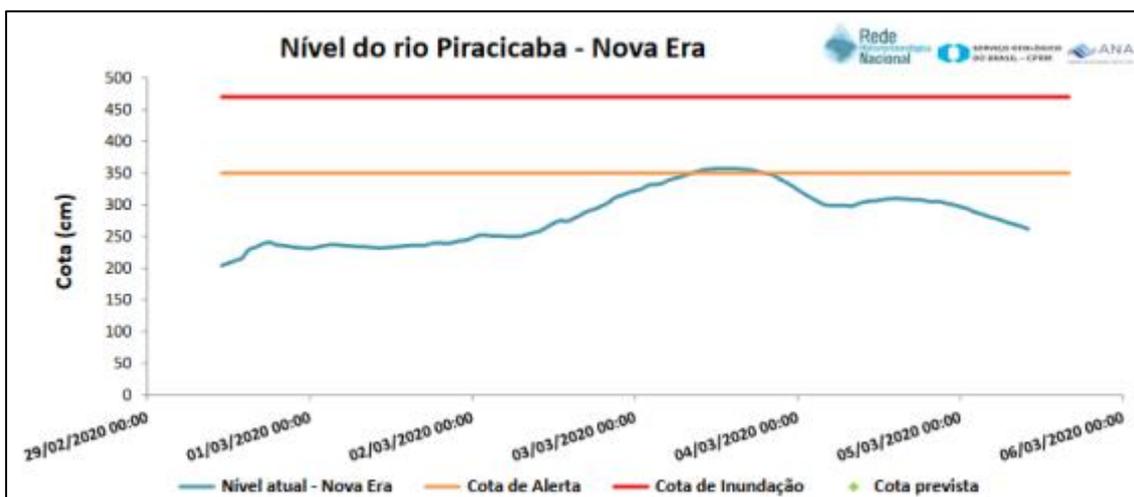


Figura 33 – Nível do rio Piracicaba na cidade de Nova Era no período de 29/02 a 05/03/20

O rio Doce atingiu a cota de alerta em Governador Valadares no dia 01/03/20 e de inundação em 03/03/20, permanecendo acima da cota de inundação por cinco dias e de alerta por oito dias. A cota máxima atingida foi de 435 cm, equivalente a uma vazão de 3113 m<sup>3</sup>/s, associada a um tempo de retorno de 5 anos.

Já em Tumiritinga, o rio Doce atingiu a cota de alerta no dia 02/03/20 e de inundação em 05/03/20, permanecendo acima da cota de inundação por quatro dias e de alerta por oito dias. A cota máxima atingida foi de 520 cm, equivalente a uma vazão de 3535 m<sup>3</sup>/s, que corresponde a um período de retorno de 3 anos. Ressalta-se que a estação possui seus dados transmitidos por telefone, portanto a cota máxima pode ter sido superior a este valor, caso tenha ocorrido num período entre as leituras do observador.

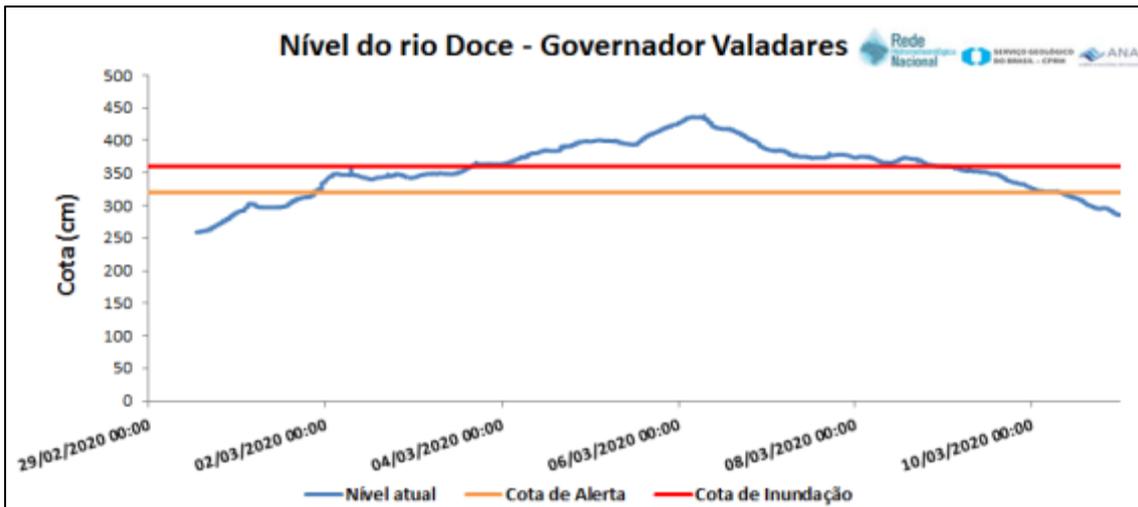


Figura 34 – Nível do rio Doce na cidade de Governador Valadares no período de 29/02 a 10/03/20

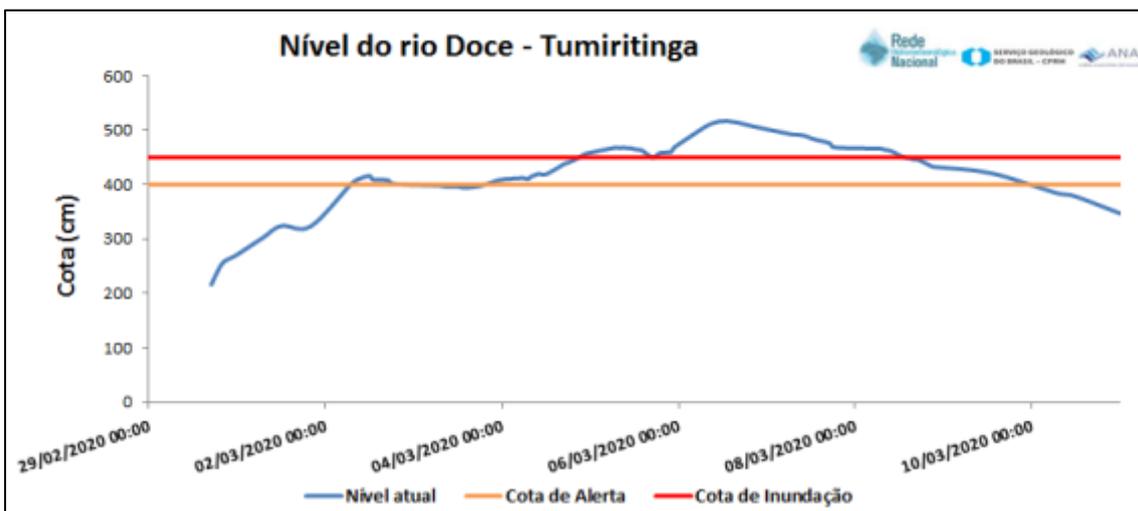


Figura 35 – Nível do rio Doce na cidade de Tumiritinga no período de 29/02 a 10/03/20

O rio Doce atingiu a cota de alerta e inundação em Colatina no dia 06/03/20, permanecendo acima da cota de inundação por um dia e de alerta por três dias. A cota máxima atingida foi de 640 cm, equivalente a uma vazão de 3899 m<sup>3</sup>/s, que corresponde a um período de retorno de 2 anos.

Já em Linhares, o rio Doce atingiu a cota de alerta e inundação no dia 02/03/20, permanecendo acima da cota de alerta e inundação por nove dias. A cota máxima atingida foi de 460 cm, aproximadamente 3 anos de período de retorno. Ressalta-se que a estação possui seus dados transmitidos por telefone, portanto a cota máxima pode ter sido superior a este valor, caso tenha ocorrido num período entre as leituras do observador.

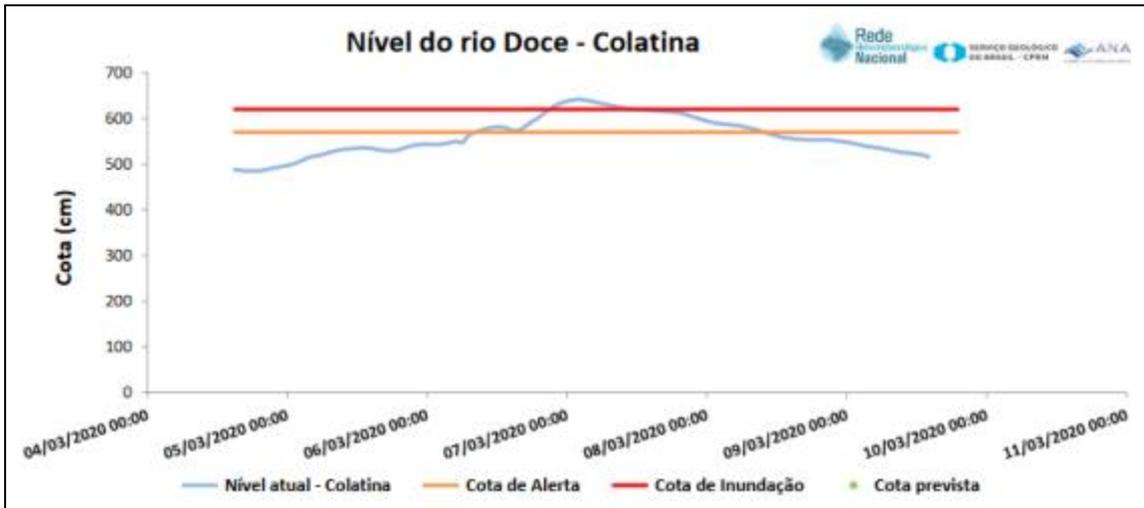


Figura 36 – Nível do rio Doce na cidade de Colatina no período de 04/03 a 09/03/20

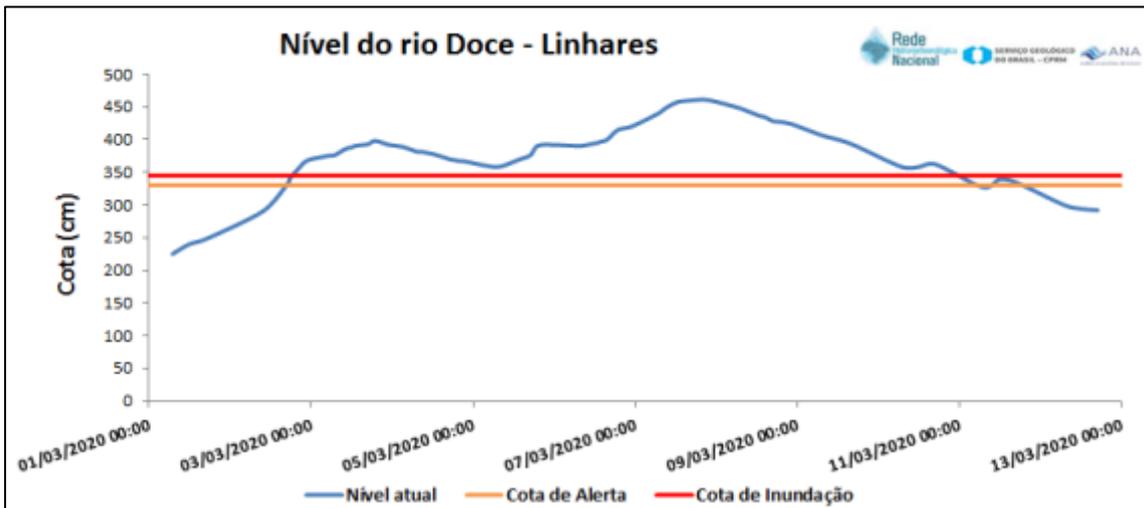


Figura 37 – Nível do rio Doce na cidade de Linhares no período de 01/03 a 13/03/20

## 5. Estudos hidrológicos desenvolvidos

Neste capítulo são apresentadas as características básicas para cada uma das cidades/estações em que é feita a previsão hidrológica.

Na operação do sistema de alerta de 2019/2020 foram desenvolvidos os seguintes estudos hidrológicos:

- Validação das curvas chaves;
- Análise da precipitação causadora de enchentes em Ponte Nova e Nova Era;
- Definição do período de retorno das vazões máximas observadas.

No anexo II estão apresentadas as curvas chaves vigentes em forma tabular.

### 5.1. Ponte Nova

A estação fluviométrica Ponte Nova da RHN está localizada no rio Piranga, que após a confluência com o rio do Carmo, passa a se chamar rio Doce. Ela está localizada na altura da cidade de Ponte Nova, possui uma seção de réguas convencional e sensor de nível do rio e de chuva com transmissão via satélite.

A evolução do nível do rio Piranga em Ponte Nova é feita levando em consideração os dados de vazão defluente da UHE Brecha, obtidos diretamente por telefone com o operador da usina. São utilizadas como indicadores de tendência as estações fluviométricas Brecha Montante 1, 2 e 3, a montante desta usina, instaladas para atendimento a resolução conjunta ANA/ANEEL nº003, e contam com transmissão via satélite.

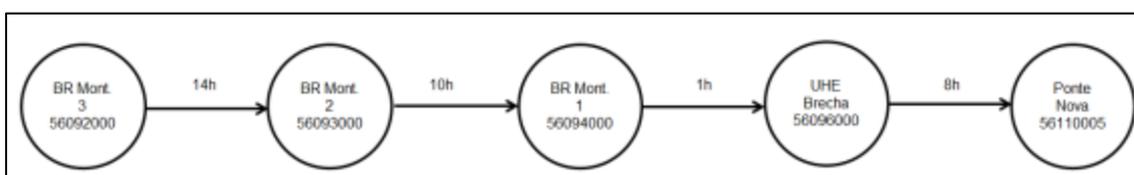


Figura 38 – Diagrama unifilar das estações a montante de Ponte Nova

A curva de Ponte Nova é estável e foi redefinida recentemente no seu ramo superior em função de medições históricas realizadas em cota altas. A curva atualmente utilizada está apresentada na Figura 39.

A cota de atenção da estação Ponte Nova é de 240, a de alerta 280 e a de inundação 330cm.

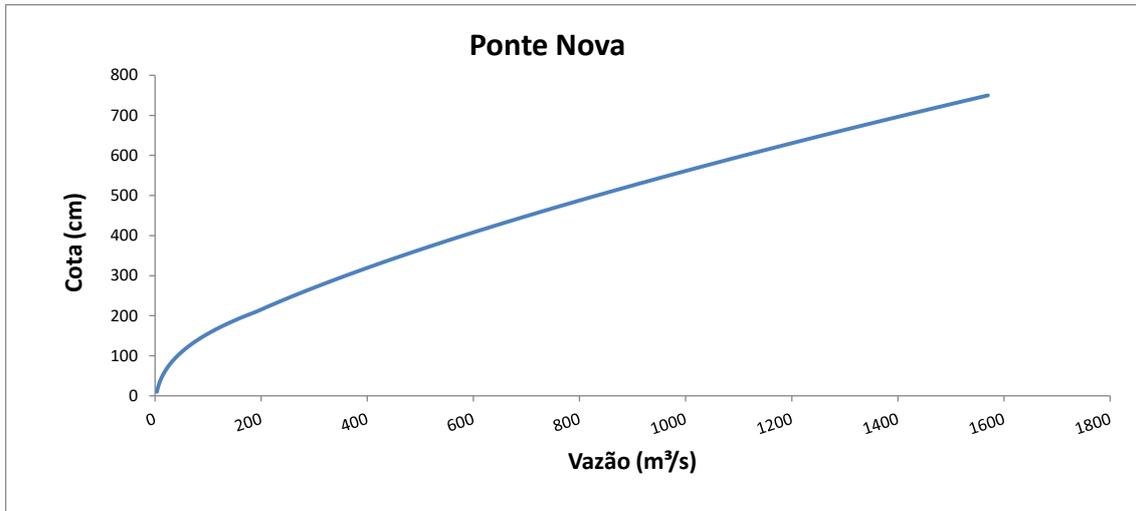


Figura 39 – Curva Chave da estação Ponte Nova



Figura 40 – Rio Piranga em Ponte Nova

### **5.1.1. Precipitação causadora de cheias em Ponte Nova**

O objetivo deste estudo é conhecer as precipitações potencialmente causadoras de cheias numa determinada estação. A aplicação deste tipo de estudo é, a partir da previsão meteorológica, saber de antemão, se há possibilidade dos níveis dos rios atingirem a cota de alerta e inundação e definir qual a equipe que deverá estar envolvida, no acompanhamento da cheia que está por vir.

#### **5.1.1.1. Metodologia**

Para definir a precipitação causadora de cheias em Ponte Nova foi utilizada a metodologia descrita a seguir, que consistiu na análise dos dados das séries pluviométricas e fluviométricas das estações convencionais, de forma a:

- Identificar eventos em que foram atingidas vazões de alerta e de inundação;
- Calcular a chuva média na bacia no dia do pico do hidrograma e com antecedência de 2, 3, 4, 5, 7, 10 e 14 dias;
- Totalizar a chuva acumulada desde o início do período chuvoso (desde 01 de setembro) até a data do pico do hidrograma.

Com estas informações foram traçados gráficos: Precipitação acumulada desde o início do período chuvoso versus a precipitação com 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10 e 14 dias de antecedência do pico do hidrograma.

Analisando estes gráficos, foi possível identificar um limite de precipitações a partir do qual pode haver inundação, levando em conta a quantidade de chuva antecedente na bacia, representada pelo total de precipitação acumulado desde o início do período chuvoso.

#### **5.1.1.2. Resultados**

No caso de Ponte Nova foram estudados os eventos de cheia registrados na estação fluviométrica rio Piranga em Ponte Nova (56110005) no período de 1978 a 2014, em que no pico do hidrograma foram atingidas vazões maiores do que a vazão de alerta, definida para esta estação para o sistema de alerta de  $320\text{m}^3/\text{s}$ . Já a vazão de inundação definida para esta estação é de  $423\text{m}^3/\text{s}$ .

Para a análise da precipitação foram utilizadas as estações listadas na Tabela 5, no mesmo período de 1978 a 2014.

Tabela 5 - Relação das estações pluviométricas utilizadas para cálculo da chuva média na bacia de Ponte Nova

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Ponderação chuva média %</b>
02043009	Acaiaca Jusante	1,3
02043011	Fazenda Paraíso	1,3
02043025	UHE Brecha	10,5
02042016	São Miguel do Anta	7,8
02042018	Ponte Nova Jusante	2,7
02043005	Conselheiro Lafaiete	11,2
02043010	Piranga	20,7
02043014	Porto Firme	17,3
02043026	Brás Pires	18,2
02143003	Desterro do Melo	8,8

Para cálculo da chuva média na bacia foram utilizadas áreas de drenagem de estações pluviométricas localizadas dentro da bacia afluente a Ponte Nova apresentadas na Tabela 6, e para cada uma destas sub-bacias foram selecionadas estações pluviométricas representativas da chuva média nestas áreas. A área de cada sub-bacia foi dividida pelo número de estações pluviométricas representativas da chuva na bacia.

Tabela 6 - Estações pluviométricas utilizadas para auxiliar no cálculo da chuva média na bacia de Ponte Nova

<b>Código</b>	<b>Estação F</b>	<b>Rio</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Estação P</b>	<b>Área por estação P (km<sup>2</sup>)</b>
56028000	Piranga	Piranga	1400	2043010	700
				2043005	700
56055000	Brás Pires	Xopotó	1090	2043026	545
				2143003	545
56075000	Porto Firme	Piranga	1770*	2043014	590
				2043010	590
				2043026	590
-	Usina da Brecha	Piranga	1461*	2043025	487
				2043014	487
				2042016	487
56110005	Ponte Nova Jus	Piranga	504*	2042018	168
				2043025	168
				2043009	84
				2043011	84

\*-área incremental

Com a soma das áreas por estação P, foi calculado o fator de ponderação por estação pluviométrica da chuva média para a bacia de Ponte Nova, apresentada Tabela 6.

Foram traçados os gráficos de precipitação acumulada desde o início do período chuvoso em 01 de setembro até X dias da data do pico e a precipitação acumulada X dias antes do pico do hidrograma e a partir daí definido o limite inferior para cada

duração da chuva de X dias, conforme apresentado na Figura 41. Importante destacar que o tempo de concentração desta bacia é da ordem de três dias (Guimarães, 2013).

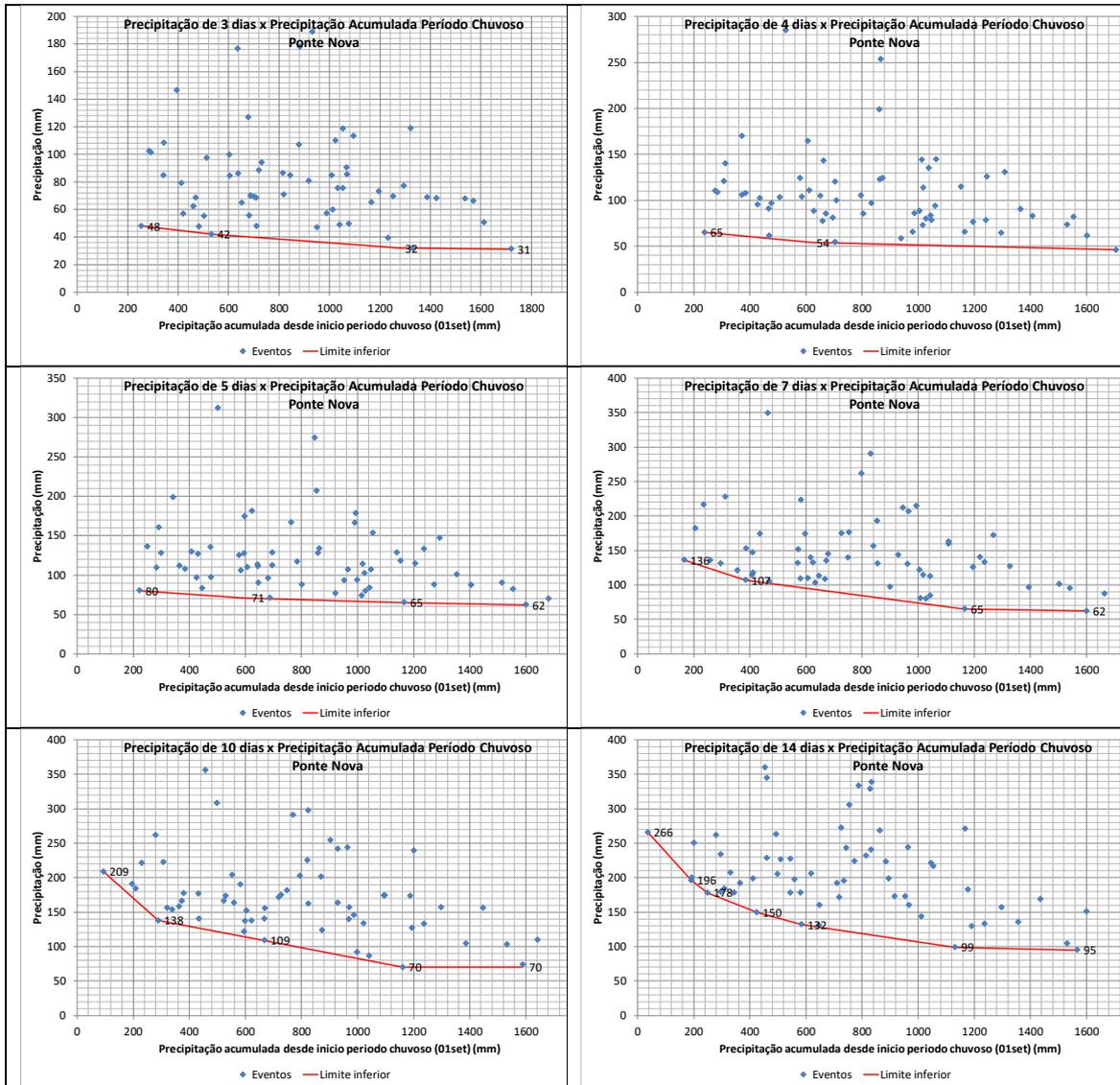


Figura 41 – Precipitação acumulada desde início do período chuvoso versus precipitação acumulada X dias antes do pico do hidrograma de cheia em Ponte Nova

Ressalta-se que para Ponte Nova não foi possível diferenciar um padrão do limite inferior de precipitação com X dias de duração para eventos de alerta e de inundação.

Analisando a figura anterior, verifica-se que chuva média na bacia de Ponte Nova, da ordem de 107mm, em 7 dias, resulta em hidrograma em que o pico é superior a cota de alerta, se na bacia a chuva acumulada desde 01 de setembro for superior a 400mm. Ao passo que, se a chuva acumulada desde 01 de setembro na bacia for da ordem de 1.200mm, precipitação de 65mm, em 7 dias, também resulta num hidrograma em que o pico é superior a cota de alerta.

### 5.1.2. Modelo de transformação chuva em vazão para Ponte Nova

Com o objetivo de aumentar o tempo de antecedência de previsão de cheias para a cidade de Ponte Nova, foi calibrado o modelo de transformação de chuva em vazão HEC-HMS, em duas oportunidades, conforme descrito a seguir.

- Modelo HEC-HMS calibrado em 2009

Castilho *et. al* (2009) calibraram o modelo HEC-HMS; dividindo a área de contribuição a montante de Ponte Nova em 8 sub-bacias; utilizando dados de pluviógrafos; e 8 eventos: sendo 1 em 2008 para calibração e os demais (2 em 2003, 3 em 2004, 5 em 2005) para validação.

Para a determinação da precipitação efetiva foi utilizado o Método do SCS; do escoamento superficial, o Método de Clark; do escoamento de base, a equação de recessão; já para a propagação no canal foi utilizado o Método de Muskingun.

Na calibração do modelo, dois parâmetros: CN (Curve Number utilizado no cálculo da precipitação efetiva) e K(coeficiente de armazenamento) são dependentes da chuva antecedente.

Com o modelo devidamente calibrado e validado, foram utilizadas chuvas estimadas pelo modelo ETA como dados de entrada, com discretização a cada 6h e antecedência de 5 dias.

Com a utilização da chuva prevista, os melhores resultados foram encontrados com a utilização de 1,5 dias de antecedência.

Importante ressaltar que este modelo indicou à época a necessidade de revisar a curva chave de Ponte Nova em seu ramo superior.

- Modelo HEC-HMS calibrado em 2013

Guimarães (2013) calibrou o modelo HEC-HMS para Ponte Nova; considerando uma bacia única; utilizando dados de estações pluviométricas, testando discretização de dados linear a cada 12h e discretização com base nos dados do pluviógrafo da cidade de Ponte Nova; e 4 eventos sendo: 3 para calibração (1 em 2004, 1 em 2005, 1 em 2012) e um para validação em 2008.

Para o cálculo das perdas por infiltração foi utilizado o Método do Índice  $\Phi$ ; da precipitação efetiva, o Método Unitário Sintético Triangular do SCS; do escoamento de base, a recessão com decaimento exponencial.

O tempo de concentração utilizado foi de 93h. Os parâmetros calibrados foram: lag time de 3604min (Hidrograma Unitário); constante de recessão de 0,81 e taxa de escoamento de base de 0,50. O índice  $\Phi$  foi determinado com base na chuva antecedente de 15 dias e desde o início do período chuvoso e adotando uma faixa de aceitação.

Depois de devidamente calibrado e validado este modelo foi utilizado com dados de precipitação prevista aumentando o tempo de antecedência da previsão de vazões.

Considerações sobre os Modelos de Transformação Chuva em Vazão para Ponte Nova

Em ambos os casos, o modelo foi calibrado com dados de precipitação de estações pluviométricas, o que em si já aumenta a antecedência da previsão de 8 horas (modelo de propagação) para alguns dias, já que o tempo de concentração da bacia é da ordem de 3 dias. Mas o modelo permite também a utilização da chuva prevista, o que aumenta em mais alguns dias a antecedência da previsão.

Além disso, o modelo de propagação de vazões no canal entre a Usina da Brecha e Ponte Nova não consegue descrever aumentos de vazão decorrentes de chuva ocorrida na área incremental entre estes dois pontos, usina e cidade, conforme foi observado no Evento 2 de 2020.

Assim, é importante investir na utilização destes modelos, para aumentar o tempo de previsão e melhorar a previsão na área incremental. Sendo que o aumento do tempo de previsão é uma ferramenta importante de tomada de decisão para otimizar a operação do sistema de alerta.

Importante ressaltar que a precisão de precipitação tem incerteza associada, assim como a transformação da chuva em vazão, assim, estes modelos tem a vantagem de apresentar um maior tempo de antecedência, porém possui índices de acertos menores do que o modelo de propagação de vazões.

## **5.2. Cachoeira dos Óculos**

A estação fluviométrica de Cachoeira dos Óculos da RHN está localizada no rio Doce, dentro do Parque Estadual do rio Doce. É uma estação com régua e sensor de nível e de chuva com transmissão via satélite.

Esta estação é importante, pois está jusante de Ponte Nova, mas a montante de Belo Oriente e Governador Valadares. Neste ponto é possível monitorar as vazões afluentes dos rios do Carmo, Casca e Matipó, que embora tenham áreas de drenagem menores do que os rios Piranga, Piracicaba, Santo Antônio, Suaçuí Grande e Manhauçu, podem contribuir para a ocorrência de cheias a jusante do Parque do rio Doce.

Os dados de Cachoeira dos Óculos são utilizados na previsão hidrológica para a cidade de Governador Valadares com 24h de antecedência, e para Belo Oriente com 10h de antecedência.

O acompanhamento da evolução dos níveis da estação Cachoeira dos Óculos pode ser feita com os dados de Ponte Nova, da UHE Risoleta Neves, da estação Fazenda Cachoeira Dantas e com dados de chuva de Ponte Nova, Risoleta Neves, Fazenda Dantas e Cachoeira dos Óculos. Os dados das estações fluviométricas e pluviométricas são obtidos via satélite, já os dados de vazão defluente da UHE Brecha por telefone via operador.

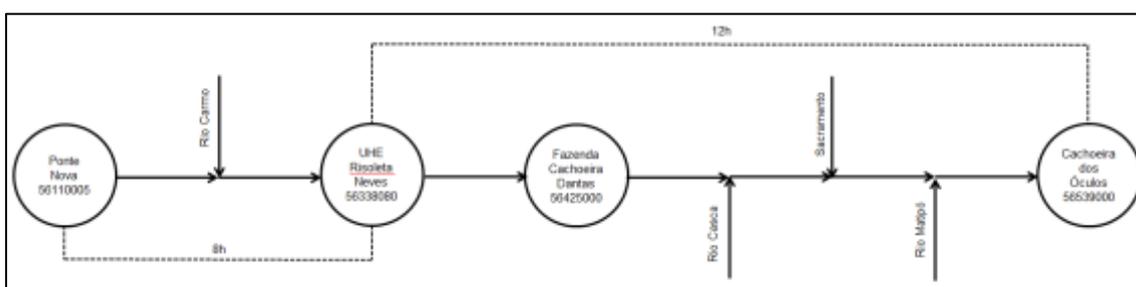


Figura 42 – Diagrama unifilar a montante de Cachoeira dos Óculos

A curva de Cachoeira dos Óculos é estável e está apresentada na Figura 43. A cota de inundação de Cachoeira dos Óculos é de 1250 cm.

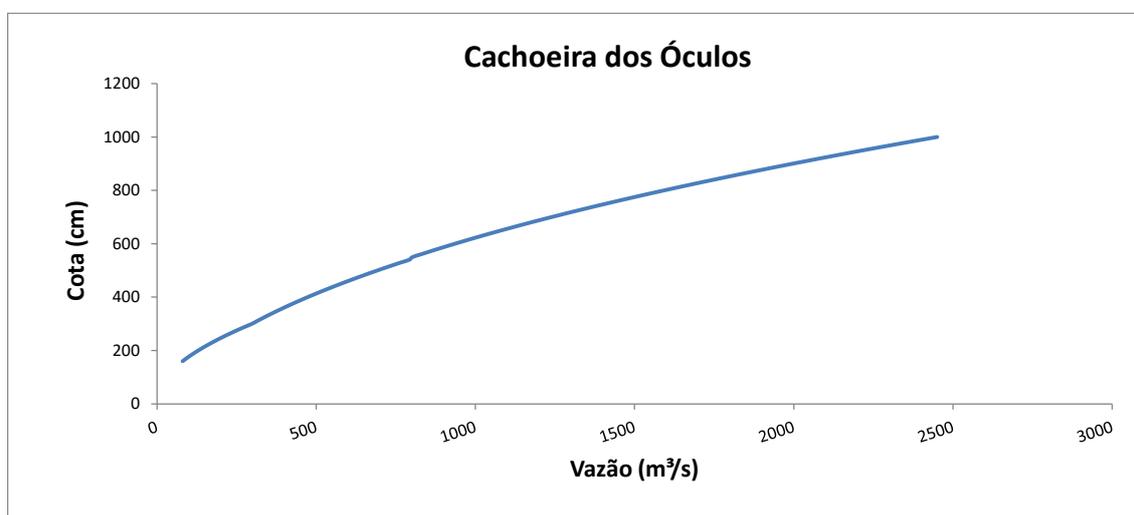


Figura 43 – Curva Chave da estação Cachoeira dos Óculos



Figura 44 – Rio Doce em Cachoeira dos Óculos

Não houve cheias significativas na estação Cachoeira dos Óculos no período 2019/2020.

### **5.3. Nova Era**

A cidade de Nova Era está localizada nas margens do rio Piracicaba, afluente da margem esquerda do rio Doce. Nesta cidade existem duas estações fluviométricas pertencentes a RHN (Nova Era IV e Nova Era Telemétrica). Nova Era IV é uma estação antiga convencional, somente com seções de réguas, entretanto onde são realizadas as medições de vazão. A estação Nova Era Telemétrica está localizada na área urbana, possui além das réguas, sensor de nível e de chuva e os dados são transmitidos via satélite. A distância entre as duas estações é de cerca de 3km e não há contribuição de vazão significativa entre elas.

Foi estabelecida uma correlação entre as duas estações, resultando em uma curva-chave para Nova Era Telemétrica apresentada no Anexo II deste relatório.

A cidade de Antônio Dias segue as previsões feitas para a cidade de Nova Era.

A cota de atenção em Nova Era IV é de 300cm, de alerta 350cm e de inundação 470cm. A curva chave da estação está apresentada na Figura 45.

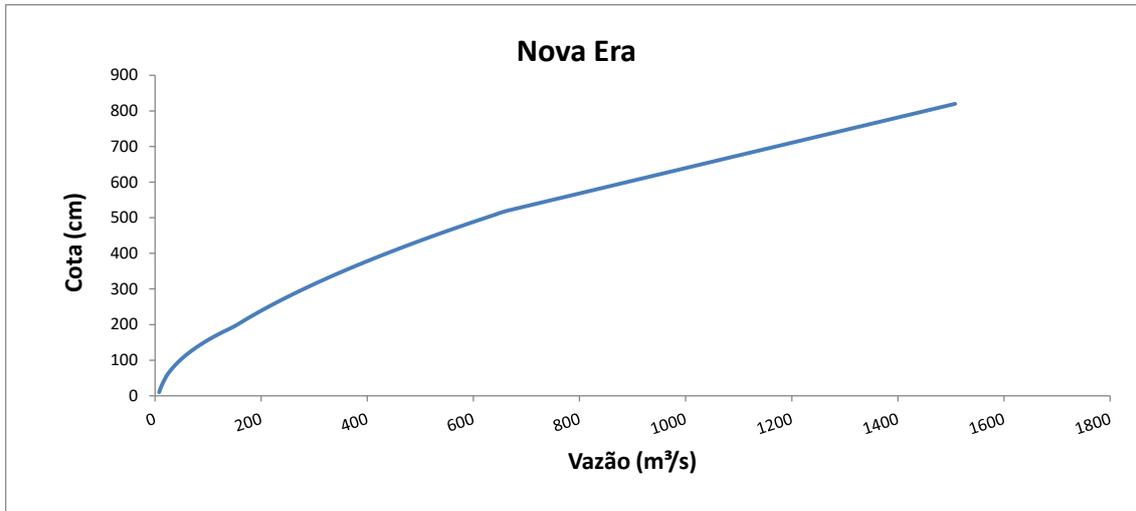


Figura 45 – Curva Chave de Nova Era



Figura 46 – Rio Piracicaba em Nova Era IV



Figura 47 – Rio Piracicaba em Nova Era Telemétrica

A avaliação da evolução dos níveis do rio Piracicaba em Nova é feita por meio das vazões defluentes das usinas de Peti e Piracicaba. Os dados da PCH São Gonçalo apresentaram problemas de transmissão e consistência ao sistema da ANA, portanto não foram utilizados durante o alerta. Os dados das estações fluviométricas da UHE Piracicaba instaladas em atendimento a Resolução 003 da ANA/ANEEL, além dos dados pluviométricos das estações Nova Era, PCH Piracicaba, UHE Peti, também são utilizados para avaliar as tendências do nível.

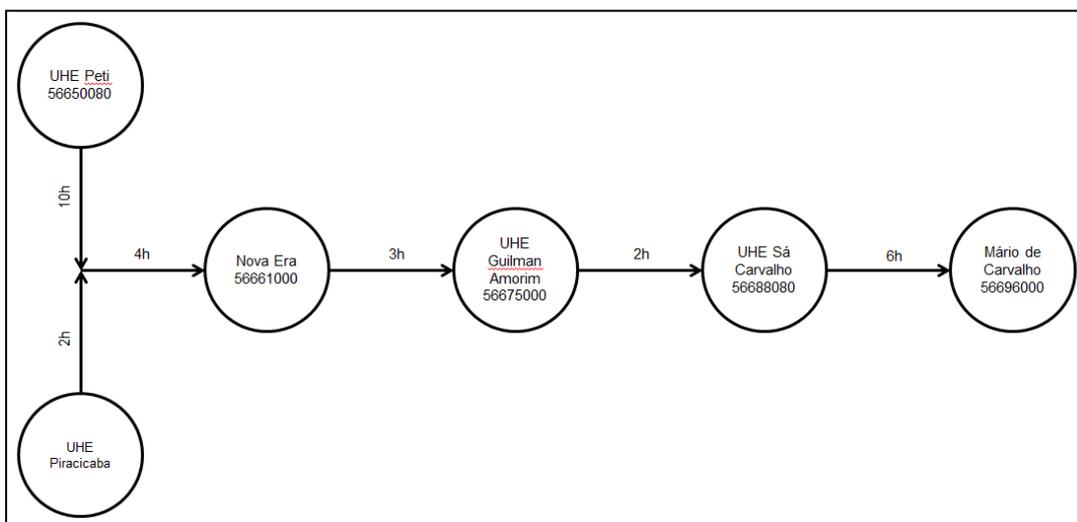


Figura 48 – Diagrama unifilar do rio Piracicaba

Os dados de vazões da UHE Peti são obtidos automaticamente pelo SACE, enquanto os dados de Piracicaba são obtidos por telefone diretamente com o operador. Já os dados das estações fluviométricas e pluviométricas são transmitidos por satélite.

### 5.3.1. Precipitação causadora de cheias em Nova Era

A metodologia utilizada para definir a precipitação causadora de cheias em Nova Era foi a mesma utilizada para Ponte Nova e descrita anteriormente.

No caso de Nova Era foram estudados eventos de cheias registrados nas estações rio Piracicaba em Nova Era (56660000, 56659999 e 56659998) no período de 1946 a 2014, em que no pico do hidrograma foram atingidas vazões maiores do que a vazão de alerta definida para esta estação pelo sistema de alerta de 355m<sup>3</sup>/s. Sendo que a vazão de inundação para esta estação é de 564m<sup>3</sup>/s.

Para a análise das precipitações foram utilizadas as estações pluviométricas apresentadas na Tabela 7, sendo que, como não havia dados disponíveis em todo o período estudado, a chuva média foi calculada com um número diferente de estações nos três períodos: 1946 a 1951; 1951 a 1989 e 1989 a 2014.

Tabela 7 - Relação das estações pluviométricas utilizadas para cálculo da chuva média na bacia de Nova Era

Código	Nome	Ponderação chuva média %		
		1946/1951	1951/1989	1989/2014
01943010	Caeté	10,6	7,1	5,3
01943007	Santa Bárbara	50,0	25,2	17,4
01943001	Rio Piracicaba	39,4	39,4	33,3
01943027	Usina Peti	-	28,3	26,6
02043059	Colégio Caraça	-	-	17,4

Para cálculo da chuva média na bacia foram utilizadas as áreas de drenagem das estações fluviométricas afluentes a usina de Peti, usina Rio Piracicaba, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 8 – Estações fluviométricas utilizadas para auxiliar no cálculo da chuva média na bacia de Nova Era

Código	Estação F	Rio	Área (km <sup>2</sup> )	Estação P
-	Usina Peti	Santa Bárbara	725	Caeté
				Santa Bárbara
				Usina Peti
				Colégio Caraça
-	Usina Rio Piracicaba	Piracicaba	1160	Santa Bárbara
				Rio Piracicaba
				Colégio Caraça
56659998	Nova Era	Piracicaba	3200	Santa Bárbara
			1160	Rio Piracicaba
			725	Usina Peti

Foram traçados gráficos de precipitação acumulada desde o início do período chuvoso em 01 de setembro até X dias antes do pico do hidrograma e a precipitação acumulada até X dias antes do pico e a partir daí definido o limite inferior para cada duração de X dias, conforme apresentado na Figura 49.

Importante ressaltar que o tempo de concentração desta bacia é da ordem de 3 dias, baseado no método cinemático considerando o comprimento do talvegue principal do rio Piracicaba de 120km e a velocidade média do rio de 0,5m/s.

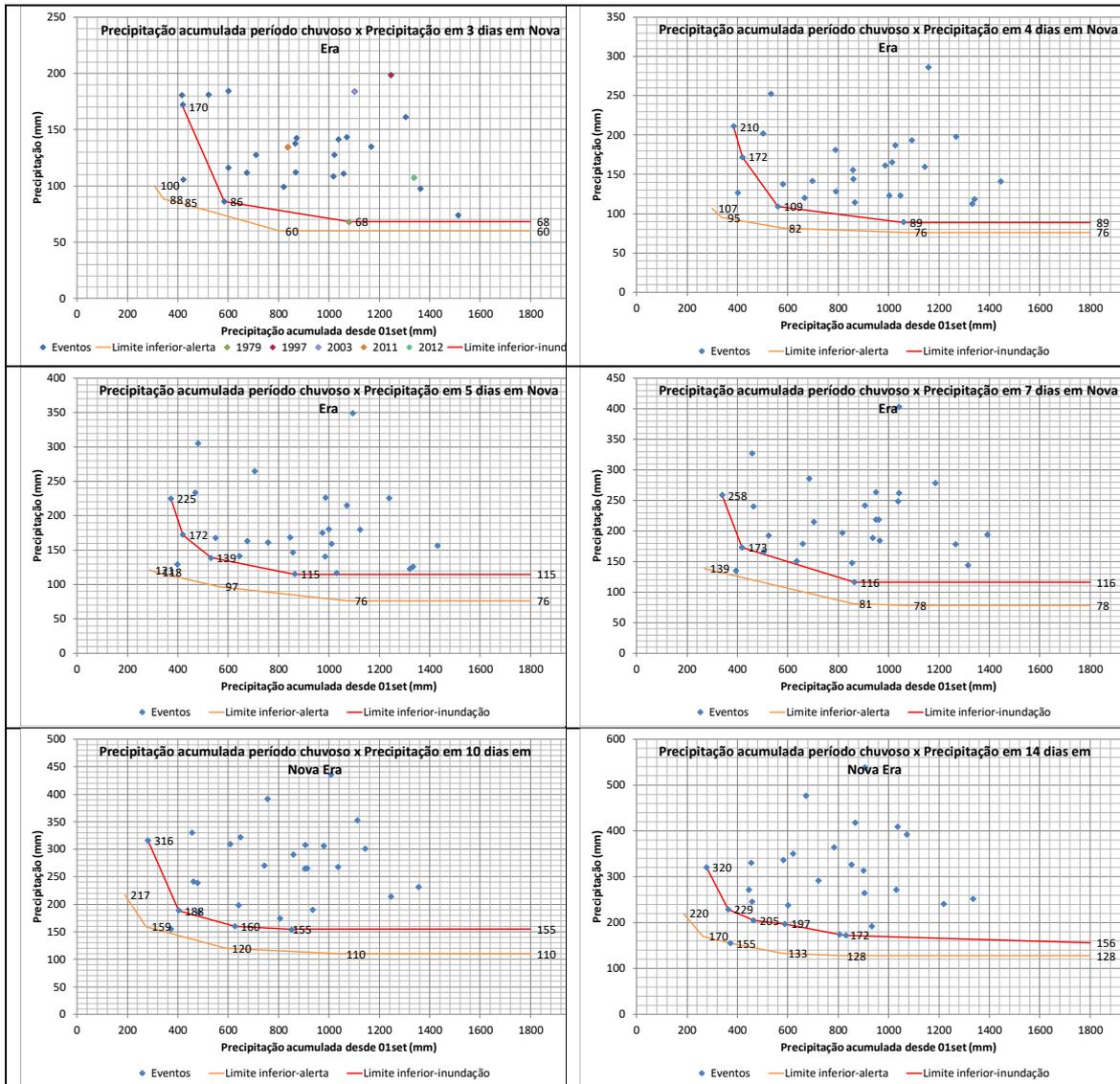


Figura 49 – Precipitação acumulada desde início do período chuvoso versus precipitação acumulada X dias antes do pico do hidrograma.

Analisando a figura anterior, verifica-se que precipitação média na bacia de Nova Era da ordem de 112mm, em 5 dias, o hidrograma resultante tem pico superior a cota de alerta e 175mm superior a cota de inundação, se a precipitação acumulada desde 01 de

setembro for da ordem de 400mm. Porém, se esta precipitação acumulada for da ordem de 1.000mm, com 70mm em 5 dias, o hidrograma atinge a cota de alerta e 100mm a de inundação.

#### 5.4. Mário de Carvalho

A estação fluviométrica da RHN de Mário de Carvalho está localizada às margens do rio Piracicaba, no município de Timóteo. Esta estação possui a seção de réguas convencional e sensor de nível e chuva, cujos dados são transmitidos por satélite.

A cota de atenção em Mário de Carvalho é de 450 cm, de alerta 540cm e de inundação 620cm. A curva chave de Mário de Carvalho está apresentada na Figura 50.

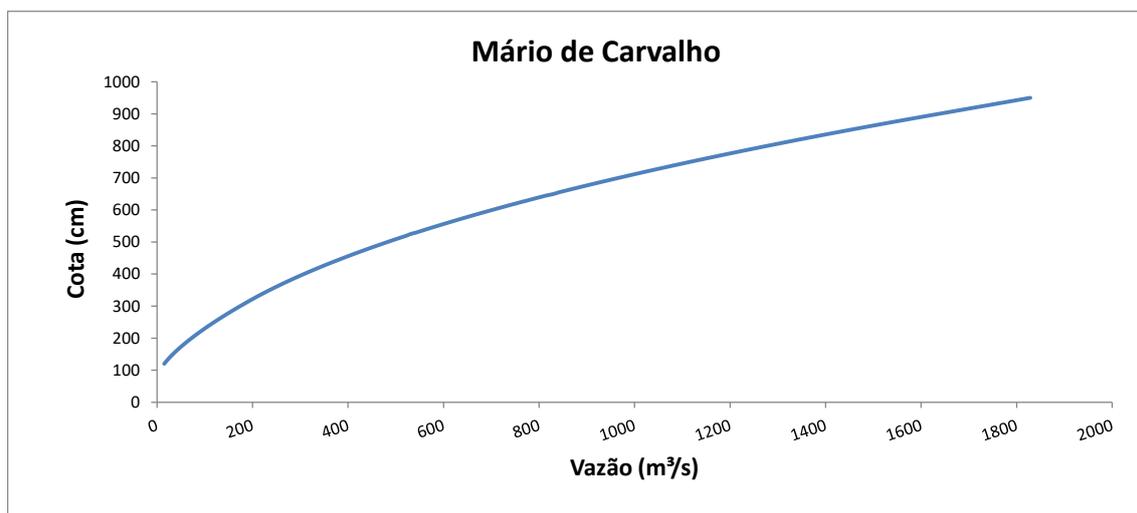


Figura 50 – Curva Chave de Mário de Carvalho



Figura 51 – Rio Piracicaba no Mário de Carvalho

A avaliação da evolução dos níveis do rio Piracicaba em Mário de Carvalho é feita por meio das vazões defluentes da usina de Guilman Amorim, por sua maior distância e, portanto, maior antecedência. A UHE Sá Carvalho é utilizada apenas como confirmação da tendência, além dos dados pluviométricos das estações Mário de Carvalho.

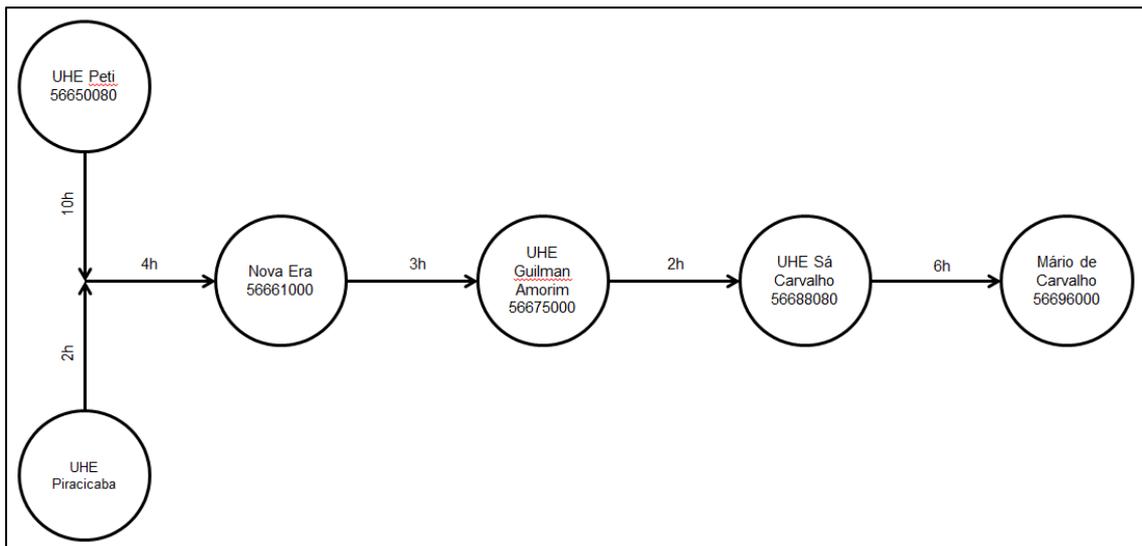


Figura 52 – Diagrama unifilar do rio Piracicaba

Os dados das vazões das usinas hidrelétricas são obtidos por telefone diretamente com o operador. Já os dados das estações fluviométricas e pluviométricas são transmitidos por satélite.

A previsão hidrológica para Mário de Carvalho é feita utilizando os dados das vazões defluentes da usina de Guilman Amorim com 8h de antecedência. A área de drenagem a montante de Guilman Amorim é de cerca de 80% da área a montante de Mário de Carvalho.

Importante ressaltar que os dados de Mário de Carvalho no rio Piracicaba, juntamente com Cachoeira dos Óculos no rio Doce e UHE Porto Estrela no rio Santo Antônio são utilizados para previsão hidrológica com 24h de antecedência para a cidade de Governador Valadares.

As cidades de Timóteo, Coronel Fabriciano e Ipatinga seguem a previsão emitida para Mário de Carvalho.

### 5.5. Belo Oriente

A estação fluviométrica da RHN de Belo Oriente está localizada às margens do rio Doce, próxima a empresa CENIBRA. Esta estação possui a seção de régua convencional e sensor de nível e chuva, cujos dados são transmitidos por satélite.

A cota de alerta em Belo Oriente é de 860cm e de inundação 900cm. A curva chave está apresentada na Figura 53.

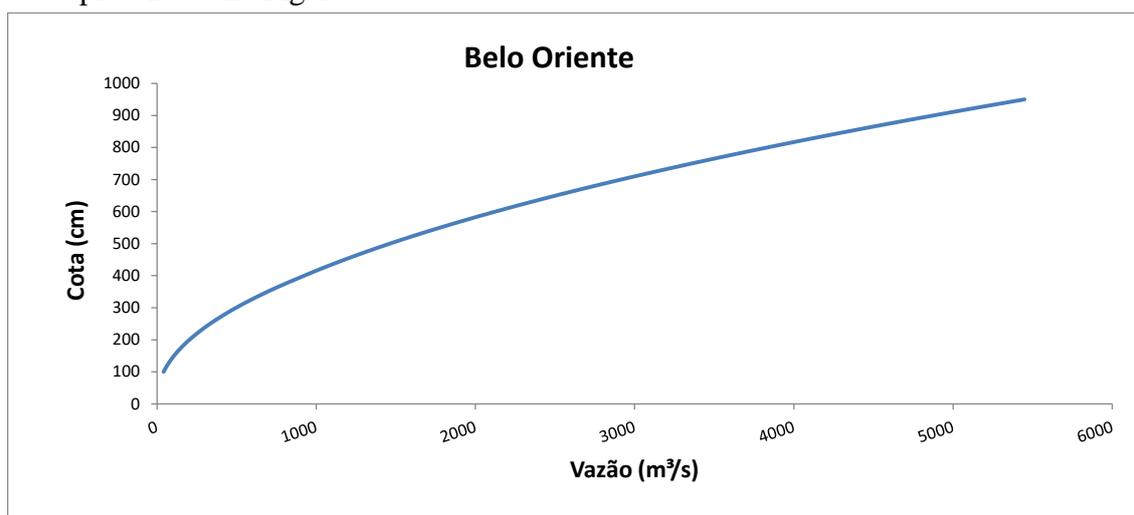


Figura 53 – Curva Chave de Belo Oriente



Figura 54 – Rio Doce em Belo Oriente

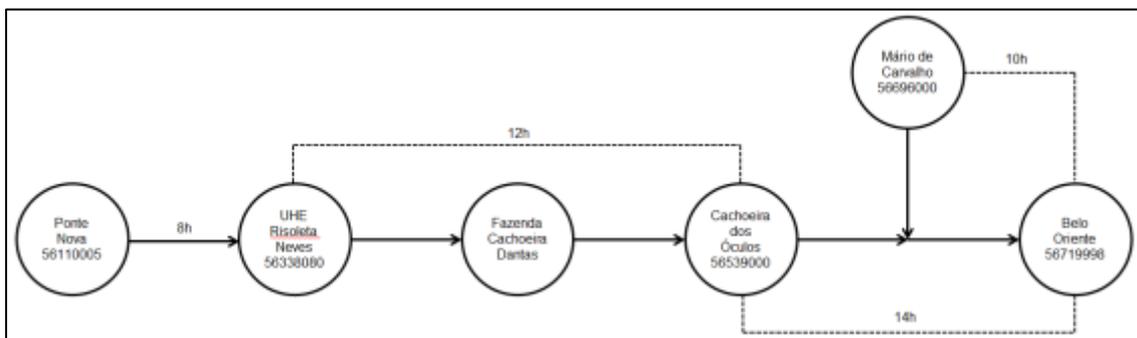


Figura 55 – Diagrama unifilar a montante de Belo Oriente

A previsão hidrológica para Belo Oriente é feita utilizando os dados das estações Cachoeira dos Óculos e Mário de Carvalho, e das vazões defluentes da usina de Risoleta Neves e da estação Mário de Carvalho com 10h de antecedência. A área de drenagem a montante destas estações (Cachoeira dos Óculos e Mário de Carvalho) é de cerca de 86% da área a montante de Belo Oriente.

Importante ressaltar que os dados de Belo Oriente no rio Doce, juntamente com os dados de Naque Velho no rio Santo Antônio, são utilizados para previsão hidrológica com 12h de antecedência para a cidade de Governador Valadares.

## 5.6. Naque Velho

A estação fluviométrica da RHN de Naque Velho está localizada às margens do rio Santo Antônio, no distrito de Naque/Nanuque ou Naquinho pertencente ao município de Açucena. Esta estação possui a seção de réguas convencional e sensor de nível e chuva, cujos dados são transmitidos por satélite.

A cota de atenção em Naque Velho é de 540cm, de alerta 640cm e de inundação 740cm. A curva chave de Naque Velho está apresentada na Figura 56.

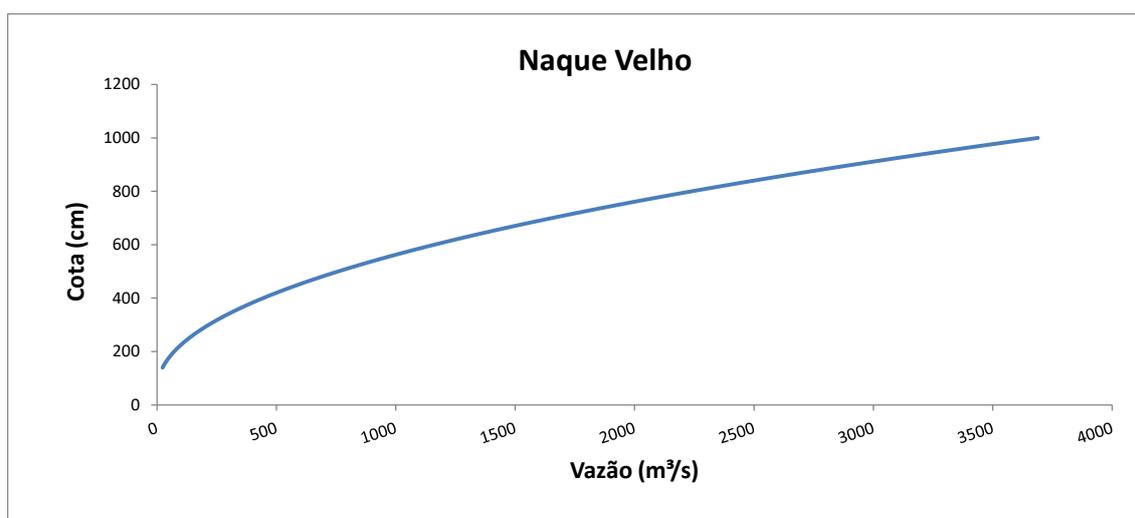


Figura 56 – Curva Chave de Naque Velho



Figura 57 – Rio Santo Antônio em Naque Velho

A avaliação da evolução dos níveis do rio Santo Antônio em Naque Velho é feita por meio dos dados das vazões defluentes das usinas de Salto Grande e Porto Estrela, além dos dados pluviométricos das estações Naque Velho.

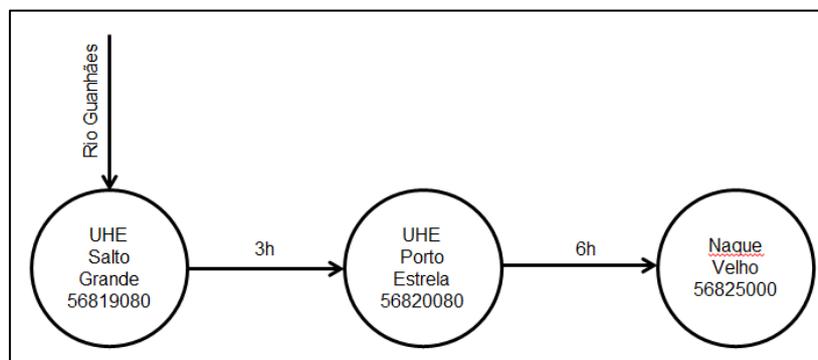


Figura 58 – Diagrama unifilar a montante de Naque Velho

Os dados das vazões das usinas hidrelétricas são obtidos por telefone diretamente com o operador. Já os dados das estações pluviométricas são transmitidos por satélite.

A previsão hidrológica para Naque Velho é feita utilizando os dados das vazões defluentes da usina de Porto Estrela com 6h de antecedência. A área de drenagem a montante da usina de Porto Estrela é de cerca de 92% da área a montante de Naque Velho.

Importante ressaltar que os dados de Naque Velho no rio Santo Antônio, juntamente com os dados de Belo Oriente no rio Doce são utilizados para previsão hidrológica com 12h de antecedência para a cidade de Governador Valadares.

## 5.7. Governador Valadares

A estação fluviométrica da RHN de Governador Valadares está localizada às margens do rio Doce, nas proximidades da ponte da BR-116. Esta estação possui a seção de réguas convencional e sensor de nível e chuva, cujos dados são transmitidos por satélite.

A cota de atenção em Governador Valadares é de 300cm, de alerta 320cm e de inundação 360cm. A curva chave de Governador Valadares está apresentada na Figura 59.

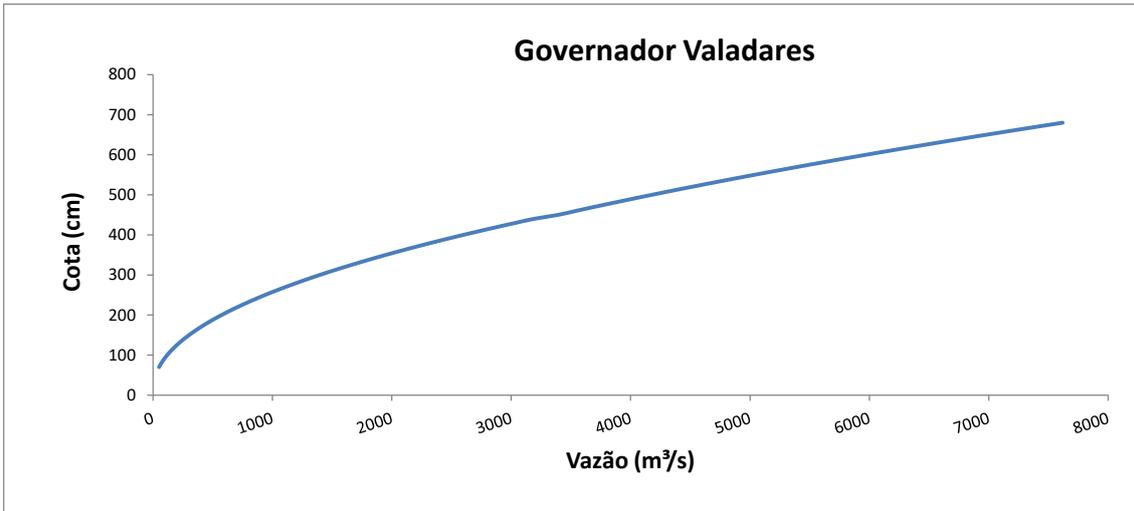


Figura 59 – Curva Chave de Governador Valadares



Figura 60 – Rio Doce em Governador Valadares

A avaliação da evolução dos níveis do rio Doce em Governador Valadares é feita por meio dos dados das vazões defluentes da UHE Baguari; das estações de Belo Oriente e Naque Velho; dos dados das vazões defluentes da usina de Salto Grande e das estações Mário de Carvalho e Cachoeira dos Óculos; além dos dados pluviométricos das estações Naque Velho, Belo Oriente, Governador Valadares e da UHE Baguari.

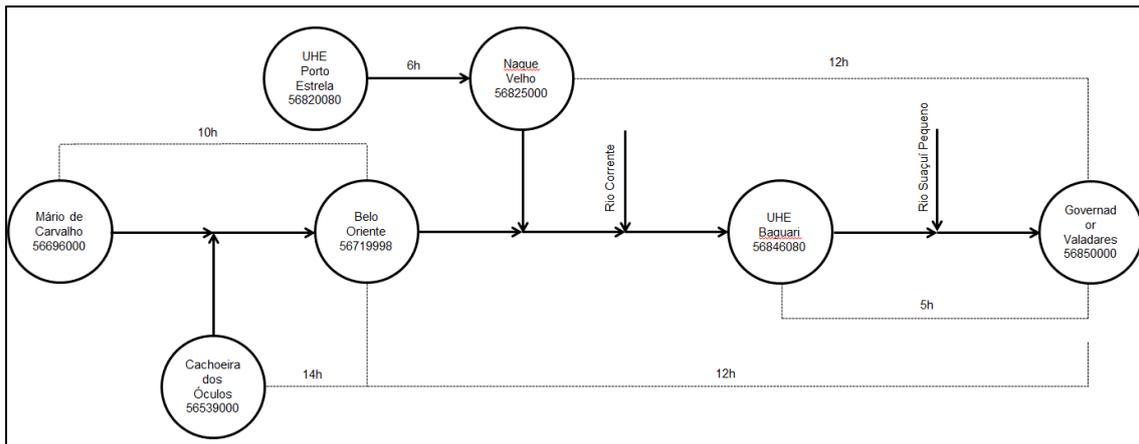


Figura 61 – Diagrama unifilar a montante de Governador Valadares

Os dados das vazões das usinas hidrelétricas são obtidos por telefone diretamente com o operador. Já os dados das estações fluviométricas e pluviométricas são transmitidos por satélite.

A previsão hidrológica para Governador Valadares é feita utilizando os dados das estações Naque Velho e Belo Oriente com 12h de antecedência. A área de drenagem a montante destas estações é de cerca de 86% da área a montante de Governador Valadares. Uma previsão alternativa é feita com dados das estações Cachoeira dos Óculos e Mário de Carvalho e com as vazões defluentes da usina de Porto Estrela com 24h de antecedência. A área de drenagem a montante destes pontos de monitoramento é de cerca de 75% da área a montante de Governador Valadares.

As cidades de Resplendor, Galiléia, Itueta e Conselheiro Pena, bem como Aimorés e Baixo Guandu seguem as previsões para as cidades de Governador Valadares e Tumiritinga.

## 5.8. Vila Matias

A estação fluviométrica da RHN de Vila Matias está localizada às margens do rio Suaçuí Grande, afluente da margem esquerda do rio Doce, em Matias Lobato. Esta estação possui a seção de réguas convencional e sensor de nível e chuva, cujos dados são transmitidos por satélite.

A cota de atenção em Vila Matias é de 620cm, de alerta 660cm e de inundação 700cm. A curva chave de Vila Matias está apresentada na Figura 62.

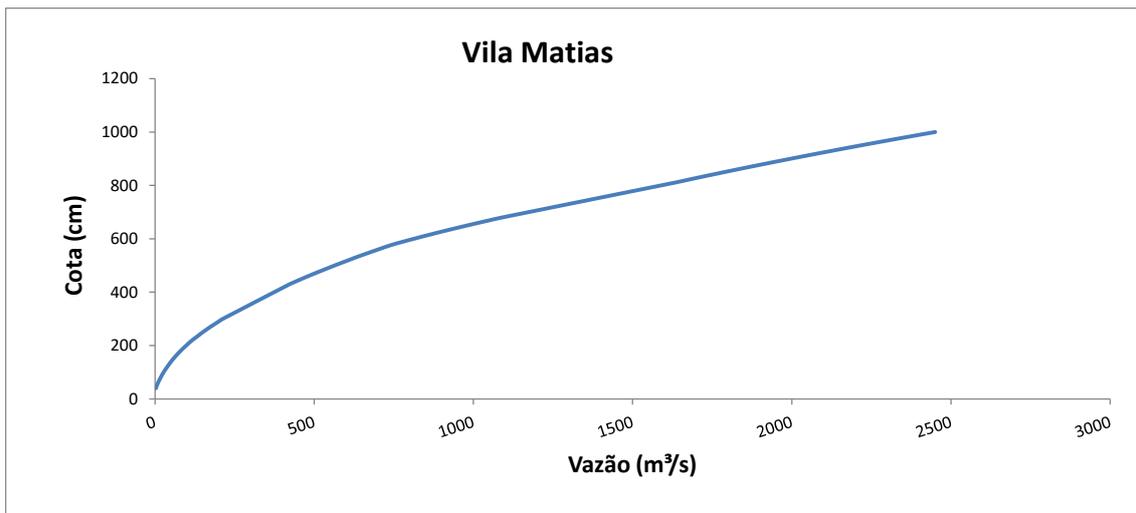


Figura 62 – Curva Chave de Vila Matias



Figura 63 – Rio Suaçuí Grande em Vila Matias

A avaliação da evolução dos níveis do rio Suaçuí Grande em Vila Matias é feita por meio dos dados pluviométricos das estações Vila Matias.

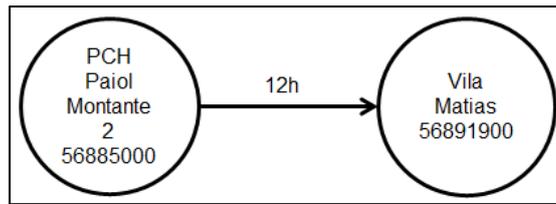


Figura 64 – Diagrama unifilar a montante de Vila Matias

Os dados da estação de Vila Matias são utilizados para a previsão hidrológica para Tumiritinga no rio Doce.

### 5.9. Tumiritinga

A estação fluviométrica da RHN de Tumiritinga está localizada às margens do rio Doce. Esta estação possui a seção de réguas convencional e sensor de nível e chuva, cujos dados são transmitidos por satélite.

A cota de alerta em Tumiritinga é de 400cm e de inundação 450cm. A curva chave está apresentada na Figura 65.

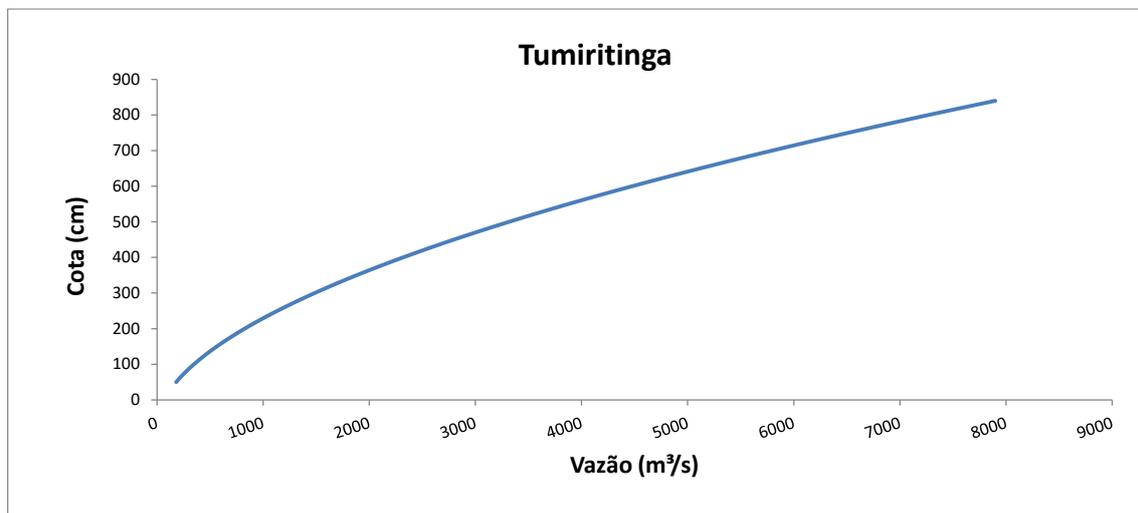


Figura 65 – Curva Chave de Tumiritinga



Figura 66 – Rio Doce em Tumiritinga

A avaliação da evolução dos níveis do rio Doce em Tumiritinga é feita por meio dos dados das estações Governador Valadares e Vila Matias; além dos dados pluviométricos das estações Governador Valadares, Vila Matias e Tumiritinga.

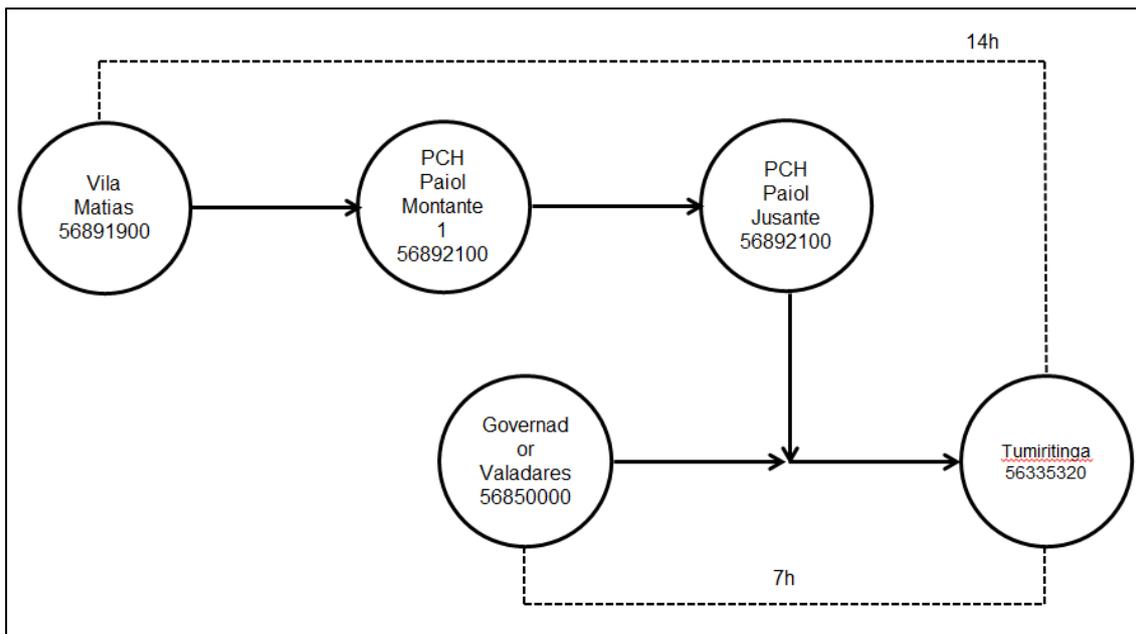


Figura 67 – Diagrama unifilar a montante de Tumiritinga

Os dados das estações fluviométricas e pluviométricas são transmitidos por satélite.

A previsão hidrológica para Tumiritinga é feita utilizando os dados das estações Governador Valadares e Vila Matias com 7h de antecedência. A área de drenagem a montante destas estações é de cerca de 90% da área a montante de Tumiritinga.

As cidades de Resplendor, Galiléia, Itueta e Conselheiro Pena, bem como Aimorés e Baixo Guandu seguem as previsões para as cidades de Governador Valadares e Tumiritinga.

## 5.10. Colatina

Na cidade de Colatina está localizada nas margens do rio Doce, onde existem 2 estações fluviométricas da RHN: Colatina e Colatina Bombeiros. A estação Colatina, é a mais antiga, está localizada próxima a ponte da BR-101, é uma estação convencional com seção de réguas, onde são realizadas as medições de vazão. A estação Colatina Bombeiros tem uma seção de réguas, mas também sensor de nível e de chuva e os dados são transmitidos via satélite.

As cotas das estações diferem cerca de 20cm, sendo que a cota da estação Colatina convencional é a maior.

A cota de atenção em Colatina Corpo de Bombeiros é de 500cm, de alerta 570cm e de inundação 620cm. A curva chave de Colatina está apresentada na Figura 68 e a de Colatina Corpo de Bombeiros na Figura 69.

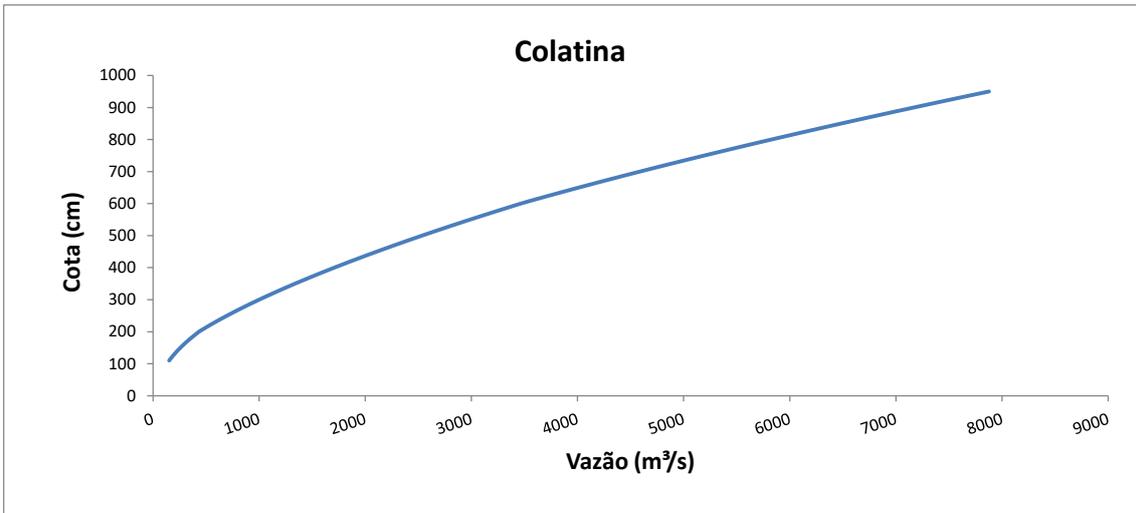


Figura 68 – Curva Chave de Colatina

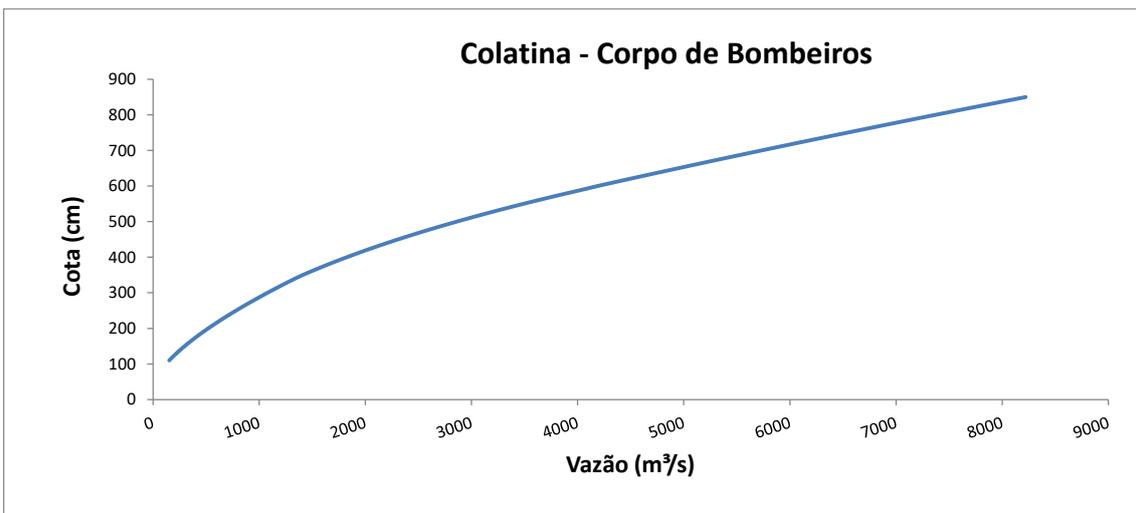


Figura 69 – Curva Chave de Colatina Corpo de Bombeiros



Figura 70 – Rio Doce em Colatina



Figura 71 – Rio Doce em Colatina Corpo de Bombeiros

A avaliação da evolução dos níveis do rio Doce em Colatina é feita por meio dos dados das vazões defluentes da UHE Mascarenhas, além dos dados pluviométricos das estações Colatina e UHE Mascarenhas.

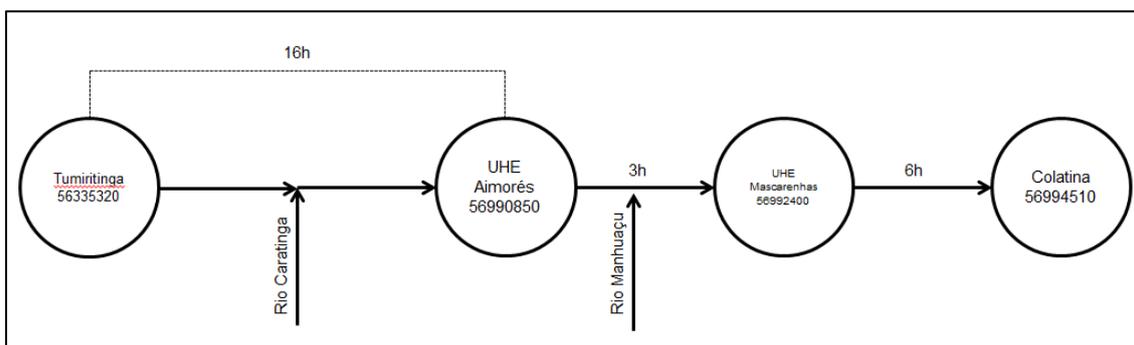


Figura 72 – Diagrama unifilar a montante de Colatina

Os dados das vazões defluentes são obtidos via operador e das estações fluviométricas e pluviométricas são transmitidos por satélite.

A previsão hidrológica para Colatina é feita utilizando os dados das vazões defluentes da UHE Mascarenhas com 6h de antecedência. A área de drenagem a montante desta usina é de cerca de 96% da área a montante de Colatina.

### 5.11. Linhares

A estação fluviométrica de Linhares está localizada nas margens do rio Doce, possui uma seção de réguas e sensores de nível e de chuva, cujos dados são transmitidos via satélite. Em função do efeito de marés, não são realizadas medições de vazão regularmente nesta estação.

A cota de atenção em Linhares é de 300cm, de alerta 330cm e de inundação 345cm.

A estação de Linhares não possui curva-chave. A modelagem é realizada de forma cota x cota com os dados da estação de Colatina.



Figura 73 – Rio Doce em Linhares

A avaliação da evolução dos níveis do rio Doce em Linhares é feita por meio dos dados da estação de Colatina e dos dados pluviométricos de Colatina e Linhares.

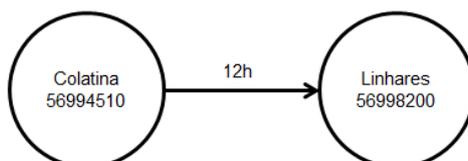


Figura 74 – Diagrama unifilar a montante de Linhares

Os dados das estações fluviométricas e pluviométricas são transmitidos por satélite.

A previsão hidrológica para Linhares é feita utilizando os dados da estação de Colatina com 12h de antecedência. A área de drenagem a montante desta estação é de cerca de 98% da área a montante de Linhares.

## **6. Recomendações**

As recomendações apresentadas a seguir visam o melhoramento contínuo do sistema de alerta, como incorporação de novas estações, desenvolvimento de estudos de definição de planície de inundação, calibração de modelos de transformação de chuva em vazão e ampliação dos municípios beneficiados pelo sistema.

Recomenda-se que seja incorporada ao sistema a estação 56425000 – Fazenda Cachoeira Dantas. Esta estação já faz parte da RHNR – Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência, contando com equipamentos automáticos de registro e transmissão de dados, permitindo a avaliação da contribuição da área incremental entre Ponte Nova e esta estação, onde se encontra um importante afluente do rio Doce pela margem esquerda, rio do Carmo, onde houve o rompimento da barragem do Fundão em 2015. Além disso, a diferença entre as vazões desta estação e da estação de jusante, Cachoeira dos Óculos, no parque Estadual do rio Doce, permitirá que se avalie a contribuição dos rios Casca, Matipó e Sacramento, importantes afluentes do rio Doce.

Para a previsão de Nova Era, recomenda-se avaliar junto com a PCH São Gonçalo e a Agência Nacional das Águas a possibilidade da regularização de transmissão de dados, uma vez que esta PCH está localizada a jusante da confluência do rio Santa Bárbara com o rio Una, tendo sido este último o provável causador da inundação da cidade de Nova Era em janeiro de 2020.

O rio Manhuaçu, um importante afluente do rio Doce, pela margem direita, na região da usina de Aimorés, deveria possuir monitoramento automático. A CPRM operava a estação São Sebastião da Encruzilhada neste rio, mas por problemas operacionais esta foi relocada e denominada então Barra do Capim, ainda sem instrumentos automáticos de registro e transmissão.

Recomenda-se, ainda, a unificação das estações Nova Era IV e Nova Era Telemétrica, no rio Piracicaba, e as estações Colatina e Colatina – Corpo de Bombeiros, no rio Doce. Em ambos casos não há limitações para realização de medições ou transmissão de dados. Atualmente estas estações possuem seus dados estimados a partir de correlações entre elas.

Recomenda-se que sejam levantadas as marcas da inundação de 2019 e 2020, especialmente nas cidades de Ponte Nova, Nova Era, Timóteo e no distrito de Naque Velho e na sequência sejam desenvolvidos estudos de definição da planície de inundação. Importante ressaltar que a ANA contratou e disponibilizou um levantamento

de várias seções topobatimétricas ao longo dos rios Doce, Piranga, Piracicaba, bem como o MDT – Modelo Digital de Terreno – da bacia para fins de modelagem hidrológica e hidráulica. Com este material, já se encontra em fase de elaboração o estudo hidráulico para Nova Era pela CPRM.

Recomenda-se que sejam calibrados modelos de transformação de chuva em vazão com objetivo de aumentar o tempo de antecedência das previsões hidrológicas, com prioridade para as cidades de Ponte Nova e Nova Era, especialmente para a área incremental não monitorada localizada a montante destas estações.

Especificamente nos modelos de translação de vazões, recomenda-se que sejam reavaliados os modelos de Ponte Nova e Naque Velho, pois estes apresentam resultados ligeiramente divergentes com relação ao esperado. Para Mário de Carvalho notou-se diferenças significativas entre o modelo simulado e o observado. Governador Valares apresentou uma antecedência maior do que o previsto em todas as simulações, devendo ter seu tempo de traslado reavaliado. Finalmente, o modelo de Colatina deveria ser avaliado com relação à utilização de vazões médias móveis das usinas de montante, uma vez que seus dados horários sofrem variações abruptas, causando descontinuidades nas simulações.

Ressalta-se que o SACE possui seu sistema de incorporação de erros integrado na programação, o que reduz sensivelmente os erros citados e permite simulações com boa precisão.

## 7. Referencias bibliográficas

Castilho, A.S.; Pinto, E.J.A.; Davis, E.G. Resultados Preliminares da utilização da previsão de precipitações na simulação hidrológica da bacia do rio Piranga até Ponte Nova. In XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande. ABRH, 2009.

Collischonn, W. Simulação hidrológica em grandes bacias. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 194p. Tese Doutorado.

CPRM. Sistema de Alerta Contra Enchentes na Bacia do Rio Doce – Relatório Técnico da Operação do Sistema de Alerta – Dezembro de 1998 a Abril de 1999. Belo Horizonte, 1999.

CPRM. Sistema de Alerta Contra Enchentes na Bacia do Rio Doce – Relatório Técnico da Operação do Sistema de Alerta – Dezembro de 2002 a Abril de 2003. Belo Horizonte, 2003.

CPRM. Definição Da Planície De Inundação Da Cidade De Governador Valadares – Relatório Técnico Final. Belo Horizonte, 2004.

Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/sace/index\\_manchas\\_inundacao.php](http://www.cprm.gov.br/sace/index_manchas_inundacao.php)

CPRM. Sistema de Alerta Contra Enchentes na Bacia do Rio Doce – Relatório Técnico da Operação do Sistema de Alerta – Dezembro de 2008 a Abril de 2009. Belo Horizonte, 2009.

CPRM. Definição da Planície de Inundação de Ponte Nova, 2012. (Não publicado)

CPRM. Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce - Relatório 01: Acompanhamento da Onda de Cheia. Belo Horizonte, 2015.

Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/sace/index\\_monitoramento\\_especial.php](http://www.cprm.gov.br/sace/index_monitoramento_especial.php)

CPRM. Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce - Relatório 02: Geoquímica. Belo Horizonte, 2015.

Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/sace/index\\_monitoramento\\_especial.php](http://www.cprm.gov.br/sace/index_monitoramento_especial.php)

CPRM. Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce - Relatório 03: Monitoramento Simultâneo ao longo de 15 dias, 2016.

Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/sace/index\\_monitoramento\\_especial.php](http://www.cprm.gov.br/sace/index_monitoramento_especial.php)

CPRM. Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce - Relatório 04: Hidrometria, Sedimentometria e Qualidade da Água nas Estações Fluviométricas da RHN após a Ruptura da Barragem de Rejeito, 2016.

Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/sace/index\\_monitoramento\\_especial.php](http://www.cprm.gov.br/sace/index_monitoramento_especial.php)

CPRM. Definição da Planície de Inundação de Colatina-ES – Relatório Técnico. Belo Horizonte, 2016.

Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/sace/index\\_manchas\\_inundacao.php](http://www.cprm.gov.br/sace/index_manchas_inundacao.php)

CPRM. Acompanhamento da Estiagem - Relatório 02/2019. Belo Horizonte, 2019.

Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/sace/index\\_secas\\_estiagens.php#](http://www.cprm.gov.br/sace/index_secas_estiagens.php#)

CPRM, Disponibilidade hídrica do Brasil - Estudos de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras. Análise de Frequência de Cotas dos Sistemas de Alerta. Sistema de Alerta: Bacia do Rio Doce. Belo Horizonte, 2020.

Guimarães, I. F. Simulação Hidrológica da Bacia do Rio Piranga. UFMG. Belo Horizonte, 2013.

Hidrotelemetria – Agência Nacional das Águas.

Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Mapa.aspx>

SACE – Sistema de Alerta de Eventos Críticos.

Disponível em: <http://sace.cprm.gov.br/doce/>

Tucci, C. E. M. Modelos Hidrológicos. Porto Alegre, Ed. UFRGS/ABRH, 1998.

**Anexo I – Análise de frequência de vazões máximas**

A CPRM, no início de operação do sistema de alerta hidrológico da bacia do rio Doce, desenvolveu um estudo de análise de frequência de vazões máximas de todas as estações que faziam parte do sistema à época, incorporando o levantamento da marca da cheia histórica de janeiro de 1997.

Posteriormente, em 2004, a CPRM divulgou o estudo da planície de inundação para a cidade de Governador Valadares, onde a análise de frequência foi atualizada com a incorporação de novos dados registrados entre a publicação dos dois estudos.

Da mesma forma, em 2016, a CPRM divulgou o estudo da planície de inundação para a cidade de Colatina, onde a análise de frequência foi atualizada com a incorporação de novos dados e com a cheia histórica de dezembro de 2013, registrada nesta cidade.

Recentemente, em 2020, a CPRM divulgou um estudo de análise de frequência para cotas máximas para a cidade de Ponte Nova, incorporando dados mais recentes, com discretização superior a duas vezes por dia.

Encontra-se em fase de elaboração, pela CPRM, a definição da planície de inundação da cidade de Nova Era, onde a análise de frequência foi realizada.

Por fim, foi feita a análise de frequência de cotas para a estação de Linhares, a qual será apresentada juntamente com a análise de frequência de Nova Era no presente anexo.

Tabela 9 – Distribuições de frequência ajustadas para as estações do sistema de alerta da bacia do rio Doce

<b>Estação</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Posição</b>	<b>Escala</b>	<b>Forma</b>	<b>Fonte</b>
Ponte Nova	Gumbel - cota	28	318,0700	83,8070	-	CPRM, 2020
Cachoeira dos Óculos	GEV	21	783,8701	220,3031	-0,244325	CPRM, 1999
Nova Era	Gumbel	72	409,3853	130,6362	-	Este anexo
Mário de Carvalho	Gumbel	16	558,0190	307,9192	-	CPRM, 1999
Belo Oriente	GEV	39	1492,101	429,0084	-0,255187	CPRM, 1999
Naque Velho	Gumbel	21	946,3782	322,1677	-	CPRM, 1999
Governador Valadares	GEV	33	2111,53	621,21	-0,1697	CPRM, 2004
Vila Matias	GEV	30	351,1580	152,4899	-0,0649	CPRM, 1999
Tumiritinga	GEV	23	2672,9	832,1495	-0,205699	CPRM, 1999
São Sebastião da Encruzilhada	GEV	23	483,1771	145,1624	-0,148274	CPRM, 1999
Colatina	Log-Normal	72	8,329	0,3614	-	CPRM, 2016
Linhares	Gumbel - cota	19	393,5204	92,1975	-	Este anexo

### **Análise de frequência de cotas de Linhares**

A estação de Linhares foi reinstalada em 2001, mas não são realizadas medições de descarga regularmente. Portanto a análise de frequência foi feita com dados de cotas. A estação de Linhares pertencente à RHN é convencional, só tem réguas, durante a operação do sistema de alerta, de dezembro a março, o observador é acionado para fazer várias leituras ao longo do dia, se atingida a cota de alerta. Após o rompimento da

barragem de Mariana, em novembro de 2015, a Fundação Renova em Linhares instalou uma estação automática, porém, não é no mesmo local da estação da RHN.

Tabela 10 – Série de dados de cotas máximas por ano hidrológico da estação Linhares

Ano H	cota	data	Fonte
2001/2002	415	jan/02	bancos do alerta
2002/2003	520	jan/03	bancos do alerta
2003/2004	454	jan/04	bancos do alerta
2004/2005	510	mar/05	bancos do alerta
2005/2006	417	dez/05	bancos do alerta
2006/2007	432	dez/06	bancos do alerta
2007/2008	293	fev/08	bancos do alerta
2008/2009	543	jan/09	bancos do alerta
2009/2010	400	out/09	bancos do alerta
2010/2011	566	jan/11	bancos do alerta
2011/2012	576	jan/12	bancos do alerta
2012/2013	320	jan/13	bancos do alerta
2013/2014	658	dez/13	bancos do alerta
2014/2015	242	dez/14	bancos do alerta
2015/2016	438	jan/16	SACE
2016/2017	328	dez/17	SACE
2017/2018	455	fev/18	SACE
2018/2019	358	jan/19	SACE
2019/2020	563	jan/20	SACE

Com esta série de dados, foi feita a verificação, através de testes estatísticos de independência (Wald-Wolofowitz), homogeneidade (Mann Whitney-1947), estacionariedade (Spearman) e existência de outliers (Grubs & Beck) da série de cotas máximas. Os resultados encontrados indicam que os dados são independentes, a série é homogênea, estacionária e não há existência de outliers.

Na análise de frequência da série de cotas máximas foram testadas as distribuições de frequência: GEV, Gumbel e Log Normal. A distribuição que melhor se ajustou foi a de Gumbel, com parâmetro de posição de 393,5204 e de escala de 92,1975.

Tabela 11 – Valores de cotas em cm em Linhares para diferentes períodos de retorno segundo distribuição de Gumbel

Estação	Período de retorno (anos)					
	2	5	10	20	50	100
Linhares	427	532	601	667	753	818

## Análise de frequência de vazões de Nova Era

Em Nova Era existe estação fluviométrica instalada desde 1938, cujo local de instalação foi alterado e o código da estação também. Porém, não há diferença significativa entre as áreas de drenagem, nem de contribuições entre as estações. Assim, as estações de códigos 56660000, 56659999 e 56659998 podem compor a mesma série de dados de vazão. As séries de vazões máximas por ano hidrológico destas estações foram obtidas no site da ANA, no Hidroweb.

Tabela 12 – Série de dados de vazões máximas por ano hidrológico

Ano H	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Estação	Ano H	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Estação
1938	359	56660000	1975	215	56659999
1939	603	56660000	1976	162	56659999
1940	240	56660000	1977	851	56659999
1941	438	56660000	1978	748	56659999
1942	462	56660000	1979	853	56659999
1943	683	56660000	1980	586	56659999
1944	641	56660000	1990	554	56659998
1945	562	56660000	1991	775	56659998
1946	552	56660000	1992	689	56659998
1947	492	56660000	1993	562	56659998
1948	698	56660000	1994	270	56659998
1949	576	56660000	1995	554	56659998
1950	429	56660000	1996	687	56659998
1951	607	56660000	1997	1064	56659998
1952	550	56660000	1998	396	56659998
1953	522	56660000	1999	198	56659998
1954	310	56660000	2000	395	56659998
1955	574	56660000	2001	224	56659998
1956	388	56660000	2002	533	56659998
1957	464	56660000	2003	814	56659998
1958	517	56660000	2004	492	56659998
1959	216	56660000	2005	634	56659998
1960	489	56660000	2006	365	56659998
1961	756	56660000	2007	322	56659998
1962	297	56660000	2008	353	56659998
1963	560	56660000	2009	614	56659998
1964	590	56660000	2010	343	56659998
1965	480	56660000	2011	302	56659998
1966	627	56660000	2012	664	56659998
1967	427	56660000	2013	286	56659998
1968	345	56660000	2014	374	56659998
1969	446	56660000	2015	205	56659998
1970	334	56660000	2016	475	56659998
1971	193	56660000	2017	367	56659998
1972	388	56660000	2018	457	56659998
1973	461	56660000	2019	218	56659998

Em vermelho – anos incompletos

Com esta série de dados, foi feita a verificação, através de testes estatísticos de independência (Wald-Wolofowitz), homogeneidade (Mann Whitney-1947),

estacionariedade (Spearman) e existência de outliers (Grubs & Beck) da série de vazões máximas. Os resultados encontrados indicam que os dados são independentes, a série é homogênea, estacionária e não há existência de outliers.

Na análise de frequência da série de vazões máximas foram testadas as distribuições de frequência: GEV, Gumbel e Log Normal. A distribuição que melhor se ajustou foi a de Gumbel, com parâmetro de posição de 409,3853 e de escala de 130,6362.

Tabela 13 – Valores de vazões em m<sup>3</sup>/s em Nova Era para diferentes períodos de retorno segundo distribuição de Gumbel

Estação	Período de retorno (anos)					
	2	5	10	20	50	100
Nova Era	457	605	703	797	919	1010

## **Anexo II – Curvas-chave**

Tabela 14 – Curvas-chave em formato tabular das estações operadas no Sistema de Alerta 2019/2020

Cota (cm)	Vazão (m³/s)									
	BO	CL	CO	GV	MC	NE	NV	PN	TU	VM
10						7,90		3,63		
20						10,3		5,45		
30						13,0		7,82		
40						16,2		10,7		2,91
50						19,7		14,2	181	5,84
60						23,6		18,4	211	9,43
70				50,6		28,8		23,3	242	13,4
80				70,2		34,3		28,9	276	17,8
90				93,0		40,6		35,3	311	22,2
100	41,7			119		47,4		42,6	348	27,1
110	52,2	153		149		55,0		50,8	388	32,5
120	64,0	176		182	15,1	63,3		59,9	429	38,4
130	77,0	202		219	20,7	72,3		70,0	472	44,3
140	91,3	229		259	26,8	82,0	23,5	81,1	517	50,6
150	107	258		303	33,4	92,5	29,6	93,3	564	57,3
160	124	290	80,5	350	40,4	104	36,6	107	613	64,6
170	142	323	91,7	401	47,8	116	44,3	121	663	72,2
180	161	358	104	455	55,7	129	52,7	137	716	80,4
190	182	396	116	513	63,9	143	62,0	154	770	88,9
200	204	434	130	575	72,4	155	72,0	172	826	98,0
210	227	483	144	640	81,3	166	82,8	191	884	107
220	252	534	158	709	90,5	178	94,5	208	944	117
230	278	587	173	782	100	189	107	226	1006	128
240	305	641	189	858	110	201	120	244	1069	139
250	334	697	206	939	120	214	134	262	1134	150
260	364	755	223	1023	130	226	149	281	1201	162
270	395	814	241	1110	141	239	165	300	1269	174
280	428	875	259	1202	152	253	181	319	1340	187
290	462	937	278	1297	163	266	199	339	1412	200
300	497	1000	298	1396	174	280	217	360	1486	213
310	534	1065	314	1499	186	295	236	380	1561	213
320	572	1132	330	1606	198	309	256	401	1638	227
330	612	1199	346	1717	210	324	276	423	1717	241
340	652	1268	363	1831	223	339	298	444	1798	256
350	695	1338	380	1949	236	355	320	466	1881	271
360	738	1410	398	2072	249	371	343	489	1965	287
370	783	1483	416	2198	263	387	367	511	2050	303
380	830	1557	435	2328	278	403	392	534	2138	319
390	878	1632	454	2462	292	420	418	558	2227	335
400	925	1709	473	2599	308	437	445	581	2318	352
410	973	1786	493	2741	323	454	472	605	2410	369
420	1022	1865	514	2887	339	472	500	629	2504	405
430	1073	1945	534	3036	356	490	530	654	2600	423
440	1125	2026	556	3190	372	508	560	678	2697	442
450	1178	2108	577	3393	390	526	591	704	2796	461
460	1232	2191	599	3544	407	545	623	729	2897	481
470	1288	2276	622	3698	426	564	655	754	2999	501
480	1345	2361	645	3855	444	584	689	780	3103	522
490	1403	2447	668	4015	463	603	723	806	3209	543
500	1463	2535	692	4177	483	623	759	833	3316	564
510	1523	2624	717	4343	503	644	795	859	3425	586
520	1585	2713	741	4512	523	664	832	886	3535	608
530	1648	2804	767	4684	544	678	870	913	3647	630
540	1713	2895	792	4859	565	685	909	941	3761	653
550	1778	2988	803	5037	587	693	949	968	3876	677

Cota (cm)	Vazão (m³/s)									
	BO	CL	CO	GV	MC	NE	NV	PN	TU	VM
560	1845	3081	828	5218	609	701	990	996	3993	701
570	1914	3176	854	5402	631	709	1031	1024	4112	725
580	1983	3271	881	5589	654	717	1074	1053	4232	751
590	2054	3368	908	5779	678	724	1117	1081	4353	782
600	2126	3465	936	5971	702	732	1161	1110	4476	813
610	2199	3570	964	6167	726	740	1207	1139	4601	845
620	2274	3678	992	6366	751	747	1253	1169	4728	878
630	2349	3788	1021	6567	776	755	1300	1198	4855	911
640	2427	3899	1051	6772	802	762	1348	1228	4985	946
650	2505	4011	1081	6979	831	769	1396	1258	5116	981
660	2584	4124	1112	7189	855	804	1446	1288	5249	1017
670	2665	4239	1143	7402	882	839	1497	1319	5383	1053
680	2747	4354	1175	7618	910	876	1548	1349	5518	1090
690	2831	4471	1207		938	914	1601	1380	5656	2176
700	2916	4589	1239		966	953	1654	1411	5794	2239
710	3002	4707	1272		995	993	1709	1442	5935	2303
720	3089	4827	1306		1025	1034	1764	1474	6077	2367
730	3177	4948	1340		1055	1076	1820	1506	6220	2433
740	3267	5071	1375		1085	1119	1877	1538	6365	2499
750	3358	5194	1410		1116	1164	1935	1570	6512	2566
760	3451	5318	1446		1147	1210	1994		6660	2634
770	3544	5444	1482		1179	1256	2054		6809	2704
780	3639	5570	1518		1212	1304	2115		6960	2774
790	3735	5698	1555		1244	1353	2176		7113	2845
800	3833	5826	1593		1278	1404	2239		7267	2917
810	3931	5956	1631		1311	1455	2303		7423	2990
820	4031	6086	1670		1346	1508	2367		7580	3064
830	4133	6218	1709		1380		2433		7738	3139
840	4235	6351	1748		1416		2499		7899	3214
850	4339	6485	1789		1451		2566			3291
860	4444	6619	1829		1488		2634			3369
870	4551	6755	1870		1524		2704			3448
880	4659	6892	1912		1561		2774			3527
890	4768	7030	1954		1599		2845			3608
900	4878	7169	1997		1637		2917			3689
910	4989	7308	2040				2990			
920	5102	7449	2083				3064			
930	5216	7591	2128				3139			
940	5332	7734	2172				3214			
950	5449	7877	2217				3291			
960			2263				3369			
970			2309				3448			
980			2356				3527			
990			2403				3608			
1000			2450				3689			

### **Anexo III – Vazões Medidas no Período de Operação**

<b>Estação</b>	<b>Código</b>	<b>Data</b>	<b>Cota (cm)</b>	<b>Vazão (m³/s)</b>
Belo Oriente	56719998	07/11/2019	125	103,0
Belo Oriente	56719998	27/11/2019	210	270,8
Belo Oriente	56719998	29/01/2020	532	1.462,3
Belo Oriente	56719998	29/01/2020	511	1.462,3
Cachoeira dos Óculos	56539000	12/11/2019	166	82,0
Cachoeira dos Óculos	56539000	27/12/2019	252	195,3
Cachoeira dos Óculos	56539000	31/01/2020	412	485,5
Colatina	56994500	05/11/2019	114	207,0
Colatina	56994500	02/12/2019	184	621,3
Colatina	56994500	29/01/2020	659	4.689,0
Colatina	56994500	30/01/2020	564	3.810,6
Fazenda Cachoeira D'Antas	56425000	19/11/2019	169	126,0
Fazenda Cachoeira D'Antas	56425000	05/12/2019	226	208,8
Fazenda Cachoeira D'Antas	56425000	05/02/2020	258	261,7
Governador Valadares	56850000	07/11/2019	104	130,0
Governador Valadares	56850000	29/11/2019	152	303,9
Governador Valadares	56850000	11/02/2020	225	794,8
Mário de Carvalho	56696000	11/11/2019	109	16,6
Mário de Carvalho	56696000	04/12/2019	203	80,1
Mário de Carvalho	56696000	28/01/2020	399	276,5
Mário de Carvalho	56696000	06/02/2020	226	92,3
Naque Velho	56825000	13/11/2019	205	51,4
Naque Velho	56825000	26/11/2019	235	84,2
Naque Velho	56825000	28/01/2020	486	552,1
Naque Velho	56825000	29/01/2020	432	418,8
Naque Velho	56825000	29/01/2020	431	418,8
Naque Velho	56825000	29/01/2020	429	418,8
Nova Era	56659998	08/11/2019	49	11,3
Nova Era	56659998	25/12/2019	133	58,4
Nova Era	56659998	07/02/2020	138	76,4
Ponte Nova	56110005	18/11/2019	145	90,1
Ponte Nova	56110005	17/12/2019	148	91,3
Ponte Nova	56110005	28/01/2020	241	225,9
Vila Matias	56891900	04/02/2020	172	84,4



**SERVIÇO GEOLÓGICO  
DO BRASIL – CPRM**

SECRETARIA DE  
GEOLOGIA, MINERAÇÃO  
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA



**PÁTRIA AMADA  
BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL