

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS – UFMG**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ESPECIALIZAÇÃO EM**  
**GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Suellen Aparecida dos Santos Sobrinho

**INFLUÊNCIA DOS BARRAMENTOS NAS ALTERAÇÕES DA**  
**QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO DOCE ANTES E APÓS O**  
**ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE REJEITOS DE FUNDÃO**

Belo Horizonte  
2018

**Suellen Aparecida Dos Santos Sobrinho**

**INFLUÊNCIA DOS BARRAMENTOS NAS ALTERAÇÕES DA  
QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO DOCE ANTES E APÓS O  
ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE REJEITOS DE FUNDÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação de Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Área de Concentração:

Orientador: Marcelo Libânio

Coorientador: Ewerton Ferreira Cruz

Belo Horizonte  
2018

Suellen Aparecida dos Santos Sobrinho

## **INFLUÊNCIA DOS BARRAMENTOS NAS ALTERAÇÕES DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO DOCE ANTES E APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE REJEITOS DO FUNDÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação de Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gerenciamento de Recursos Hídricos.

---

**Marcelo Libânio (Orientador) - UFMG**

---

**Ewerton Ferreira Cruz (Coorientador) - PUC**

---

**João Henrique Rettore Totaro (Examinador)**

---

**X -**

Belo Horizonte, 16 de julho de 2018.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela minha vida e por todas as coisas boas que fazem parte e que conquistei ao longo da mesma, inclusive esta especialização.

Aos meus pais pelo apoio, compreensão e dedicação em todos os sentidos ao longo desses dois anos. Foram eles que tornaram esta conquista possível e por isso sou profundamente grata. Aos meus irmãos, Denilson e Davidson, exemplos de união e determinação, que me ajudaram com carinho nessa trajetória.

Agradeço ao meu amor João Rodrigues, por todo apoio, compreensão, carinho, companheirismo, respeito e cumplicidade, dedicados sempre de maneira intensa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Libânio, e ao coorientador, Me. Ewerton Ferreira Cruz, pela paciência e também pelas críticas que proporcionaram uma nova abordagem sobre o assunto, essa experiência, com certeza, trouxe grande contribuição para minha formação pessoal e acadêmica.

Ao membro titular da banca, Dr. João Henrique Rettore Totaro, por suas valiosas contribuições que enriqueceram o meu trabalho.

Aos meus colegas de curso, em especial, à Carolina Cramer, pelos conselhos, pela competência e momentos compartilhados nesta jornada.

Por fim, ao Programa de Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, e a todos que de alguma forma contribuíram para a minha formação e para realização deste trabalho.

## RESUMO

A água é um dos recursos mais importantes para a manutenção da vida no planeta. Além da produção de energia, esse recurso natural é utilizado para desenvolvimento de diversas atividades industriais, produção de alimentos, prestação de serviços, transporte e manutenção dos ecossistemas. O Brasil é detentor de grandes reservas hídricas em seu território, por esse motivo, a sua principal matriz energética é a hidráulica. Apesar dos inúmeros prejuízos socioambientais e econômicos decorrentes da instalação desses reservatórios, deve-se ressaltar que esses empreendimentos estão inseridos dentro de um contexto de interesse coletivo: a produção de energia e a melhoria da qualidade de vida da população. Atualmente, a redução em termos de qualidade e quantidade desse recurso provoca grandes preocupações frente ao contínuo crescimento populacional e industrial ocasionando o aumento da demanda energética. Dentro desse contexto, o presente trabalho consiste em avaliar as possíveis alterações na qualidade da água decorrentes da presença das Usinas Hidrelétricas (UHE) Risoleta Neves, Baguari e Aimorés no rio Doce no Estado de Minas Gerais, no período antes e após o evento de rompimento da barragem de Fundão, em Mariana também do Estado de Minas Gerais. Buscou-se avaliar tanto os efeitos decorrentes dos barramentos quanto em relação ao acidente ocorrido em 2014. Para isso, foram utilizados dados do monitoramento de parâmetros físicos e químicos da qualidade da água de seis estações de monitoramento de água, controladas pelo IGAM, durante o período de outubro de 2008 a fevereiro de 2017. Em seguida, foram aplicados métodos estatísticos descritivos (numéricos e gráficos) sobre estes dados, agrupados em dois cenários distintos. Os resultados obtidos permitiram concluir que os parâmetros de qualidade da água que sofreram uma possível influência da presença de um ou mais barramentos no curso d'água foram sólidos em suspensão e turbidez. É importante que ressaltar que a qualidade da água após rompimento de Fundão sofreu grandes alterações, impactando diretamente a população e o ecossistema aquático.

Palavras-chave: Usina Hidrelétrica. Qualidade da Água. Rio Doce

## ABSTRACT

Water is one of the most important resources for the maintenance of life on the planet. Besides the energy production, this natural resource is used to develop several industrial activities, food production, provide services, transport and maintenance of the ecosystems. Brazil has large water reserves in its territory, so its main energy matrix is hydraulics. In spite of the numerous socio-environmental and economic impacts resulting from the installation of the water reservoirs, it must be emphasized that these enterprises are inserted within a context of collective interest: the production of energy and the improvement of the life quality of the population. Nowadays, the reduction in quality and quantity of this resource causes great concern regarding the continuous population and industrial growth, causing an increase in energy demand. In this context, the present research consists in evaluating the changes in water quality due to the presence of the Risoleta Neves, Baguari and Aimorés Hydroelectric Power Plants (HPP) in the Doce river in the State of Minas Gerais, in the period before and after the rupture event of the Fundão dam, in Mariana also in the State of Minas Gerais. The goal was also to evaluate both the effects of the buses and the accident occurred in 2014. In order to achieve the objectives, data from the monitoring of physical and chemical parameters of the water quality of six water monitoring stations, controlled by IGAM, during the period from October 2008 to February 2017 were used. Descriptive statistical methods (numerical and graphical) were applied to those data, grouped into two distinct scenarios. The results allowed to conclude that the parameters of water quality that suffered a possible influence of the presence of one or more dams in the water course were solids in suspension and turbidity. It is important to emphasize that the quality of the water after the rupture of the tailings dam of Fundão has undergone major changes, directly impacting the population and the aquatic ecosystem.

Keywords: Hydroelectric Plant. Water Quality. River Doce

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Evolução do crescimento populacional e da demanda <i>per capita</i> de energia. Brasil - 1970-2030.....	15
<b>Figura 2:</b> A Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.....	17
<b>Figura 3:</b> Localização da Bacia do Rio Doce.....	28
<b>Figura 4:</b> Comitês de bacia hidrográfica e domínio dos cursos d'água da bacia do Doce.	29
<b>Figura 5:</b> Precipitação média anual na Bacia (1961 a 1990).....	31
<b>Figura 6:</b> Mapa de solos da Bacia do Rio Doce.....	33
<b>Figura 7:</b> Mapa de geomorfologia da Bacia do Rio Doce.....	34
<b>Figura 8:</b> Disponibilidade hídrica superficial por Sub-bacia.....	35
<b>Figura 9:</b> Vazão Específica Média de Longo Temo ( $q_{MLT}$ ).....	36
<b>Figura 10:</b> Vazão Específica Média Relativa à $Q_{95}$ ( $q_{95}$ ).....	36
<b>Figura 11:</b> Localização das barragens da Samarco.....	39
<b>Figura 12:</b> Perfil longitudinal do curso d'água afetado pelo rompimento da Barragem de Fundão.....	40
<b>Figura 13:</b> Localização das hidrelétricas na calha do Rio Doce.....	41
<b>Figura 14:</b> Localização geográfica das estações de monitoramento e das hidrelétricas na calha do rio Doce.....	50
<b>Figura 15:</b> Séries temporais de SST nas estações RD072 e RD019 .....	55
<b>Figura 16:</b> Séries temporais de SST nas estações RD083 e RD044.....	56
<b>Figura 17:</b> Séries temporais de SST nas estações RD059 e RD067 .....	56
<b>Figura 18:</b> Séries temporais de turbidez nas estações RD072 e RD019.....	60
<b>Figura 19:</b> Séries temporais de turbidez nas estações RD083 e RD044.....	61
<b>Figura 20:</b> Séries temporais de turbidez nas estações RD059 e RD067.....	61
<b>Figura 21:</b> Séries temporais de oxigênio dissolvido nas estações RD072 e RD019.....	65
<b>Figura 22:</b> Séries temporais de oxigênio dissolvido nas estações RD083 e RD044.....	66
<b>Figura 23:</b> Séries temporais de oxigênio dissolvido nas estações RD059 e RD067.....	66
<b>Figura 24:</b> Séries temporais de alumínio dissolvido nas estações RD072 e RD019.....	71
<b>Figura 25:</b> Séries temporais de alumínio dissolvido nas estações RD083 e RD044.....	72
<b>Figura 26:</b> Séries temporais de alumínio dissolvido nas estações RD059 e RD067.....	73
<b>Figura 27:</b> Séries temporais de ferro dissolvido nas estações RD072 e RD019.....	76
<b>Figura 28:</b> Séries temporais de ferro dissolvido nas estações RD083 e RD044.....	77
<b>Figura 29:</b> Séries temporais de ferro dissolvido nas estações RD059 e RD067.....	78
<b>Figura 30:</b> Correlação de Pearson entre alumínio dissolvido e ferro dissolvido.....	82

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Consumo Final de Energia, por Fonte.....	18
<b>Tabela 2:</b> Geração de Eletricidade por Fonte.....	18
<b>Tabela 3:</b> Capacidade Instalada de Geração Elétrica.....	20
<b>Tabela 4:</b> Dados Hidráulicos-Operativos da UHE Risoleta Neves.....	42
<b>Tabela 5:</b> Dados Hidráulicos-Operativos da UHE Baguari.....	44
<b>Tabela 6:</b> Dados Hidráulicos-Operativos da UHE Aimorés.....	46
<b>Tabela 7:</b> Estações de Monitoramento na Calha do Rio Doce.....	49
<b>Tabela 8:</b> Parâmetros de qualidade da água avaliados neste trabalho.....	51
<b>Tabela 9:</b> Intervalos de coeficientes de correlação linear.....	52
<b>Tabela 10:</b> Dados estatísticos da concentração de sólidos em suspensão totais antes e após a UHE Risoleta Nenes.....	57
<b>Tabela 11:</b> Dados estatísticos da concentração de sólidos em suspensão totais antes e após a UHE Baguari.....	57
<b>Tabela 12:</b> Dados estatísticos da concentração de sólidos em suspensão totais antes e após a UHE Aimorés.....	58
<b>Tabela 13:</b> Dados estatísticos da concentração de turbidez antes e após a UHE Risoleta Neves.....	62
<b>Tabela 14:</b> Dados estatísticos da concentração de turbidez antes e após a UHE Baguari..	63
<b>Tabela 15:</b> Dados estatísticos da concentração de turbidez antes e após a UHE Aimorés.	63
<b>Tabela 16:</b> Dados estatísticos da concentração de OD antes e após a UHE Risoleta Neves.....	67
<b>Tabela 17:</b> Dados estatísticos da concentração de OD antes e após a UHE Baguari.....	68
<b>Tabela 18:</b> Dados estatísticos da concentração de OD antes e após a UHE Aimorés.....	68
<b>Tabela 19:</b> Dados estatísticos da concentração de alumínio dissolvido antes e após a UHE Risoleta Neves.....	71
<b>Tabela 20:</b> Dados estatísticos da concentração de alumínio dissolvido antes e após a UHE Baguari.....	72
<b>Tabela 21:</b> Dados estatísticos da concentração de alumínio dissolvido antes e após a UHE Aimorés.....	74
<b>Tabela 22:</b> Dados estatísticos da concentração de ferro dissolvido antes e após a UHE Risoleta Neves.....	76
<b>Tabela 23:</b> Dados estatísticos da concentração de ferro dissolvido antes e após a UHE Baguari.....	78
<b>Tabela 24:</b> Dados estatísticos da concentração de ferro dissolvido antes e após a UHE Aimorés.....	79

## LISTA DE SIGLAS

ADA – Área Diretamente Afetada  
ANA – Agência Nacional das Águas  
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
BEN – Balanço Energético Nacional  
BHRD - Bacia Hidrográfica do Rio Doce  
CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais  
CGH – Centrais Geradoras Hidrelétricas  
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DN – Deliberação Normativa  
EIA – Estudo de Impacto Ambiental  
ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.  
EOL – Energia Eólica  
EPE – Empresa de Pesquisa Energética  
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente  
IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas  
INFOHIDRO - Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos  
MME – Ministério de Minas e Energia  
ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico  
PCH – Pequena Central Hidrelétrica  
PIRH DOCE- Plano Integrado da Bacia Hidrográfica do Rio Doce  
UHE – Usina Hidrelétrica  
UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez  
UPGRH - Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos  
UTE – Usina Termoelétrica  
UTN – Usina Termonucleares

## Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo Geral .....	13
2.2 Objetivos Específicos .....	13
3 O SETOR ELÉTRICO .....	14
3.1 Histórico da Energia Elétrica.....	14
3.2 Cenário da Energia Hidrelétrica no Brasil.....	16
3.3 Panorama da Energia Hidrelétrica em Minas Gerais.....	19
3.4 Legislações Pertinentes entre Recursos Hídricos e Geração de Energia.....	20
4 IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DE USINAS HIDRELÉTRICAS .....	23
4.1 Problemas de Qualidade da Água em Reservatórios Hidrelétricos.....	25
5 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE .....	28
5.1 Caracterização Socioeconômica .....	29
5.2 Caracterização Físico-Biótica.....	30
5.3 Situação dos Recursos Hídricos .....	35
5.4 Enquadramento da Bacia .....	37
5.5 Desastre na Bacia do Rio Doce – Barragem de Fundão em Mariana/MG .....	38
6 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
6.1 Caracterização dos barramentos em Estudo .....	41
6.1.1 UHE Risoleta Neves (Candonga).....	42
6.1.2 UHE Baguari .....	44
6.1.3 UHE Aimorés .....	46
6.2 Dados de qualidade de água .....	48
6.2.1 Estações de monitoramento .....	49
6.3 Definição dos parâmetros adotados.....	50
6.4 Técnica para Análise de Dados .....	51
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	53
7.1 Avaliação dos parâmetros físicos e químicos.....	54
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	83
REFERÊNCIAS .....	86

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso renovável indispensável para manutenção da vida no planeta. A sua utilização está diretamente ligada à contínua disponibilidade em quantidade e qualidade adequada para atendimento das necessidades antrópicas, incluindo o desenvolvimento das atividades econômicas, e o funcionamento dos ecossistemas. No entanto, a água doce, adequada para consumo e utilização nas indústrias, setores de prestação de serviços e bens de consumo de forma imediata, está disponível em uma quantidade não igualitária nas regiões, além disso, sua qualidade vindo sendo afetada, devido aos impactos negativos advindos das ações antrópicas indiscriminadas sobre o meio ambiente, principalmente nos recursos hídricos.

Segundo Tundisi (2014), as reservas de água doce são elementos fundamentais e estratégicos para o desenvolvimento econômico, social e de sustentabilidade em nível local, regional e mundial. O autor ressalta ainda, que a diferenciação na quantidade do recurso no mundo, influência nos processos de desenvolvimento, causa desigualdade social, propicia a diminuição de suprimentos e água potável e ameaça a saúde.

Ademais, outro aspecto que ocasiona o desequilíbrio hídrico é o crescimento exacerbado da populacional, associado a uma urbanização sem planejamento, o que desencadeia um aumento no consumo de recursos hídricos, principalmente para atender as demandas dos processos de expansão da globalização. A necessidade cada vez maior pela água iniciou uma crise tomando uma escala mundial. Com a expansão da população, que no século XX alcançou um nível três vezes maior, o consumo de água aumentou, aproximadamente, em nove vezes (Brito, Silva e Porto, 2007).

O Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, publicado em 2015, aponta que o consumo dos recursos hídricos pode aumentar em 55% em 2050. Esse fenômeno poderá ocorrer, principalmente, devido aos setores industriais, pelas termoelétricas para geração de energia e pelo uso doméstico. Essa demanda exponencial vem acarretando diversas consequências, como, por exemplo, disputas por usos, desperdício, escassez, desigualdade no abastecimento e nos serviços de saneamento, perda da qualidade e poluição da água, vinculados também a uma gestão hídrica não integrada e políticas públicas insuficientes. Essas consequências representam os desafios para alcançar os objetivos do desenvolvimento sustentável.

Neste contexto, o controle da qualidade e quantidade da água também demonstra-se como elemento importante, pois, ainda que a distribuição em quantidade para os vários usos seja uma grande preocupação, manter sua qualidade inclui a proteção contra impactos, como desmatamento, descarga de efluentes líquidos sem o devido tratamento, despejo de resíduos e contaminação por substâncias tóxicas, geralmente causados por

ações antrópicas. As consequências desses impactos podem atingir não só a biodiversidade aquática e seus componentes, mas também, devido a um conjunto de interrelações, podem desencadear prejuízos para economia da região, saúde humana, perda da disponibilidade hídrica e serviços ecossistêmicos. Os efeitos podem ser diretos e indiretos decorrentes dos impactos (Tundisi, 2014).

Dentre esses diversos usos, a construção de obras hidráulicas para vários fins, como contenção de rejeitos de indústrias e minerações, controle de cheias, reservação para abastecimento de água e irrigação, e a geração de energia elétrica, também influenciam nas características da rede hídrica da região onde são instaladas. Sendo que, a geração de energia possui grande importância, pois é o principal recurso utilizado pela sociedade nos diversos processos e serviços.

O Brasil possui grande potencial hídrico para geração de energia elétrica através das hidrelétricas. A Região Sudeste possui grande representação no país em termos de produção de energia por essa tipologia. É importante ressaltar que o crescimento do setor energético nos últimos anos no país foi e ainda é fator determinante para desenvolvimento da sociedade, garantia de progresso na economia e bem-estar.

Por outro lado, o aumento da implantação dessa tipologia de empreendimento, caracterizada pela construção de barramentos em rios e inundações de áreas para formação de reservatórios, gera inúmeros impactos ambientais sobre os meios físicos, biótico, sociais e econômicos. A formação desses reservatórios causa inúmeras transformações no ambiente aquático, alterando as condições físicas e químicas da massa d'água, causando também mudanças na estrutura e composição das comunidades biológicas (Tundisi, 1986 *apud* Breda, 2011). Breda (2011) cita também que a qualidade das águas desses ambientes é determinada por estas condições físicas, químicas e biológicas do curso d'água.

Como objeto de estudo desse trabalho, a Bacia Hidrográfica do Rio Doce com uma área de drenagem de aproximadamente 83.400 km<sup>2</sup>, pertencente aos estados de Minas Gerais (86%) e do Espírito Santo (14%) (ANA, 2001), é caracterizada pela construção de vários barramentos ao longo do seu curso principal, sendo eles, Usina Hidrelétrica (UHE) Risoleta Nenes, Baguari, Aimorés e Mascarenhas, essa última já localizada no estado do Espírito Santo.

Neste cenário, o estudo consiste em uma análise comparativa das condições da qualidade das águas do Rio Doce decorrentes da instalação dos barramentos para fins de energia elétrica, em duas situações distintas, antes e após o evento de rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana. O acidente ocorrido em novembro de 2015 impactou várias regiões da Bacia do Rio Doce, sendo considerado o maior desastre socioambiental do país.

Dessa forma, este estudo se concentrará sobretudo na análise da influência dos barramentos instalados no curso principal do Rio Doce, tendo em vista a alteração da qualidade da água em decorrência do acidente.

Este trabalho busca, além das razões científicas, voltadas para preservação do meio ambiente, um melhor conhecimento das diversas atividades que afetam a qualidade da água e que influenciam diretamente na distribuição dos recursos, visando a gestão de ações para o curso d'água e bacia hidrográfica. Segundo Tundisi & Tundisi (2008), devido aos vários usos múltiplos dos reservatórios, é fundamental a determinação da qualidade da água, a avaliação dos futuros impactos e o monitoramento permanente para a compreensão dos processos de integração que ocorrem entre os usos da bacia hidrográfica, os usos múltiplos e a conservação ou deterioração da qualidade da água.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho buscou avaliar as possíveis alterações na qualidade da água decorrentes da presença das Usinas Hidrelétricas (UHE) Risoleta Neves, Baguari e Aimorés, para fins de geração de energia elétrica, no Rio Doce, antes e após o evento de rompimento da barragem de Fundão da Samarco/Vale/BHP Billiton, em Mariana, MG, ocorrido em novembro de 2015.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar as alterações na qualidade das águas do Rio Doce, pelo levantamento de dados dos pontos de monitoramento localizados a jusante e montante dos três barramentos mencionados, em especial no que concerne aos parâmetros: oxigênio dissolvido (OD), sólidos totais, sólidos dissolvidos totais, sólidos em suspensão totais, turbidez, arsênio total (As), alumínio dissolvido (Al), ferro dissolvido (Fe), cobre dissolvido (Cu), cromo total (Cr), cádmio total (Cd), chumbo total (Pb), manganês total (Mn), mercúrio total, níquel total (Ni), zinco total (Zn).
- Avaliar os possíveis efeitos das eventuais alterações na qualidade da água no que tange a seus potenciais usos, no período anterior e posterior ao rompimento da barragem, em um ambiente com a influência de barramentos instalados.

## 3 O SETOR ELÉTRICO

### 3.1 Histórico da Energia Elétrica

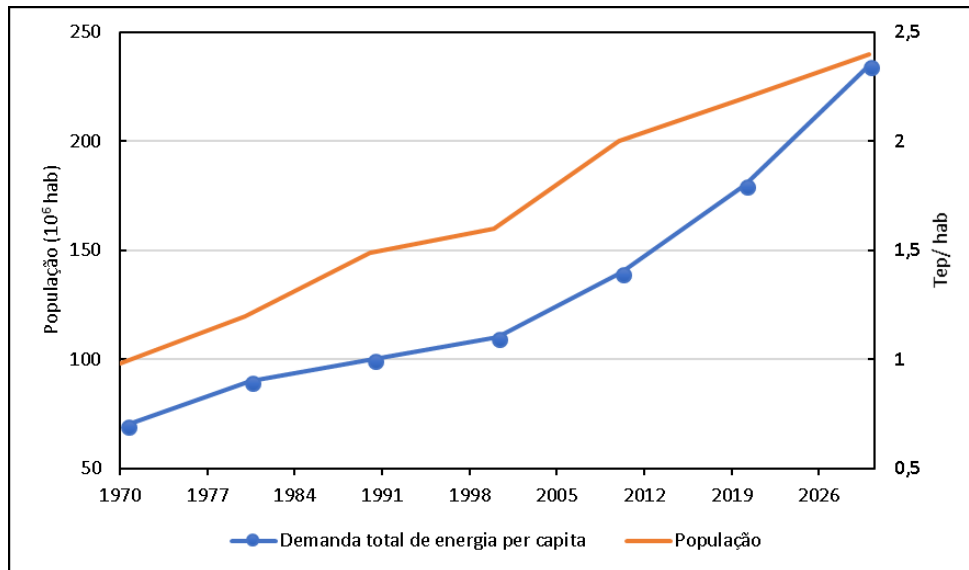
Desde a Revolução Industrial, no século XIX, os recursos energéticos representam um fator de influência na disputa entre os países por uma economia mais desenvolvida e melhor qualidade de vida. Segundo Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007), os países com mais acesso a esses recursos com baixo custo e menor impacto ambiental detêm importantes vantagens comparativas. Os autores afirmam ainda, que o Brasil avança no quesito recursos naturais, no entanto, para manter o desenvolvimento econômico e social enfrentará grandes desafios, um deles é garantir uma quantidade expressiva de energia de forma segura e sustentável.

O Brasil é detentor de grandes reservas hídricas em seu território, o que caracteriza sua matriz energética, em grande parte, por hidroelétricas. Além da produção de energia, esse recurso natural é utilizado para desenvolvimento de diversas atividades industriais, produção de alimentos, prestação de serviço, bens de consumo, energia, transporte e manutenção dos ecossistemas. Segundo Tundisi (2014), as reservas de água são elementos fundamentais e estratégicos para o desenvolvimento econômico, social e de sustentabilidade em nível local, regional e mundial.

Durante o século XX, a demanda cada vez maior por água é reflexo dos processos de expansão da globalização no país, que representa também, o aumento de consumo por energia primária. Dentre os fatores associados a esse crescimento, estão a industrialização, o aumento populacional e os altos índices de urbanização. Com a população triplicando, no século XX, o consumo de água aumentou, aproximadamente, em nove vezes (Brito, Silva e Porto, 2007).

A relação direta entre crescimento populacional e consumo de energia é claramente evidenciado na Figura 1, que demonstra na série histórica entre os anos 1970 e 2000, um aumento de quase três vezes na demanda de energia primária. Vale ressaltar que em 1970 as duas fontes de energia mais representativas eram petróleo e lenha. Esse cenário modifica-se em 2000, com inserção da energia hidráulica junto às provenientes do petróleo e da lenha como as três principais fontes (Tolmasquim, Guerreiro e Gorini, 2007).

**Figura 1:** Evolução do crescimento populacional e da demanda *per capita* de energia. Brasil – 1970-2030.



Fonte: Tolmasquim, Guerreiro e Gorini; EPE, 2007. Adaptado pelo autor.

Para suprir a demanda por consumo de energia elétrica no Brasil, ao longo dos dois últimos séculos, houve um aumento na construção de barramentos, aproveitando principalmente a abundância da fonte geradora, a água. A princípio, essas medidas foram realizadas com intuito de atender as necessidades das pequenas indústrias (moinhos, serrarias, tecelagens), e em seguida para satisfazer a demanda energética da população (Von Sperling, 1999a *apud* Breda, 2011).

A primeira hidroelétrica brasileira foi inaugurada em 1883, localizada em Diamantina, estado de Minas Gerais, no Ribeirão do Inferno. As características de pequeno porte da usina não restringiam seu potencial, sendo considerada à época a mais longa linha de transmissão existente no mundo, com 2 (dois) quilômetros de extensão (Ruas, 2006). A partir dessa data, o país marcou o início do crescimento no número de barragens de pequeno porte para aproveitamento energético (Pires, 2016).

No ano de 1889, às margens do Rio Paraibuna, a usina de Marmelos, a primeira de grande porte brasileira era apresentada no município de Juiz de Fora, Minas Gerais. Iniciando o processo de aceleração de desenvolvimento no Brasil, transformando a energia mecânica em elétrica (CEMIG, 2012).

A partir de 1950, a construção de usinas de grande porte se fez necessária frente à demanda energética no país, iniciando com a primeira hidroelétrica construída no rio São Francisco, a Usina de Paulo Afonso (Ruas, 2006). Nos anos de 1960, visando melhorar e desenvolver a energia na Região Sudeste, inicia as operação nas grandes usinas da

época, Três Marias e Furnas (CEMIG, 2012). Já a grandiosa usina de Itaipu, construída em parceria com o Paraguai, entrou em operação 1984.

Na Região Norte do país, com intensa riqueza hídrica, as principais hidrelétricas foram construídas na década de 1980, a exemplo das usinas de Tucuruí e Balbina. No entanto, em 1990, os investimentos no setor elétrico diminuíram de forma significativa, os motivos são associados aos impactos ambientais decorrentes dos projetos de implantação das usinas de grande porte, principalmente nas regiões Norte e Centro-Oeste (Von Sperling, 1999a *apud* Breda, 2011).

As hidrelétricas são a principal fonte de produção de energia no Brasil, que atualmente responde por 72% da matriz energética, ficando acima da média mundial, de 16% (ANEEL, 2017). Esses dados diferem a matriz brasileira das demais, principalmente, por ser rica em recursos naturais. A demanda por produção de energia, a partir de 1950, acendeu inúmeros problemas sobre o meio ambiente. Estudos científicos realizados nessa época, já revelavam influências geofísicas e ecológicas devido à exploração sem controle dos recursos (Ruas, 2006). Além disso, a população, os bens e os serviços locais também sofrem com os impactos da construção de hidroelétricas.

Atualmente, a redução da disponibilidade desses recursos trouxe grande preocupação frente ao contínuo crescimento e demanda energética. A necessidade por maiores discussões sobre a temática ambiental tem ganhado grandes proporções em todos os setores, incluindo no que se refere à geração de energia por usinas hidrelétricas. Neste contexto, para suprir uma demanda crescente por energia, o desenvolvimento de projetos de PCHs surge como uma opção marcante nos últimos anos, no cenário energético brasileiro, visando sustentar as exigências de produção e consumo de energia, com um baixo impacto ambiental, quando comparado com grandes reservatórios (Barbosa, 2004).

As PCHs marcam uma série histórica da energia no país. Além dessas, as fontes denominadas mais limpas (como, eólica e solar) ganharam espaço nos últimos anos, buscando, principalmente, o ajuste entre crescimento econômico e desenvolvimento sustentável.

### **3.2 Cenário da Energia Hidrelétrica no Brasil**

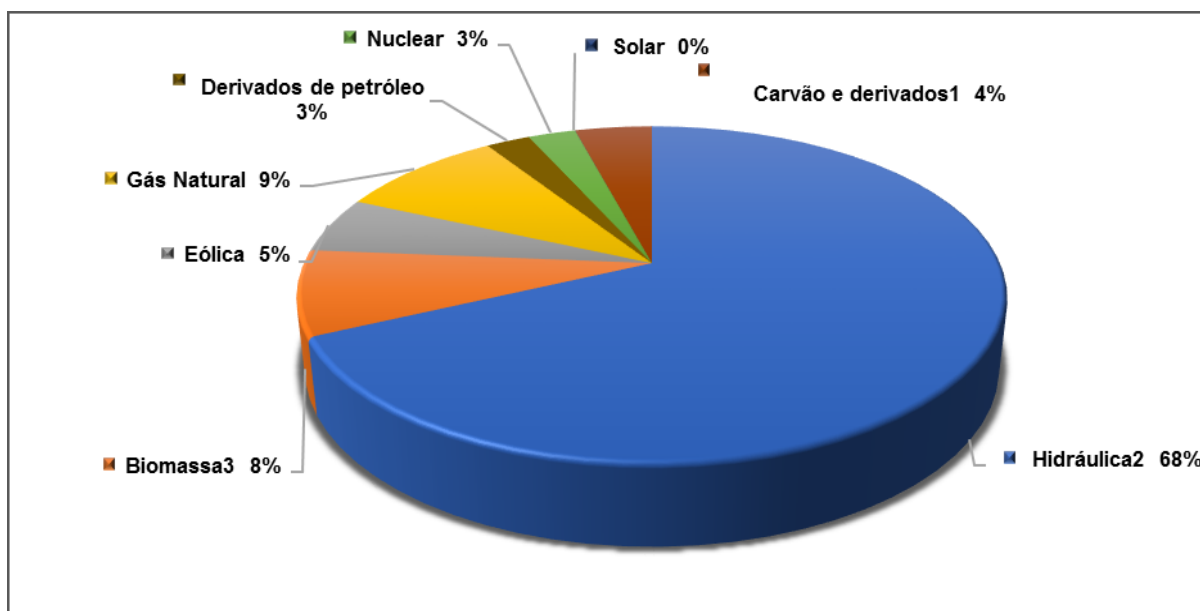
A participação da água na matriz energética brasileira é muito expressiva, possivelmente pelo fato de que o país é o maior potencial hidrelétrico do mundo, com cerca de 101.289,545 MW. O Brasil faz parte de um conjunto de países onde sua produção de energia é predominantemente hídrica. Segundo o Balanço Energético Nacional (2017), em 2014, a hidroeletricidade participava, aproximadamente com 16,7% da energia elétrica gerada mundialmente.

No estudo realizado em 2014, os cinco maiores produtores de energia hidrelétrica no mundo são China (26,7%), Canadá (9,6%), Brasil (9,4%), Estados Unidos (7,1%) e Rússia (4,4%), juntos, representam 57,2% do total da produção mundial, cerca de 2279 TWh (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2017).

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL divulga em seu Banco de Informações de Geração (BIG) dados atualizados sobre a geração de energia elétrica no Brasil. Atualmente, segundo a ANEEL (2018), existe em operação 670 Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH), com potência instalada de 627,355 mil MW; 429 Pequenas Centrais Hidrelétricas, com potência igual a 5.042,723 mil MW e 220 Usinas Hidrelétricas, com potência total de 95.619,468 mil MW. Apesar do grande potencial hídrico para geração de energia no país, a produção nacional também dispõe de outras usinas de energia que compõe sua matriz energética, sendo elas, Eólica (EOL), Termelétricas (UTE), Termonucleares (UTN), Fotovoltaica (UfV) e Undi-elétrica (CGU) através da onda do mar.

Segundo o Ministério de Minas e Energia - MME, em seu Balanço Energético Nacional – BEN, divulgado em 2017, a produção nacional está absorvida nas as fontes primárias de energia renovável, como a lenha, cana-de-açúcar, eólica, solar, hidráulica e outras renováveis que representam 81,7% da produção nacional. As fontes não renováveis, o petróleo, gás natural, carvão, urânio e outras não renováveis são responsáveis por 19,6%. A Figura 2 representa os dados de produção primária de energia no Brasil no ano de 2016.

**Figura 2:** A Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.



1. Inclui gás de coqueria
2. Inclui importação de eletricidade
3. Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações

Fonte: Balanço Energético Nacional (2017). Adaptado pela autora.

No que se refere à energia consumida no Brasil, segundo dados do Balanço Energético Nacional de 2016, apresentado pelo Ministério de Minas e Energia (2017), cerca de 54% são fontes de energia não - renováveis, como derivados do petróleo, gás natural e carvão mineral, conforme demonstrado na Tabela 1.

**Tabela 1:** Consumo Final de Energia, por Fonte.

FONTE	mil tep		16 / 15%
	2015	2016	
<b>DERIVADOS DE PETRÓLEO</b>	108.965	106.234	-2,5%
<b>GÁS NATURAL</b>	18.765	18.868	0,5
<b>CARVÃO MINERAL</b>	13.306	11.917	-10,4
<b>ELETRICIDADE</b>	45.096	44.705	-0,9
<b>BIOENERGIA</b>	75.071	73.709	-1,8
<b>TOTAL</b>	261.203	255.432	-2,2

Fonte: Balanço Energético Nacional (2017), adaptado pela autora.

As fontes de grande contribuição hidrelétrica brasileiro são, predominantemente, da região Sul e Sudeste do país. A região Amazônica possui uma notável participação, no entanto, seu grande potencial (41%), ainda não é explorado (ARRUDA, 2014). A Tabela 2 corrobora com as informações anteriores, apresentando a geração total de eletricidade por fonte hídrica, separada por região geográfica.

**Tabela 2:** Geração de Eletricidade por Fonte (Hidro)

ESTADO	GERAÇÃO TOTAL GWH	HIDRO
<b>NORTE</b>	72.206	63.097
<b>NORDESTE</b>	93.079	23.758
<b>SUDESTE</b>	180.437	92.058
<b>SUL</b>	171.225	152.019
<b>CENTRO OESTE</b>	61.951	49.978

Fonte: Balanço Energético Nacional (2017), adaptado pela autora.

A demanda por energia elétrica no Brasil cresce de forma exponencial a cada ano. De acordo com dados do Operador Nacional do Sistema de Elétrico – ONS (2017), nos próximos cinco anos poderá haver uma carga de energia atingindo 79.151 MW médio. Reflexo disso, é o aumento número de construções de hidrelétricas, sendo que, atualmente, 40 estão em construção e 135 ainda não iniciaram (ANEEL, 2018). Segundo o Plano Nacional de Energia 2030 (2006), as bacias do Amazonas e do Tocantins/Araguaia

representam 70% do potencial a aproveitar, sendo que, somente o rio Amazonas apresenta 106 MW a ser instalada.

Esses empreendimentos em construção ou licitação no país ampliam a preocupação acerca dos impactos ambientais gerados pela formação dos reservatórios. Por essa razão, a busca por tecnologias ambientalmente mais corretas tem impulsionado a implantação de projetos de usinas com área alagada e capacidade de geração menor, assim é esperado uma redução das consequências sobre o meio ambiente físico e biótico (ARRUDA, 2014).

### **3.3 Panorama da Energia Hidrelétrica em Minas Gerais**

Minas Gerais é um dos cinco estados do país com maior capacidade instalada, cerca de 16.183.527 kW de potência, representado 10% da capacidade nacional (ANEEL, 2018). De acordo, com dados da ANEL (2018), atualmente existem 729 empreendimentos em operação, sendo que 278 são hidrelétricas. Apesar da quantidade de usinas hidrelétricas representar menos da metade do montante, sua potência equivale a 13.416.779 kW, 82% do total produzido no Estado.

Tendo em vista, os recursos hídricos disponíveis no Estado, para os próximos anos está previsto um aumento de 797.019 KW na capacidade de geração do Estado, oriundo de 14 empreendimentos em construção, sendo que desses, sete são hidrelétricas, e 25 com construção não iniciada, onde 20 são também usinas hidrelétricas (ANEEL, 2018). Segundo Barbosa (2004), o Estado de Minas Gerais possui cinco grandes bacias (São Francisco, Rio Grande, Rio Paranaíba, Doce e Jequitinhonha) drenando a grande parte de seu território (90%), o que confirma o seu grande desempenho na produção de energia elétrica por usinas hidrelétricas.

As fontes de produção em Minas Gerais estão absorvidas nas energias primárias renováveis, como lenha, cana-de-açúcar, eólica, solar, hidráulica e outras renováveis que representam 12.650.816 kW (84,4%) da produção no Estado. As fontes não renováveis em Minas Gerais são caracterizadas pelas usinas Termelétricas, que apesar da sua quantidade representar 60% dos empreendimentos, a potência instalada é de 2.532.711 kW (ANEEL, 2018).

Avaliando o histórico de energia no Estado, a Tabela 3 apresenta dados referentes à capacidade instalada de geração elétrica nos últimos cinco anos (2012-2016), de acordo com a fonte disponível para produção de energia. Resta evidente que o potencial hídrico é o mais representativo na matriz energética em Minas Gerais até 2016 (83%), logo atrás temos as usinas termoelétricas que representava 17% da energia no Estado. A partir de 2014, as fontes renováveis, principalmente a solar (3 MW, em 2016), têm aumentado sua

produção. Atualmente, a energia solar produz 1.129,642 MW, quase 1% da energia do Estado. Enquanto, a energia eólica que até 2016 não tinha dados representativos, atualmente, gera 12.537, 943 MW de potência, o que representa 7,91% do total no Estado.

**Tabela 3:** Capacidade Instalada de Geração Elétrica

<b>MINAS GERAIS</b>					
<b>FONTES</b>	<b>CAPACIDADE INSTALADA DE GERAÇÃO ELÉTRICA MW</b>				
	2012	2013	2014	2015	2016
<b>HIDROELÉTRICA</b>	12.158	12.217	12.355	12.343	12.354
<b>TERMOELÉTRICA</b>	1.789	2.038	2.167	2.447	2.453
<b>EÓLICA</b>	0	0	0	0	0
<b>SOLAR</b>	S/D	0	2	1	3
<b>NUCLEAR</b>	0	0	0	0	0

Fonte: Balanço Energético Nacional (2017), adaptado pela autora.

Em Minas Gerais, como no restante no país, a escassez dos recursos naturais frente à demanda por energia elétrica e o crescimento do mercado têm gerado grandes preocupações. Nesse contexto, os investimentos nos últimos anos na produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis, que causam menos impacto ao meio ambiente, voltaram a ter importância. Além disso, novas tecnologias e modelos mais simples para construção de barragens, visando não somente o desenvolvimento econômico, mas também a segurança, o interesse social e a preservação ambiental vêm marcando o cenário elétrico em nível estadual e nacional.

No intuito de garantir a moderação entre o crescimento contínuo com a necessidade de minimização dos impactos, é fundamental que sejam discutidas políticas e planos que trabalhem para normatizar o controle do uso da água e sua preservação em qualidade e quantidade necessárias para atendimento das demandas no futuro.

### **3.4 Legislações Pertinentes entre Recursos Hídricos e Geração de Energia**

As legislações sobre os recursos hídricos possuem grande importância quando se analisa o potencial de geração de energia no país. A água representa a fonte principal da matriz energética, por isso, a base legal para gestão e gerenciamento do uso em quantidade e qualidade é fundamental. Essa característica envolve importantes condicionantes para o setor elétrico, além da logística interna, com políticas e ações para regulação e controle do uso pelos usuários existe a necessidade de articulação e adequação com demais instituições envolvidas nos processos de aprovação dos aproveitamentos (ANA, 2005).

Segundo ARRUDA (2014), visando assegurar o acesso à água a toda a sociedade, o Estado legislou sobre o assunto, estabelecendo o Direito das Águas

Brasileiras. Ainda segundo a autora, o estabelecimento de políticas públicas com objetivo de normatizar o uso da água, além da formulação de leis, regras ou princípios no país, vem sendo realizadas desde o início do século XX.

Um das legislações pioneiras no Brasil foi o Código das Águas, definida pelo Decreto nº 24.643 de 1934, que surgiu como demanda das companhias elétricas que estavam iniciando e se viam limitadas, pois o poder de aproveitamento dos recursos hídricos era exclusivamente dos Estados e municípios (CARVALHO et al, 2008). De acordo com Freiria (2008), o Código das Águas, foi a primeira norma legal que regularizou, de forma geral, o aproveitamento industrial das águas e, de modo singular, o aproveitamento e exploração da energia hidráulica.

Em 1988, a Constituição Federal, revogou as disposições do Código das Águas, que trata do aproveitamento de águas particulares, estabelecendo que todas as águas são de domínio público (FREIRE, 2008). O artigo 20 da Constituição (BRASIL, 1988) determina que todos lagos, rios e quaisquer correntes de água são bens de domínio da União e dos Estados, incluindo às águas que banham mais de um Estado ou país pertencem à União, e os demais são águas estaduais.

Posteriormente, tem-se como marco na legislação brasileira referente a recursos hídricos a Lei nº 9.433, conhecida como “Lei das Águas” (BRASIL, 1997), a qual instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Após a Constituição Federal, a Lei nº 9.433 é a mais importante quando o assunto é proteção dos recursos hídricos. Em seu artigo 1º são instituídos os fundamentos desta política, determinando a água como um bem de domínio público, natural limitado, dotado de valor econômico. Pontua o uso prioritário para consumo humano e dessedentação de animais, em caso de escassez e o estabelecimento da gestão da bacia hidrográfica (unidade de gestão) de forma descentralizada, visando o uso múltiplo das águas.

A mesma Lei nº 9.433/97 estabelece os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, sendo eles, os Planos de Recursos Hídricos, o enquadramento dos corpos de água segundo seus usos preponderantes, a cobrança pelo uso da água, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Segundo Arruda (2014), o aproveitamento dos potenciais hidrelétricos e outros usos que alteram a quantidade, a qualidade ou o regime de vazão de um corpo de água, também estão sujeitos à outorga.

Para fins de geração de energia elétrica, a outorga e a utilização de recursos hídricos estão subordinadas ao instrumento do Plano Nacional de Recursos Hídricos, (ANA, 2005). Além disso, a Lei nº 9.433/97 indica que a concessão da outorga está condicionada às prioridades de uso estabelecidas no Plano de Recursos Hídricos, respeitando a classe

em que o corpo de água está enquadrado, e a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando este for necessário, preservando os usos múltiplos da água.

Em relação ao setor elétrico, a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, além de criar a Agência Nacional de Água – ANA estabelece como sua competência, ente outras:

IV – outorgar, por intermédio de autorização, o direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da União, observado o disposto nos arts. 5º, 6º, 7º e 8º;

V - fiscalizar os usos de recursos hídricos nos corpos de água de domínio da União;

XII – definir e fiscalizar as condições de operação de reservatórios por agentes públicos e privados, visando a garantir o uso múltiplo dos recursos hídricos, conforme estabelecido nos planos de recursos hídricos das respectivas bacias hidrográficas;

XIII - promover a coordenação das atividades desenvolvidas no âmbito da rede hidrometeorológica nacional, em articulação com órgãos e entidades públicas ou privadas que a integram, ou que dela sejam usuárias;

XX - organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB); (Incluído pela Lei nº 12.334, de 2010)

(...)

Posteriormente, foi publicada a Resolução nº 16 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, de 8 de maio de 2001, a qual estabelece diretrizes gerais para outorga de direito de uso de recursos hídricos (BRASIL, 2001). Complementando essa resolução, em 2004, foi criada a Resolução nº 37 do CNRH, que determina diretrizes específicas para outorga de recursos hídricos para a implantação de barragens em corpos de água de domínio do Estado, do Distrito Federal ou da União. As regras para operação dos reservatórios, o plano de ação de emergência e o plano de contingência poderão ser reavaliados pela autoridade outorgante, e mais especificamente pela ANA no que lhe couber, considerando-se os usos múltiplos, os riscos decorrentes de acidentes e os eventos hidrológicos críticos (BRASIL, 2004). Ademais, as informações do monitoramento do reservatório (montante e jusante) devem ser encaminhadas à autoridade outorgante (ANA, 2005).

Em se tratando de reservatórios e empreendimentos hidrelétricos, o Enquadramento dos Corpos de Água em Classes, segundo seus usos preponderantes, é um importante instrumento da Política Nacional dos Recursos Hídricos, com intuito de garantir a qualidade da água, frente aos diversos usos, e diminuir os custos com poluição utilizando medidas preventivas contínuas (FREIRIA, 2008). A resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, e a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde são importantes regulamentações que integram ao instrumento (FREIRIA, 2008).

## 4 IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DE USINAS HIDRELÉTRICAS

No Brasil, a expansão das usinas hidrelétricas para geração de energia, a partir da década de 50, fortaleceu o início da industrialização e desenvolvimento no país (PIRES, 2016). Naquele momento a preocupação com as questões ambientais ainda eram risórias, pensando apenas na dimensão a curto e médio prazo. Na década de 80, com a crise do petróleo, a energia elétrica produzida estava apoiada nas usinas hidrelétricas como melhor opção, devido ao baixo custo de implantação e confiabilidade quando comparada com outras fontes energéticas (HINATA, 2016).

Neste contexto, o aumento no número de empreendimentos hidrelétricos formando ecossistemas artificiais tem ocasionado várias alterações nos sistemas hidrológico, atmosférico, biológico e social atingindo as regiões em que são construídos e os locais atingidos pelos lagos artificiais (FERNANDES, 2010). Apesar de mais discutidos, os impactos advindos do crescimento da produção de energia elétrica não são somente no meio ambiente, mas também os ditos impactos sociais. Esses são um dos grandes desafios ao se tratar de geração de energia.

De acordo com Souza (2000), muitos dos impactos decorrentes de obras hidrelétricas são verificados ao longo da vida útil, e também posterior a esse tempo, bem como no projeto e em todo espaço físico envolvido. Ainda segundo o autor, os impactos mais significativos são percebidos ainda fase de construção e de operação da usina, podendo afetar o andamento das obras.

Dentre os impactos mais significativos, estão os alagamentos que ocorrem devido ao represamento dos rios para a acumulação de água e regularização de vazões. Esse impacto acarreta alterações para o microclima local, diminuição da concentração de vegetação, devido ao aumento da superfície de evaporação e perda da diversidade da fauna, podendo levar à extinção de algumas espécies (HINATA, 2016). A perda de solo e recursos florestais também está associada às áreas alagadas pelos reservatórios, principalmente em locais onde o relevo é pouco acidentado podendo afetar uma grande região com poucos metros de água. Além disso, a inundação pode suprimir jazidas de recursos minerais, sendo que muitos desses não considerados, devido à falta de conhecimento sobre a geologia e mineralogia da região (JUNK; MELLO, 1990).

As alterações no meio discutidas anteriormente são classificadas por alguns autores, como aspectos físicos na região atingida pelos reservatórios. Segundo Fernandes (2010), outros impactos também fazem parte desse grupo, como: alterações na produção, transporte e acúmulo de sedimentos à montante e à jusante, cujos processos de erosão e sedimentação podem causar alterações no leito do rio; velocidade de escoamento da água reduzindo a retenção de sedimentos; variação dos níveis de água; estratificação térmica e

redução da qualidade da água com a profundidade; alterações no subsolo devido à flutuação do lençol freático; infiltrações, sobretudo em regiões com características cársticas, formando cavernas no subsolo e dolinas a partir do afundamento ou desmoronamento do solo; formação de áreas degradadas e erosivas; impactos geofísicos decorrentes de modificações nos sistemas terrestres, acarretando em possibilidades de ocorrência de sismos locais; contaminação de solos pela acumulação de efluentes agrícolas e sanitários; e a tendência à eutrofização e liberação de gás carbônico e metano a partir do fundo do reservatório.

Fernandes (2010) indica ainda as alterações sobre os ecossistemas aquáticos devido a instalação dos empreendimentos hidrelétricos, sendo eles: mudanças no regime hidrológico e nas vazões; impactos sobre a fauna e flora aquático (dentre outros fatores, inclui a retirada de matas ciliares); perda de habitats; redução dos estoques de peixes e fenômenos ecológicos; contaminação tóxica ou concentração de poluentes no reservatório devido ao acúmulo ou maior carga de efluentes urbanos, por insumos das atividades agrícolas, por resíduos da criação de animais, e mesmo efluentes industriais, ocasionando processos de eutrofização e grande concentração de metais pesados.

Os impactos na dimensão social e econômica em detrimento das usinas para geração de energia elétrica são na maioria das vezes de grandes proporções, sendo indispensável um estudo prévio visando reduzir ou eliminar seus efeitos. Um dos principais impactos sociais é a desapropriação de pessoas de áreas rurais e urbanas devido às grandes inundações às margens dos reservatórios. Essa preocupação fica ainda maior em territórios indígenas, em áreas de preservação ou fortemente ocupadas (ANA, 2005).

Outros impactos sociais de extrema relevância incluem a diminuição de recursos para alimento e sustento da população, transformação de áreas utilizadas para lazer, exposição a problemas de saúde devido a doenças de veiculação hídrica, perda de bens históricos, culturais e arqueológicos, interferência na infraestrutura viária, de comunicação e territorial, dentre outros.

Dentre as modificações nas atividades econômicas, podem ser citadas: diminuição de áreas férteis para cultivo e pastagens, afetando as condições de renda e emprego; perda de recursos pesqueiros; diminuição do potencial turístico da região; perda de recursos minerais; e possibilidade de aumento das dependências dos municípios de recursos financeiros externos.

Apesar dos inúmeros prejuízos socioambientais e econômicos decorrentes da instalação desses reservatórios, não se pode esquecer que esses empreendimentos estão inseridos dentro de um contexto de interesse coletivo, com a oferta de energia e melhoria da qualidade de vida. Antes, a energia produzida era para atender principalmente os domicílios, hoje ela é parte integral dos processos industriais, setor de prestação de serviços e

estabelecimento comerciais. As hidrelétricas são consideradas a melhor solução técnica e econômica para o desenvolvimento e geração elétrica, principalmente, quando comparada com outras fontes com maior custo e não renováveis.

Dessa forma, deve-se buscar o ajuste entre o setor energético e o desenvolvimento sustentável, objetivando a qualidade de vida da população e o uso racional dos recursos. A gestão ambiental é uma importante ferramenta para alcançar a geração hidrelétrica sustentável. Segundo Souza (2000), a gestão ambiental deve ser realizada em todas as etapas do projeto hidrelétrico, desde as fases iniciais, de construção e continuar ao longo da vida útil, a fim de minimizar os efeitos negativos e maximizar os benefícios do empreendimento.

#### **4.1 Problemas de Qualidade da Água em Reservatórios Hidrelétricos**

Segundo Von Sperling (2014), a qualidade da água é resultante de processos naturais e da atuação antrópica. Dessa forma, fatores como condições naturais e o uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica são determinantes para a qualidade da água. Ainda segundo o autor, os requisitos de qualidade da água são função de seus usos previstos, sendo que, em caso de usos múltiplos deve-se atender a qualidade dos diversos usos previstos.

De acordo com Mazzini (2003, apud RUAS, 2006) a qualidade da água é definida em relação às características químicas, físicas e biológicas compatível com o uso específico a que se destina.

As características definidas pelo autor, também são utilizadas como parâmetros para avaliação da qualidade da água. Sendo que, o parâmetro biológico possui subdivisões de análise, como bacteriológicos (considerada os aspectos do saneamento ambiental) e hidrobiológicos (microrganismos animais e vegetais) (RUAS, 2006).

Para Von Sperling (2014) os parâmetros para avaliação da qualidade da água são escolhidos levando em consideração as principais utilizações, como: águas para abastecimento (superficiais e subterrâneas); águas residuárias e corpos d'água receptores (rios e lagos).

No caso deste trabalho, avaliação da qualidade da água para fins de corpos d'água (rios e lagos) deve-se considerar os seguintes parâmetros: cor, turbidez, temperatura da água, pH, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica, organismos indicadores e algas. Além disso, os micropoluentes orgânicos e inorgânicos em caso de indícios, devido ao uso e ocupação do solo devem ser analisados (RUAS, 2006).

Nos reservatórios com finalidade para geração de energia elétrica, um outro requisito para qualidade da água é que a mesma possua baixa agressividade. Essa

característica está associada com a tendência para corrosão de metais e matérias à base de cimento pela presença em solução, de oxigênio, gás carbônico e gás sulfídrico (MAZZINI, 2003 apud RUAS, 2006)

Considerando os usos antrópicos que podem afetar direta e indiretamente a qualidade das águas, dentre outros, por exemplo, (VON SPERLING, 1996 e REIS et al, 2005, *apud* RUAS, 2006): A presença de reservatórios artificiais, construídos para diversos fins, dentre eles a geração de energia elétrica e controle das cheias, que altera o fluxo natural das águas. Ademais, alteram o ecossistema aquático, contribuem para o aumento do efeito estufa devido à liberação de gás metano gerada pela decomposição da matéria orgânica submersa, causam alterações nos lenções freáticos, surgimento de lagos e secagem de outros e assoreamento das margens. O aumento de nutrientes por causa dessas alterações aumentam os riscos de ocorrer a eutrofização do recurso hídrico (RUAS, 2006). A eutrofização é um processo natural ou artificial, de elevação de nutrientes (principalmente, fósforo e nitrogênio) nos corpos de água causando desenvolvimento de algas e macrófitas aquáticas, contribuindo para intensificação da produção primária (Buzelli e Cunha-Santino, 2013).

A eutrofização tem sido um dos grandes problemas para alteração da qualidade da água dos reservatórios, comprometendo seus usos múltiplos, principalmente a geração de energia. Além disso, altera a composição química da água que atua diretamente nas turbinas e diminui a vida útil do corpo hídrico pelo assoreamento (KHAN e ANSARI, 2005 apud ARRUDA, 2014). Segunda Arruda (2014), nos reservatórios hidrelétricos, a identificação de fatores que concomitante colaboram para o estabelecimento da eutrofização ainda é objeto de estudo em diferentes ecossistemas.

No entanto, não é somente as variáveis físicas, químicas e biológicas que influenciam na qualidade da água, as variáveis climatológicas, como temperatura do ar, radiação solar e direção dos ventos, além de outros processos como precipitação também estão diretamente relacionadas com a qualidade da água (COUTO, 2012 apud NORONHA, 2012).

Estudos que corroboram para qualidade da água nas hidrelétricas têm aumento nos últimos anos, isso se deve, principalmente, as legislações e requisitos ambientais mais rigorosas para instalação e monitoramento desses empreendimentos. Algumas dessas referências que abordam diferentes pontos sobre a análise da qualidade da água em hidrelétricas são citadas abaixo.

Rodgher et al (2005), numa abordagem sobre qualidade da água e sedimentos dos reservatórios em cascata do rio Tietê (SP) revela melhora no sentido da montante para a jusante na qualidade da água, situação expressa pelo decréscimo da toxicidade em

magnitude de Barra Bonita (montante) a Três Irmãos (jusante). De acordo com os autores, esse fato evidencia o gradiente de degradação da água na cascata de reservatórios.

Buzelli e Cunha-Santino (2013) também escolheram como local de estudo o reservatório de Barra Bonita (SP), analisando a qualidade da água através da metodologia IQA e de estado trófico (IET). Os autores concluíram que as alterações das características físicas e químicas da água é consequência direta do uso e ocupação solo em seu entorno, por ter principalmente atividades agrícolas.

Noronha (2012) avaliou a qualidade das águas dos reservatórios de Jaguára, Igarapava e Volta Grande. Os resultados apontaram as principais variáveis influenciadoras da qualidade da água local (pH, fosforo total, OD e DBO) e os principais tributários contribuintes para tais alterações.

Assim como estes, outros trabalhos fora do Brasil também vêm apontando problemas relacionados com a qualidade da água em lagos e reservatórios para abastecimento ou hidrelétricos. Arruda (2014) cita em seu trabalho referências desses estudos na China, Estados Unidos, Japão, Romênia e na Argentina.

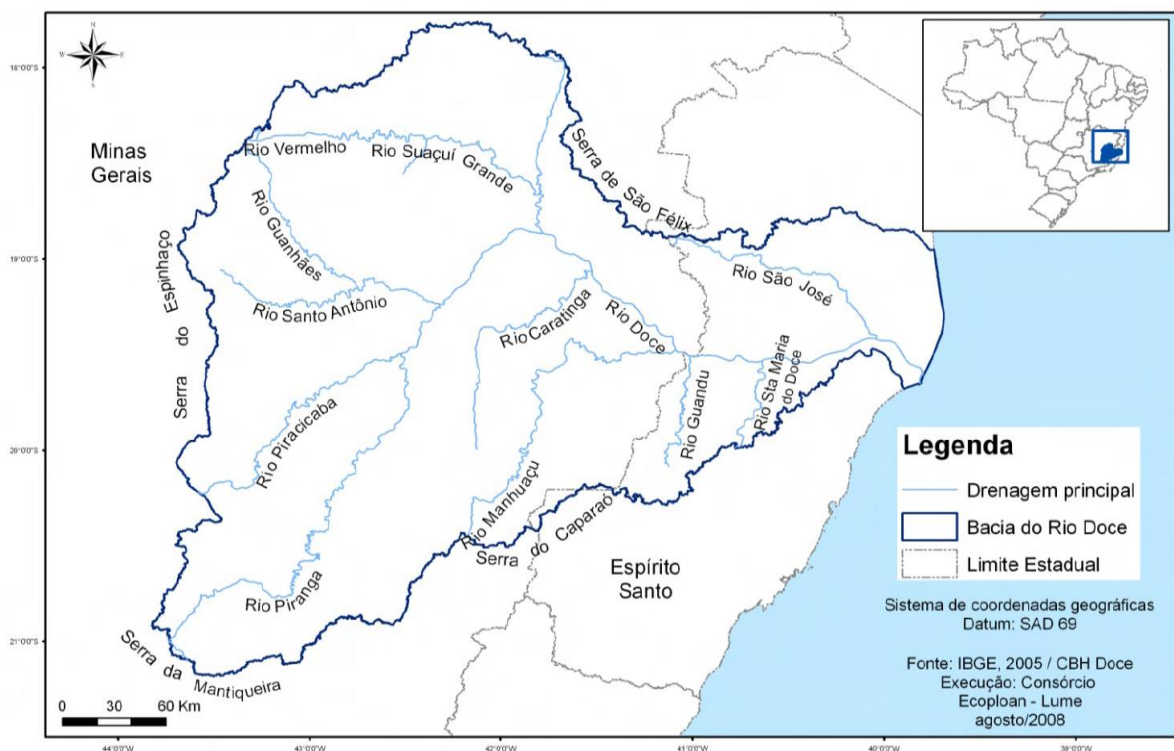
Partindo dos pressupostos abordados nesse capítulo, o presente trabalho buscou contribuir com avaliação das possíveis alterações na qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio Doce decorrentes da presença de barramentos com finalidade de geração de energia elétrica, analisando os resultados sobre a ótica temporal antes e após o rompimento da barragem de Fundão da de Fundão da Samarco/Vale/BHP Billiton, em Mariana, MG.

## 5 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD) está localizada na região Sudeste do Brasil, possui área de drenagem de 86.715 km<sup>2</sup>, sendo que, 86% pertence ao Estado de Minas Gerais e o restante ao Estado do Espírito Santo, abrangendo um total de 229 municípios, sendo 203 pertencentes aos mineiros e 26 municípios aos capixabas (Figura 3).

O Rio Doce possui uma extensão de 879 km desde à nascente, nas serras da Mantiqueira e do Espinhaço em Minas Gerais, até atingir o oceano Atlântico, próximo a Regência, no Espírito Santo (PIRH DOCE, 2010).

**Figura 3:** Localização da Bacia do Rio Doce



Fonte: PIRH (2013).

No Estado de Minas Gerais a bacia é dividida em seis Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRHs), são elas: Rio Piranga (DO1), Rio Piracicaba (DO2), Rio Santo Antônio (DO3), Rio Suaçuí (DO4), Rio Caratinga (DO5) e Rio Manhuaçu (DO6) (SOUZA et al., 2010). Já no Estado do Espírito Santo existem três unidades de análise que fazem parte da bacia do Rio Doce: UA Guandu, UA Santa Maria do Doce e UA São José (PIRH DOCE, 2010) (Figura 4).

**Figura 4:** Comitês de bacia hidrográfica e domínio dos cursos d'água da bacia do Doce.



Fonte: ANA (2016).

## 5.1 Caracterização Socioeconômica

Na Bacia, a população total é superior a 3,5 milhões de habitantes, sendo que 70% vive na área urbana. No entanto, ainda existe um grande número de pessoas vivendo na área rural. Em alguns municípios, por exemplo, a quantidade chega a ser maior que em áreas urbanas, sendo a principal atividade econômica dessa população a exploração agropecuária (PIRH DOCE, 2010).

A atividade econômica na Bacia é bem diversificada, podendo destacar: a agropecuária, com lavouras tradicionais, reflorestamento, cultura de café, cana-de-açúcar, criação de gado leiteiro e de corte e na suinocultura; a agroindústria (sucroalcooleira); a mineração com extração de ferro, ouro bauxita, manganês, pedras preciosas e outros; a indústria de celulose, siderúrgica e laticínios; o comércio e serviços de apoio às indústrias; e a geração de energia elétrica (PIRH DOCE, 2010).

No que diz respeito à geração de energia elétrica, a Bacia do Rio Doce possui grande potencial hidroelétrico. Nos últimos anos, vários empreendimentos foram instalados ao longo do Rio, sendo que atualmente, encontram em operação 10 usinas hidrelétricas (UHEs), sendo 4 delas localizadas no Rio Doce e 6 em seus afluentes. Existem ainda 29

pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) em operação e outros 148 outros aproveitamentos hidrelétricos na bacia, em funcionamento ou em outras fases de implantação (ANEEL, 2015 apud ANA, 2016).

Além disso, vale ressaltar que, a intensa atividade de mineração desenvolvida há anos na região foi impulsionada, dentre outros motivos, pelas grandes reservas de minerais existentes. A extração mineral e uso e cobertura do solo na Bacia do Rio Doce expandiu concomitante ao crescimento econômico, acarretando diversos impactos, principalmente, nos cursos d'água, que recebem, transportam e funcionam como autodepuradores dos rejeitos e efluentes gerados por essa atividade e outras existentes na bacia (ANA, 2016).

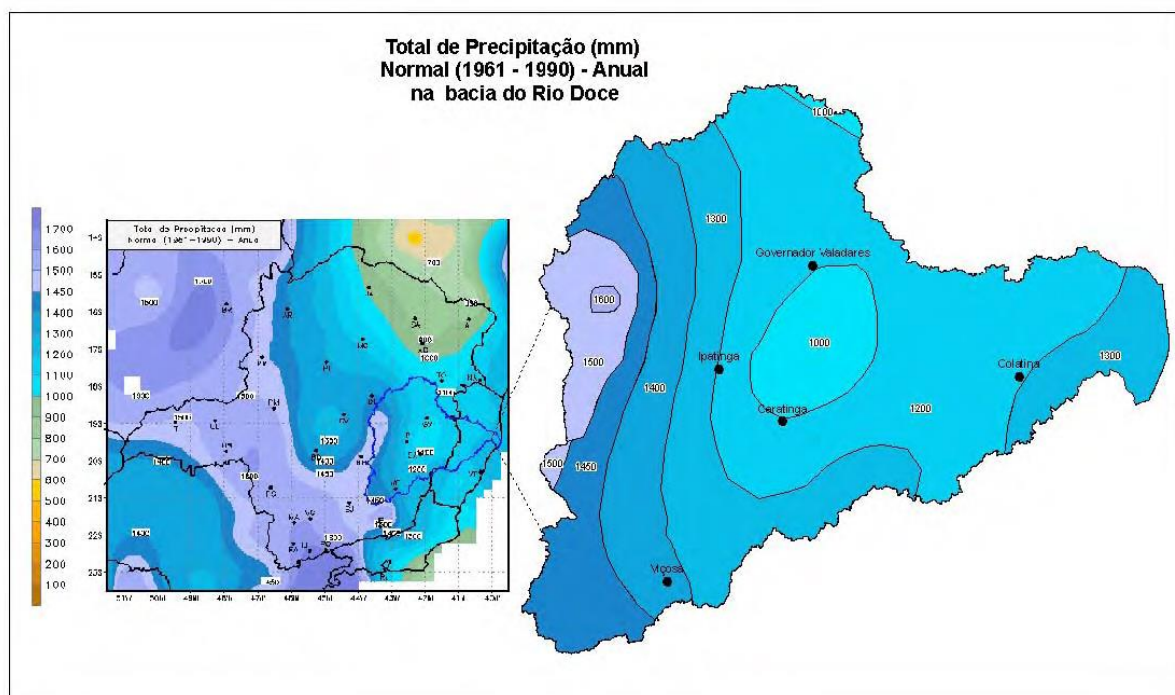
O acentuado desenvolvimento dessas atividades na bacia ao longo dos anos, trouxe vários problemas ambientais. O desmatamento generalizado e o mau uso dos solos, ocasionado pela agricultura ou pastagens, tem levado a região a vários processos erosivos, cujos os sedimentos tendem a assorear os cursos d'água. A urbanização também acarreta vários impactos nos cursos d'água, principalmente pela falta de saneamento na região.

Outro problema evidenciado é a ocorrência de inundações que acarreta graves prejuízos na Bacia, as causas dentre aquelas já citadas, estão os despejos inadequados advindos da mineração e de resíduos industriais, além da ocupação desordenada e sem planejamento ao longo das planícies de inundação dos Rios (PIRH DOCE, 2010).

## **5.2 Caracterização Físico-Biótica**

Na bacia são identificados três tipos climáticos, de acordo com a classificação de Koppen (Figura 5), sendo eles: tropical de altitude com chuvas de verão e verões frescos, tropical de altitude com chuvas de verão e verões quentes e clima quente com chuvas de verão (SOUZA et al., 2010).

**Figura 5:** Precipitação média anual na Bacia (1961 a 1990)



Fonte: PIRH (2013).

O regime pluviométrico da bacia é dividido em dois modos bem diferentes. O período chuvoso, que se estende de outubro a março, sendo os maiores índices no mês de dezembro, com precipitações nesse período variando de 800 a 1300 mm. E o segundo, período seco que se estende de abril a setembro, com estiagem mais crítica de junho a agosto, com precipitação variando entre 150 a 250mm (PIRH DOCE, 2010).

As chuvas se concentram ao longo da Serra do Espinhaço, nas cabeceiras da bacia, havendo uma zona de depressão pluviométrica na região de Governador Valadares. Nas regiões próximas ao litoral as precipitações voltam a subir. Já no período de inverno, é marcado por vazões médias reduzidas, podendo ocasionar déficits hídricos (SOUZA et al., 2010).

As temperaturas na região variam de 18° a 24,6°, sendo essas registradas em Barbacena e Aimorés, respectivamente. Os meses de janeiro e fevereiro são marcados pelo período mais quente, enquanto, que em junho e julho as temperaturas são mínimas (PIRH DOCE, 2010).

Quanto aos aspectos da fitofisionomia (tipos de vegetação) da bacia, 98% da sua área está inserida dentro do Bioma Mata Atlântica, sendo o restante pertencente ao Bioma Cerrado. A Mata Atlântica é um dos mais importantes e ameaçados do mundo, compreende a cobertura florestal que se estende sobre a cadeia montanhosa litorânea ao longo do Oceano Atlântico. O Cerrado é uma unidade ecológica típica da zona tropical, caracterizado por vegetação típica de savana com vários graus de densidade na maior parte

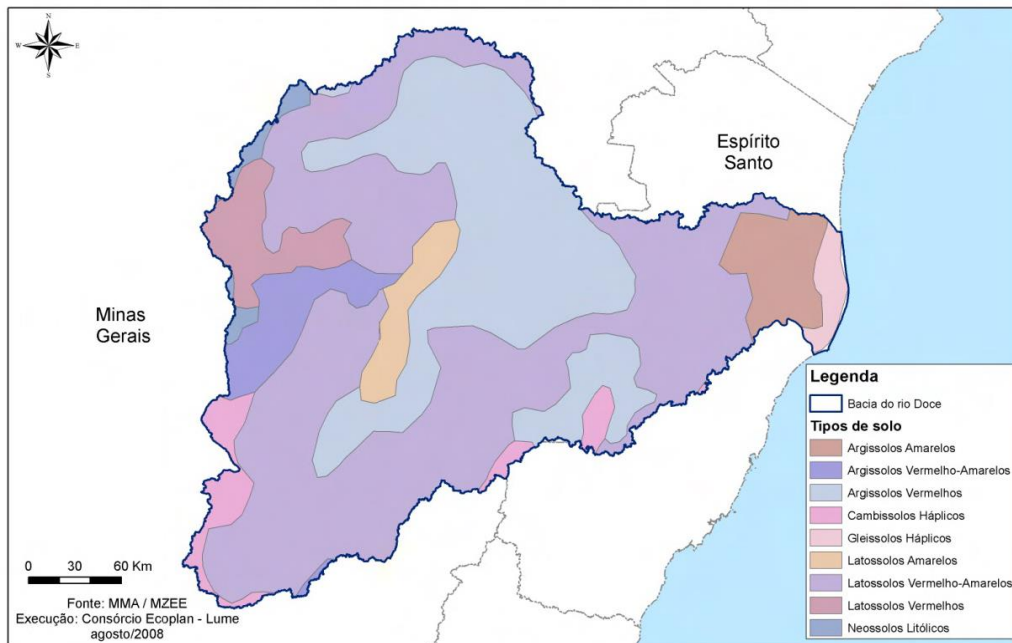
do terreno, o restante é composto por áreas florestadas de fundo de vale, ou por veredas, além de manchas de florestas em terrenos de interflúvio (SOUZA et al., 2010).

Ao longo dos anos, os dois biomas foram e estão sendo substituídos pelo uso intensivo da pecuária, agricultura, reflorestamentos, ocupação urbana e outras intervenções. No intuito de tentar frear essa devastação, medidas para conservar os biomas estão sendo realizados na bacia. A delimitação de áreas prioritárias é uma forma de enfatizar a proteção e contribuir para a conservação dos ecossistemas (SOUZA et al., 2010).

Na Bacia do Rio do Doce, os solos que predominam são de dois tipos, os Latossolos Vermelho amarelo e os Argissolos Vermelho- amarelo. Todavia, deve-se ressaltar que, em menor porcentagem, existem outros tipos de solos, como: latossolo húmico, solos litólicos, cambissolos e afloramentos de rochas, dentre outros (SOUZA et al., 2010). A Figura 6 caracteriza os dois tipos de solos predominantes na bacia do Rio Doce.

Os Latossolos Vermelho-amarelo caracterizam-se por solos acentuadamente drenados e ocorrem principalmente nos planaltos dissecados. Esta tipologia apresenta solos com baixa saturação de bases (distróficos) e alta saturação com alumínio (álícos). Ainda deve-se ressaltar que eles são formados de rochas predominantemente gnáissicas, leuco e mesocráticas, de caráter ácido, magmáticos charnoquitos, xistos e de depósitos argilo-arenosos (SOUZA et al., 2010).

A outra classe são os Argissolos Vermelho Amarelo, os quais são formados a partir de gnaisses diversos, além de charnoquitos, xistos e magmáticos. O principal uso desse solo é a pastagem, bem como para plantação de milho, arroz e, etc., nos vales e capim colônia nos solos eutróficos. A limitação desse solo é o relevo, pois, por ser fortemente ondulado e/ou montanhoso, possui grande susceptibilidade à erosão, restringindo os usos com pastagens e culturas permanentes de ciclo longo, como café e citrus.

**Figura 6:** Mapa de solos da Bacia do Rio Doce

Fonte: PIRH (2013).

Para caracterização dos compartimentos topográficos é de grande importância conhecer os critérios de ordem litoestrutural. Na bacia do Rio Doce são encontradas 6 (seis) unidades geomorfológicas (Figura 7), sendo elas (SOUZA et al., 2010):

- Os Planaltos Dissecados do Centro-Sul e do Leste de Minas: correspondendo à 70% da área da bacia, com predomínio de dissecação fluvial do tipo colinas, cristas, pontões e vales encaixados, composta por rochas granito-gnáissicas do embasamento.

- A Depressão do Rio Doce: localizada ao longo do rio e seus afluentes é uma zona rebaixada, com altitudes variando de 250 a 500m. A composição litológica nessa área é formada por biotita xistos, migmatitos, granitos e anfíbolitos.

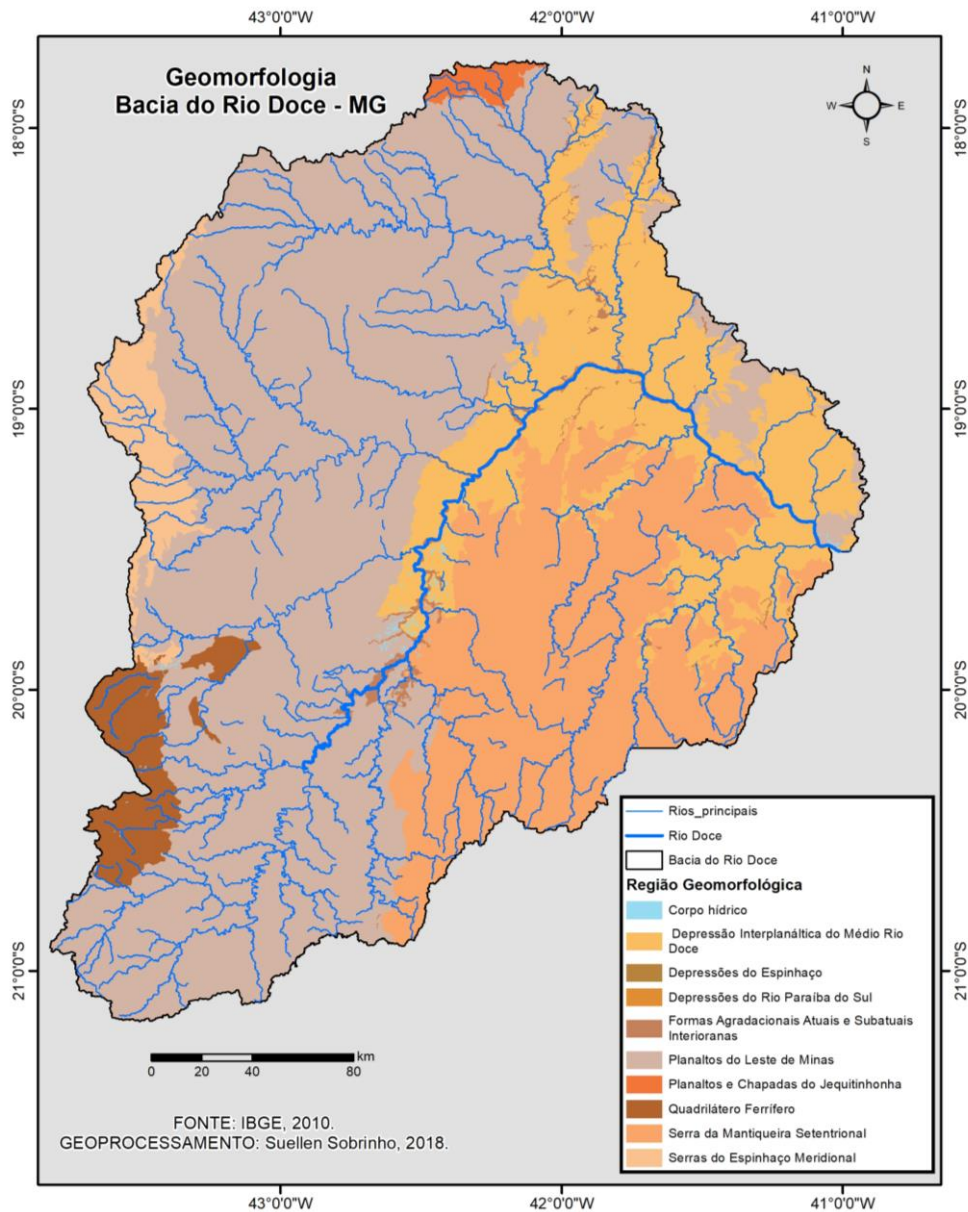
- Serra do Espinhaço: caracterizada por um conjunto de relevos ruiformes resultantes de processos de dissecação fluvial, com rochas predominantemente quartzíticas.

- O Quadrilátero Ferrífero: caracterizado por um conjunto de relevos acidentados, localizado na extremidade sudoeste da bacia. Sua altitude varia entre 1100 a 1700m, sendo que na unidade morfoestrutural sobressaem os alinhamentos de cristais com vales encaixados e vertentes de ravinas.

- As Superfícies Aplainadas Sublitorâneas: correspondem à área de transição entre as formas litorâneas e as colinas dos Planaltos Dissecados. Caracterizam-se por extensas áreas planas e um conjunto de interflúvios tabulares (t), com predominância de rochas arenitos feldspáticos e arcósios.

- As Planícies Fluviomarinhas: planícies fluviais e terraços de origem marinha e fluviomarinha, englobando os sedimentos aluviais e marinhos depositados. As planícies são influenciadas por oscilações eustáticas e climáticas, além do controle tectonismo regional.

**Figura 7:** Mapa de geomorfologia da Bacia do Rio Doce



Fonte: Própria autora.

O estudo da caracterização do solo e relevo da Bacia do Rio Doce é fundamental para descrever a condição de fragilidade no que refere à susceptibilidade à erosão. Sendo que, 58% da área da bacia possui susceptibilidade forte e 30% apresenta susceptibilidade média. Vale ressaltar também que, o relevo bastante acidentado na bacia limita as atividades econômicas e a ocupação urbana do solo, fazendo com que a produção do espaço urbano se concentrasse junto ao talvegue dos cursos de água, em áreas suscetíveis a inundações (ANA, 2016).

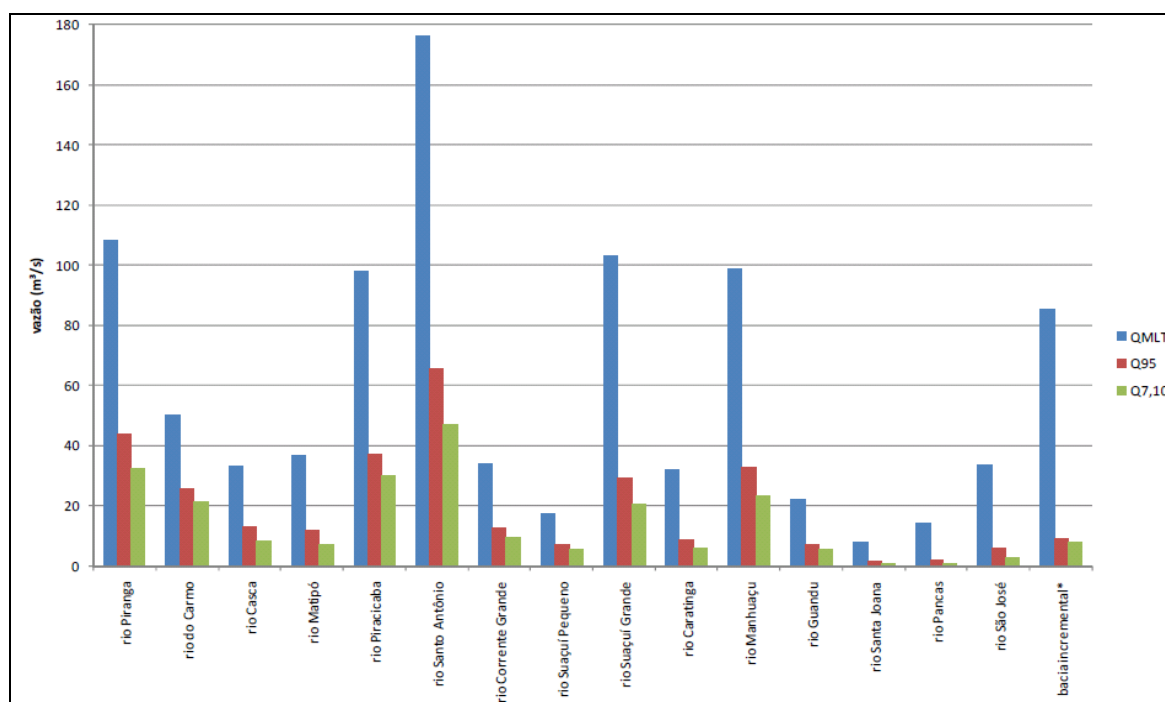
### 5.3 Situação dos Recursos Hídricos

Nesse item será abordado os dados relativos à fluviometria, disponibilidade, usos e demandas balaço hídrico, potenciais de conflitos e conflitos identificados, análise de qualidade e vulnerabilidade.

Em relação à disponibilidade hídrica superficial na Bacia do Rio Doce, pode-se dizer que a situação atual é considerada favorável avaliando o contexto nacional. As características, entre outras, o tipo de solo e o regime da chuva são associadas às maiores vazões específicas (SOUZA et al., 2010). Considerando as bacias hidrográficas com formações sedimentares e maiores áreas de drenagem e/ou com regularidade das chuvas, apresentam vazões de estiagem entre 15 e 20% da vazão média. Em comparação com locais de terrenos cristalinos, com regime de chuva irregular apresentam vazões de estiagem inferiores a 10% da vazão média (Caderno Regional Atlântico Leste, PNRH, ANA, 2005 apud PIRH DOCE, 2010).

A Figura 8 demonstra que a sub-bacia do rio Santo Antônio fornece a maior disponibilidade hídrica, seguida pela sub-bacia do rio Piranga, com 108 m<sup>3</sup>/s (11%) e posterior pela sub-bacia do rio Suaçuí Grande (10,9%), Piracicaba e sub-bacia do rio Manhuaçu (PIRH DOCE, 2010).

**Figura 8:** Disponibilidade hídrica superficial por Sub-bacia

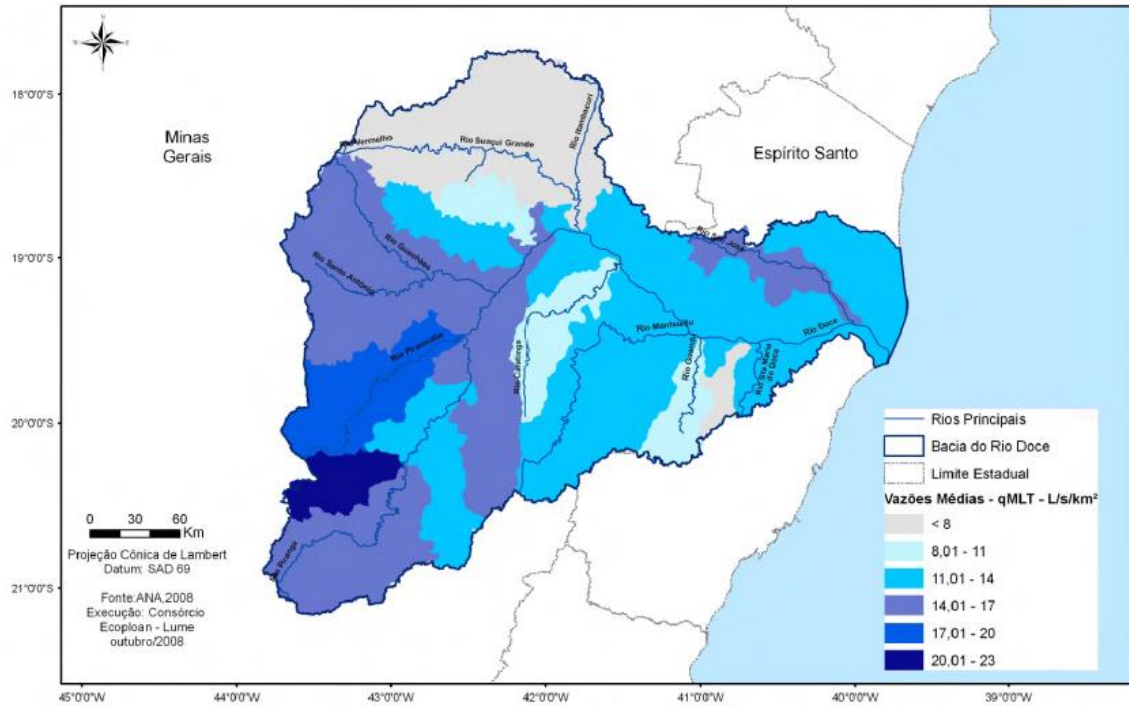


Fonte: PIRH (2013).

Segundo o Plano Integrado da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (2010), quando comparado os valores da Q7,10 (vazão mínima com 7 dias de duração e 10 anos de período

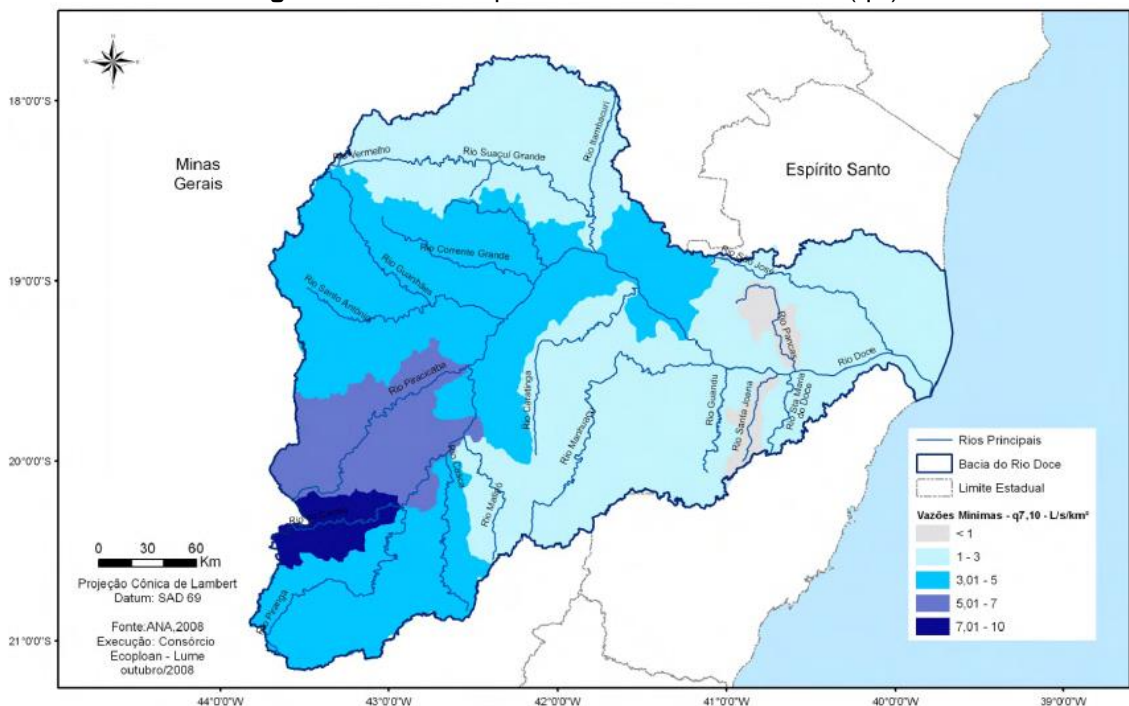
de retorno) com a QMLT (vazão média de longo tempo) os percentuais variam entre 10% no Baixo rio Doce e superiores a 30% nas sub-bacias localizadas nas cabeceiras, o que demonstra a variabilidade na disponibilidade hídrica na bacia, demandando ações distintas (SOUZA et al., 2010). As Figuras 9 e 10 permite análise quanto à disponibilidade hídrica em termos de vazões específicas média e de estiagem nas quinze sub-bacias.

**Figura 9:** Vazão Específica Média de Longo Termo ( $q_{MLT}$ )



Fonte: PIRH (2013).

**Figura 10:** Vazão Específica Média Relativa à  $Q_{95}$  ( $q_{95}$ )



Fonte: PIRH (2013).

Para as vazões específicas que indicam regiões mais ou menos produtoras de água, na Bacia do Rio Doce, essa vazão varia de menos de 8L/s.km<sup>2</sup> (sub-bacia do Rio Suaçuí Grande) até mais de 22 L/s. km<sup>2</sup> (sub-bacia do rio do Carmo), sendo a média da bacia igual a 11 L/s. km<sup>2</sup> (SOUZA et al., 2010). Em termos de vazão média anual, são registrados 900 m<sup>3</sup>/s na foz da bacia (CPRM, 2018).

No contexto, do uso dos recursos hídricos, através dos dados de outorga de capacitação de água é possível determinar que o abastecimento industrial nas regiões das bacias do rio Piracicaba e Santo Antônio (UPGRH DO2 e DO3) possui maior uso, com elevadas vazões outorgadas (SOUZA et al., 2010).

No PIRH DOCE (2010), em relação à distribuição de demandas, 75% do volume explorado na bacia é para irrigação (baixo rio Doce). Nas bacias do Piracicaba (DO2) e Piranga (DO1) são expressivas as demandas para abastecimento humano. No balanço hídrico, quase toda a bacia possui uma situação favorável, apenas nas sub-bacias dos rios Pancas e Santa Joana no Espírito Santo há situações desfavoráveis. Nas regiões favoráveis não se encontram restrições de uso da água, podendo atender aos usos consultivos preponderantes.

Segundo Souza et.al. (2010), a qualidade da água e os principais aspectos de vulnerabilidade na Bacia do Rio doce, estão associados, principalmente, aos: lançamento de efluentes domésticos sem tratamento adequado; disposição inadequada de resíduos sólidos; despejo de efluentes industriais e o uso inadequado do solo, propiciando erosão e carreamento de sedimentos potencializado pelas condições climáticas. Ainda segundo o autor, em todos os pontos de amostragem, os parâmetros apresentam resultados elevados para o padrão classe 2, relacionados à erosão do solo (turbidez sólidos suspensos) e insumos agrícolas (fósforo, cobre, manganês).

As informações relacionadas à disponibilidade hídrica subterrânea são analisadas através das bases de dados dos 498 poços de captação selecionados que apresentavam dados de vazão específica. A distribuição da vazão específica na Bacia do rio Doce com base nos poços tubulares inventariados apresenta poços com vazão inferior a 0,01 m<sup>3</sup> que foram descartados. Além disso, nas áreas onde ocorre agrupamento de poços foi utilizado vazão específica média.

## **5.4 Enquadramento da Bacia**

Segundo a Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005, as águas doces do território nacional são classificadas em 5 classes de qualidade, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes. Na Bacia do Rio Doce, a maior parte dos cursos d'água se enquadram nas classes 1 e 2, de acordo com a proposição de

enquadramento do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e Planos de ações para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce – PIRH Doce (SOUZA et al.,2010).

Para os cursos d'água classificados como classe 1, a Resolução CONAMA 357, em seu artigo 4º, define os seguintes usos:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas. (BRASIL, 2005)

Os cursos d'água classificados como classe 2, são destinados para os seguintes usos:

- “a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) à aquicultura e à atividade de pesca” (BRASIL, 2005).

## **5.5 Desastre na Bacia do Rio Doce – Barragem de Fundão em Mariana/MG**

Na região que compreende os municípios de Ouro Preto e Mariana está localizada a mina de Alegria, uma grande reserva de minério de ferro estimada em 4 bilhões de toneladas (ANA, 2016). O minério de ferro da região é extraído e beneficiado na unidade de Germano pela empresa Samarco Mineração S/A. A Samarco é uma empresa de grande porte de propriedade da Vale S/A e BHP Billiton Brasil Ltda.

A estocagem de todo o rejeito resultante do processo de extração e beneficiamento do minério de ferro eram direcionados para três reservatórios na mina em Mariana: Santarém, Fundão e Germano. A Barragem de Fundão era a mais nova delas, a qual foi inaugurada em 2008, com potencial de estocagem de 55 milhões de metros cúbicos, e apresentava altura de 100 metros, sendo classificada como estrutura de classe III de acordo com os critérios estabelecidos na DN 87/2005 (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2016).

A barragem de Fundão localizava-se no vale do córrego de Fundão, adjacente do reservatório do Germano, conforme Figura 11. O projeto da barragem utilizou o método construtivo para alteamentos a montante, no qual a instalação é feita com um dique inicial e diques de alteamento no talude de montante utilizando material de empréstimo. Segundo os autores Santos, Curi e Silva (2010), esse tipo de método não é recomendado para grandes volumes de água, além disso, possui baixa segurança, pois não é possível a implantação de uma drenagem interna o que causar instabilidade e *piping* da estrutura.

**Figura 11:** Localização das barragens da Samarco



Fonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente (2016).

O rompimento da barragem de Fundão, e o galgamento da barragem de Santarém, no dia 5 de novembro de 2015, ocasionaram em um dos maiores desastres ambientais do Estado de Minas Gerais. Cerca de 34 milhões de m<sup>3</sup> de rejeito de mineração, água e materiais da sua construção foram liberados, causando não apenas impactos ambientais, mas também socioeconômicos na Bacia do Rio Doce. A lama atingiu uma área de aproximadamente de 1.500 hectares, as planícies de inundação dos rios tributários, bem como parte da vegetação e do substrato a jusante da barragem foram atingidos (ANA, 2016).

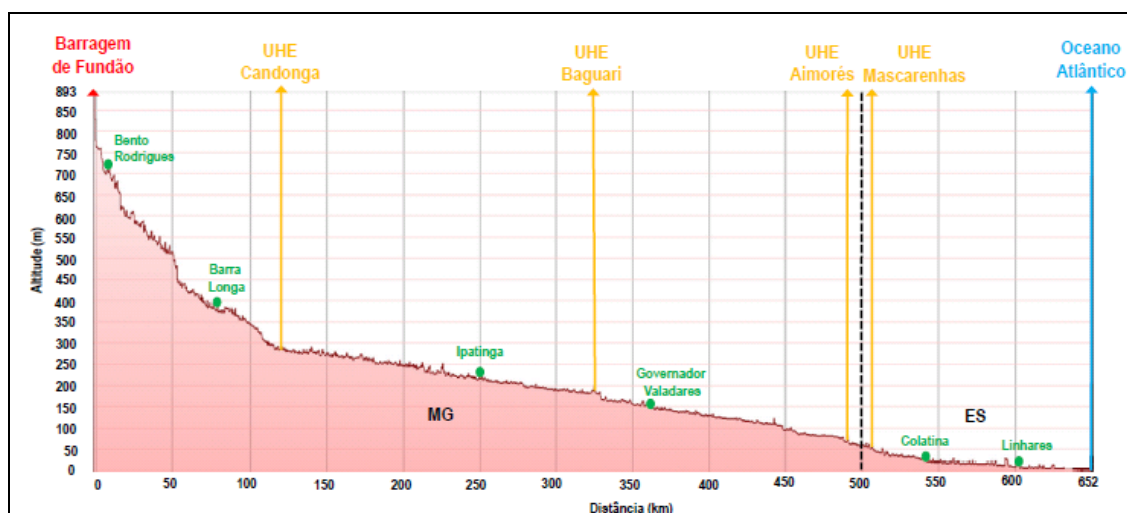
O distrito de Bento Rodrigues, no município de Mariana, situado à 5 km das barragens, foi praticamente destruído pela avalanche de lama, junto com água e detritos. Muitos imóveis foram destruídos, além de várias vítimas fatais. De acordo com informações extraídas do site da Samarco, 39 municípios foram impactos nos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo. Dos municípios afetados, 12 desses tiveram seu abastecimento

prejudicado por captarem diretamente ou parcialmente no Rio Doce, conforme notícia divulgada pelo portal do jornal Estado de Minas, sendo eles, Governador Valadares, Alpercata, Conselheiro Pena, Resplendor, Tumiritinga, Galileia, Periquito e Itueta (em Minas Gerais), Baixo Guandu, Colatina e Linhares (no Espírito Santo).

Segundo a Agência Nacional das Águas - ANA (2016), a lama percorreu mais de 650 km até o litoral do Espírito Santo, na cidade de Linhares. A lama perdeu parte da sua força ao chegar à hidrelétrica de Candonga (posteriormente chamada de UHE Risoleta Neves), e no trecho entre Candonga e a hidrelétrica de Baguari, onde grande parte dos rejeitos foram barrados, impedindo que prosseguisse pelo rio até alcançar o oceano (ANA, 2016).

Os impactos ao longo do Rio Doce podem ser estudados através do perfil longitudinal do curso d'água onde estão instalados os barramentos de Candonga, Baguari, Aimorés e Mascarenhas, conforme registrado na Figura 12 (ANA, 2016).

**Figura 12:** Perfil longitudinal do curso d'água afetado pelo rompimento da Barragem de Fundão.



Fonte: ANA (2016)

De acordo com ANA (2016), a barragem da hidrelétrica Risoleta Neves, conforme observado a figura anterior foi o mais afetado dentre os demais barramentos. Cerca de 9 hm<sup>3</sup> de sedimentos ficaram retidos no reservatório, o qual equivale à 30% do rejeito derramado com o rompimento da barragem de Fundão. Devido à concentração de rejeitos, também barrados no trecho entre as hidrelétricas de Candonga e Baguari, a qualidade da água foi severamente afetada, atingindo níveis elevados de turbidez e concentração de poluentes após o acidente.

À jusante do barramento de Baguari, a lama depositou na planície de inundação. Nessa região estão localizadas as cidades mais populosas do curso do Rio Doce, como Governador Valadares (MG) e Colatina (ES). Devido a esse evento, a alta turbidez na água interrompeu o abastecimento das cidades nos dias seguintes ao acidente (ANA, 2016).



Além dos dados de qualidade das águas, provenientes do monitoramento do IGAM na da Bacia do Rio Doce, tomando como base seis estações de amostragem localizadas antes e depois de cada barramento escolhido. O presente estudo também utilizou de dados de uso da água e uso e ocupação solo do entorno dos reservatórios para a interpretação dos resultados, no intuito de se aplicar uma metodologia que atendesse aos objetivos propostos.

### 6.1.1 UHE Risoleta Neves (Candongá)

A usina hidrelétrica de Candonga teve sua construção iniciada em 2001 iniciou suas operações no dia 07 de setembro de 2004, pelo Consórcio Candonga, formada, na época, por Vale e Alcan Alumínio do Brasil. No ano seguinte, A UHE Candonga passou a ser chamada UHE Risoleta Neves em homenagem a esposa do ex-presidente do Brasil, Tancredo Neves (USINA HIDRELÉTRICA RISOLETA NEVES).

Atualmente, a usina é administrada pelo Consórcio Candonga, composto por Aliança Energia (50%) e Vale (50%). O reservatório está localizado na latitude 20°12'31" S e longitude 42°51'19" O, próximo à cabeira do rio, entre os municípios de Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado, na Zona da Mata de Minas. A UHE é considerada de fio d'água e, seu reservatório tem uma área de 2,86 km<sup>2</sup>. Deve-se ressaltar que, sua energia assegurada anual é de 64,5 MW/h, de acordo com o contrato de concessão da ANEEL (ALIANÇA GERAÇÃO DE ENERGIA S.A). Os dados hidráulico-operativos do reservatório de Risoleta Neves encontram-se na Tabela 4.

**Tabela 4:** Dados Hidráulico-Operativos da UHE Risoleta Neves

POTÊNCIA DE GERAÇÃO (MW/H)	ÁREA DO RESERVATÓRIO (KM <sup>2</sup> )	VOLUME (HM <sup>3</sup> )	ALTURA (M)	VAZÃO JUSANTE (M <sup>3</sup> /S)	TAMANHO DO VERTEDOIRO
140	2,86	41,9	53 m	180	12 m largura x 57,81 m comprimento

Fonte: Aliança Geração de Energia S.A, adaptado pela autora.

Após o rompimento da barragem de Fundão, a usina de Risoleta Neves represou grande parte dos rejeitos em seu reservatório, o que desencadeou avarias nas estruturas do vertedouro. Em consequência, o reservatório foi deplecionado em mais de 15 metros, as atividades interrompidas e a arrecadação municipal prejudicada (ANA, 2016). Algumas medidas de reparação foram realizadas no reservatório com intuito de viabilizar o retorno das operações, como, por exemplo, a retirada de parte do rejeito, a construção de dois barramentos metálicos para contenção de sedimentos e o terceiro a ser concluída, a implantação de sistema de tratamento de rejeito e tratamento de efluente, dentro outros

(RENOVA). No entanto, mesmo com essas ações já iniciadas, ainda serão necessárias algumas intervenções para que a usina volte a operar normalmente.

Segundo o PIRH da Bacia do Rio Doce, as demandas atuais na bacia baseiam-se nos usos não consultivos e usos consultivos, sendo esses, irrigação, abastecimento humano, dessedentação animal e consumo industrial. Na Área Diretamente Atingida da UHE Risoleta Neves, de acordo com Parecer Único da SUPRAM, o uso preponderante dos recursos hídricos são para dessedentação de animais e atividades agrícolas que necessitam de irrigação via aspersão. Essa atividade foi evidenciada em apenas uma propriedade na margem direita, sendo está utilizando das águas do reservatório. Os demais usos são a pesca amadora e recreação com pequenas embarcações.

Ainda segundo esse documento, no entorno do reservatório, a ocupação é pouco adensada, onde a água do lago é considerada de baixa qualidade devido ao lançamento de esgotos *in natura* no rio. Esse evento contribuiu diretamente para contaminação das águas, sendo um dos principais problemas na área de inserção da UHE, verificando como um ponto de vulnerabilidade para o aproveitamento dos recursos hídricos.

Em relação ao uso e ocupação do solo, de acordo com dados presentes no Parecer Único da SUPRAM, da fase de revalidação da Licença de Operação (REVLO) da UHE Risoleta Neves, na etapa de operação do empreendimento ocorreram alienação involuntária de patrimônios devido à inundação de terras provocando modificações do uso solo nas margens, afetando as produções agrícolas e pecuárias, bem como, a perda dos locais de trabalho no ambiente rural.

O uso e ocupação do solo no entorno, posterior à instalação da usina continuou predominando as pastagens (cultivada e nativa) e fragmentos de mata ciliar que foram recompostas pela operadora da usina e nas encostas.

A atividade predominante desenvolvida nas áreas rurais do entorno do reservatório é a pecuária, ocupada em sua maior parte por pastagem em bom estado de conservação e pasto sujo, em estágio inicial de regeneração. Em segundo lugar, tem-se como ocupação no entorno da usina as áreas remanescentes de Mata Atlântica e de reflorestamento realizada pelo Consorcio Candonga.

Na margem esquerda da usina, a atividade principal é a pecuária, com a bovinocultura de corte e mista utilizando boa parte do solo como pastagem, e pasto com vegetação em regeneração. Uma pequena parcela das propriedades que possuem criação de gado utiliza parte da terra para lavoura de milho, feijão e cana-de-açúcar e/ou capineira, realizada por meio do cultivo tradicional.

Já na margem direita, a principal atividade é a pecuária leiteira onde também é realizado o cultivo de plantações, sendo que parte do milho e feijão produzidos são para consumo dos moradores e alimentação de animais e o restante para comercialização. A

produção da cana-de-açúcar é destinada somente para alimentação do gado. Além disso, é na margem direita, que se localiza o distrito de São Sebastião do Soberdo, com 28 hectares.

Após o reservatório de Risoleta Neves, não contabilizando as áreas do Consórcio, existem ainda várias propriedades rurais, sendo seis na margem esquerda e apenas uma na margem direita do rio Doce.

### 6.1.2 UHE Baguari

A UHE Baguari é operada pelo consócio constituído em 2006 pelas empresas Grupo Neoenergia (51%), Cemig (34%) e Furnas (15%), que são as responsáveis pelo projeto e construção da Usina Hidrelétrica Baguari (ANA, 2016). A usina foi construída no leito do Rio Doce, no município de Governador Valadares, mas também ocupa as cidades de Periquito, Alpercata, Fernandes Tourinho, Sobrália e Lapu, localizadas também no Estado de Minas Gerais (CONSÓRCIO UHE BAGUARI).

As operações das quatro máquinas geradoras da UHE Baguari iniciaram no dia 9 de setembro de 2009, sendo que cada uma possui 35 megawatts (MW). Todas as máquinas funcionando juntas podem atingir a capacidade de 140MW, suficiente para atender uma cidade de 450 mil habitantes (CONSÓRCIO UHE BAGUARI). Os dados de operação e hidráulico da hidrelétrica de Baguari encontram-se na Tabela 5.

**Tabela 5:** Dados Hidráulico-Operativos da UHE Baguari

BARRAGEM	RESERVATÓRIO	VERTEDOURO	GERADOR
Altura máxima: 25 m	Área inundada na cota máxima: 16 km <sup>2</sup>	Comprimento total: 20m	Potência unitária nominal: 39,04 MVA
	Nível de água máximo: 185 m		Frequência nominal: 60 Hz
Comprimento aproximado da crista: 478 m	Nível de água mínimo: 184, 50 m	Número de vãos (comportas): 6	Tensão nominal: 10,5 kV
	Volume de água total: 43,56 m <sup>3</sup>		Corrente nominal: 2.147 A
Cota de operação: 185 m	Extensão: 22 Km no Rio Doce e 5 Km no Rio Corrente Grande	Tipo de comporta: Comportas Segmento	Rotação nominal: 128,57 RPM

Fonte: CONSÓRCIO UHE BAGUARI, adaptado pela autora.

A UHE Baguari também foi atingida pela lama de rejeito, devido ao rompimento da barragem de Fundão. O processo de assoreamento não chegou a níveis graves se comparado, ao que ocorreu na UHE de Candonga, no entanto, suas águas apresentaram elevado grau de turbidez após o acidente. Além disso, houve depósito de lama na planície

de inundação e as atividades na usina de Baguari tiveram que ser interrompidas (ANA, 2016).

Os procedimentos para retorno das operações na usina só iniciaram em 14 março de 2016, de forma gradativa, pois suas atividades dependem da vazão do Rio Doce. Funcionando com apenas uma unidade geradora por vez, a rotina de geração só normalizou no dia 22 de março de 2016, uma semana depois do início dos procedimentos (CONSÓRCIO UHE BAGUARI). A UHE Baguari estava com as operações interrompidas desde o dia 7 de novembro de 2015.

De acordo com dados provenientes do Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial de UHE BAGUARI (BIOS, 2014), a usina está localizada na bacia do rio Doce que pertence ao sistema de drenagem do Atlântico Sul – Trecho Leste, abrangendo os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Historicamente, toda essa área é caracterizada por intensa atividade de exploração florestal que resultou na formação de área de pastagens.

Nesse documento são determinadas diretrizes para uso da água no entorno do reservatório, sendo que seus usos são destinados ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, proteção das comunidades aquáticas, recreação, irrigação, transporte e navegação e atividade pesqueira. As proposições para o uso da água devem observar a disponibilidade hídrica e qualidade da água, seguindo também a Resolução CONAMA n° 357/2005 e CONAMA n° 397/2008.

Segundo o Parecer Único da SUPRAM, que teve como objetivo a liberação da Licença de Operação da UHE Baguari, a área de inserção do empreendimento é praticamente ausente de cobertura vegetal nativa, predominando apenas as pastagens para servir a agropecuária, considerada como atividade expressiva da região, e por reflorestamentos de eucalipto, para atendimento das siderúrgicas no Vale do Aço. As pequenas áreas de cultivo também são observadas. Em se tratando das florestas ciliares foram completamente destruídas, restando apenas poucas árvores distribuídas de forma descontínua, sendo comuns os trechos às margens do rio Doce sem a proteção das árvores onde se observam pastagens.

A implantação do reservatório causou profundas alterações na paisagem do entorno, como a extinção de várias espécies da região. É importante ressaltar que a Área Diretamente Afetada – ADA e a Área de Influência - AI da UHE Baguari é onde se localiza as manchas mais expressivas de floresta estacional semidecidual, representando refúgios da fauna silvestre, pois ainda sustentam altos valores de riqueza, abundância e diversidade de aves florestais. As pastagens com florestas em estágios de regeneração inicial também favorecem comunidades de aves na região.

A Área de Influência do empreendimento, de acordo com Parecer Único, também abrange os municípios de Governador Valadares, Alpercata, Periquito, Fernandes, Tourinho, Sobralia e Iapu. Além disso, a região possui uma grande porção industrializada, outra microrregional de características terciárias e outra sustentada economicamente nas atividades agropecuárias. O desenvolvimento e crescimento demográfico da região intensificou o quadro de desflorestamento e implantação de pastagens nas margens do rio doce, associada a lançamento de esgoto sanitário e lixo urbano, expõe as populações ao risco de diversas doenças e a degradação dos recursos presentes no ambiente.

### 6.1.3 UHE Aimorés

A Usina Hidrelétrica Eliezer Batista, mais conhecida como Usina de Aimorés, foi inaugurada em 5 de maio de 2006. Desde março de 2015, a usina é operada pela empresa Aliança Geração de Energia S.A, que representa a união de duas grandes empresas a Vale (55%) e a Cemig (45%). Localizada na Bacia do Rio Doce, a Usina de Aimorés, abrange quatro municípios, sendo eles, Baixo Guandu (ES), Aimorés, Itueta e Resplendor (MG) (ALIANÇA GERAÇÃO DE ENERGIA S.A).

A quantidade de energia gerada pela UHE Aimorés é definida pela vazão do Rio Doce e pela necessidade do Sistema Interligado Nacional. Na casa de força da hidrelétrica possui 3 unidades geradoras, com potencial de geração de 330 MW e 172 MW de energia média assegurada em operação (ALIANÇA GERAÇÃO DE ENERGIA S.A). Os dados relativos à operação e características hidráulicas da Usina Aimorés são expressos da Tabela 6.

**Tabela 6:** Dados Hidráulico-Operativos da UHE Aimorés.

BARRAGEM	RESERVATÓRIO	VERTEDOURO	CASA DE FORÇA
Altura máxima (m): 18 (p); 25 (aux)	Área inundada na cota máxima: 32,9 km <sup>2</sup>	Nº de comportas: 10 (CS)	Potência unitária nominal: 110 MW
	Nível de água máximo: 90 m	Capacidade máxima (m <sup>3</sup> /s): 17.490	Queda nominal (m): 28
Comprimento (m): 565 (p); 1.015 (aux)	Nível de água mínimo: 89,6 m		
	Volume total máximo (hm <sup>3</sup> ): 185,2 m <sup>3</sup>	Tipo: Superfície controlada	Tipo de turbina: <i>Kaplan</i>
Cota do coroamento: 93	Volume útil máximo (hm <sup>3</sup> ): 12,14		

Fonte: Usinas da CEMIG 1952-2005, adaptado pela autora.

Assim como as outras hidrelétricas já mencionadas, a UHE Aimorés também foi afetada pela lama da barragem de Fundão, porém, em uma menor escala devido à retenção

dos materiais na UHE de Candonga. Foi necessária a retirada da água limpa para abastecimento antes da chegada dos rejeitos, sendo utilizado o que foi armazenado nas turbinas.

A deposição de lama no reservatório foi pouco significativa, mesmo assim, as atividades das turbinas, que geram energia elétrica, foram interrompidas até a realização da avaliação dos impactos devido à passagem dos rejeitos pelo Rio Doce (ALIANÇA GERAÇÃO DE ENERGIA S.A). Após cinco meses de suspensão das operações, no dia 3 de maio, a usina voltou a gerar energia, com 63,8 MW médios. Todas as orientações para retomada das atividades seguiram conforme determinação pela Agência Nacional de Águas - ANA.

As informações contidas nesse item foram absorvidas do anexo do Estudo de Impacto Ambiental, realizado na Etapa de Estudos de Viabilidade da Usina Hidrelétrica de Aimorés. Localizada em Minas Gerais, no município de Aimorés, que faz divisa com o município de baixo Guandu, no estado do Espírito Santo, a formação do reservatório inundou parte das terras dos municípios de Resplendor, Itueta e Aimorés.

Segundo o anexo, a região é caracterizada historicamente por intensa atividade de exploração florestal do bioma Mata Atlântica, resultando na formação de extensas áreas de pastagens. Com a área inundada pela formação do reservatório, o rio Doce teve sua calha duplicada em seu maior leito sazonal, tomando uma abrangência circunscrita devido à apropriação do espaço local e regional, com reflexos na vida social e econômica das pessoas residentes tanto na área urbana quanto na rural.

De acordo com estudo de Viabilidade da UHE de Aimorés, não foram identificadas na Área de Influência quaisquer Unidade de Conservação e Preservação. Na região onde está instalada a usina, as terras remanescentes são exploradas para estabelecimentos agropecuários, sendo concentradas na pecuária (principalmente leite, seguida de corte), nas culturas de café, milho, arroz e frutas, extração vegetal e silvicultura que representam uma porcentagem significativa na produção, às demais atividades identificadas são as industriais e de bens e serviços.

O uso dos recursos hídricos ainda tem importante expressão na atividade siderúrgica, industrial e agropecuária, ressaltando também para geração de energia elétrica. A água também possui fundamental importância no abastecimento humano nas cidades e na área rural, na irrigação das produções agrícolas e na dessedentação de animais. Vale ressaltar que a população ainda utiliza a água para lazer, o que vem reduzindo com o passar dos anos. Esse fato se deve, principalmente, ao desenvolvimento urbano desordenado que acarretou a degradação do recurso hídrico da região. Ainda hoje, grande parte dos dejetos é lançada sem nenhum tipo de tratamento, além disso, são encontradas

substâncias químicas e resíduos industriais que comprometem os usos diversos da água, intensificando os problemas ambientais.

## **6.2 Dados de qualidade de água**

O monitoramento da qualidade das águas na bacia hidrográfica do Rio Doce é realizado pelo IGAM através do Projeto Águas de Minas. Este programa realiza o monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas de Minas Gerais desde 1997. Os dados disponibilizados em uma série histórica da qualidade da água do estado são fundamentais para o gerenciamento e planejamento do uso dos recursos hídricos. Na bacia do Rio Doce, ao todo, contempla 64 estações de amostragem de água com a periodicidade trimestral, onde 12 dessas estão localizadas na calha do rio Doce, sendo as coletas realizadas mensalmente (IGAM, 2017).

O rompimento da barragem de Fundão trouxe ao IGAM a necessidade de intensificar o monitoramento já executado na bacia por meio da elaboração do plano de monitoramento emergencial da qualidade das águas, priorizando os principais corpos d'água impactados pelo evento. De acordo com o plano, as coletas que eram inicialmente diárias em 12 pontos da calha do Rio Doce foram necessárias para interpretação e comparação dos resultados com os dados da série histórica de monitoramento. Os parâmetros escolhidos seguiram o critério em função das características do rejeito e da capacidade de arraste e revolvimento de material de fundo que podem causar possíveis alterações nos corpos d'água (IGAM, 2017).

Os dados de monitoramento da série histórica do IGAM e do período intensivo pós rompimento da Barragem de Fundão se fazem essenciais para análise e discussão desse trabalho. As informações de monitoramento da qualidade da água antes e pós acidente são utilizados para análise da qualidade do Rio Doce, comparando a influência das usinas hidrelétricas instaladas na calha do Doce para os resultados da qualidade da água.

Os dados utilizados nesse trabalho foram obtidos do monitoramento de 09 anos compreendido entre outubro de 2008 a fevereiro de 2017. A escolha desse período levou em consideração a variação do número de campanhas, a quantidade de pontos amostrais e sua variação entre campanhas e, ainda o número de parâmetros adotados. A padronização da quantidade de dados e do período escolhido busca a obtenção de uma comparação uniforme bem como a eliminação de possíveis erros durante as análises dos resultados.

### 6.2.1 Estações de monitoramento

Para o presente estudo, foram selecionadas 6, das 12 estações de monitoramento de qualidade da água localizadas na calha de rio Doce utilizadas pelo IGAM para o programa de monitoramento do estado, conforme indicado na Tabela 7 e na Figura 14. Essas 6 estações estão implantadas antes e após cada barramento estudado, o que explica a escolha dessas para avaliação das possíveis influências dos barramentos na qualidade da água no período determinado, antes e após o rompimento da barragem.

As estações RD019 e RD59 são monitoradas desde o ano de 1997, a RD059 desde 1998, a RD044 desde 2000, e as estações RD072 e RD083 desde 2008. As estações escolhidas foram instaladas em anos distintos, esse fato justifica o período escolhido, de 2008 a 2017, para análise dos dados nesse trabalho.

**Tabela 7:** Estações de Monitoramento na Calha do Rio DOCE.

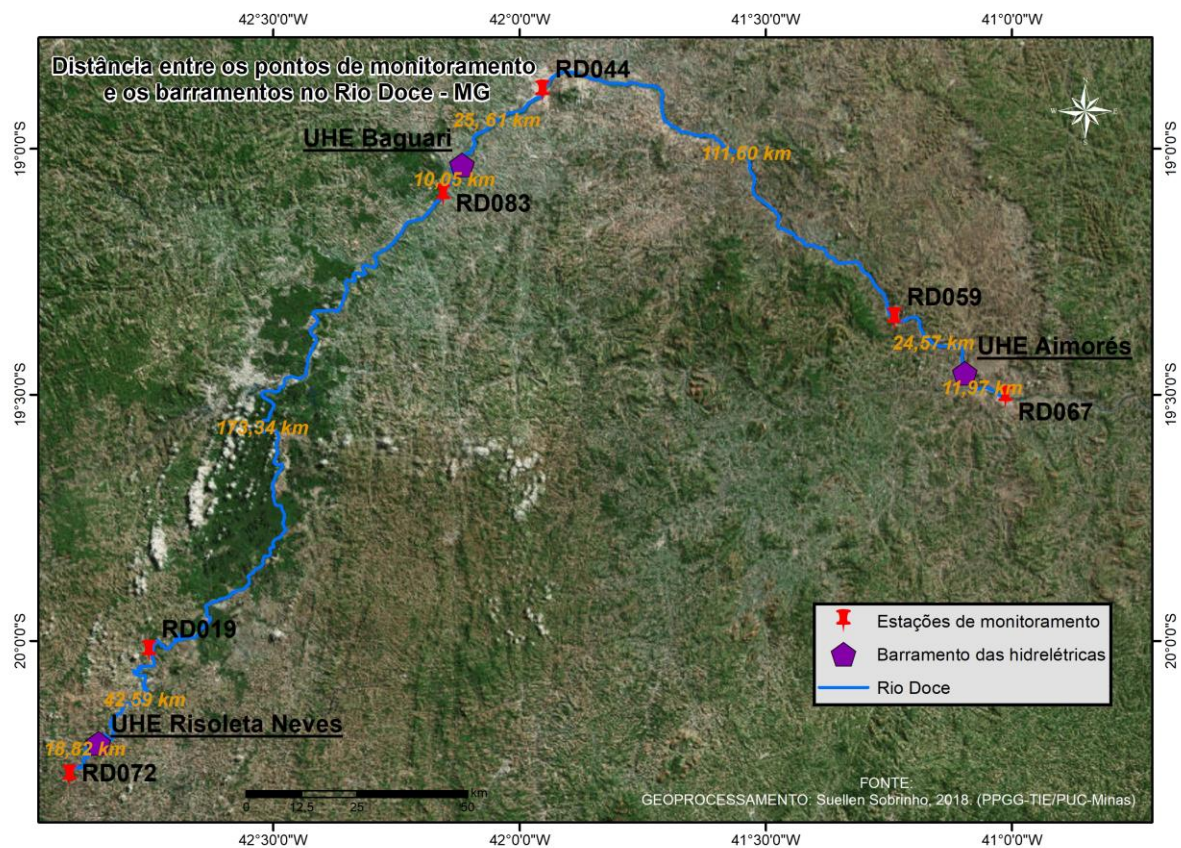
ESTAÇÃO	ANO DE INSTALAÇÃO	LOCALIZAÇÃO	ALTITUDE	CORDENADAS EM GRAUS	
				LATITUDE	LONGITUDE
<b>RD072</b>	2008	A montante da UHE Risoleta Neves (Candonga) / Entre os municípios de Rio Doce (MG) e Santa Cruz do Escalvado (MG).	334	-20,27	-42,92
<b>RD019</b>	1997	A jusante da UHE Risoleta Neves (Candonga) / Entre os municípios de Rio Casca (MG) e São Domingos do Prata (MG)	291	-20,02	-42,75
<b>RD083</b>	2008	A montante de UHE Baguari / Entre os municípios de Fernandes Tourinho (MG) e Periquito (MG)	183	-19,1	-42,15
<b>RD044</b>	2000	A jusante da UHE Baguari / Município de Governador Valadares (MG)	163	-18,88	-41,95
<b>RD059</b>	1997	A montante da UHE Aimorés/ Município de Resplendor (MG)	100	-19,35	-41,24
<b>RD067</b>	1998	A jusante da UHE Aimorés/ entre os municípios de Aimorés (MG) e Baixo Guandu (ES)	80	-19,51	-41,01

Fonte: Própria autora.

A descrição das estações acima foi baseada em dados de relatórios de monitoramento de qualidade da água do IGAM, que são disponibilizados no Portal InfoHidro

que é parte do Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos – InfoHidro. Nesse sistema também são encontrados dados sobre cobrança, cadastro de usuários de recursos hídricos, enquadramento de corpos água, bases cartográficas, planos diretores e estaduais e demais informações sobre recursos hídricos de Minas Gerais, sendo seu o principal objetivo coletar, tratar, armazenar, recuperar, disponibilizar e divulgar as informações que subsidiam a gestão das águas.

**Figura 14:** Localização geográfica das estações de monitoramento e das hidrelétricas na calha do rio Doce.



Fonte: Própria autora.

### 6.3 Definição dos parâmetros adotados

Os dados levantados no Programa de Monitoramento da Qualidade da Água do IGAM referem-se a parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos de qualidade da água. Contudo, dentro do escopo do presente trabalho, não é utilizado todo o conjunto de dados disponíveis no programa de monitoramento. Desta maneira, buscou-se selecionar os parâmetros mais representativos do ponto de vista ambiental e sanitário, sendo esses, os mais comumente utilizados em trabalhos desta natureza, conforme mencionado no capítulo de 4. A tabela 8 apresenta a descrição dos parâmetros escolhidos.

**Tabela 8:** Parâmetros de qualidade da água avaliados neste trabalho

<b>Tipo de parâmetro</b>	<b>Parâmetros avaliados</b>
<b>Físico-químicos</b>	oxigênio dissolvido (OD), sólidos totais, sólidos dissolvidos totais, sólidos em suspensão totais, turbidez, arsênio total (As), alumínio dissolvido (Al), ferro dissolvido (Fe), cobre dissolvido (Cu), cromo total (Cr), cádmio total (Cd), chumbo total (Pb), manganês total (Mn), mercúrio total, níquel total (Ni), zinco total (Zn).

Fonte: Própria autora.

Além das justificativas apresentadas anteriormente, outro critério foi levado em consideração para determinação dos parâmetros da tabela 5, sendo ele, os parâmetros que apresentam padrões ou limites definidos pela legislação ambiental vigente – Resolução CONAMA n° 357/2005. Ressaltando que em toda a bacia do Rio Doce suas águas não possuem classe de enquadramento. No entanto, na meta de gestão até 2030 do PIRH do Rio Doce para classe de enquadramento das águas superficiais de toda a bacia do rio Doce terão qualidade compatível ou melhor do que a classe 2. Nesse trabalho foi considerado para análise, o exposto na Resolução n° 357/2005, onde aponta que os cursos d'água que não tiverem enquadramento, serão considerados de classe 2.

#### **6.4 Técnica para Análise de Dados**

Para o tratamento das informações foram realizados tratamentos estatísticos sobre cada conjunto de parâmetros e para cada estação de amostragem escolhida ao longo da calha do rio Doce. Buscou-se então analisar o comportamento da qualidade da água através dos resultados dos parâmetros, tendo em vista o objetivo principal deste trabalho, ou seja, avaliar as possíveis influências dos barramentos instalados sobre a qualidade da água, no período que antecede e decorre o rompimento da barragem de Fundão.

Assim, na etapa de exploração dos dados, foram utilizadas técnicas de estatística descritiva, ou seja, as informações foram trabalhadas por meio da tabulação eletrônica e cálculos (Microsoft Excel) para geração de gráficos e séries temporais, visando facilitar a leitura, comparação e análise dos resultados. Em seguida, foram elaboradas tabelas contendo a análise estatística básica dos dados, como, número de dados, média aritmética, mediana, valores máximo e mínimo, quartis, percentis, variância, desvio padrão e coeficiente de variação. Para demonstração gráfica, foram confeccionados gráficos de dispersão com média móvel, consolidando todas as variações obtidas para as seis estações estudadas (RD072, RD019, RD083, RD044, RD059 e RD076).

A partir da análise dos gráficos, é possível observar a existência ou não de uma simetria no comportamento das concentrações dos parâmetros estudados. Para se confirmar essa semelhança, será aplicado a correlação linear de Pearson, uma medida estatística que mede o grau de associação entre as variáveis, com dados nas escalas de “intervalos ou de razões”, podendo a correlação variar de +1 a -1. Neste trabalho, para discutir as medidas de coeficiente de correlação linear foram estabelecidos intervalos de correlação (variando de + 1 a -1) (Tabela 9) adaptado do trabalho de Braga et al (2013).

**Tabela 9:** Intervalos de coeficiente de correlação linear.

<b>Coeficiente de Correlação</b>	<b>Correlação</b>
$r = 1$	Perfeita positiva
$0,4 \leq r < 0,7$	Moderada positiva
$r = 0$	Nula
$-0,7 < r \leq -0,4$	Moderada negativa
$r = -1$	Perfeita negativa

Fonte: Braga et al (2013) adaptado pela autora.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do tratamento dos dados e, ainda, comparando-os com a legislação em vigor, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº01/2008 (considerando os limites para classe 2, já que o Rio Doce não possui enquadramento segundo os usos prioritários) buscou-se verificar a existência de possíveis influências da presença dos barramentos nas alterações dos parâmetros de qualidade da água, identificando se os mesmos intensificaram, atenuaram ou não influenciaram na qualidade da água no período escolhido para análise, anterior e posterior ao rompimento da barragem de Fundão em Mariana/MG. Aleijou-se ainda confrontar a qualidade da água com as influências advindas dos usos do solo na bacia hidrográfica, através do levantamento de dados secundários. Além disso, buscou-se verificar se os resultados obtidos estão de acordo com o previsto pela literatura científica, a fim de atender aos dispostos nos objetivos geral e específicos deste trabalho.

Essas influências foram avaliadas no âmbito de cada parâmetro de qualidade da água nas estações de monitoramento escolhida, em conjuntura com a influência dos barramentos. É importante ressaltar que o desastre ocorrido em novembro de 2015 possui interferência direta nas alterações da qualidade da água dos corpos hídricos, devido principalmente à natureza dos rejeitos serem compostas por óxido de ferro e sílica, modificando os níveis de turbidez, ferro dissolvido, manganês total e dos sólidos na água (ANA, 2016). Dessa forma, a ação de outros fatores não relacionadas aos barramentos foram avaliados, a fim de evitar atribuições errôneas aos barramentos sobre a qualidade da água.

Os parâmetros analisados foram divididos em dois grupos, sendo o primeiro formado pelos parâmetros que possuem prováveis influenciadas pela presença dos barramentos e/ou por apresentarem um comportamento diferentes dos demais parâmetros ao logo do período analisado, e o segundo representado pelos parâmetros que apresentam comportamentos semelhantes e por suas características, após a análise, foi diagnosticado que não sofrem influência direta da instalação dos barramentos,

Para demonstrar o grau de semelhança entre o comportamento das variáveis que não apresentaram variação nas suas concentrações pela instalação dos barramentos foi aplicada a correlação linear de Person, onde nesse trabalho foram considerados os coeficientes de  $r=1$  (perfeita positiva),  $0,4 \leq r < 0,7$  ( moderada positiva),  $r = 0$  (nula),  $-0,7 < r \leq -0,4$  (moderada negativa) e  $r = -1$  (perfeita negativa).

## 7.1 Avaliação dos parâmetros físicos e químicos

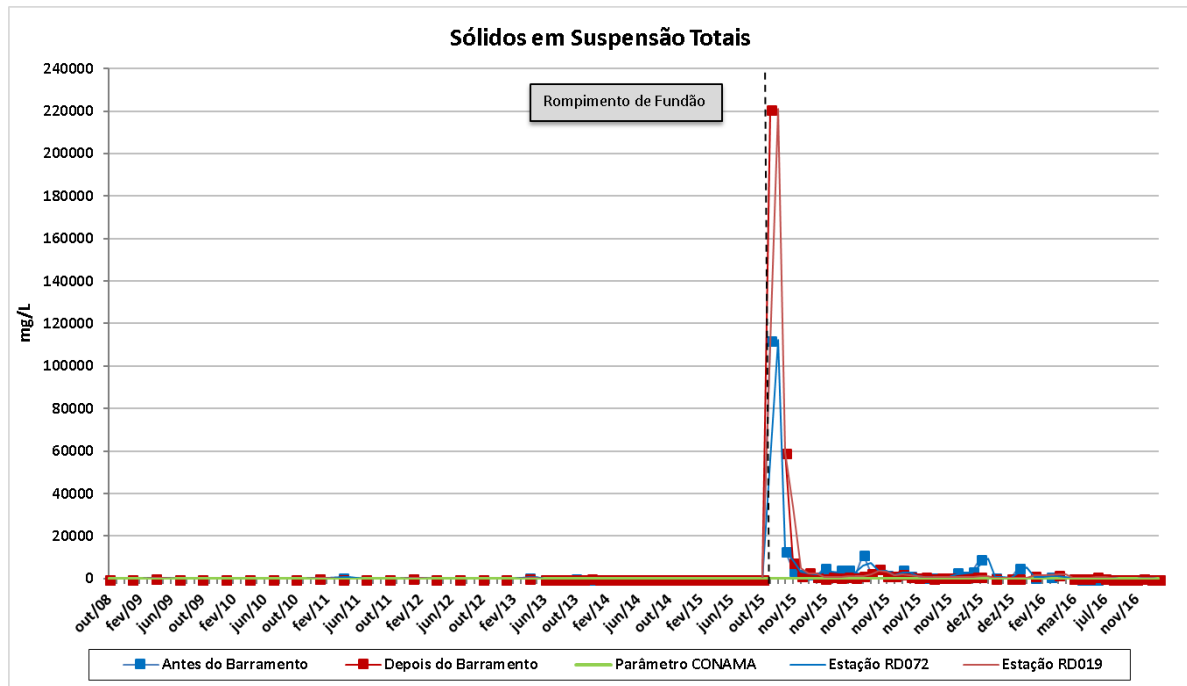
Inicialmente, será discutida uma possível relação entre os parâmetros reunidos no grupo 1, nos quais possuem comportamentos e características semelhantes em termos de concentrações, e a influência de um ou mais barramentos no curso d'água em estudo. Além disso, outro critério foi utilizado para representar os parâmetros desse grupo, em especial o parâmetro de oxigênio dissolvido, por apresentar um desenvolvimento ao longo da série temporal distinto quando comparados com os demais parâmetros, sendo eles: sólidos em suspensão totais (SST), turbidez e oxigênio dissolvido (OD).

- ***Sólidos em Suspensão Total***

Segundo a CETESB (2017), em saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda a matéria orgânica que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado. Sólidos suspensos consistem de partículas insolúveis e de sedimentação lenta. Os impactos nas águas podem ser diversos, como danos aos peixes e à vida aquática. Ao depositarem no leito do rio destroem organismos que fornecem alimento e ainda danificam os leitos de desova dos peixes. Além disso, os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, provendo decomposição anaeróbica.

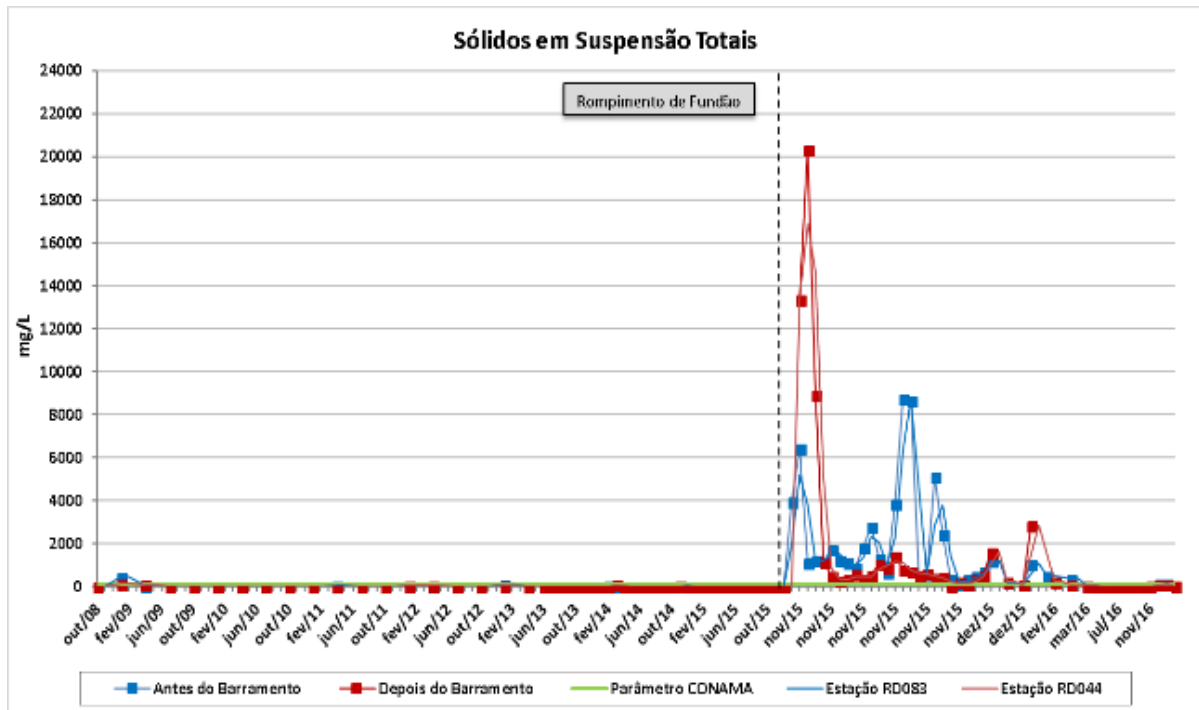
As Figuras 15 a 17 apresenta os gráficos das séries temporais de sólidos em suspensão total em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo do período de outubro/2008 a fevereiro/2017, analisando suas variações antes e depois do rompimento da barragem.

**Figura 15:** Séries temporais dos SST nas estações RD072 e RD019.



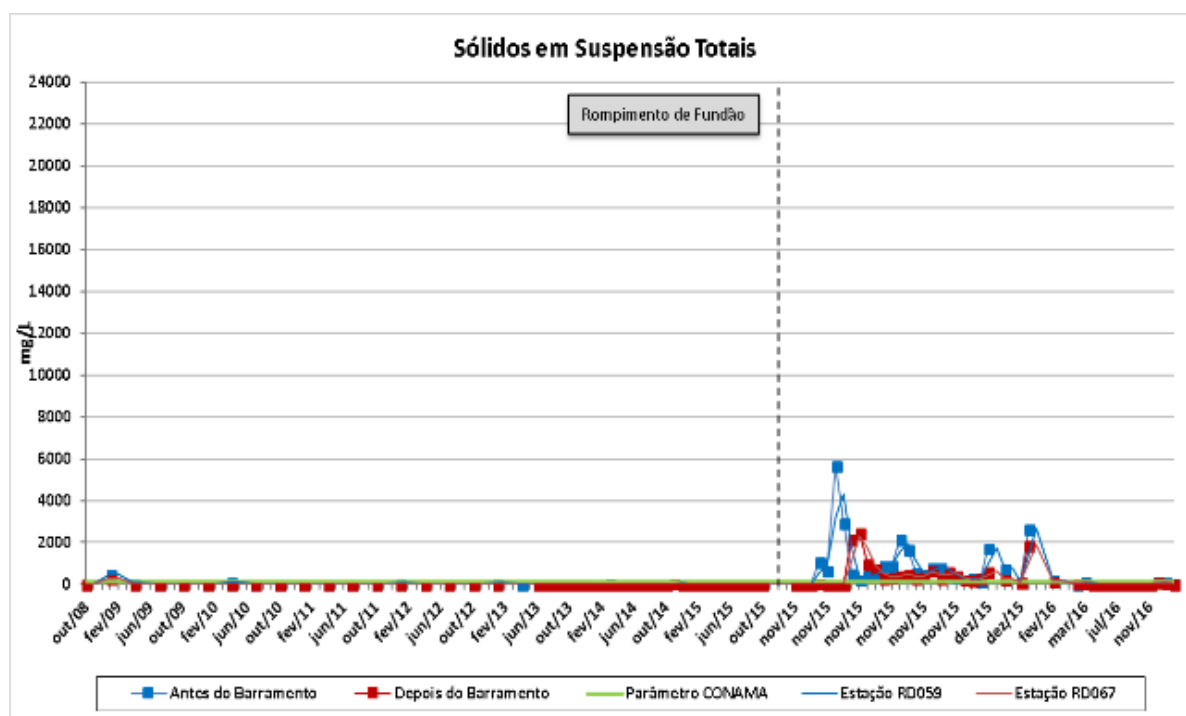
Fonte: Própria autora.

**Figura 16:** Séries temporais dos SST nas estações RD083 e RD044.



Fonte: Própria autora.

**Figura 17:** Séries temporais dos SST nas estações RD059 e RD067.



Fonte: Própria autora.

Analisando os gráficos, antes do rompimento da barragem, podem ser feitas algumas constatações. Percebe-se que há pouca variação nas concentrações de sólidos em suspensão ao longo do tempo. As maiores concentrações são observadas, na maioria das vezes, nas estações que antecedem as usinas instaladas ao longo do rio Doce, (RD072, RD044 e RD059 localizadas antes do barramento de Risoleta Neves, Baguari e Aimorés, respectivamente). Considerando todos os pontos de amostragem para esse período, os valores situaram -se entre 2 mg/L a 894 mg/L. A maior parte dos picos encontrados correspondem às coletas realizadas nos meses de período chuvoso (novembro a março), com exceção para alguns valores elevados detectados nos meses de abril. Devido à intensa atividade minerária desenvolvida na região da bacia, os maiores valores podem estar relacionados à essas atividades.

Levando em consideração os dados das tabelas 10, 11 e 12, as maiores concentrações de médias, máximas e desvios padrões, antes do evento de Fundão, foram encontrados nas estações localizadas antes dos barramentos. Este fato demonstra mais uma vez as contribuições do uso e ocupação do solo, bem como pelas atividades existentes e a contribuição dos afluentes do Rio Doce, aumentando a carga de sedimentos no reservatório. Por outro lado, as concentrações mais baixas nas estações à jusante das usinas (RD019, RD044 e RD067), podem ser resultados da influência da instalação dos barramentos, os quais fazem com que haja aumento do tempo de residência das águas, provendo o processo de sedimentação da carga de sedimentos no reservatório. Segundo

Ruas (2006), o mesmo efeito controle de sedimentos ocasionado pela existência do reservatório localizado mais à montante. Breda (2016), também encontrou os mesmos resultados em seu estudo.

**Tabela 10:** Dados estatísticos da concentração de sólidos em suspensão totais antes e após a UHE de Risoleta Neves.

ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA RISOLETA NEVES				
Estatística	SÓLIDOS EM SUSPENSÃO TOTAIS			
	ANTES DO ACIDENTE		DEPOIS DO ACIDENTE	
	RD072	RD019	RD072	RD019
Número de dados	48	48	44	44
Média	68,58333333	35,20833333	4834,022727	7475,409091
Mediana	14	14	1225	920
Máximo	894	223	112280	221110
Mínimo	2	2	13	40
1° Quartil - 25%	5	7,75	314,5	355
2° Quartil - 50%	14	14	1225	920
3° Quartil - 75%	33	28,5	3895	1454,5
Variância	26058,29078	2927,274823	283715248,3	1165000677
Desvio Padrão	161,4258058	54,10429579	16843,84898	34132,10625
Coeficiente de Variação	235,3717703	153,6690058	348,4437274	456,5918177

Fonte: Própria autora.

**Tabela 11:** Dados estatísticos da concentração de sólidos em suspensão totais antes e após a UHE de Baguari.

ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA BAGUARI				
Estatística	SÓLIDOS EM SUSPENSÃO TOTAIS			
	ANTES DO ACIDENTE		DEPOIS DO ACIDENTE	
	RD083	RD044	RD083	RD044
Número de dados	48	48	44	44
Média	29,47916667	20,625	1405,159091	1373,363636
Mediana	13	9	575	315
Máximo	451	169	8760	20370
Mínimo	2	2	3	7
1° Quartil - 25%	6	4,75	90,5	56,5
2° Quartil - 50%	13	9	575	315
3° Quartil - 75%	26	22,25	1282,5	647,5
Variância	4298,339982	931,1755319	4638075,672	14219803,21
Desvio Padrão	65,5617265	30,51516888	2153,619203	3770,915434
Coeficiente de Variação	222,400203	147,952334	153,265151	274,5751624

Fonte: Própria autora.

**Tabela 12:** Dados estatísticos da concentração de sólidos em suspensão totais antes e após a UHE de Aimorés.

ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA AIMORÉS				
Estatística	SÓLIDOS EM SUSPENSÃO TOTAIS			
	ANTES DO ACIDENTE		DEPOIS DO ACIDENTE	
	RD059	RD067	RD059	RD067
Número de dados	48	47	42	42
Média	31,3125	21,42553191	674,8333333	363,2380952
Mediana	16,5	14	280	142
Máximo	488	289	5700	2470
Mínimo	2	2	2	4
1° Quartil - 25%	8	9,5	35	21,25
2° Quartil - 50%	16,5	14	280	142
3° Quartil - 75%	24,5	19,5	802,5	460
Variância	5005,964096	1735,597595	1147716,142	323349,1614
Desvio Padrão	70,75283808	41,66050402	1071,315146	568,637988
Coefficiente de Variação	225,9571675	194,443266	158,7525531	156,5469028

Fonte: Própria autora.

Analisando agora o período posterior ao rompimento da barragem de Fundão, os gráficos da série demonstram um comportamento distinto quando se compara com o período anterior ao acidente. As concentrações mais elevadas são encontradas nas estações de monitoramento (RD019 e RD044) após os barramentos de Risoleta Neves e Baguari, respectivamente. Este fato pode estar relacionado com o volume de rejeitos liberados no curso d'água, onde as usinas tiveram que manter as comportas abertas para liberação do volume excessivo, evitando, portanto, a sobrecarga nas suas estruturas. Além disso, não houve tempo suficiente para a sedimentação dos sólidos, acarretando o aumento das concentrações de sólidos mais à jusante.

A diminuição das concentrações de sólidos em suspensão ao longo do período pôde ser observada pelos gráficos, isso pode ser justificado devido ao fluxo da pluma de rejeito no sentido mais a jusante e a distância percorrida até a foz, onde os sólidos lentamente se depositam nos leitos dos rios. Somente na estação RD059 é observado valores significativos antes da usina de Aimorés, todavia, quando se compara com os resultados das demais estações, as concentrações de sólidos em suspensão são bem menores. Essa situação pode estar relacionada ao volume retido durante o percurso da lama de rejeito, chegando um aporte bem menor em comparação com as outras estações. Ademais, parte dos sólidos ficam retidos no reservatório de Aimorés, o que explica as menores concentrações de sólidos na estação à jusante (RD067) da usina. Por fim, uma possível normalidade nas concentrações de sólidos em suspensão é observada somente no início de 2016 nas seis estações de monitoramento.

Em relação ao atendimento do padrão estabelecido pela DN Conjunta COPAM/CERH n°01/2008, foram observadas concentrações acima do permitido antes e depois do rompimento da barragem. Estes resultados demonstram que a maioria dos

valores que ultrapassam o limite legal foram encontrados no período chuvoso (antes do acidente), e durante os 5 meses após o rompimento de Fundão.

Vale ressaltar que, segundo von Sperling (1996 apud Breda, 2016), sólidos suspensos de origem natural não trazem inconvenientes sanitários diretos. Contudo, causam aspectos desagradáveis e podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos. Por outro lado, quando de origem antrópica, os sólidos em suspensão podem estar associados a compostos tóxicos e organismos patogênicos, condicionando o uso da água a um tratamento prévio mais completo, necessitando a utilização de mecanismos de filtração e desinfecção mais eficientes.

Por fim, analisando os estudos sobre a possível influência dos barramentos, percebe-se uma diminuição nas concentrações de sólidos em suspensão à jusante e um aumento à montante pela presença dos barramentos, constatando uma possível influência dos barramentos na variação dos parâmetros. Fato este que pode ser justificado pela existência de condições lânticas advindas da criação do novo ambiente, ocasionando o aumentando o tempo de residência da água e favorecendo o processo de sedimentação dos sólidos existentes na coluna d'água (Tundisi, 1986; von Sperlig, 1999 apud Breda, 2016). Deve-se considerar também a intensificação dos usos e ocupação do solo na bacia do rio Doce (atividade agropecuárias, ocupação urbana, retirada de cobertura vegetal, atividade minerárias, etc), juntamente com as ações de transporte superficial ocasionadas pela água pluvial, ocasionando ao longo do período um aumento nas concentrações de sólidos em suspensão.

- ***Turbidez***

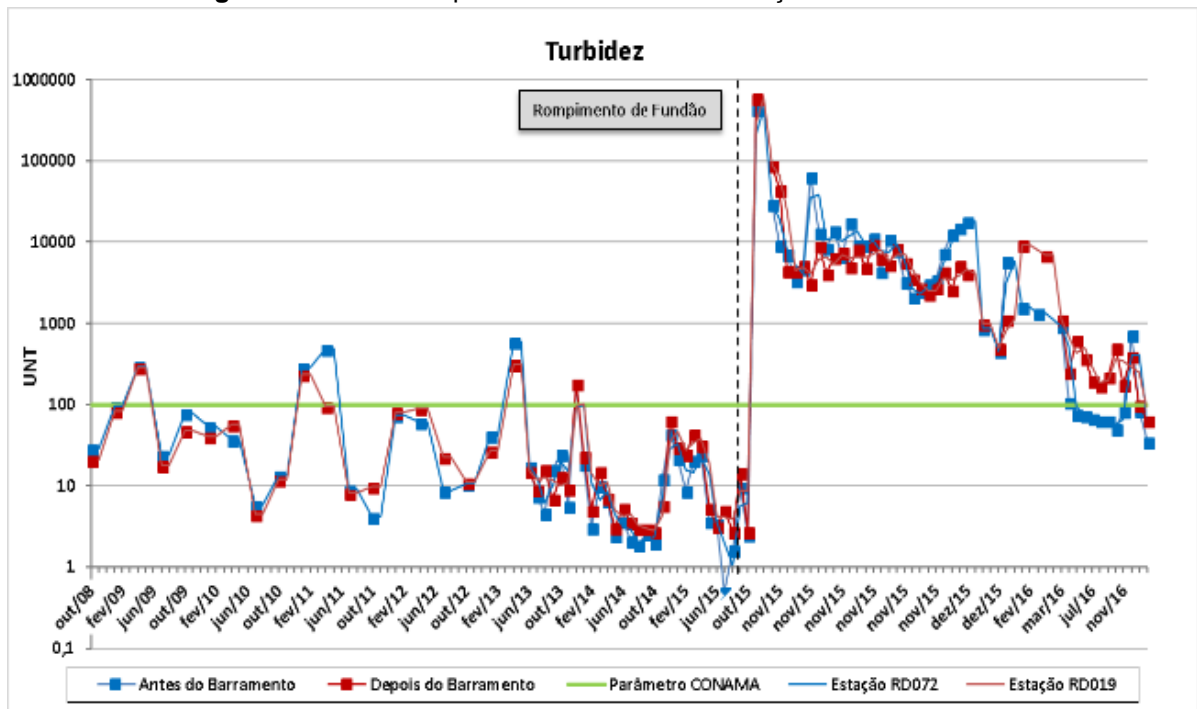
A turbidez é considerada como o grau de atenuação da intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (esta redução dá-se por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), em virtude da presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila), e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral etc. A Alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas, o que reduz a produção de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar na vida aquática. Além disso, afeta negativamente os usos domésticos, industrial e recreacional de uma água (CETESB, 2017).

A erosão das margens durante as estações chuvosas, intensificada pelo mau uso do solo, resultam no aumento da turbidez das águas o que exige manobras operacionais no seu tratamento. Esta afirmação ilustra o caráter sistêmico da poluição, ocorrendo inter-relações ou transferências de problemas de um ambiente (água, ar ou solo) para outro. Outro fator importante, são os esgotos domésticos e diversos efluentes

industriais que também provocam elevação na turbidez das águas, como por exemplo as atividades de mineração (CETESB, 2017).

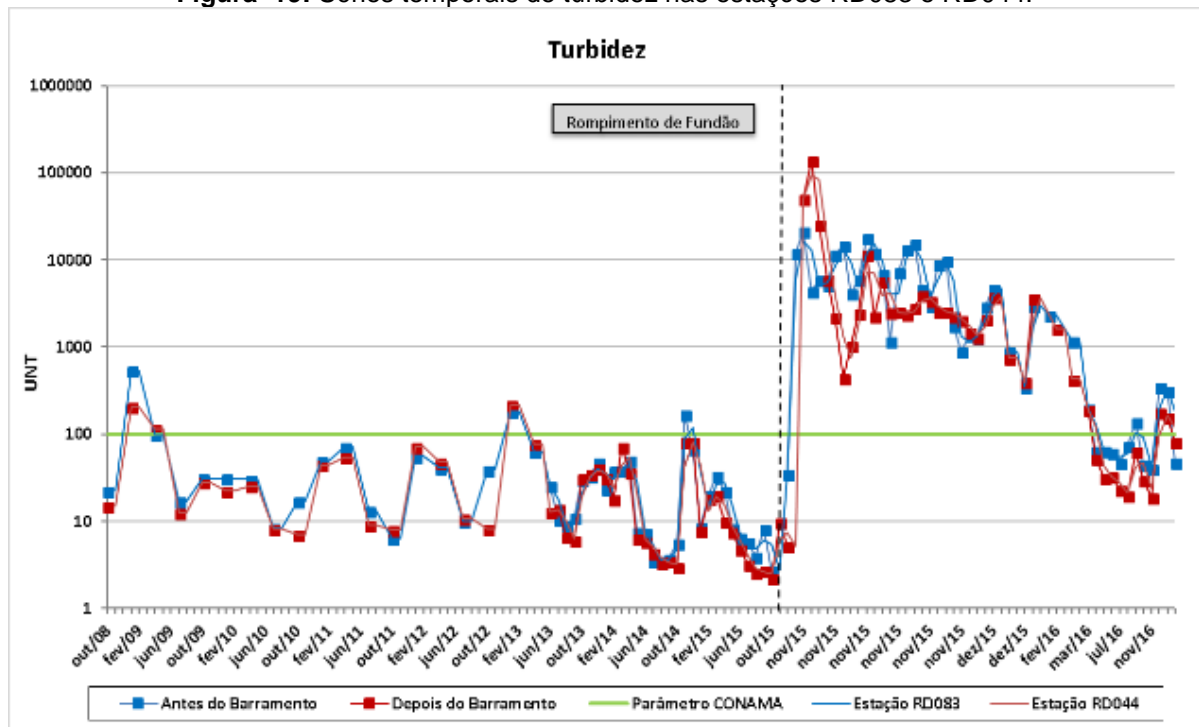
Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação dos barramentos, as Figuras 18 a 20 apresentam os gráficos com a variação das concentrações de turbidez nos seis pontos de amostragem, no período de out/2008 a fev/2017, identificando também as diferenças no período anterior e posterior ao rompimento da barragem de Fundão.

**Figura 18:** Séries temporais de turbidez nas estações RD072 e RD019.



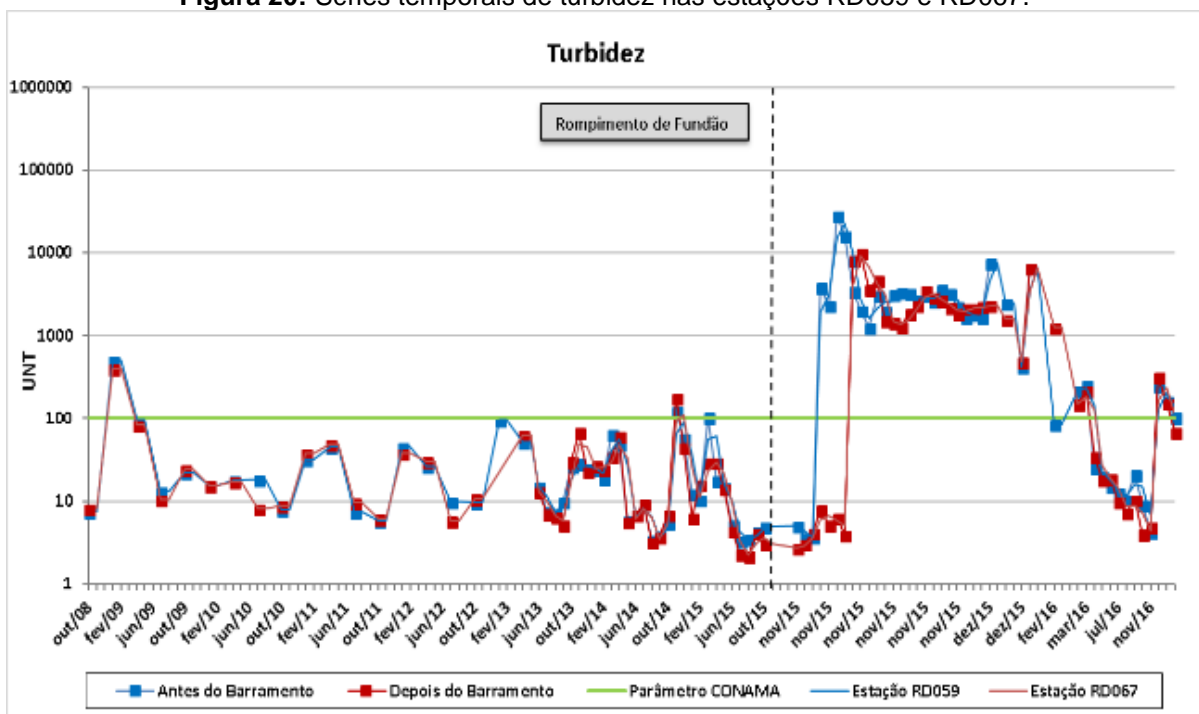
Fonte: Própria autora.

**Figura 19:** Séries temporais de turbidez nas estações RD083 e RD044.



Fonte: Própria autora.

**Figura 20:** Séries temporais de turbidez nas estações RD059 e RD067.



Fonte: Própria autora.

Analisando as Figuras 18 a 20, no período antes do rompimento de Fundão, percebe-se que o comportamento da turbidez é semelhante ao comportamento sólido em suspensão, tendo em vista que estes últimos são a forma constituinte da turbidez. Considerando todos os pontos de amostragem, os valores situaram-se entre 0,500 e 604. A

maior parte dos picos encontrados correspondem às coletas realizadas nos meses que compreendem o período chuvoso (novembro a março), confirmando maior carreamento de sólidos em função das precipitações, observado apenas algumas exceções para os meses de abril. Percebe-se também uma homogeneidade no comportamento da série nesse período, onde a turbidez nas estações à montante e à jusante das hidrelétricas de Risoleta Neves, Baguari e Aimorés são parecidas.

É necessário ressaltar que, a série de sólidos (dissolvidos, suspensos e totais) influencia no comportamento da turbidez, mas apenas os sólidos suspensos e totais apresentam uma variação mínima nas séries temporais, lembrando que essa análise reflete apenas no período anterior ao acidente. Já a turbidez, apresentou uma perturbação maior nas séries temporais, o que pode ser justificado pelo maior aporte de sólidos carreados para os cursos d'água, decorrentes das chuvas, associadas também ao uso e ocupação do solo, com lançamento de efluentes gerados na bacia.

É importante destacar que mesmo a unidade de turbidez seja constituída numa escala arbitrária, o que não é recomendado fazer análises estatística de dados quantitativos, decidiu-se por realizá-las, com objetivo de usar seus resultados como indicativo de tendências. Dessa forma, os dados registrados nas tabelas 13, 14 e 15, de média, máximo e desvio padrão são mais elevados e tendem a concentrar nas estações à montante dos barramentos, demonstrando uma similaridade no comportamento encontrado para o parâmetro sólidos em suspensão. Esses resultados corroboram para apontar a influência dos barramentos, que acabam funcionando como bacias de decantação de sedimentos e, conseqüentemente, diminuem o aporte de sólidos a jusante. Essa situação pôde ser confirmada pelos dados com menores concentrações identificadas nas estações à jusante dos barramentos. Nas regiões que apresentam características lênticas os maiores valores podem estar associados também à grandes florações algais.

**Tabela 13:** Dados estatísticos da concentração de turbidez antes e após a UHE de Risoleta Neves.

<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA RISOLETA NEVES</b>				
<b>Estatística</b>	<b>TURBIDEZ</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>
<b>Número de dados</b>	48	48	44	44
<b>Média</b>	55,95520833	42,15104167	16994,45	19965,67955
<b>Mediana</b>	11,55	14,75	3891,5	4121
<b>Máximo</b>	604	318	435400	597400
<b>Mínimo</b>	0,5	2,71	35,1	64,9
<b>1° Quartil - 25%</b>	4,0125	5,3525	662,25	595,25
<b>2° Quartil - 50%</b>	11,55	14,75	3891,5	4121
<b>3° Quartil - 75%</b>	37,95	41,45	9681,75	6449
<b>Variância</b>	14710,2732	5017,995205	4284672968	8137897048
<b>Desvio Padrão</b>	121,2859151	70,83780915	65457,41339	90210,29347
<b>Coefficiente de Variação</b>	216,7553633	168,0570784	385,1693546	451,8268124

**Tabela 14:** Dados estatísticos da concentração de turbidez antes e após a UHE de Baguari.

ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA BAGUARI				
Estatística	TURBIDEZ			
	ANTES DO ACIDENTE		DEPOIS DO ACIDENTE	
	RD083	RD044	RD083	RD044
Número de dados	48	48	44	44
Média	42,30958333	32,499375	4739,045455	6628,017045
Mediana	22,3	13,45	2626	1850,5
Máximo	537	217	21480	140000
Mínimo	2,78	2,28	35	5,17
1° Quartil - 25%	8,2825	6,61	285,75	137,4
2° Quartil - 50%	22,3	13,45	2626	1850,5
3° Quartil - 75%	39,8	37,3	6998,5	2628,5
Variância	6682,351966	2117,793827	31612632,56	494271590,3
Desvio Padrão	81,74565411	46,01949399	5622,511232	22232,21964
Coefficiente de Variação	193,2083648	141,6011662	118,6422727	335,427919

Fonte: Própria autora.

**Tabela 15:** Dados estatísticos da concentração de turbidez antes e após a UHE de Aimorés.

ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA AIMORÉS				
Estatística	TURBIDEZ			
	ANTES DO ACIDENTE		DEPOIS DO ACIDENTE	
	RD059	RD067	RD059	RD067
Número de dados	48	47	42	42
Média	35,47479167	31,70531915	2685,952857	1612,805952
Mediana	14,9	13	1747,5	860
Máximo	505	397	28500	10050
Mínimo	3,28	2,16	3,59	2,73
1° Quartil - 25%	7,3675	6,355	40,5	10,01
2° Quartil - 50%	14,9	13	1747,5	860
3° Quartil - 75%	29,25	30,1	3155,5	2247
Variância	5610,718323	3856,688469	24677504,33	5143736,246
Desvio Padrão	74,90472831	62,10224206	4967,645753	2267,980654
Coefficiente de Variação	211,1491704	195,8732595	184,9491044	140,6232815

Fonte: Própria autora.

A água pode ser considerada opaca quando apresenta valores de turbidez igual ou superior a 500 UNT. Nessas condições, dificultaria a passagem de luz solar e consequentemente, prejudicaria o processo de fotossíntese e o desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica (VON SPERLIN 1996 apud BRENDA, 2016). No período em análise, tal condição foi verificada na estação RD072 (abril/2013), na estação RD083 (janeiro/2009) e na estação RD059 (janeiro/2009), todas à montante dos barramentos de Risoleta Neves, Baguari e Aimorés respectivamente.

Refletindo sobre o período posterior ao rompimento do barramento, os gráficos com as séries temporais apresentam um comportamento atípico, se comparado com o período antes do acidente. Os valores extremamente acentuados são observados nos seis pontos de monitoramento, demonstrando indícios de normalização apenas no final do ano de 2016. É possível perceber também, no gráfico 15, que as concentrações de

turbidez só apresentam alterações algum tempo depois da data do rompimento, isso se deve ao tempo despendido pela lama de rejeito até chegar na estação de monitoramento à montante da usina de Aimorés, logo depois, é possível perceber a brusca elevação nas concentrações do parâmetro.

De forma geral, essa súbita elevação nos valores de turbidez está diretamente relacionada com volume de rejeito liberados no curso d'água. Observa-se também, uma diminuição nas concentrações ao longo do período, onde a pluma de rejeito mantém seu fluxo carregando parte dos sólidos e, os que não são carregados pelo curso d'água, lentamente depositam no leito. Os valores de turbidez nesse período situaram-se entre 2,72 a 597.400.

Em relação ao atendimento do padrão estabelecido pela DN Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008, o qual define o limite de 100 UNT de turbidez para cursos d'água classe 2, percebe-se que valores acima desse limite em todos os pontos de amostragem, analisando toda a série temporal. Antes do acidente, os resultados mostraram alteração no período chuvoso, indicando maior carregamento de sólidos em função das precipitações. Já após com o rompimento da barragem, justifica-se os valores acentuados do parâmetro ultrapassando o limite da legislação pelas próprias características do rejeito.

Por fim, no estudo das possíveis influências decorrentes da presença dos barramentos, os dados demonstram uma possível diminuição da turbidez no trecho à jusante das usinas, isso se deve a retenção de sólidos à montante do reservatório, o que infere sobre sua provável influência sobre os valores de turbidez. Todavia, não é possível descartar a hipótese de haver outras fontes de sólidos tais como os, focos de erosão na área entorno do reservatório, uso e ocupação do solo, bem como carregamento do solo na época de alta pluviosidade.

- ***Oxigênio Dissolvido***

O oxigênio dissolvido detectado nas águas é de extrema importância para os organismos aeróbios e para a manutenção dos processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos. O oxigênio proveniente da atmosfera dissolve-se nas águas naturais, devido à diferença de pressão parcial. Este mecanismo segue a Lei de Henry, que define a concentração de saturação de um gás na água, em função da temperatura, sendo que quanto menor for a temperatura, maior será a concentração de gases na água (CETESB, 2017).

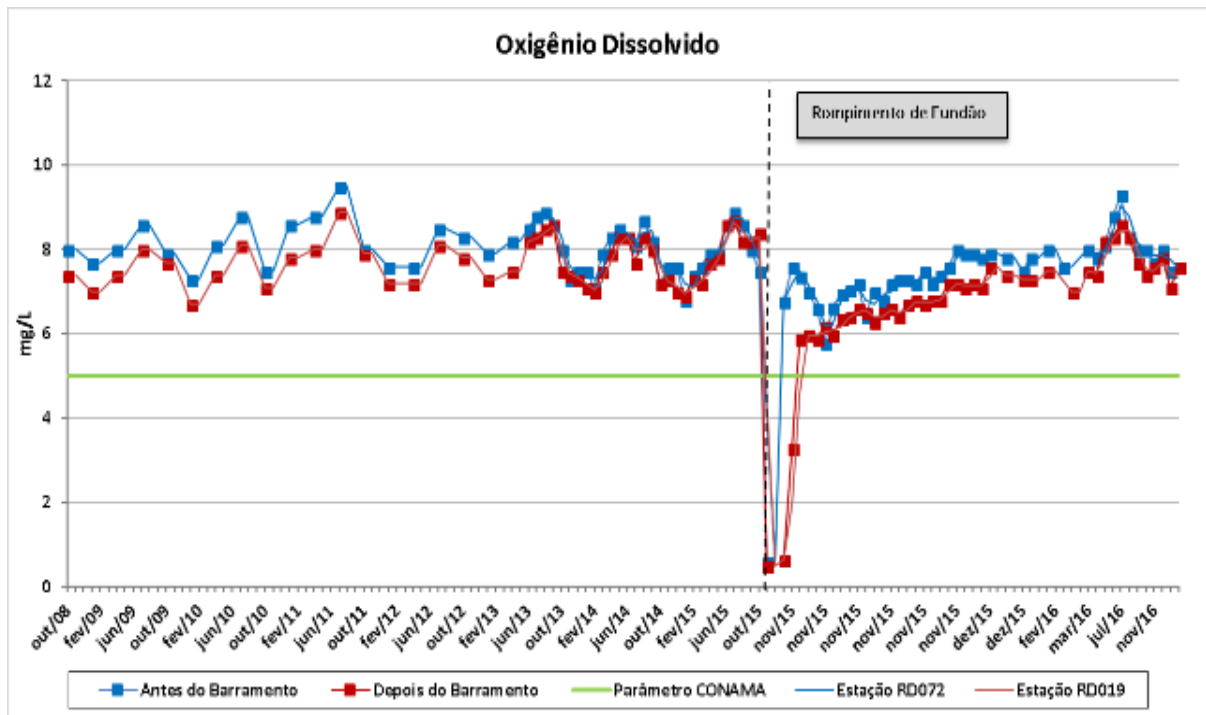
Uma fonte importante de oxigênio nas águas é a fotossíntese de algas. Esta, por sua vez, não é muito significativa nos trechos de rios à jusante de fortes lançamentos de esgotos. A turbidez e a cor elevadas prejudicam a penetração dos raios solares e apenas poucas resistentes às condições severas de poluição conseguem sobreviver. A contribuição

fotossintética de oxigênio só é expressiva após a decomposição da matéria orgânica ter ocorrido pela atividade bacteriana, bem como após o desenvolvimento de protozoários que são decompositores e consomem bactérias clarificando as águas e permitindo a entrada de luz (CETESB, 2017).

Segundo Ruas (2006), o oxigênio dissolvido é tido como principal parâmetro na caracterização dos efeitos de poluição das águas por despejos orgânicos. Valores de oxigênio superiores à saturação são indicativos da presença de algas (fotossintéticas), enquanto baixas concentrações de oxigênio são indicativos da presença de matéria orgânica (principalmente, de esgotos).

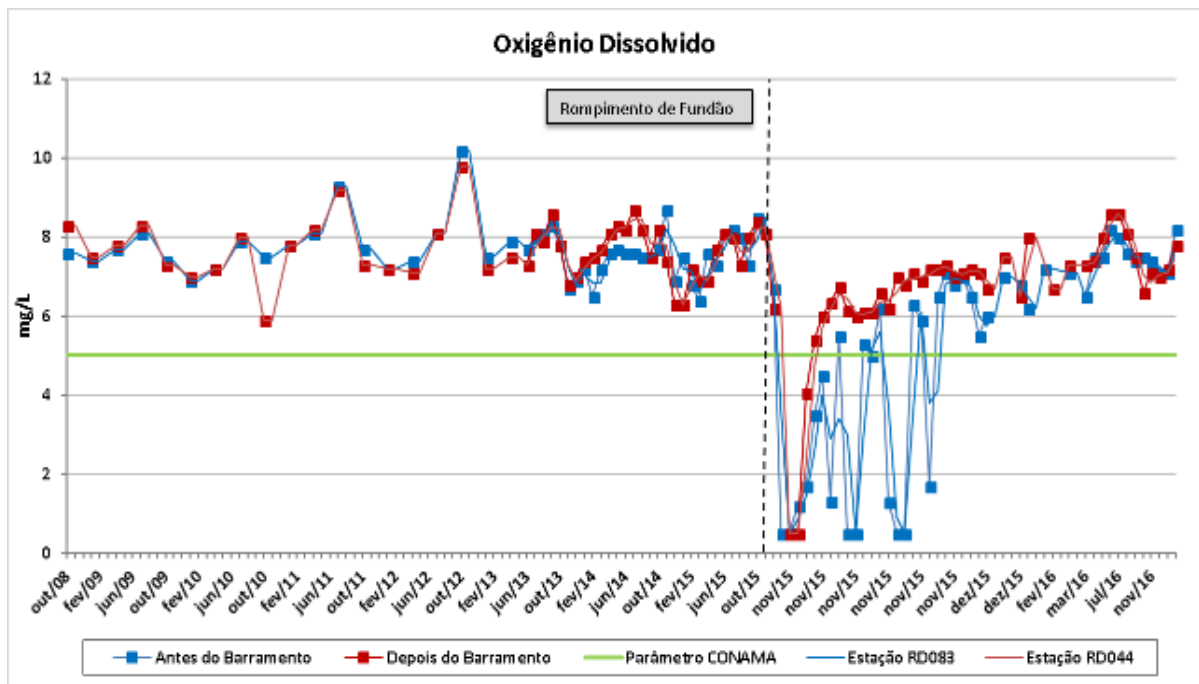
Nas Figuras 21 a 23 são apresentados os gráficos das séries temporais de oxigênio dissolvido em cada um dos seis pontos de monitoramento (RD072, RD019, RD083, RD044, RD059 e RD067) localizados antes e após as usinas hidrelétricas estudadas, ao longo das campanhas referente ao período de outubro de 2008 a fevereiro de 2017, analisando as variações do parâmetro nesse período antes e após o rompimento de Fundão.

**Figura 21:** Séries temporais de oxigênio dissolvido nas estações RD072 e RD019.



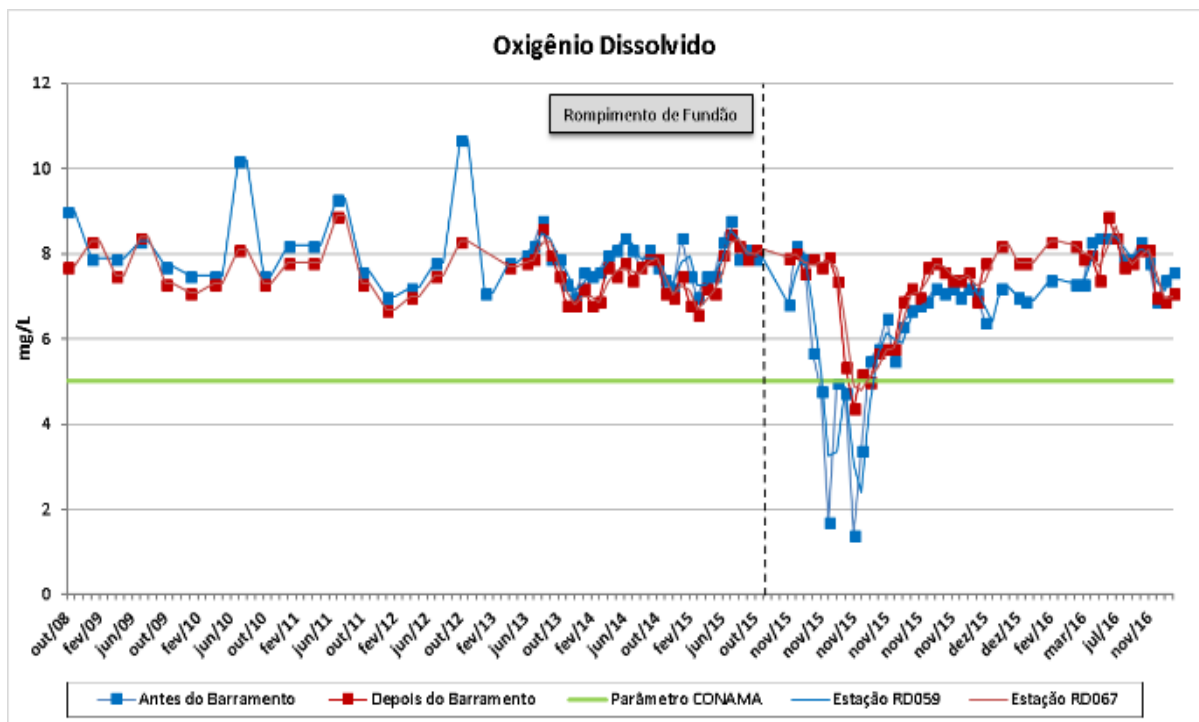
Fonte: Própria autora.

**Figura 22:** Séries temporais de oxigênio dissolvido nas estações RD083 e RD044.



Fonte: Própria autora.

**Figura 23:** Séries temporais de oxigênio dissolvido nas estações RD059 e RD067.



Fonte: Própria autora.

Analisando acima, é possível constatar que os valores obtidos antes do evento de Fundão, em geral, demonstram águas bem oxigenadas. Além disso, as concentrações de oxigênio dissolvido seguem um comportamento constante em todas as estações de monitoramento. Vale ressaltar que no gráfico da Figura 22, é observado dois

momentos em que ocorre picos mais significativos de OD nas duas estações de monitoramento (RD083 e RD044), sendo as maiores concentrações nos meses de julho/2011 (9,3 mg/L, estação RD083) e outubro/2012 (10,2 mg/L, estação RD083). Observa-se também um terceiro momento significativo, todavia, de forma inversa aos picos, há uma baixa abrupta nas concentrações de OD apenas na estação a jusante (RD044) da usina de Baguari (5, 9 mg/L). No gráfico 23, são registrados dois picos com concentrações elevadas de OD, sendo 10,2 mg/L (julho/2010) e 10,7 mg/L (outubro/2012), na estação RD059 à montante do barramento de Aimorés.

Segundo a CETESB (2017), em seu Anexo E, um corpo d'água com crescimento excessivo de algas pode apresentar, durante o período diurno, concentrações de oxigênio superiores a 10 mg/L, mesmo em temperaturas superiores à 20°C, caracterizando uma situação de supersaturação. Isto ocorre principalmente em ambientes de baixa velocidade da água, onde quais podem se formar crostas verdes de algas à superfície.

Os valores demonstrados nas Tabelas de 16 a 18, confirma o comportamento das concentrações de OD nos gráficos, demonstrando oxigenação nas águas relativamente boa, com valores médios, máximos e desvios padrões muito próximos. As concentrações obtidas situaram-se no intervalo compreendido entre 5,9 mg/L e 10,7 mg/L. Em geral, as maiores concentrações foram observadas nos períodos mais frios, seguindo o que é proposto pela Lei de Henry, períodos estes, que correspondem à estação seca. Por outro lado, menores concentrações foram notadas em meses geralmente mais quentes, nas estações chuvosas, com algumas exceções, como pode ser observado nas séries temporais apresentadas nas Figuras 20 a 22.

**Tabela 16:** Dados estatísticos da concentração de OD antes e após a UHE de Risoleta Neves.

ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA RISOLETA NEVES				
Estatística	OXIGÊNIO DISSOLVIDO			
	ANTES DO ACIDENTE		DEPOIS DO ACIDENTE	
	RD072	RD019	RD072	RD019
Número de dados	48	48	44	44
Média	8,05625	7,727083333	7,358181818	6,665909091
Mediana	8	7,7	7,55	7,05
Máximo	9,5	8,9	9,3	8,6
Mínimo	6,8	6,7	0,6	0,5
1° Quartil - 25%	7,6	7,3	7,165	6,4075
2° Quartil - 50%	8	7,7	7,55	7,05
3° Quartil - 75%	8,525	8,2	7,9	7,425
Variância	0,323789894	0,297761525	1,470884989	2,559987526
Desvio Padrão	0,569025389	0,545675292	1,212800474	1,599996102
Coefficiente de Variação	7,06315456	7,06185334	16,48233903	24,00266911

Fonte: Própria autora.

**Tabela 17:** Dados estatísticos da concentração de OD antes e após a UHE de Baguari.

ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA BAGUARI				
Estatística	OXIGÊNIO DISSOLVIDO			
	ANTES DO ACIDENTE		DEPOIS DO ACIDENTE	
	RD083	RD044	RD083	RD044
Número de dados	48	48	44	44
Média	7,6625	7,677083333	5,201363636	6,655454545
Mediana	7,6	7,7	6,4	7
Máximo	10,2	9,8	8,2	8,6
Mínimo	6,4	5,9	0,5	0,5
1° Quartil - 25%	7,3	7,2	3,05	6,3125
2° Quartil - 50%	7,6	7,7	6,4	7
3° Quartil - 75%	8	8,125	7,1	7,3
Variância	0,441968085	0,522655142	7,100151586	2,523774207
Desvio Padrão	0,664806803	0,722948921	2,664610963	1,588639105
Coefficiente de Variação	8,676108357	9,416973729	51,22908432	23,86973113

Fonte: Própria autora.

**Tabela 18:** Dados estatísticos da concentração de OD antes e após a UHE de Aimorés.

ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA AIMORÉS				
Estatística	OXIGÊNIO DISSOLVIDO			
	ANTES DO ACIDENTE		DEPOIS DO ACIDENTE	
	RD059	RD067	RD059	RD067
Número de dados	48	47	42	42
Média	7,954166667	7,578723404	6,64952381	7,300238095
Mediana	7,9	7,5	7,05	7,65
Máximo	10,7	8,9	8,4	8,9
Mínimo	7	6,6	1,4	4,4
1° Quartil - 25%	7,5	7,15	6,325	7
2° Quartil - 50%	7,9	7,5	7,05	7,65
3° Quartil - 75%	8,2	7,9	7,55	7,9225
Variância	0,537003546	0,303015726	2,554507085	1,021841405
Desvio Padrão	0,732805258	0,550468642	1,598282542	1,010861714
Coefficiente de Variação	9,212847664	7,263342557	24,03604511	13,84696911

Fonte: Própria autora.

As variações sazonais obtidas para o oxigênio dissolvido podem ser explicadas pelo comportamento da composição das águas no período chuvoso, quando, normalmente há um maior aporte de matéria orgânica para a águas, proveniente do escoamento superficial na bacia de drenagem. O processo de decomposição dessa matéria orgânica em excesso no meio aquático, o qual é realizado pelas bactérias aeróbias, se intensifica havendo uma diminuição direta nos níveis de oxigênio dissolvido (BREDA, 2016). Ainda segundo Breda (2016), a diminuição de teores de oxigênio dissolvido durante a estação chuvosa (verão), em relação ao inverno, o que pode ser explicada pela Lei de Henry ou pelo consumo de oxigênio pela matéria orgânica carregada da lavagem da superfície do solo pelas águas pluviais.

Ao se analisar o período posterior ao rompimento de Fundão nos três gráficos, foi possível perceber uma queda brusca nas concentrações de OD na água em todas as estações, mudando de forma quase instantânea toda a dinâmica e comportamento do

parâmetro quando se compara o período histórico antes do acidente. Uma moderada normalização das concentrações de OD só é constatada detectar no final do ano de 2016. De acordo com as tabelas dos dados estatísticos, as concentrações de OD variam entre 0,5 mg/L a 9,3 mg/L. As baixas concentrações de oxigênio dissolvido na água demonstram intensa poluição das águas, pois nessa situação são consumidos muito oxigênio para decomposição de composto orgânicos (CETESB, 2017).

Os menores valores de OD, antes de após o acidente, também podem estar associadas e/ou intensificados pelas áreas de pastagens destinadas a pecuária, as concentrações urbanas e eventos pontuais de poluição por matéria orgânica ao longo da bacia. Assim, a partir do carreamento de matéria orgânica para os rios e lançamento de efluentes, há uma diminuição nas concentrações de oxigênio dissolvido devido ao processo de decomposição desta carga orgânica (BREDA, 2016).

Analisando o atendimento do padrão estabelecido pela DN Conjunta COPAM/CERH nº01/2008, antes do rompimento da barragem de Fundão não foram encontrados valores abaixo do limite permitido (5,0 mg/L). Somente foram observadas concentrações abaixo do limite após o rompimento da barragem, chegando a valores de 0,5 mg/L nas estações RD083 e RD044. Essa ocorrência, de concentrações extremamente baixas, é mais preocupante, uma vez que concentrações muitas baixas podem comprometer a biota aquática, além de riscos para saúde humana, tendo que restringir os usos da água sem tratamento prévio.

Em relação ao estudo das possíveis interferências positivas ou negativas da implantação dos barramentos, esses não demonstram influência sobre a variação das concentrações de oxigênio dissolvido. O comportamento ao longo do período estudado podem ser reflexos dos diversos usos do solo na bacia do Rio Doce, principalmente no que tange a contribuição por matéria orgânica advindas de esgotos domésticos e industriais, além do mais, a presença de algas fotossintetizantes pode ter contribuído para o aumento das concentrações de OD na água, por outro lado, a biodegradação da matéria orgânica associada a maiores temperaturas diminuem os valores de OD, não esquecendo da contribuição direta que o acidente de Fundão teve para redução de oxigênio dissolvido.

Segundo Honorato (2008), em seu estudo sobre a qualidade da água do Rio Preto, antes, durante e após a implantação da AHE Queimado, em Unaí/MG, também observou que o OD no reservatório sofria mais influência da decomposição da matéria orgânica presente na água.

Os parâmetros reunidos no grupo 2 possuem comportamentos e características semelhantes, sendo eles: alumínio dissolvido (Al), arsênio total (As), cádmio

total (Cd), chumbo total (Pb), cromo total (Cr), ferro dissolvido (Fe), manganês total (Mn), mercúrio total (Hg), níquel total (Ni), sólidos dissolvidos totais (SDT) e sólidos totais (ST).

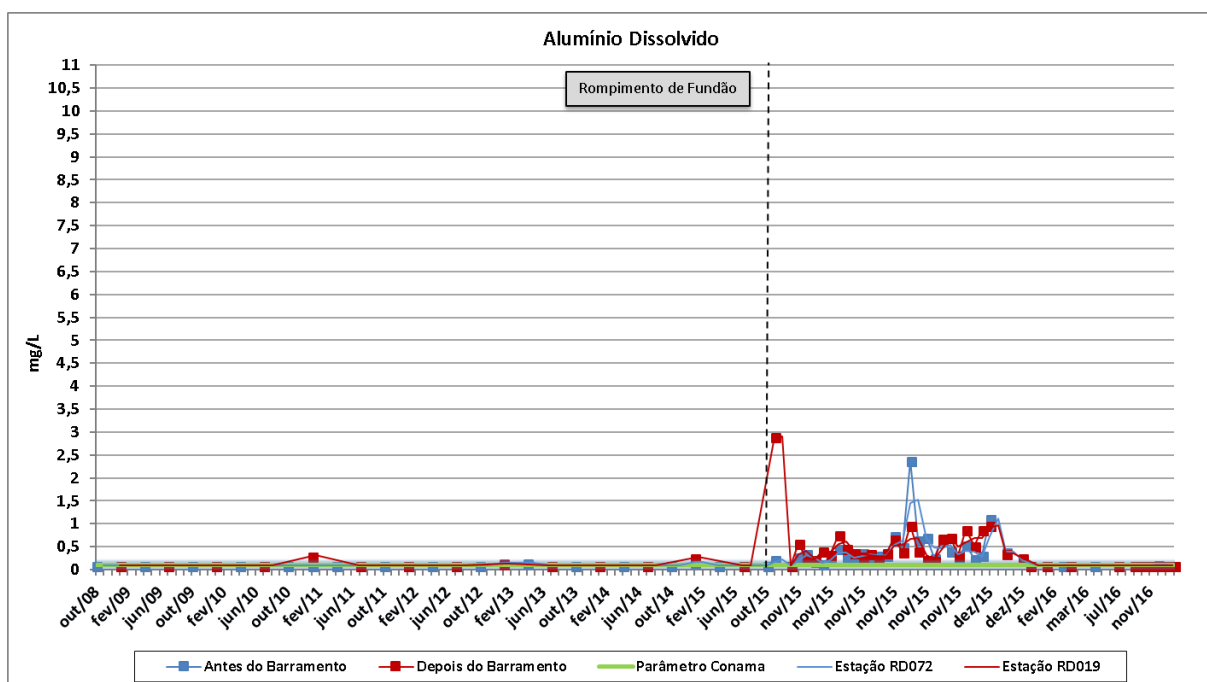
Para análise desse grupo foram escolhidos os parâmetros de alumínio dissolvido e ferro dissolvido, por apresentarem uma evolução de suas concentrações semelhantes ao longo da série temporal, além de compartilharem fatores equivalentes que influenciam nas variações de suas concentrações. Os demais resultados expostos em gráficos e tabelas estatísticas dos parâmetros analisados nesse grupo encontram-se no Apêndice A.

- **Alumínio**

O alumínio em água pode ocorrer em diferentes formas influenciado pelo pH, temperatura e presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. As concentrações de alumínio são baixas quando dissolvidos em águas com pH neutro variando de 0,001 a 0,05 mg/L. No entanto, a sua concentração tende a aumentar em águas mais ácidas ou ricas em matéria orgânica, chegando a 0,5 a 1 mg/L. Já em águas com extrema acidez, afetados por descargas de mineração, as concentrações de alumínio dissolvido podem ser maiores que 90 mg/L (CETESB, 2017). Além disso, o aumento da concentração de alumínio pode estar associado também com o período de chuvas, e conseqüentemente, com a alta turbidez.

No que concerne ao estudo de variação ao longo do tempo, as Figuras 24 a 26 apresentam os gráficos das séries temporais de alumínio dissolvido nos seis pontos de monitoramento (RD072, RD019, RD083, RD044, RD059 e RD067) localizados nessa ordem, antes e após as usinas hidrelétricas de Risoleta Neves, Baguari e Aimorés, ao longo das campanhas referente ao período amostral de outubro de 2008 a fevereiro de 2017.

Analisando, primeiramente, a Figura 24 juntamente com a Tabela 19, correspondente ao alumínio dissolvido, podem ser feitas algumas constatações. Percebe-se que, o período antes do rompimento da barragem, as duas variações com maior representatividade ocorrem no período chuvoso após o barramento de Risoleta Neves. Os valores situaram-se entre 0,14 mg/L e 0,30 mg/L, considerando todas as amostras para esse período. Além disso, através da Tabela 1, constata-se que os valores médios (0,105 e 0,012, respectivamente) e máximos (0,171 e 0,304) mais elevados ocorrem após a usina.

**Figura 24:** Séries temporais de alumínio dissolvido nas estações RD072 e RD019.

Fonte: Própria autora.

**Tabela 19:** Dados estatísticos da concentração de alumínio dissolvido antes e após a UHE de Risoleta Neves.

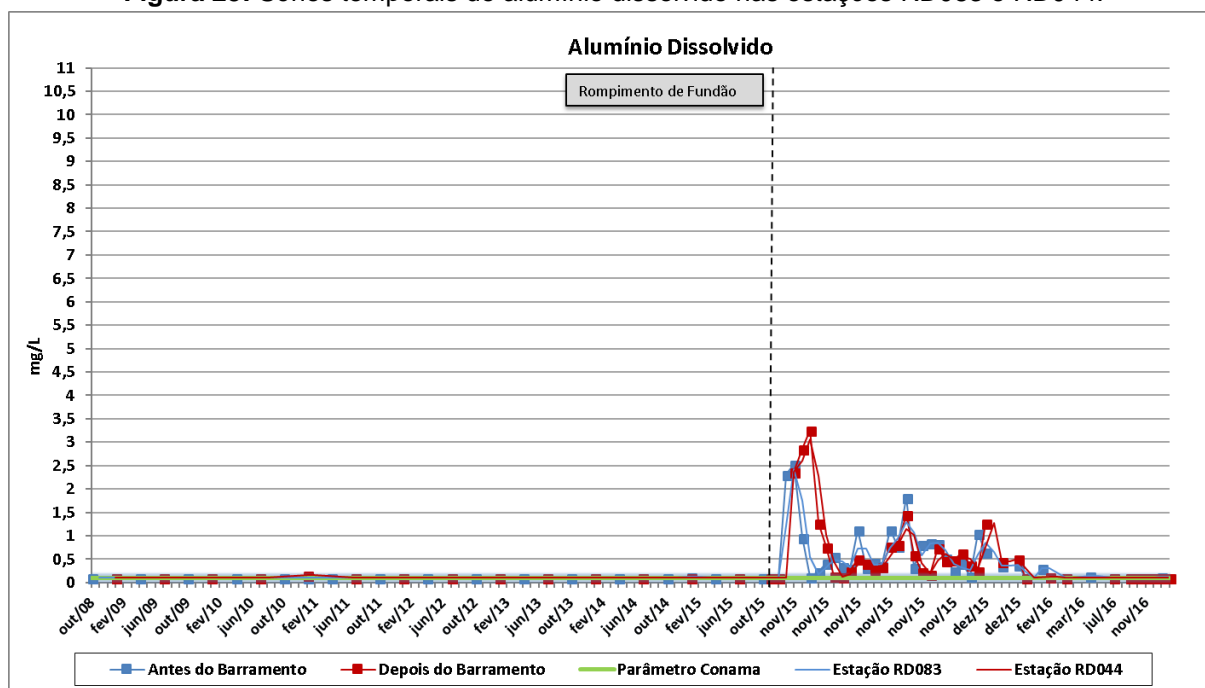
ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA RISOLETA NEVES				
Estatística	ALUMÍNIO DISSOLVIDO			
	ANTES DO ACIDENTE		DEPOIS DO ACIDENTE	
	RD072	RD019	RD072	RD019
Número de dados	29	14	40	39
Média	0,105724138	0,1275	0,358	0,437871795
Mediana	0,1	0,1	0,266	0,344
Máximo	0,171	0,304	2,39	2,896
Mínimo	0,1	0,1	0,1	0,1
1° Quartil - 25%	0,1	0,1	0,1	0,1
2° Quartil - 50%	0,1	0,1	0,266	0,344
3° Quartil - 75%	0,1	0,1	0,4005	0,5525
Variância	0,000303921	0,004228731	0,159783231	0,234078904
Desvio Padrão	0,017433335	0,065028692	0,399728947	0,483817015
Coefficiente de Variação	16,48945616	51,0028956	111,6561303	110,4928476

Fonte: Própria autora.

Refletindo agora sobre os dados de alumínio após o acidente nas mesmas estações de monitoramento é possível perceber no gráfico intensos picos de alumínio logo após o rompimento da barragem, sendo verificado uma normalização apenas início do ano de 2016. Os maiores valores são encontrados na estação posterior a barragem, 3,268 mg/L, cerca de 30 vezes superior ao limite estabelecido pela legislação. Na tabela 1, também é possível observar que o valor da média (0,437), máximo (2,896) e desvio padrão (0,483) também são superiores na estação após a usina.

Na Figura 25 e Tabela 20, os dados de alumínio dissolvido correspondem as estações a montante e a jusante da hidrelétrica de Baguari. Percebe-se então que os dados antes do acidente não possuem grandes variações, apenas em uma das amostragens a qual foi realizada no período de chuva na estação após a usina Baguari, com concentração de 0,157 mg/L. Após o rompimento da barragem de Fundão, as variações são acentuadas nas duas estações de monitoramento. Deve-se ressaltar que, as maiores concentrações (2,858 mg/L e 3,268 mg/L) foram observadas também na estação após a usina de Baguari.

**Figura 25:** Séries temporais de alumínio dissolvido nas estações RD083 e RD044.



Fonte: Própria autora.

**Tabela 20:** Dados estatísticos da concentração de alumínio dissolvido antes e após a UHE de Baguari.

ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA BAGUARI				
Estatística	ALUMÍNIO DISSOLVIDO			
	ANTES DO ACIDENTE		DEPOIS DO ACIDENTE	
	RD083	RD044	RD083	RD044
Número de dados	29	14	40	39
Média	0,100931034	0,104928571	0,548275	0,592589744
Mediana	0,1	0,1	0,3495	0,34
Máximo	0,127	0,157	2,526	3,268
Mínimo	0,1	0,1	0,1	0,1
1° Quartil - 25%	0,1	0,1	0,13175	0,111
2° Quartil - 50%	0,1	0,1	0,3495	0,34
3° Quartil - 75%	0,1	0,1	0,78725	0,6865
Variância	2,51379E-05	0,000234841	0,337658666	0,562798933
Desvio Padrão	0,005013774	0,015324512	0,581084044	0,750199262
Coefficiente de Variação	4,967524762	14,60470824	105,9840489	126,5967341

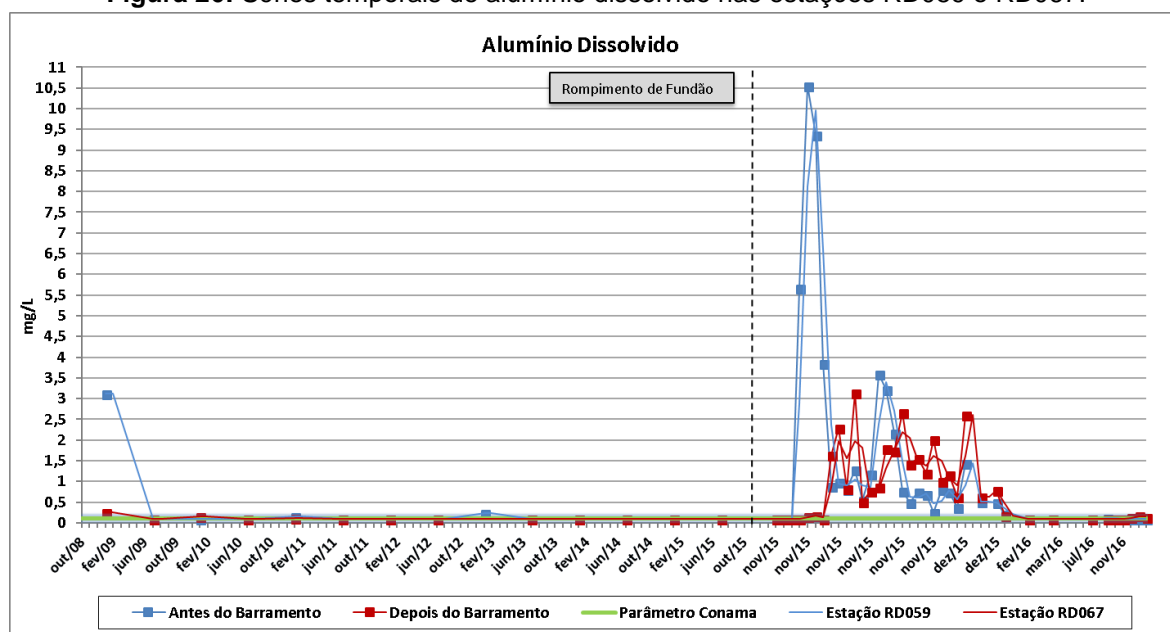
Fonte: Própria autora.

Na Tabela 20 é possível confirmar os resultados observados na Figura 25, através dos valores das médias, máximos e desvios padrões, onde os maiores valores são encontrados na estação posterior a usina, analisando sempre o período anterior e posterior ao rompimento da barragem de Fundão.

O comportamento do alumínio dissolvido nas proximidades da UHE Baguari se assemelha com o comportamento dos dados da usina de Risoleta Neves, onde é possível observar maiores variações na estação localizada após a usina de Baguari. Dessa forma, observa-se pelos dados estatísticos que antes do acidente a maior variação dos dados se encontra na segunda estação (RD044) a jusante da usina, conseqüentemente, no período após o acidente a maior variação é observada também na estação a jusante (RD044).

Por fim, a Figura 26 e Tabela 21 refere-se as concentrações de alumínio dissolvido nas estações à montante e à jusante da usina hidrelétrica de Aimorés. A partir da análise dos resultados é possível observar que são contrários aqueles observados nas avaliações das outras usinas. Na Figura 26, o gráfico da série temporal apresenta as maiores variações de alumínio dissolvido na água no ponto de amostragem antes da usina, nos dois períodos de análise. Além disso, a concentração de alumínio é de 10,55 mg/L após o rompimento da barragem. Ao se comparar com as outras hidrelétricas, esse valor representa uma concentração 3 vezes maior, em relação ao limite estabelecido pelo CONAMA essa diferença é de, aproximadamente, 100 vezes superior. É importante ressaltar que os valores só apresentam alteração na estação RD059 (antes da usina) 8 dias após o acidente e na estação RD067(depois da usina) 9 dias posterior, essa situação pode ser justificada devido ao tempo necessário para a pluma de rejeito chegar até estas estações.

**Figura 26:** Séries temporais de alumínio dissolvido nas estações RD059 e RD067.



Fonte: Própria autora.

**Tabela 21:** Dados estatísticos da concentração de alumínio dissolvido antes e após a UHE de Aimorés.

ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA AIMORÉS				
Estatística	ALUMÍNIO DISSOLVIDO			
	ANTES DO ACIDENTE		DEPOIS DO ACIDENTE	
	RD059	RD067	RD059	RD067
Número de dados	14	13	37	37
Média	0,329142857	0,115876923	1,430081081	0,846837838
Mediana	0,1	0,1	0,553	0,623
Máximo	3,118	0,25	10,55	3,137
Mínimo	0,1	0,1	0,1	0,1
1° Quartil - 25%	0,1	0,1	0,1	0,1
2° Quartil - 50%	0,1	0,1	0,553	0,623
3° Quartil - 75%	0,1	0,1	1,174	1,428
Variância	0,645794901	0,001787264	5,836867243	0,769346417
Desvio Padrão	0,803613652	0,04227604	2,415960936	0,877123946
Coefficiente de Variação	244,1534532	36,48357175	168,9387384	103,5763764

Fonte: Própria autora.

O gráfico, demonstrado na Figura 26, apresenta variações de alumínio antes do acidente em duas datas que coincidem com o período de chuva (fevereiro de 2009 e 2013) registrando concentrações de 3,118 e 0,24mg/L respectivamente.

Na Tabela 21, constata-se os maiores valores de média (0,329 e 0,115 respectivamente), máximo (3,118 e 0,25) e desvio padrão (0,803 e 0,042), no período antes do acidente, na estação localizada antes da usina de Aimorés, o que aponta um comportamento diferente do parâmetro quando se compara com as outras estações de amostragem.

O padrão de variação encontrado para este parâmetro antes do acidente nas seis estações de amostragem, pode ter sido influenciado pelas variações entre as estações secas e chuvosas. Os maiores valores encontrados nas estações chuvosas, está diretamente relacionado com o aumento no aporte de sedimentos e substâncias que são carregadas ao reservatório. Os valores exacerbatentes encontrados de alumínio, no período de novembro de 2015 a janeiro de 2016, são devidos, principalmente, ao rompimento da barragem de Fundão. Conforme mencionado anteriormente, os despejos de material pela mineração aumentam a acidez da água e as concentrações de alumínio podem atingir níveis superior a 90 mg/L (CETESB, 20017).

Os picos de concentração de alumínio podem estar associados também ao manejo inadequado do uso do solo (atividades minerárias, agropecuária, pastagens, ocupação humana, etc.) que intensifica o aporte de sedimentos e substâncias que são direcionadas para o curso d'água. Além disso, a vulnerabilidade dos processos erosivos em várias áreas na bacia hidrográfica acarretada um agravamento no período chuvoso. Esses

fatores demonstram que a variação na concentração de alumínio dissolvido não está diretamente relacionada com a instalação dos barramentos.

A DN Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008 estabelece um limite de 0,1 mg/L para o parâmetro de alumínio, tendo em vista os corpos hídricos enquadrados na classe 2. Dessa maneira, pôde-se perceber que houve resultados acima deste do limite dessa normativa nas seis estações de monitoramento (RD072, RD019, RD083, RD044, RD059 e RD067) antes e após o acidente, sendo que os valores mais significativos são encontrados nas estações RD019, RD0444 e RD059, sendo as duas primeiras localizadas após as usinas de Risoleta Neves e Baguari respectivamente e, a última antes da usina de Aimorés nos dois períodos analisados. Estes resultados demonstram, a influência das chuvas na variação deste parâmetro associado com o uso do solo, e também a interferência do rompimento de Fundão para elevação abrupta da concentração desse parâmetro.

- ***Ferro Dissolvido***

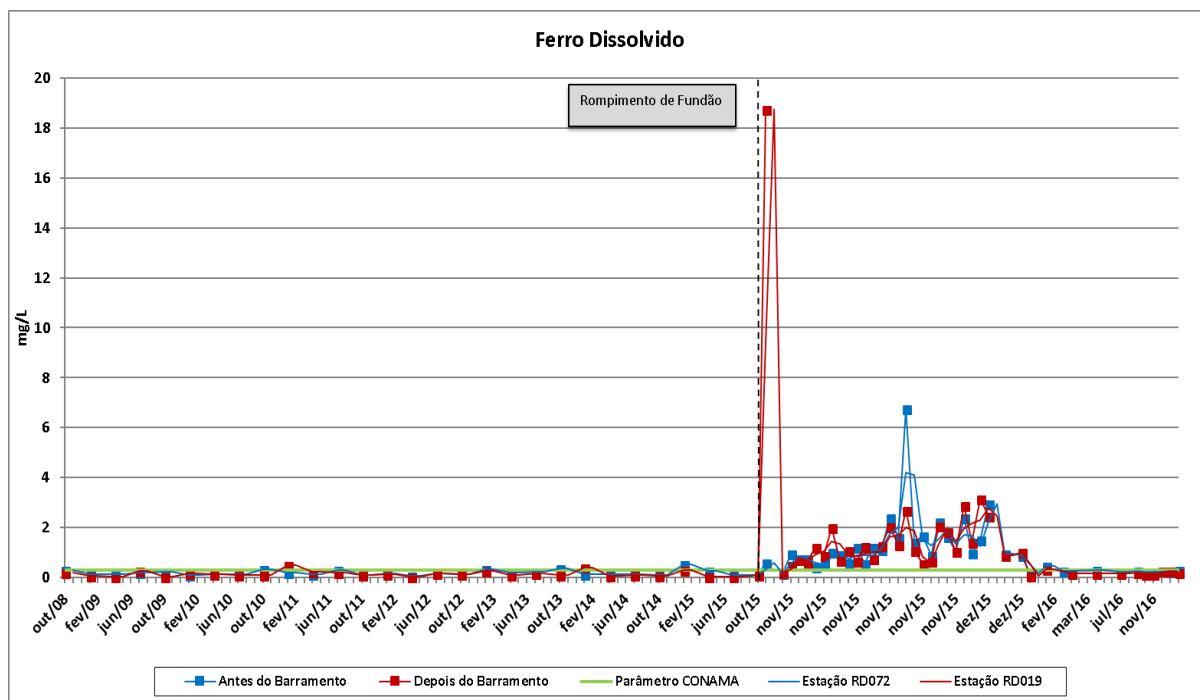
O ferro por sua vez, aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico. Nas águas superficiais, a concentração de ferro aumenta no período chuvoso devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens. Outra contribuição importante para as concentrações de ferro é o lançamento de efluentes industriais, advindos, principalmente, de indústrias metalúrgicas (CETESB, 2017).

No estudo do parâmetro de ferro dissolvido, as Figuras 27, 28 e 29 representam os gráficos com a variação ao longo do tempo nos seis pontos de coleta (RD072, RD019, RD083, RD044, RD059 e RD067) localizados antes e após as usinas hidrelétricas estudadas, ao longo das campanhas referente ao período de outubro de 2008 a fevereiro de 2017.

Ao analisar a Figura 27 juntamente com a Tabela 22, referente ao comportamento ao longo da série temporal do ferro dissolvido, é possível realizar algumas conclusões. Percebe-se que o período antes do rompimento da barragem possui concentrações acima do limite da legislação na estação à montante e à jusante da usina de Risoleta Neves, sendo a maior variação dos dados observados à jusante. As concentrações foram registradas entre 0,488mg/L e 0,538 mg/L, considerando todas as amostras para esse período. Vale ressaltar também que através da Tabela 4, é possível confirmar o desempenho das concentrações ao longo da série temporal. Apesar das concentrações das médias (0,193 e 0,152) e máximas (0,538 e 0,488), serem maiores na estação à montante da usina (RD072), a variação dos resultados, representado pelo desvio padrão, é maior na estação à jusante da usina (RD019), o que demonstra uma relação com o desenvolvimento das series temporais apresentada na Figura 27. Esse comportamento é influenciado,

principalmente, pelas variações entre as estações secas e chuvosas. Este padrão se deve ao maior carreamento de sólidos devido a intensificação do escoamento superficial no período chuvoso.

**Figura 27:** Séries temporais de ferro dissolvido nas estações RD072 e RD019.



Fonte: Própria autora.

**Tabela 22:** Dados estatísticos da concentração de ferro dissolvido antes e após a UHE de Risoleta Neves.

ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA RISOLETA NEVES				
Estatística	FERRO DISSOLVIDO			
	ANTES DO ACIDENTE		DEPOIS DO ACIDENTE	
	RD072	RD019	RD072	RD019
<b>Número de dados</b>	29	29	40	40
<b>Média</b>	0,193444828	0,152437931	1,081684597	1,447370915
<b>Mediana</b>	0,1508	0,1194	0,8835	0,836
<b>Máximo</b>	0,538	0,488	6,758	18,73
<b>Mínimo</b>	0,0693	0,04	0,157	0,0736
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,12	0,08	0,308	0,25925
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,1508	0,1194	0,8835	0,836
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,25	0,19	1,2725	1,344
<b>Variância</b>	0,011117477	0,011725565	1,331077369	8,540520715
<b>Desvio Padrão</b>	0,105439446	0,108284646	1,153723264	2,92241693
<b>Coefficiente de Variação</b>	54,50621124	71,03523734	106,6598588	201,9120946

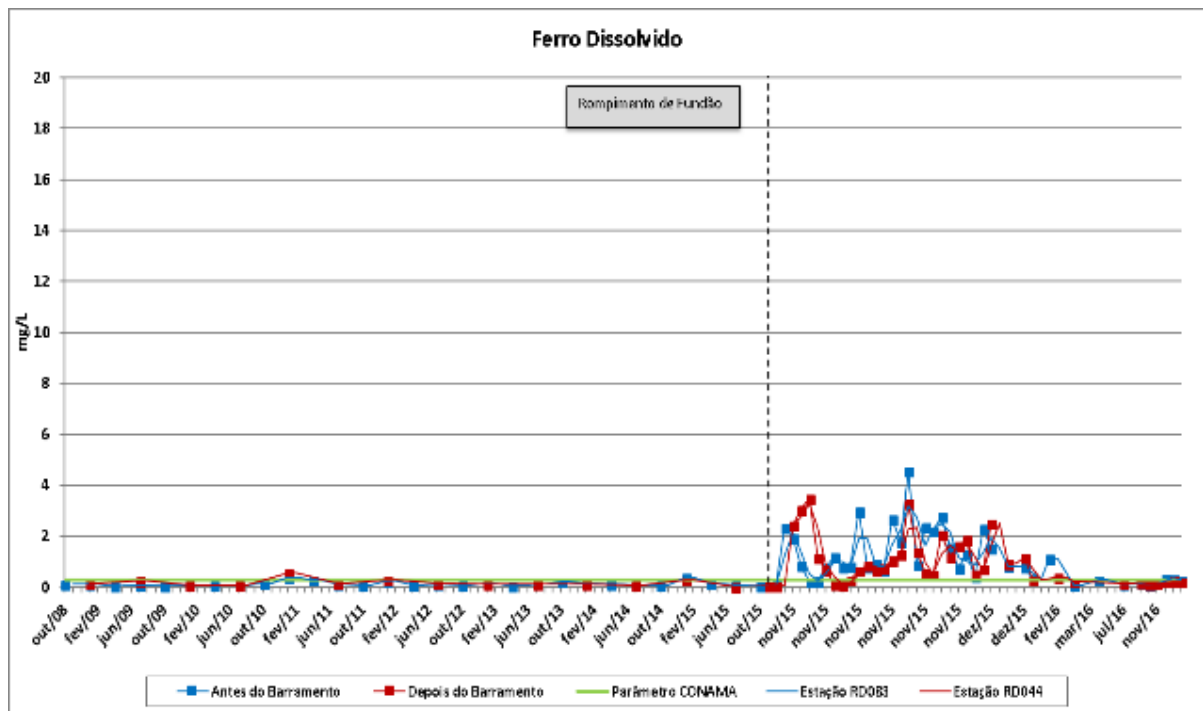
Fonte: Própria autora.

Discutindo agora sobre os dados de ferro dissolvido após o rompimento de Fundão nas mesmas estações de monitoramento, é notória a contribuição direta que teve esse evento para o aumento da concentração desse parâmetro. As maiores concentrações

são encontradas na estação posterior ao barramento, sendo um desses 18,73 mg/L, cerca de 60 vezes superior ao limite estabelecido pela legislação. Na Tabela 22, também é possível observar que a concentração média (1,447), máxima (18,73) e desvio padrão (2,922) também são superiores na estação após a usina.

Na Figura 28, os dados de ferro dissolvido correspondem as estações à montante e à jusante da hidrelétrica de Baguari. Observa-se que as concentrações antes do acidente não possuem grandes variações, mas quando identificadas ocorrem no período chuvoso, sendo a maior concentração de 0,573 mg/L na estação após a usina de Baguari. Após o rompimento da barragem de Fundão, as variações são bem acentuadas nas duas estações de monitoramento. Sendo que, a concentração de 4,583 mg/L é observada na estação antes da usina de Baguari, e 3,049 mg/L na estação posterior.

**Figura 28:** Séries temporais de ferro dissolvido nas estações RD083 e RD044.



Fonte: Própria autora.

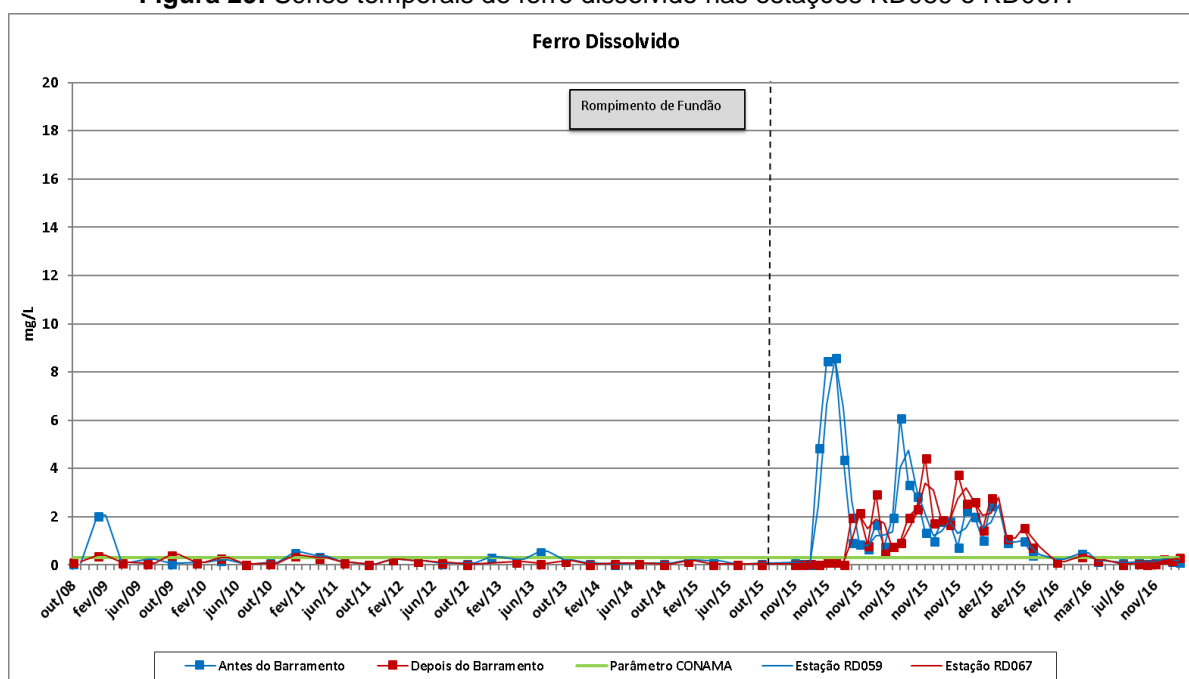
Na Tabela 23, é possível comprovar os resultados verificados na Figura 28, onde identificou-se concentrações superiores na estação posterior a hidrelétrica de Baguari antes do rompimento da barragem. Por outro lado, após o evento, iniciou-se uma inversão do comportamento, onde os resultados começam a se mostram superiores à montante do barramento.

**Tabela 23:** Dados estatísticos da concentração de ferro dissolvido antes e após a UHE de Baguari.

ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA BAGUARI				
Estatística	FERRO DISSOLVIDO			
	ANTES DO ACIDENTE		DEPOIS DO ACIDENTE	
	RD083	RD044	RD083	RD044
Número de dados	29	14	40	39
Média	0,141210345	0,191214286	1,126876993	0,960475603
Mediana	0,11	0,1455	0,817	0,69
Máximo	0,381	0,573	4,583	3,49
Mínimo	0,05	0,0395	0,0865	0,0677
1° Quartil - 25%	0,0877	0,1118	0,32075	0,22
2° Quartil - 50%	0,11	0,1455	0,817	0,69
3° Quartil - 75%	0,1564	0,243725	1,64375	1,2585
Variância	0,007778462	0,018239555	1,033139157	0,888016578
Desvio Padrão	0,088195588	0,135053897	1,016434532	0,942346315
Coefficiente de Variação	62,4568885	70,62960634	90,19924429	98,1124676

Fonte: Própria autora.

Por fim, através da Figura 29 e Tabela 24, foi possível verificar que os resultados nas estações RD059 (montante da usina) e RD067(jusante da usina) possuem concentrações médias (0,237 e 0,143), máximas (2,07 e 0,45) e desvios padrões (0,378 e 0,121) respectivamente, são maiores na estação à montante da usina de Aimorés, no período antes do acidente. A mesma situação pode ser observada após o acidente, concentrações maiores - na estação de amostragem antes da usina. As alterações nas concentrações de ferro dissolvido nessas estações só foram constatadas 5 dias após o rompimento da barragem de Fundão, o que explica pelo tempo gasto até a chegada da lama de rejeito até as estações.

**Figura 29:** Séries temporais de ferro dissolvido nas estações RD059 e RD067.

Fonte: Própria autora.

**Tabela 24:** Dados estatísticos da concentração de ferro dissolvido antes e após a UHE de Aimorés.

ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA AIMORÉS				
Estatística	FERRO DISSOLVIDO			
	ANTES DO ACIDENTE		DEPOIS DO ACIDENTE	
	RD059	RD067	RD059	RD067
Número de dados	29	28	38	38
Média	0,23767931	0,143121429	1,714032058	1,145538578
Mediana	0,1118	0,0989	0,943	0,776
Máximo	2,07	0,45	8,615	4,456
Mínimo	0,0373	0,0307	0,0595	0,03
1° Quartil - 25%	0,0781	0,055	0,2025	0,133175
2° Quartil - 50%	0,1118	0,0989	0,943	0,776
3° Quartil - 75%	0,24	0,174175	2,02375	1,96775
Variância	0,143176801	0,014807069	4,702371537	1,411158136
Desvio Padrão	0,378387105	0,121684301	2,168495224	1,187921772
Coefficiente de Variação	159,2006911	85,02172064	126,5142746	103,6998487

O limite máximo estabelecido pela DN Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008, considerando os corpos hídricos na Classe 2, para a concentração de ferro dissolvido são de 0,3 mg/L. Foram observadas concentrações acima do limite máximo nos dois períodos de análise, sendo que antes do rompimento da barragem são identificados principalmente nos meses chuvosos e, após evento concentrações muito elevadas nos meses de novembro de 2015 a março de 2016, chegando a concentrações 60 vezes acima do limite identificados na estação RD019, 15 vezes superior ao limite na estação RD083 e aproximadamente 30 vezes acima do limite na estação RD059, comportamento claramente observado devido a passagem da lama de rejeito.

Após uma análise do comportamento do ferro dissolvido, é possível inferir que, as concentrações elevadas, podem ser resultado do uso e ocupação do meio físico. A carga de sólidos vindos de afluentes do Rio Doce ao longo do seu curso, resultantes de atividades minerárias, a presença de despejos de indústrias metalúrgicas, que devido ao seu processo produtivo lançam efluentes ricos ferro (CETESB, 2017), associado também a estação chuvosa, influência na quantidade de sólidos dissolvidos e, conseqüentemente de ferro dissolvido na coluna d'água. Além disso, o rompimento de Fundão interferiu de forma brusca nas características da água, elevando os resultados dos parâmetros. É necessário ressaltar também que, as concentrações elevadas de ferro podem estar associadas à próprias características geoquímicas locais, bem como às taxas de erosão favorecendo que as partículas de solo sejam carregadas para dentro dos corpos d'água. Esses processos demonstram que a implantação do barramento está pouco associada ao aumento nas variações e nos valores obtidos para concentração de ferro dissolvido.

Quando se analisa os resultados obtidos com aqueles previstos na literatura técnica é possível observar que os estudos sobre a qualidade de água de reservatórios brasileiros refletem uma semelhança nos resultados alcançados nesse trabalho. Por

exemplo, Ruas (2006) ao estudar três UHEs implantadas em série no rio Pomba, conclui que os parâmetros de qualidade da água que não indicou uma possível influência dos barramentos no curso d'água foram temperatura, pH, acidez, dureza, oxigênio dissolvido, DQO, cloretos, nitrogênio amoniacal, nitratos, nitrogênio total, ferro total, manganês, sólidos em suspensão, sólidos totais, turbidez, coliformes fecais e totais, zooplancton (riqueza) e zoobenton (riqueza).

Além desse autor, Breda (2016), analisando a possível implicação na qualidade da água pela instalação da Usina Hidrelétrica de Funil, instalada no rio Grande, indica que os parâmetros de coliformes termotolerantes, DBO, DQO, ferro total, nitrato, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos e zooplâncton (densidade) não indicaram possíveis influências significativas da implantação do barramento sobre o comportamento dos mesmos. O autor afirma ainda que a variação desses parâmetros está provavelmente relacionada, principalmente, com a evolução dos usos e ocupação do solo na bacia de contribuição associada às influências das variações climáticas. No estudo de Breda (2016), o aumento dos parâmetros de ferro dissolvido, sólidos dissolvidos e manganês total se deve às próprias condições geoquímicas da bacia hidrográfica, associadas às variações sazonais e padrões de usos e ocupação dos solos.

Percebe-se pela conclusão desses autores que alguns dos parâmetros que não indicaram possível influência dos barramentos se assemelham com os parâmetros trabalhados no grupo 2 desse trabalho.

Na análise do ferro dissolvido, foi observado um comportamento semelhante com o parâmetro de alumínio de dissolvido, essa similaridade na evolução das concentrações de ferro dissolvido nos dois períodos analisadas com as concentrações de alumínio verificadas anteriormente, é observado também para outros parâmetros analisados nesse trabalho.

Para os dois parâmetros discutidos nessa etapa (alumínio dissolvido e ferro dissolvido) é possível observar uma homogeneidade nos comportamentos das concentrações tendo como base os gráficos das séries temporais e os dados estatísticos no período antes e depois do rompimento da barragem. Estes desempenhos são também caracterizados nos demais parâmetros do grupo 2 (Apêndice A) que apresentam variação nas concentrações possivelmente por fatores que envolvem os diversos usos do solo na bacia hidrográfica, e não diretamente a implantação dos barramentos. É importante ressaltar que no perímetro entre as barragens e as estações de monitoramento existem diversos tipos de uso do solo, o que pode sugerir uma influência no resultado dos parâmetros.

Dessa forma essa manifestação dos parâmetros sugerem uma influência mais significativas de ações e fatores antrópicos que podem afetar a qualidade da água, como por exemplo: manejo solo pela agricultura e pastagem, alteração da cobertura vegetal do

solo, atividades minerárias e lançamento de efluentes domésticos e industriais. Segundo Breda (2016), a maior parte dos fatores e ações antrópicas mencionados anteriormente estão relacionados direta ou diretamente com os usos do solo na bacia hidrográfica. Ainda segundo autor, em seu estudo, ele indica que a cobertura e composição do solo na bacia hidrográfica de estudo sofre grande influência na definição da qualidade das águas. Além disso, as condições sazonais do clima também influenciam indiretamente na qualidade da água.

O alumínio e o ferro apresentam menor mobilidade diante do intemperismo e tendem a permanecer no solo. No entanto, em períodos de maior lixiviação (estações chuvosas), as partículas de solo chegam aos cursos d'água carregadas desses compostos, os resultados demonstram que o ferro e o alumínio são incorporados ao sistema aquoso, aumentando os resultados das amostras (MAGALLHÃES, 2006).

Assim como observado para o alumínio e o ferro, as concentrações dos demais parâmetros tendem a aumentar em direção à jusante ao longo do Rio Doce. Este mesmo comportamento é observado no estudo Magalhães (2006), que associa essa reação a uma maior intensidade na lixiviação dos solos nas áreas à jusante em função da ausência de cobertura vegetal, aumentando a carga de partículas para os córregos.

A reação semelhante de cada parâmetro pode se justificar também pelo seu funcionamento, pois a atuação como cátion expressam relação direta com os fatores de diluição na água, não havendo a precipitação desses. Dessa forma, esses parâmetros formam sólidos que podem ser diluídos na água (dependendo das concentrações e extensão do rio) em função de um fluxo unidirecional são carregados mais rapidamente para área à jusante da barragem.

- ***Correlação de Person***

Visando demonstrar a semelhança no comportamento entre as concentrações de alumínio dissolvido e ferro dissolvido, no período antes e após o rompimento de Fundão nas seis estações de monitoramento, logo abaixo será apresentado, na Figura 30, os dados de correção de Pearson das variáveis discutidas. Assim, para que exista uma correlação perfeita entre as variáveis os coeficientes devem ficar próximos de  $r = 1$ , confirmando sua forte correlação.

O resultado dessa análise, através desses dois parâmetros, exemplifica e justifica o comportamento com certa simetria dos parâmetros do grupo 2.

**Figura 30:** Correlação de Pearson entre o alumínio dissolvido e ferro dissolvido.

COEFICIENTE DE PEARSON	ANTES DO ACIDENTE					
	RD072	RD019	RD083	RD044	RD059	RD067
Alumínio Dissolvido x Ferro Dissolvido	0,62	0,67	0,52	0,79	0,95	0,62
	DEPOIS DO ACIDENTE					
	0,97	0,95	0,78	0,88	0,95	0,91

Fonte: Própria autora

Analisando a semelhança no comportamento dos parâmetros de alumínio dissolvido e ferro dissolvido, através da correlação de Pearson, os dados da Tabela 29, demonstram, antes do acidente, uma correlação moderada positiva nas estações RD072, RD019, RD083, RD044 e RD067, e na estação RD059 a correlação é perfeita positiva. Dessa geral, esses dados demonstram uma correlação linear significativa positiva entre os dois parâmetros, ou seja, nos dados observados, quanto maior for a concentração de alumínio, será também maior a concentração de ferro, e vice-versa.

Nos coeficientes obtidos após o rompimento de Fundão, a similaridade no comportamento dos parâmetros fica ainda mais evidente, pois em todas as estações foi possível observar uma correlação perfeita positiva, ou seja, bem próximo a  $r = 1$ . Dessa forma, quanto maior for as concentrações de alumínio maior será as ferro, demonstrando também uma correlação linear significativa e positiva.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram avaliadas ao longo da série temporal, o comportamento dos parâmetros físicos e químicos no curso d'água do rio Doce. Analisando nesse contexto, as possíveis alterações desses parâmetros na qualidade da água devido à presença das Usinas Hidrelétricas (UHE) Risoleta Neves, Baguari e Aimorés, antes e depois do rompimento da barragem de Fundão.

Os resultados obtidos permitiram caracterizar e acompanhar a evolução das condições físicas e químicas da qualidade das águas ao longo do rio Doce, bem como identificar possíveis fatores que associados interferem na qualidade da água. O comportamento desses fatores indica não apenas a presença de barramentos, mas também, as variações sazonais que intensificam o carreamento de compostos para os cursos d'água, o desenvolvimento do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, associado à presença de práticas de manejo do solo inadequados, que comprometem a qualidade do sistema aquático e dos ecossistemas presente na bacia. A partir dessa reflexão, é importante a adoção de medidas preventivas e corretivas em toda a bacia hidrográfica, visando reduzir a interferência desses e demais fatores para perda da qualidade e quantidade d'água.

No que tange às variações nos parâmetros estudados, considerando o período anterior e posterior ao rompimento da barragem, conclui-se que os parâmetros de qualidade da água que sofreram uma possível influência da presença dos barramentos no curso d'água foram sólidos em suspensão totais e turbidez. O estudo estatístico dos dados possibilitou reafirmar os efeitos significativos sobre os parâmetros.

Na análise do oxigênio dissolvido foi possível constatar influências que não se relacionam com os barramentos, mas que condizem com os diversos usos e ocupação na região, como o lançamento de matéria orgânica nos cursos d'água. Seu comportamento ao longo da série temporal possui uma evolução distinta dos demais parâmetros relatados, por isso sua análise foi descrita de forma isolada.

Para o grupo de parâmetros representado pelo alumínio dissolvido, arsênio total, cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido, cromo total, ferro dissolvido, sólidos dissolvidos e totais, manganês total, mercúrio total, níquel total e zinco total, constatou-se que as variações encontradas não indicaram possíveis influências significativas e diretas da presença dos barramentos sobre a variação das concentrações dos mesmos. É possível que essas variações estejam associadas, principalmente, com a evolução dos diferentes usos e ocupação do solo na área do entorno da bacia, associadas às influências das variações sazonais. Além disso, a caracterização da bacia em termos geológicos, pedológicos, químicos, geomorfológicos, climáticos e biológicos diz muito sobre a

composição natural das águas, o que se verificou em muitos parâmetros, como fatores para o aumento das concentrações desses parâmetros.

Para esses parâmetros que não sofreram influência direta dos barramentos, foi observado uma semelhança no comportamento das concentrações ao longo da série temporal. Essa afinidade foi confirmada através da aplicação da correlação de Pearson, onde constatou-se correlação linear significativa positiva entre os parâmetros amostrados de alumínio dissolvido e ferro dissolvido, parâmetros estes escolhidos como representantes do grupo.

Em relação ao atendimento dos limites estabelecidos para a classe 2 pela Deliberação Normativa COPAM/CERH nº01/2008 foi constatado concentrações acima dos limites estabelecidos para os parâmetros de alumínio dissolvido, arsênio, cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido, cromo total, ferro dissolvido, manganês total, mercúrio total, níquel total, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos e totais em todo o período analisado, antes e depois do rompimento de fundão. Apenas para o parâmetro zinco total não foram observadas violações do limite da legislação. Tais ocorrências foram observadas devido à influência do escoamento superficial nos períodos chuvosos e/ou, ainda, a eventos poluidores pontuais, não sendo observadas influências advindas dos barramentos sobre as concentrações.

Os parâmetros de sólidos em suspensão e turbidez também apresentaram concentrações superiores aos limites da legislação, todavia, foi possível perceber que houve influência dos barramentos instalados ao longo do rio Doce para diminuição das suas concentrações após os barramentos. Apesar da presença de violações pelos parâmetros, é de se considerar que os pontos, mais significativos decorrem no período posterior ao desastre de Fundão, o que mudou consideravelmente a dinâmica local, antes do evento, tais violações ocorrem de forma pontual e eventual conforme foi observado na análise dos gráficos de concentração na série temporal.

É importante considerar que, tais violações devem ser observadas com cuidado, pois indicam riscos e apontam restrições para alguns usos múltiplos, como abastecimento humano, a irrigação e a recreação de contato primário, pelo menos durante os períodos de maior ocorrência, devendo considerar o respectivo enquadramento do curso d'água e seus usos, estabelecidos na Deliberação Normativa COPAM/CERH nº01/2008.

Ao considerar possíveis fatores que interferem nas variações das concentrações dos parâmetros físicos e químicos d'água, buscou-se avaliar paralelamente as influências das distâncias entre os pontos de monitoramento e os barramentos instalados no rio Doce, pois ao longo do perímetro estudado existem diversas interações que podem interferir de maneira direta para a qualidade da água. As maiores distâncias observadas entre algumas

estações, amparam para as conclusões sobre as influências dos barramentos e/ou demais usos na bacia hidrográfica.

A literatura técnica utilizada neste trabalho contribuiu de forma significativa para o embasamento científico e teórico, tendo que vista que os estudos sobre o tema também demonstram a grande importância dos usos e ocupação do solo na bacia e das influências entre as estações secas e chuvosas. Por outro lado, os trabalhos desenvolvidos na mesma temática apresentam especificidades enquanto características local e dinâmica de processos físico-químicos e hidrobiológicos dos barramentos, que dificultam na determinação de padrões e tendências daquelas obtidas no presente estudo. Esse fato, pode ter limitado a discussão dos resultados encontrados, o que alerta para importância de devolver estudos semelhantes de forma mais específica, sendo essa, conseqüentemente, uma das recomendações propostas neste trabalho.

É importante relatar que o presente trabalho pode ser caracterizado como um estudo preliminar para futuras pesquisas que estabeleçam conclusões complementares das influências dos barramentos sobre os parâmetros de qualidade da água. Sendo que, para isso seria necessário a introdução de temas, por exemplo, que abordem as características bacteriológicas, hidrobiológicas e morfométricas (profundidade máxima, média e relativa, perímetro, largura, comprimento, volume, área, índice de desenvolvimento da margem e volume declividade média e outros), pois essas informações fundamentais para a avaliação da qualidade da água associados também com outros fatores.

Por fim, para trabalhos futuros, espera-se uma análise mais profunda sobre os fatores presentes na bacia que intensificam na perda da qualidade da água, relacionando esses fatores com as características naturais da região. Além disso, deve-se pesquisar demais parâmetros que não foram abordados nesse trabalho, mas que podem ter suas concentrações influenciadas pela presença dos barramentos.

## REFERÊNCIAS

ALIANÇA GERAÇÃO DE ENERGIA S.A. Disponível em: <<http://aliancaenergia.com.br/br/>>. Acesso em 07 de abril de 2018.

ANA - Agência Nacional das Águas. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso em: 04 maio. 2018.

ANA – Agência Nacional de Águas, Bacias Hidrográficas do Atlântico Sul - Trecho Leste: sinopse de informações do Espírito Santo, Rio de Janeiro, Bahia e Sergipe (cd nº 4), Série: Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos, 2001. CDROM.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Brasília: ANEEL, 2008. 236p. e-book. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf> > Acesso em 07 de abril de 2018.

ANEEL. Banco de Informações de Geração. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/15.htm> >. Acesso em 07 abr. 2018.

ARRUDA, Nicole Machuca Brassac de. Avaliação de variáveis de qualidade de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas de Foz do Areia, Segredo e Caxias, como instrumento de gestão de bacias hidrográficas. Tese (doutorado) – Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 227 f. 2014.

BARBOSA, T.A.S. Análise do Estudo de Impacto Ambiental da PCH Ninho da Águia. Proposta de Otimização do Processo de Licenciamento Ambiental utilizando uma Matriz Simplificada. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá. 2004. 119 p.

BIOS CONSULTORIA AMBIENTAL. Plano ambiental de conservação e uso do entorno do reservatório artificial da UHE BAGUARI (ATUALIZAÇÃO PACUERA BAGUARI). Belo Horizonte: Consórcio UHE Baguari, 2014. 89p.

BORGES, Ana Carolina Siva; PEREIRA, Margarete Aparecida. Análise comparativa da qualidade da água na Bacia do Rio Doce após rompimento da barragem do Fundão, Mariana – Minas Gerais. UNABH. Belo Horizonte. 2016. 30f.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce: Rompimento da barragem em Mariana/MG: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil Informe 2015. Brasília: ANA, 2016, 49 p. Disponível em: <[http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dosrecursos\\_hidricos/encarteriodoce\\_22\\_03\\_2016v2.pdf](http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dosrecursos_hidricos/encarteriodoce_22_03_2016v2.pdf)>. Acesso em: 07 Abr. 2018.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: CONAMA, 2005, 27p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 07 Abr. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: MS, 2011. 10 p. Disponível em: <[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)>. Acesso em: 07 Abr. 2018.

BRASIL. Lei nº 9.984, de 10 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 18 jul. 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9984.htm#art30](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm#art30)>. Acesso em: 05 mai. 2018.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

\_\_\_\_\_. Deliberação Normativa COPAM nº 87, de 17 de junho de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 jun.2005. Seção 1.

\_\_\_\_\_. Resolução CNRH nº 397, de 3 de abril de 2008. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 abr.2008. Seção 1.

\_\_\_\_\_. Resolução CNRH nº 37, de 26 de março de 2004. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 mar.2004. Seção 1.

\_\_\_\_\_. Resolução CNRH nº 16, de 08 de abril de 2001. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 08 abr.2001. Seção 1.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 nov.2000. Seção 1.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Diário Oficial da União, Brasília, DF, p.470, 9 jan. 1997b. Seção 1. Seção 1.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 jul. 1934. Seção 1.

BRAGA, Celso Carvalho; CABRAL, João Batista Pereira; ROCHA, Hudson Moraes Rocha. Avaliação Espaço-Temporal das Águas dos Afluentes do Reservatório da UHE Barra dos Coque/Goiás. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 19. n. 1. jan/mar 2014, 131-142.

BREDA, Luís de Souza. Avaliação espaço – temporal da qualidade da água do reservatório da usina hidrelétrica de Funil – Região Sul de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 294 f. 2001.

BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007.

BUZELLI, G.M.; CUNHA-SANTINO, M. B. D. Diagnostico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. Revista Ambiente & Água, v. 8, n.1, p. 186-205, 2013.

CARVALHO, Yara Maria C.; MORAES, Jener, Fernando L.; MENEZES, Luciana B.; MARTINS, Sonia S. A Legislação brasileira de recursos hídricos como instrumentalização à gestão compartilhada. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária. 2008.

CONSORCIO UHE BAGURI. Disponível em: <<http://www.uhebaguari.com.br/>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

CONSORCIO CANDONGA UHE RISOLETA NEVES. Disponível: <<http://www.candonga.com.br/>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo – Apêndice E: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo, 2017. 57 p. Relatório Técnico.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Eventos-Criticos/Monitoramento-Especial-do-Rio-Doce-4057.html>>. Acesso em 17 mar. 2018.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço energético nacional 2017: Ano base 2016. Rio de Janeiro, 2017. 296p.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030. EPE, 2007.

FERNANDES, Cláudio Tadeu Cardoso. Impactos Socioambientais de Grandes Barragens e Desenvolvimento: a percepção dos atores locais sobre a Usina Hidrelétrica de Serra da Mesa. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília. 427f. 2010.

FERNANDES, Kênia Nassau. Qualidade das águas nos Rios Gualaxo do Norte, Gualaxo do Sul e do Carmo - Afluentes do Alto Rio Doce (Watu): metais, metaloides e Índice de Qualidade das Águas antes e após o rompimento da barragem de rejeitos Fundação da Samarco/VALE/BHP Billiton, em Mariana, MG. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. 223f. 2017.

FREIRIA, Rafael Costa. Direito das Águas: Aspectos legais e institucionais na perspectiva da qualidade. Disponível em: <[http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n\\_link=revista\\_artigos\\_leitura&artigo\\_id=1738](http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=1738)>. Acesso em: 17 mar. 2018.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – Inventário de Barragem do Estado de Minas Gerais Belo Horizonte, 2016.

FUNDAÇÃO RENOVA. Disponível em: <<https://www.fundacaorenova.org/>>. Acesso em: 17 mar. 2018.

HONORATO, D. Variação Temporal de Parâmetros Limnológicos do Reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico de Queimado, Unaí - MG. 2008. Monografia (Pós-Graduação Latu sensu em Tecnologia Ambiental) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/gestao-das-aguas/sistema-de-informacoes-infohidro>> . Acesso em: 10 de nov. de 2017.

JUNK, Wolfgang J; MELLO, J.A.S. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. Estudos Avançados. 18p. 1990.

MAGALHÃES, Vanessa Sousa. Hidroquímica e Qualidade da Águas Superficiais e Subterrâneas em Áreas sob Influências de Lavras Pegmatíticas nas Bacias dos Córregos Água Santa e Palmeiras, Municípios de Coronel Murta (MG). Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 106f. 2006.

MINAS GERAIS. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Plano integrado de recursos hídricos da bacia do Rio Doce e dos planos de ações de recursos hídricos para as unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do Rio Doce: Plano de ação de recursos hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Piranga – PARH Piranga. IGAM, 2010. Disponível em: <[http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PARH\\_Piranga.pdf](http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PARH_Piranga.pdf)>. Acesso em: 07 Abr. 2018.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano Nacional de Energia 2030. Brasília: EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2007. 208p.

NORONHA, C. V. D.; LOBATO, W.; SABINO, C. D. V. S. Qualidade de água dos reservatórios fio de água de Jaguára, Igarapava e Volta Grande e afluentes, Bacia Hidrográfica do rio Grande, MG/SP. Lima (Peru) 2013. 1-19 p.

Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/pt/paginas/sobre-o-ons/relacionamentos>>. Acesso em: 07 de abr. 2018.

PIRES, Eduardo Vinícius Rocha. Caracterização geoambiental das áreas de influencia direta e indireta da PCH Areado – Rio Indaiá Grande - MS. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Três Lagoas, MS, 127f. 2016.

REKOWSKY, Isabel Cristiane. Relação entre a qualidade da água do reservatório da PCH Burucá e o uso do solo na Bacia de contribuição. Trabalho de Conclusão do Curso de Geografia. – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS, 75 f. 2011.

RODGHER, S.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; ROCHA, O.; FRACÁCIO, R.; PEREIRA, R. H. G.; ROGRIGUES, M.H.S. Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoir in the Tietê river (São Paulo, Brazil). *Braz. J. Biol.*, v. 65, n. 4, p. 697-710, 2005.

RUAS, André Luis. Avaliação das Alterações da Qualidade de Águas Tropicais Decorrentes da Instalação de Barramentos para Fins de Geração de Energia Elétrica – Estudo de Caso do rio Pomba. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 287f. 2006.

SAMARCO. Rompimento de Fundação. Disponível em: < <https://www.samarco.com/rompimento-de-fundao/> >. Acesso em: 07 de abr. 2018.

SANTOS, Djanira Alexandra Monteiro dos.; CURI, Adilson.; SILVA, José Margarida da – Técnicas para a disposição de rejeitos de minério de ferro. Ouro Preto 2010.

SOUZA, Percival Ignácio de, et al. – Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, vol.1. Consorcio Ecoplan – LUME, 2010.

SOUZA, Percival Ignácio de, et al. – Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, vol.3. Consorcio Ecoplan – LUME, 2010.

SOUZA, Wanderley Lemgruber de. Impacto Ambiental de Hidrelétricas: Uma análise comparativa de duas abordagens. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000. 154p.

SUPRAM - SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE MEIO AMBIENTE. Parecer Único. Revalidação da Licença de Operação (REVLO) da UHE – Risoleta Neves nº 0615618/2014. 2014.

SUPRAM LESTE MINEIRO - SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Parecer Único. Licença Ambiental nº 230455/2009. 2009.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz Energética Brasileira. *Novos Estudos*. 23 f. nov. 2007.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro. Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro. 2014.

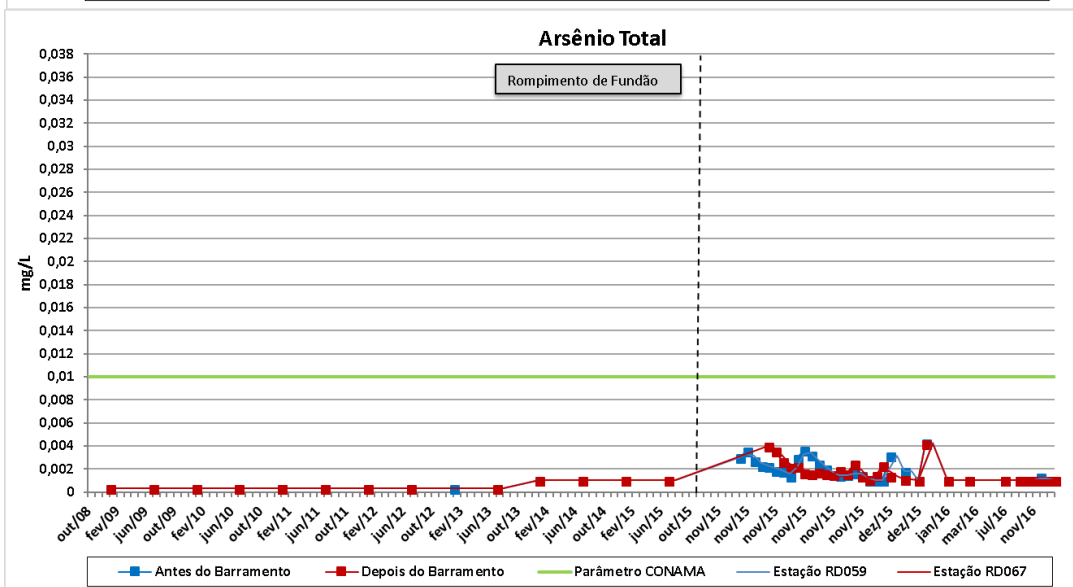
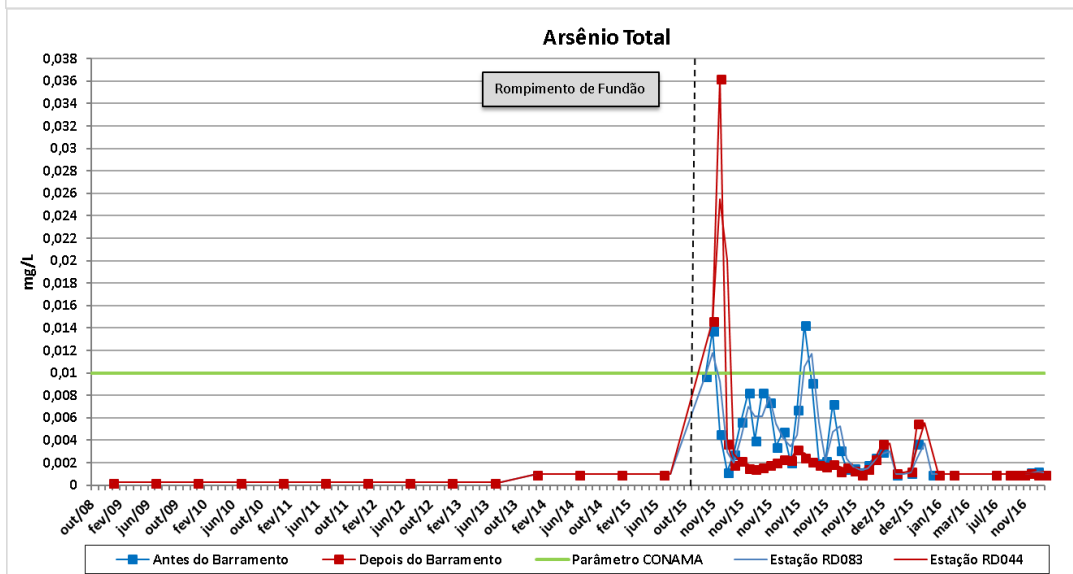
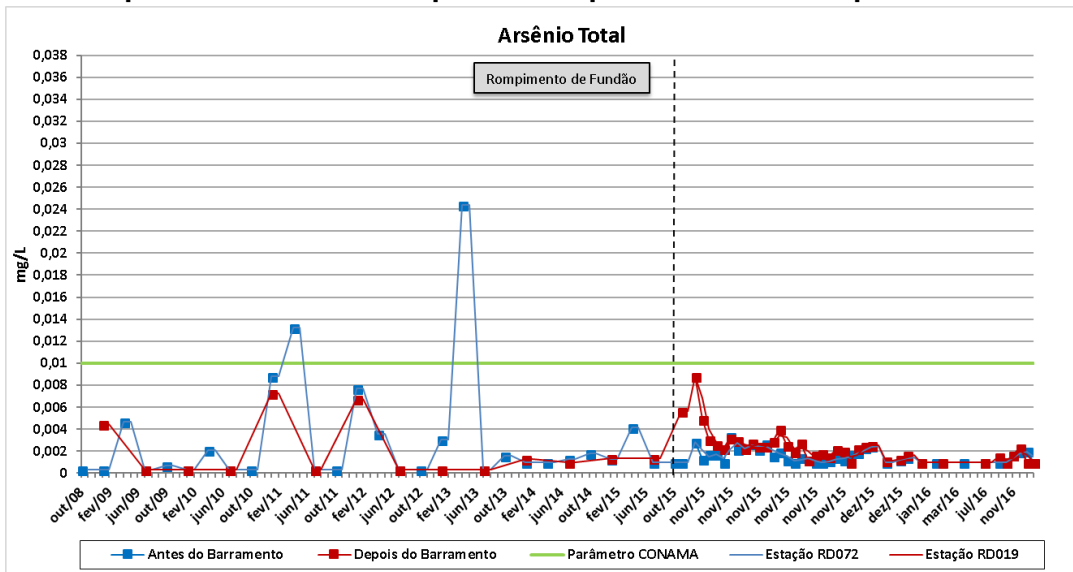
TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. Limnologia. São Paulo: Oficina dos Textos, 2008. 631p.p.

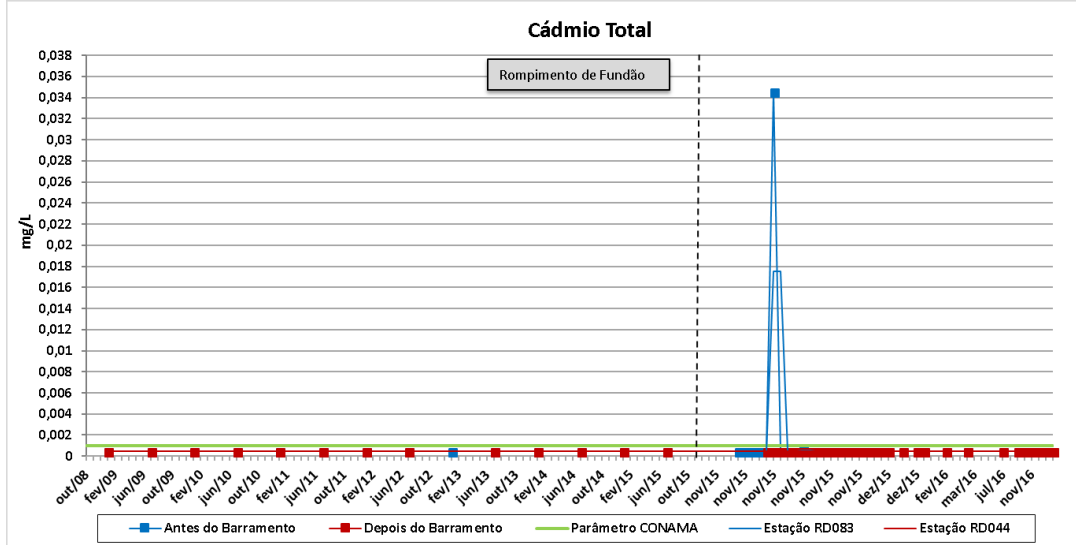
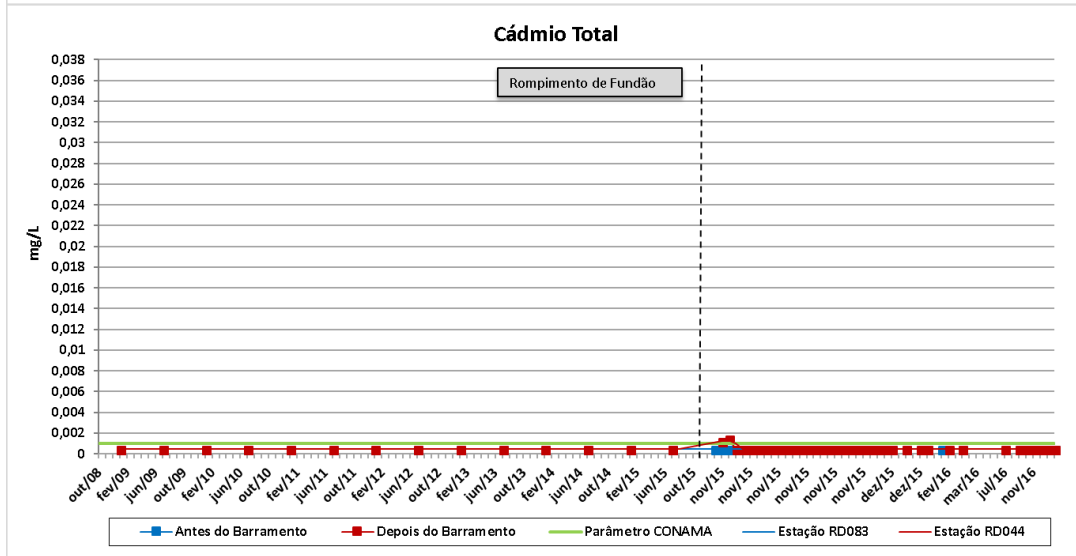
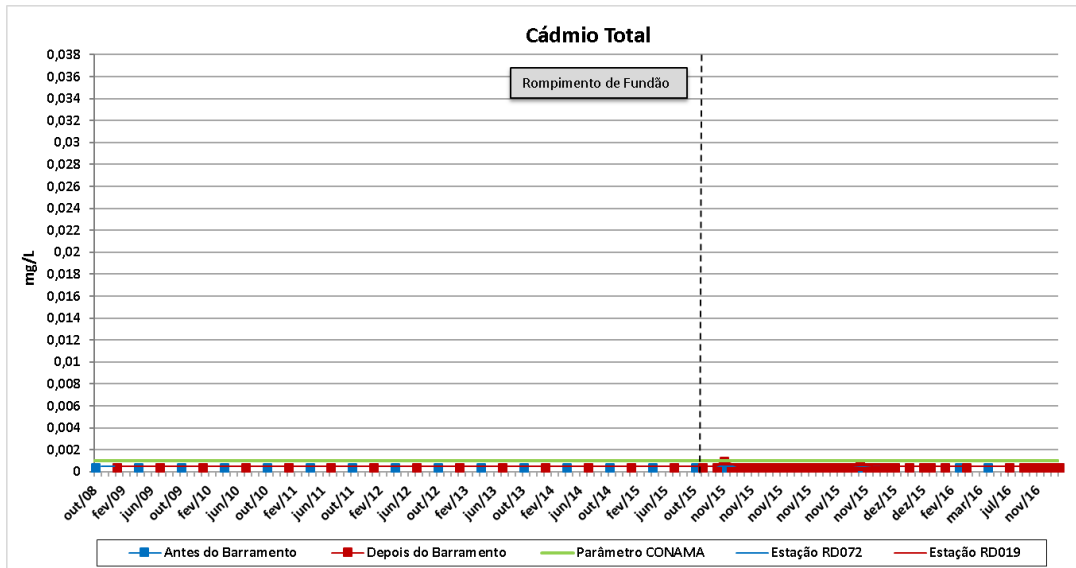
USINAS DA CEMIG: 1952-2005. Centro da Memória da Eletricidade no Brasil. Rio de Janeiro, 2006. 304p.

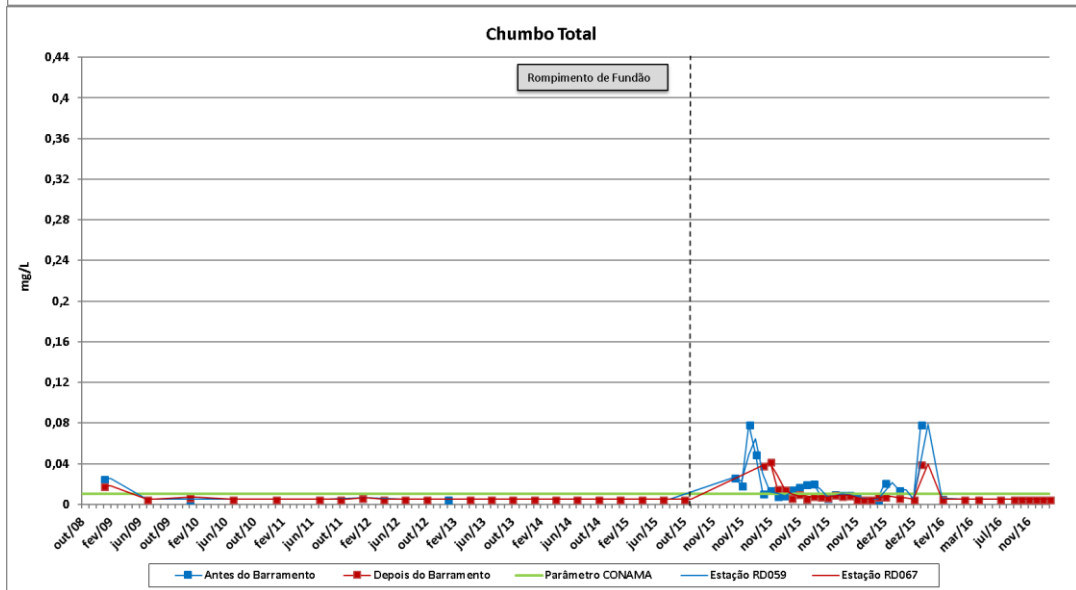
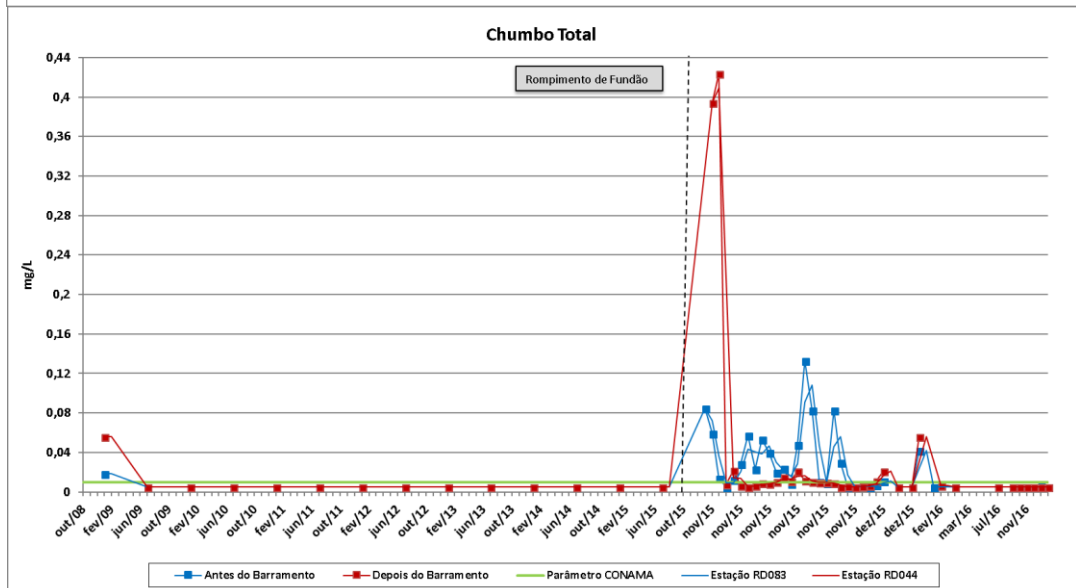
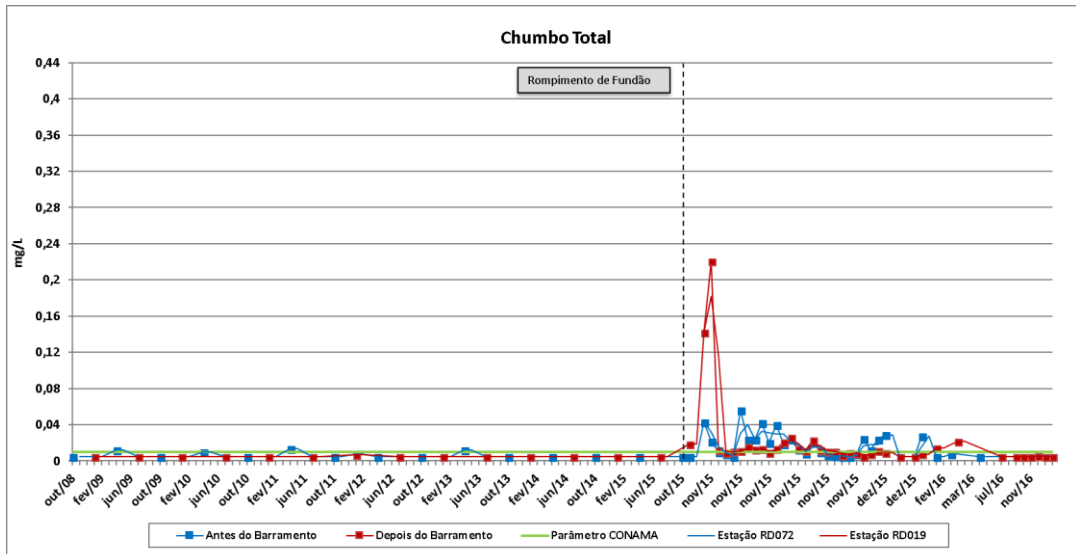
VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2014. 472 p.

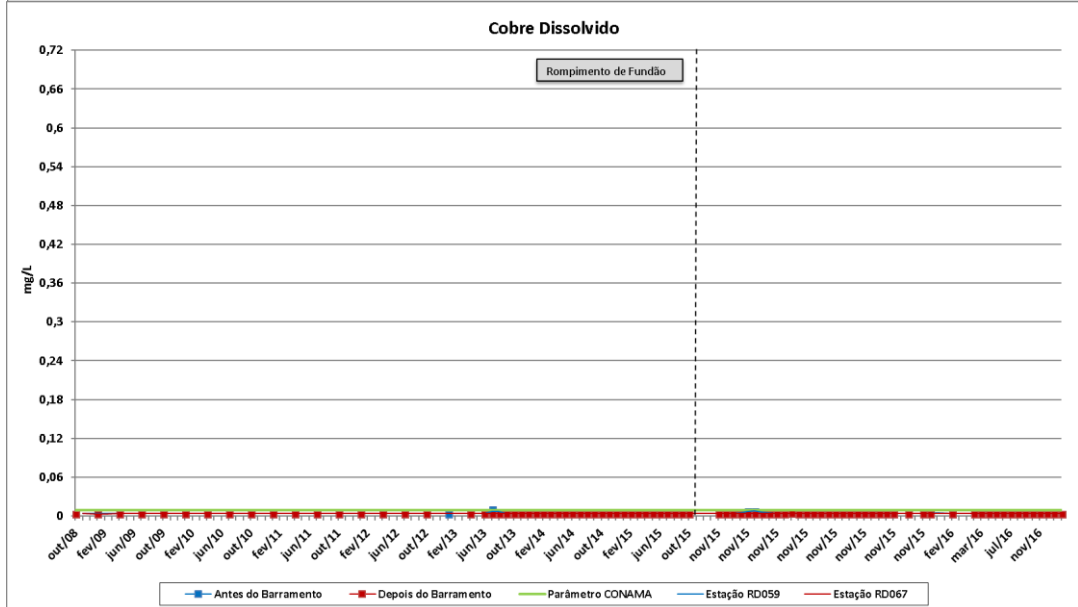
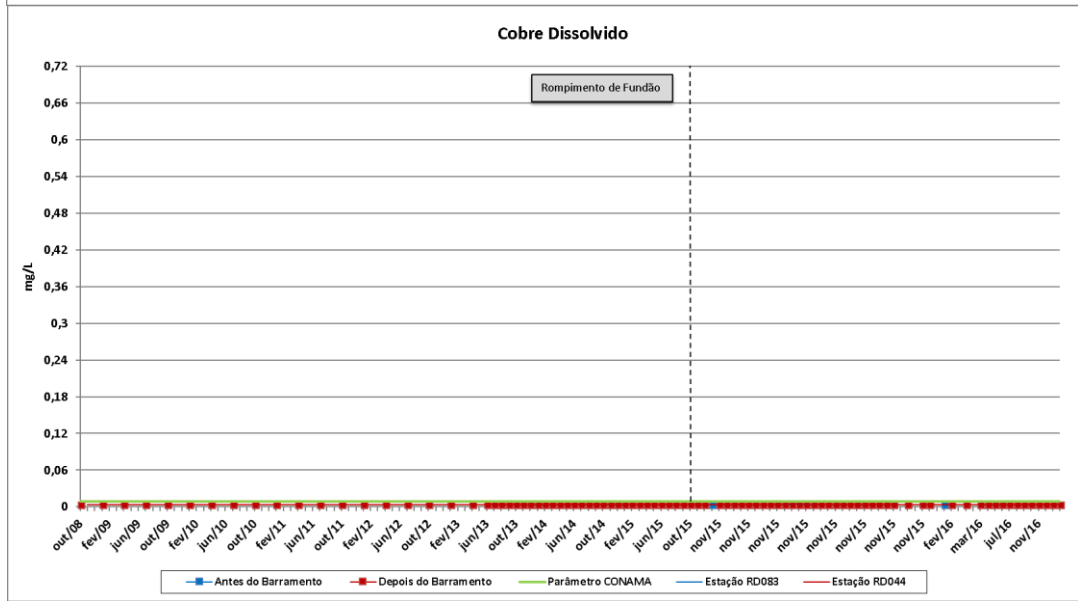
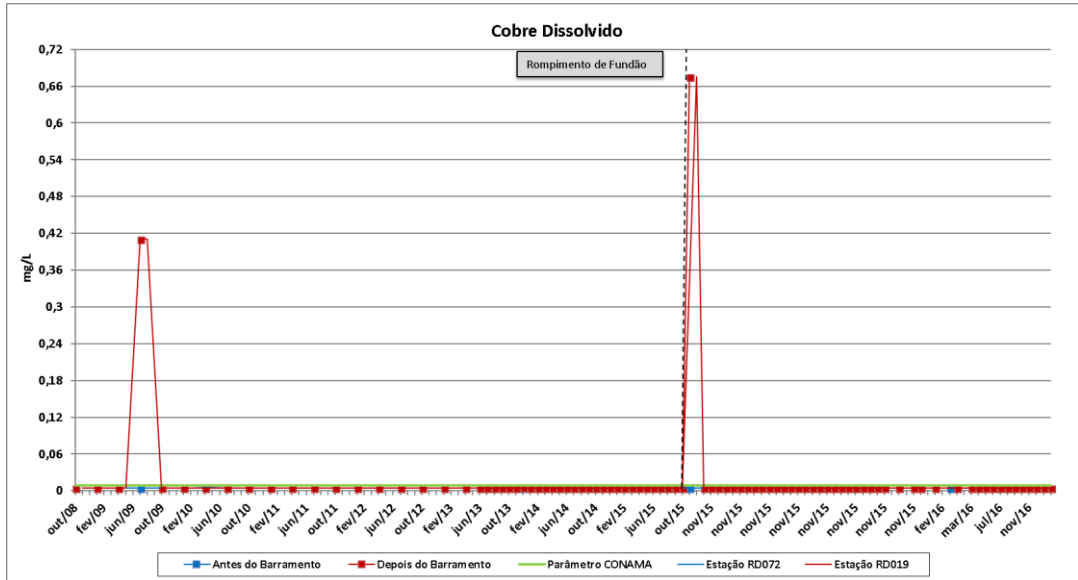
## **Apêndice**

Apêndice A: Séries temporais dos parâmetros físico-químicos.

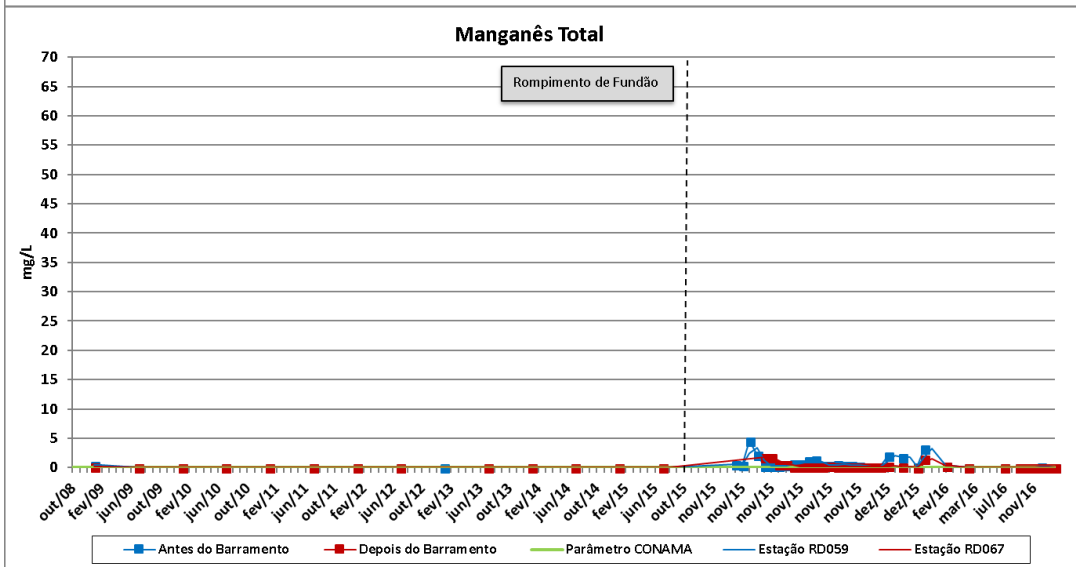
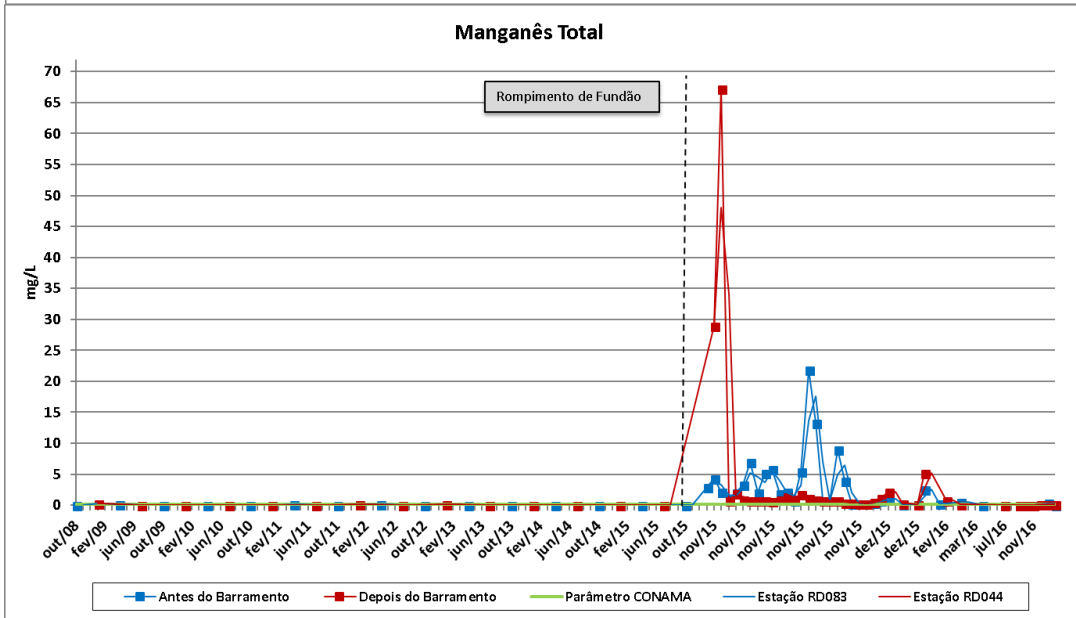
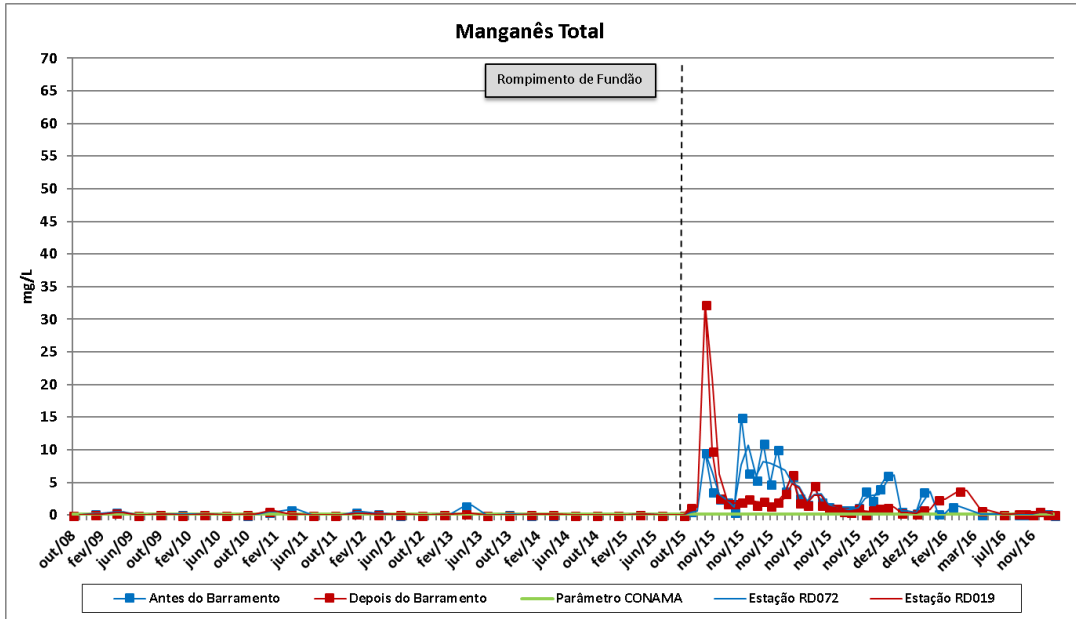


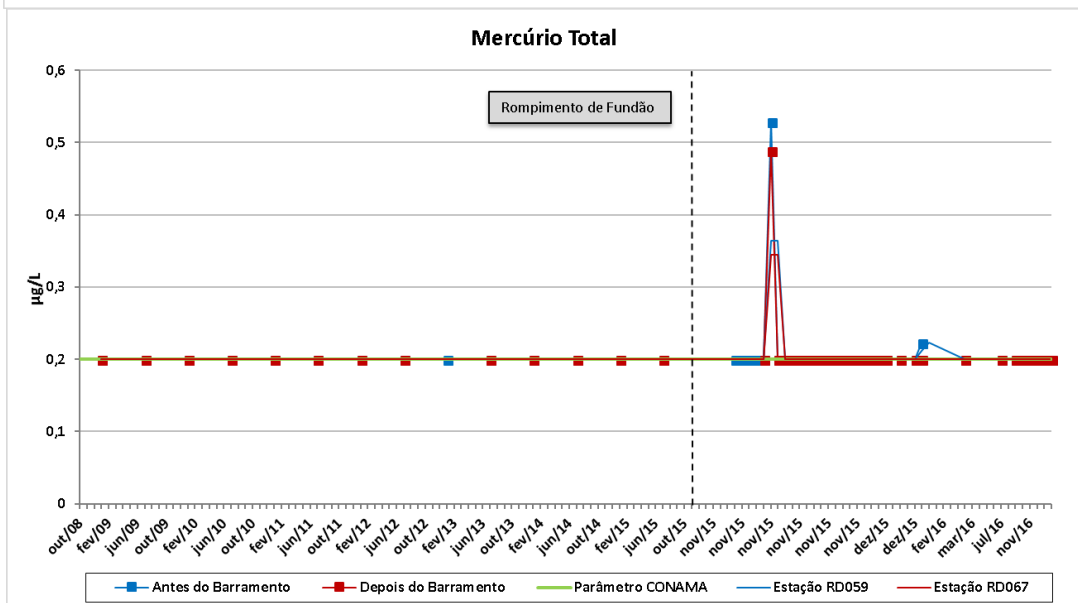
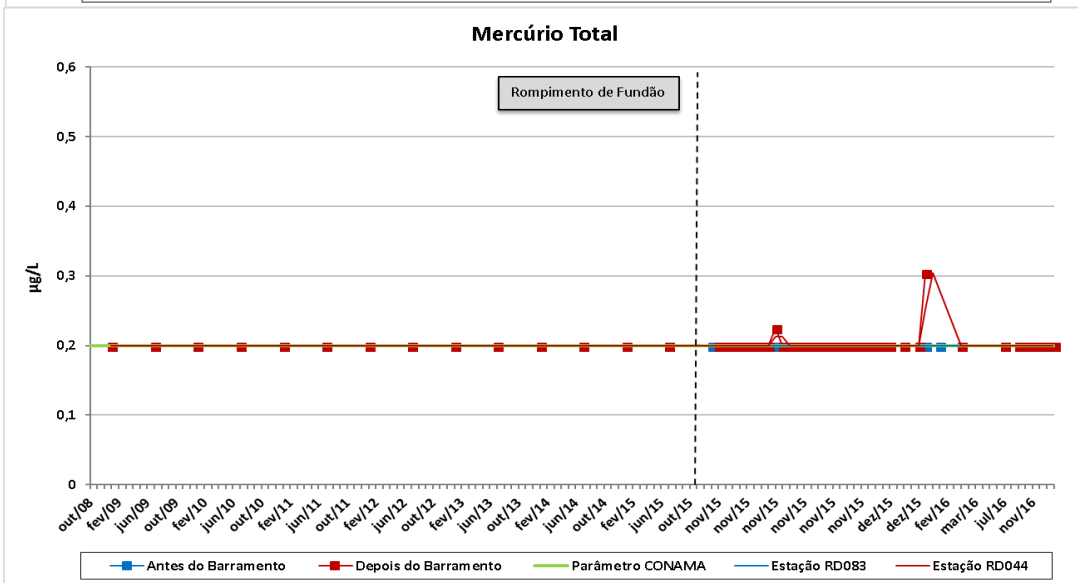
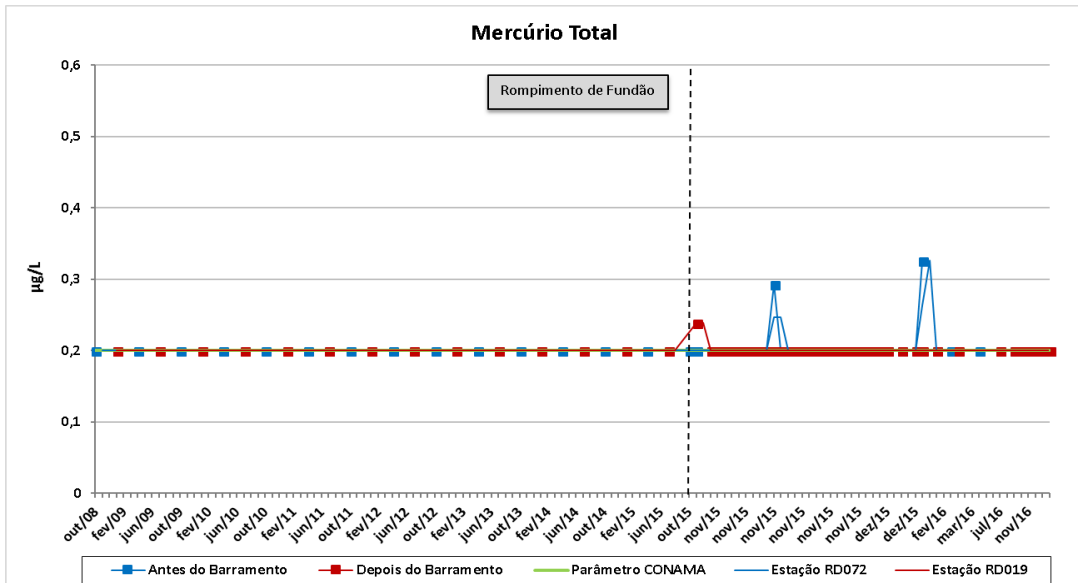


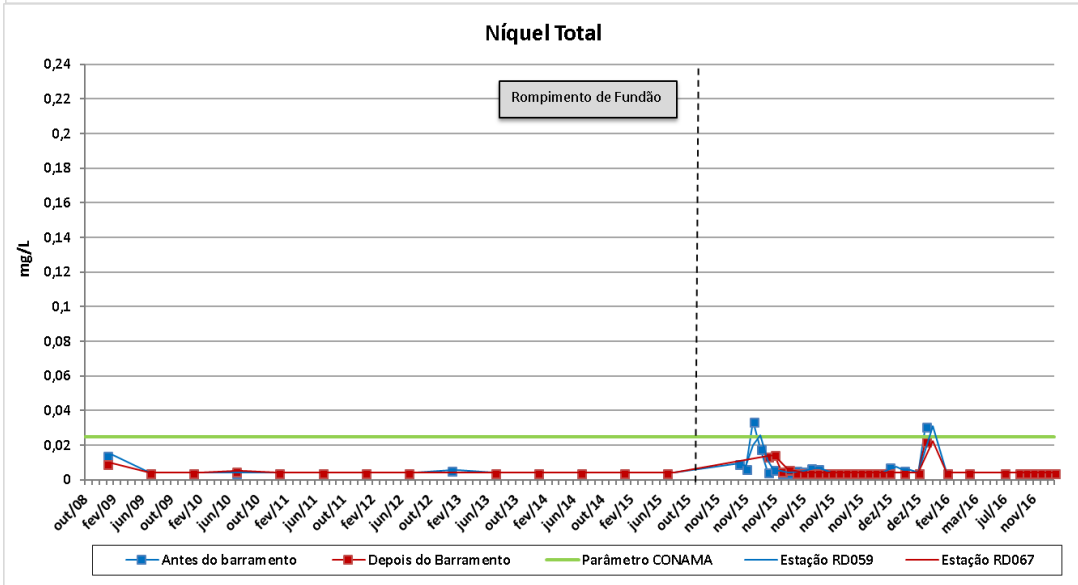
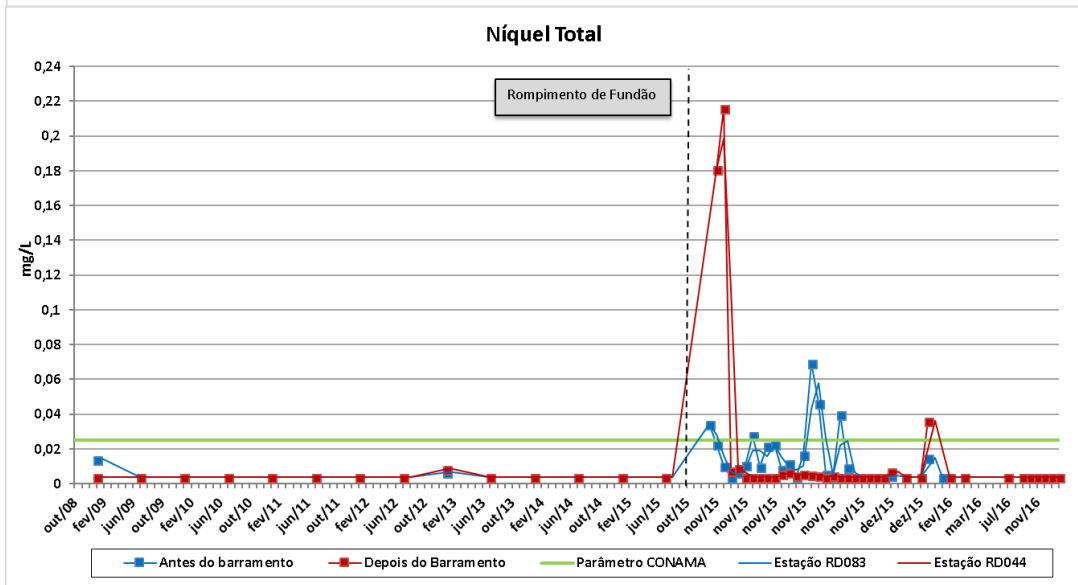
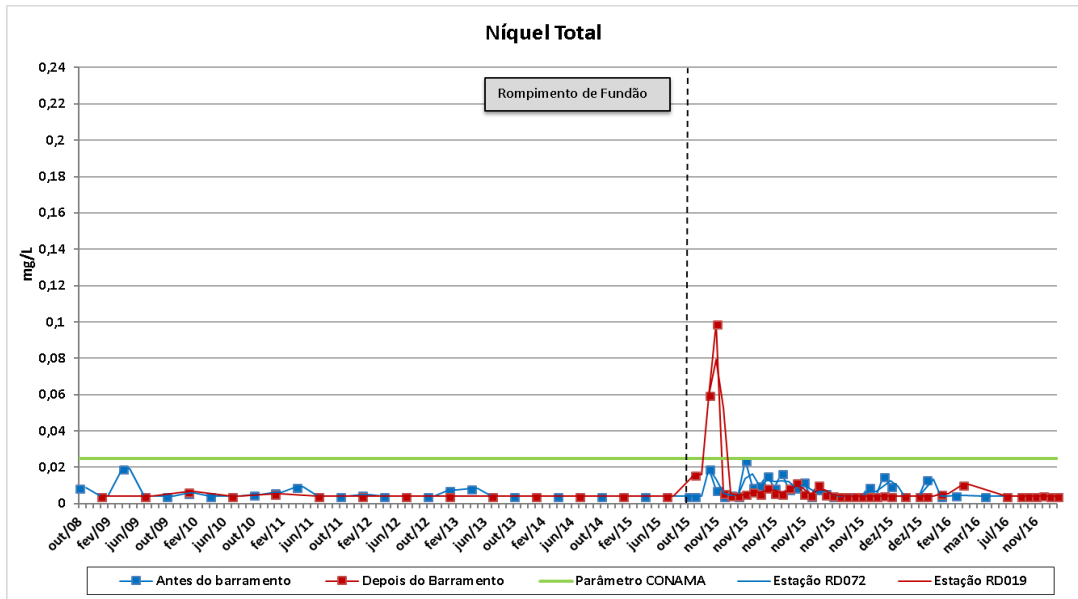


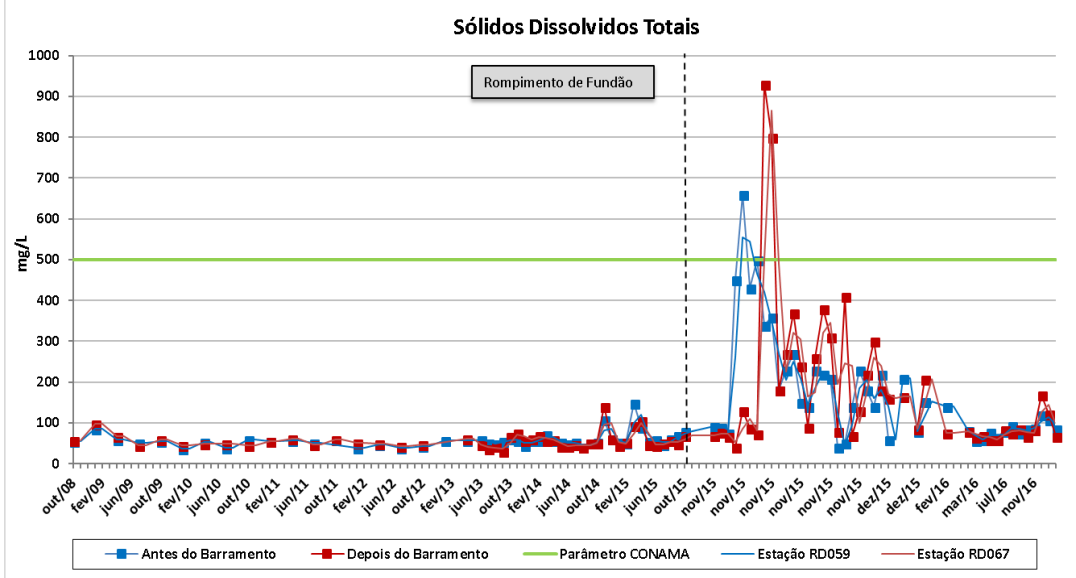
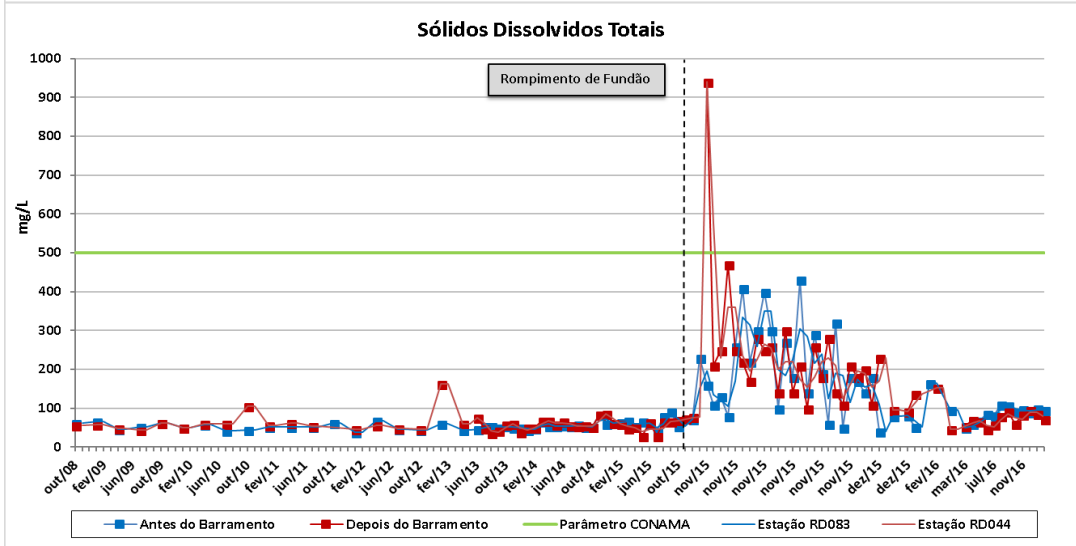
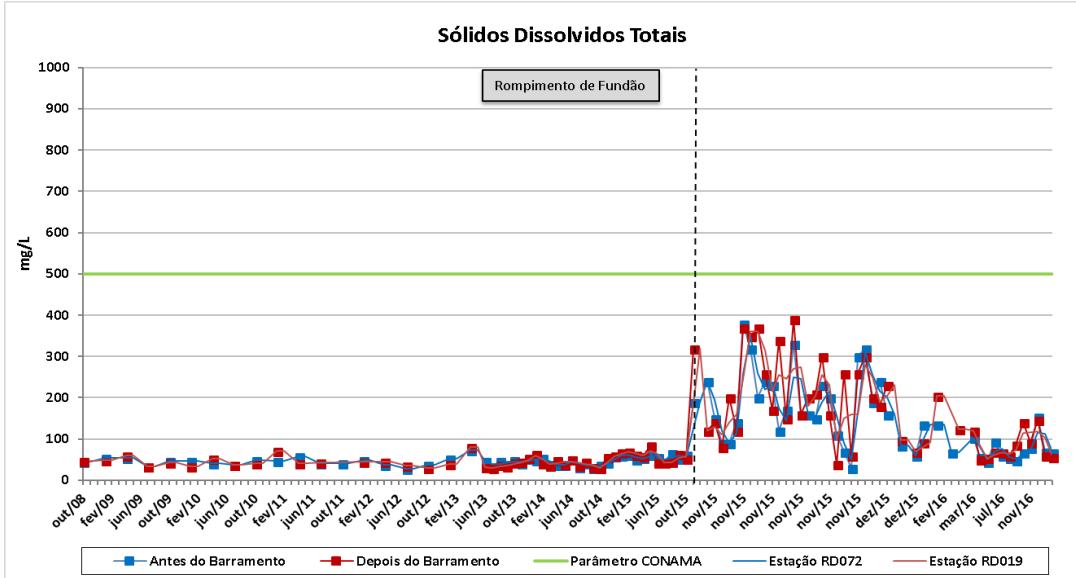


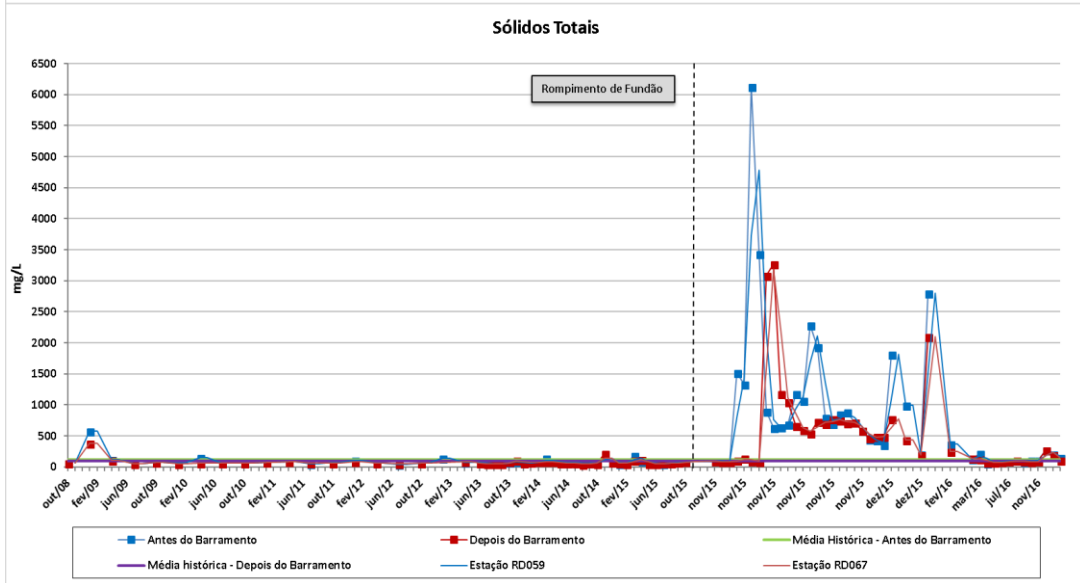
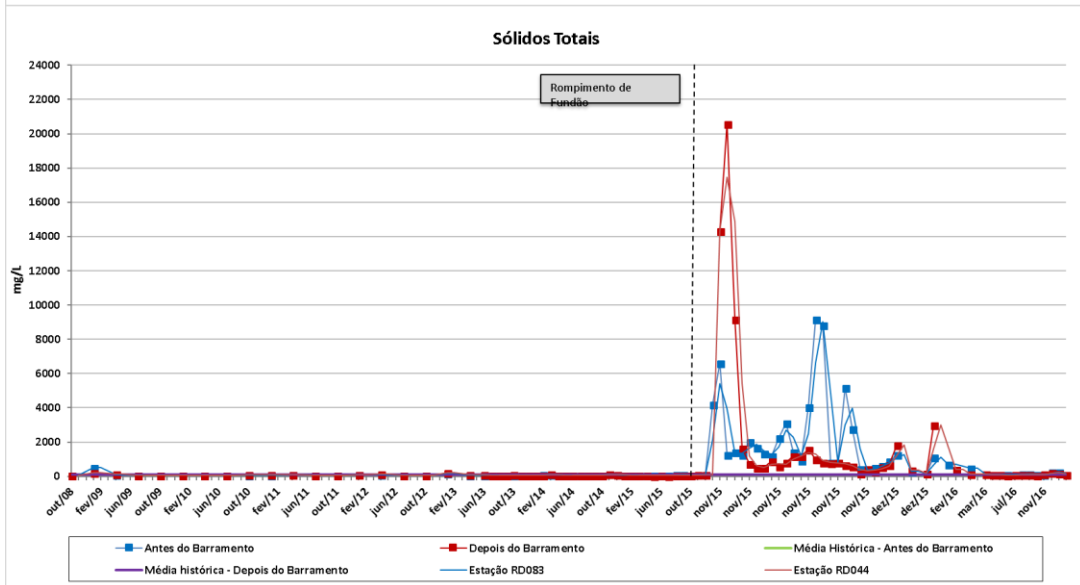
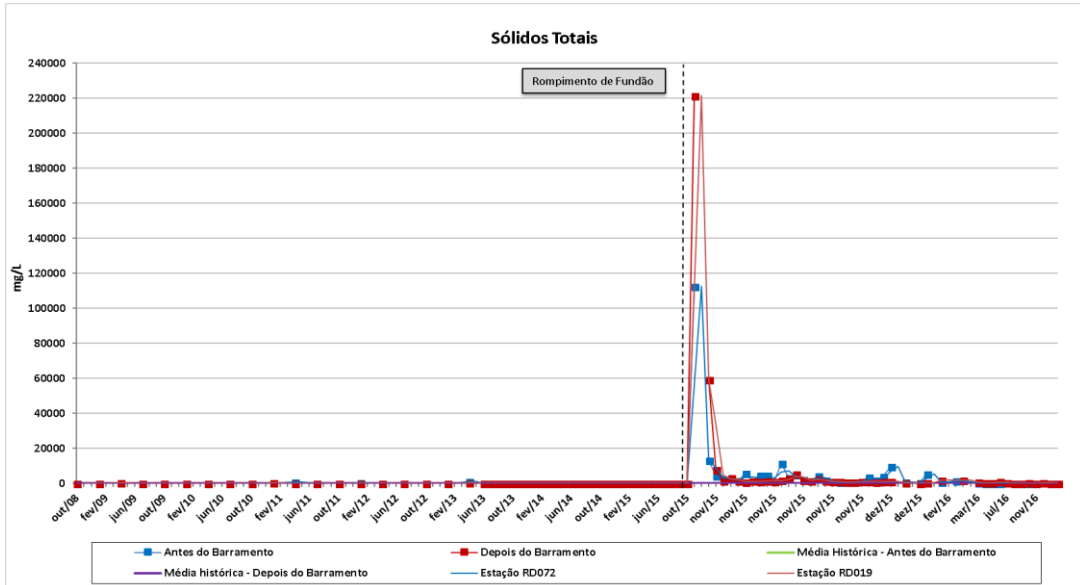














**Apêndice B: Dados estatísticos da concentração dos parâmetros físico-químicos.**

<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA RISOLETA NEVES</b>				
<b>Estatística</b>	<b>ARSÊNIO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>
<b>Número de dados</b>	29	14	40	39
<b>Média</b>	0,002947862	0,001822857	0,00159125	0,002344872
<b>Mediana</b>	0,001	0,00065	0,00141	0,00221
<b>Máximo</b>	0,02439	0,00726	0,00337	0,00879
<b>Mínimo</b>	0,0003	0,0003	0,001	0,001
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,0003	0,0003	0,001	0,001395
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,001	0,00065	0,00141	0,00221
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,00307	0,001375	0,001945	0,00266
<b>Variância</b>	2,62005E-05	6,01798E-06	3,97863E-07	2,20507E-06
<b>Desvio Padrão</b>	0,005118644	0,002453156	0,000630763	0,001484949
<b>Coefficiente de Variação</b>	173,6391929	134,5775399	39,63949262	63,32750588
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA BAGUARI</b>				
<b>Estatística</b>	<b>ARSÊNIO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>
<b>Número de dados</b>	14	14	38	37
<b>Média</b>	0,0005	0,0005	0,003906053	0,003122162
<b>Mediana</b>	0,0003	0,0003	0,002395	0,00163
<b>Máximo</b>	0,001	0,001	0,01433	0,0363
<b>Mínimo</b>	0,0003	0,0003	0,001	0,001
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,0003	0,0003	0,0012	0,00115
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,0003	0,0003	0,002395	0,00163
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,000825	0,000825	0,0054625	0,00233
<b>Variância</b>	1,07692E-07	1,07692E-07	1,29107E-05	3,68162E-05
<b>Desvio Padrão</b>	0,000328165	0,000328165	0,003593141	0,006067636
<b>Coefficiente de Variação</b>	65,63301233	65,63301233	91,98905793	194,3408336
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA AIMORÉS</b>				
<b>Estatística</b>	<b>ARSÊNIO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>
<b>Número de dados</b>	14	13	34	30
<b>Média</b>	0,0005	0,000515385	0,001861471	0,001722
<b>Mediana</b>	0,0003	0,0003	0,00151	0,0015
<b>Máximo</b>	0,001	0,001	0,00427	0,00419
<b>Mínimo</b>	0,0003	0,0003	0,001	0,001
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,0003	0,0003	0,001	0,001
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,0003	0,0003	0,00151	0,0015
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,000825	0,001	0,00239	0,0021025
<b>Variância</b>	1,07692E-07	1,13077E-07	8,89631E-07	7,94775E-07
<b>Desvio Padrão</b>	0,000328165	0,000336269	0,000943203	0,000891502
<b>Coefficiente de Variação</b>	65,63301233	65,24624774	50,6697546	51,77129147

<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA RISOLETA NEVES</b>				
<b>Estatística</b>	<b>CÁDMIO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>
<b>Número de dados</b>	29	14	40	39
<b>Média</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,000517436
<b>Mediana</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
<b>Máximo</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,00105
<b>Mínimo</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
<b>Variância</b>	1,09573E-37	5,06367E-38	1,08507E-37	8,09325E-09
<b>Desvio Padrão</b>	3,31018E-19	2,25026E-19	3,29404E-19	8,99625E-05
<b>Coefficiente de Variação</b>	6,62036E-14	4,50052E-14	6,58809E-14	17,38621262
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA BAGUARI</b>				
<b>Estatística</b>	<b>CÁDMIO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>
<b>Número de dados</b>	14	14	38	37
<b>Média</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,000545405
<b>Mediana</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
<b>Máximo</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,00148
<b>Mínimo</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
<b>Variância</b>	5,06367E-38	5,06367E-38	1,08654E-37	3,817E-08
<b>Desvio Padrão</b>	2,25026E-19	2,25026E-19	3,29627E-19	0,000195371
<b>Coefficiente de Variação</b>	4,50052E-14	4,50052E-14	6,59254E-14	35,82131059
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA AIMORÉS</b>				
<b>Estatística</b>	<b>CÁDMIO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>
<b>Número de dados</b>	14	13	34	30
<b>Média</b>	0,0005	0,0005	0,001505294	0,0005
<b>Mediana</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
<b>Máximo</b>	0,0005	0,0005	0,0346	0,0005
<b>Mínimo</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
<b>Variância</b>	5,06367E-38	5,09381E-38	3,41956E-05	1,09443E-37
<b>Desvio Padrão</b>	2,25026E-19	2,25695E-19	0,005847702	3,30821E-19
<b>Coefficiente de Variação</b>	4,50052E-14	4,51389E-14	388,4757145	6,61642E-14

<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA RISOLETA NEVES</b>				
<b>Estatística</b>	<b>CHUMBO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>
<b>Número de dados</b>	29	14	40	39
<b>Média</b>	0,006069655	0,005160714	0,015036	0,019522564
<b>Mediana</b>	0,005	0,005	0,007955	0,01051
<b>Máximo</b>	0,01385	0,00725	0,0563	0,221
<b>Mínimo</b>	0,005	0,005	0,005	0,005
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,005	0,005	0,005	0,00583
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,005	0,005	0,007955	0,01051
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,005	0,005	0,02355	0,0134
<b>Variância</b>	6,4147E-06	3,61607E-07	0,000170018	0,001567159
<b>Desvio Padrão</b>	0,002532725	0,000601338	0,01303909	0,039587365
<b>Coefficiente de Variação</b>	41,72766002	11,65222024	86,71913881	202,7774892
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA BAGUARI</b>				
<b>Estatística</b>	<b>CHUMBO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>
<b>Número de dados</b>	14	14	38	37
<b>Média</b>	0,005971429	0,008642857	0,025316842	0,031429189
<b>Mediana</b>	0,005	0,005	0,00986	0,00664
<b>Máximo</b>	0,0186	0,056	0,1333	0,424
<b>Mínimo</b>	0,005	0,005	0,005	0,005
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,005	0,005	0,005	0,005
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,005	0,005	0,00986	0,00664
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,005	0,005	0,0374	0,0111
<b>Variância</b>	1,32114E-05	0,000185786	0,000919184	0,008467053
<b>Desvio Padrão</b>	0,003634753	0,013630323	0,030318039	0,092016592
<b>Coefficiente de Variação</b>	60,86906754	157,7062204	119,7544275	292,7743107
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA AIMORÉS</b>				
<b>Estatística</b>	<b>CHUMBO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>
<b>Número de dados</b>	14	22	34	31
<b>Média</b>	0,006556429	0,005732727	0,015310588	0,010159677
<b>Mediana</b>	0,005	0,005	0,00902	0,00618
<b>Máximo</b>	0,0254	0,0179	0,079	0,0421
<b>Mínimo</b>	0,005	0,005	0,005	0,005
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,005	0,005	0,005	0,005
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,005	0,005	0,00902	0,00618
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,005	0,005	0,017075	0,00874
<b>Variância</b>	2,95521E-05	7,62245E-06	0,00034162	0,000107635
<b>Desvio Padrão</b>	0,005436186	0,002760878	0,018482971	0,010374747
<b>Coefficiente de Variação</b>	82,91382772	48,15994612	120,7201909	102,1168912

<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA RISOLETA NEVES</b>				
<b>Estatística</b>	<b>COBRE DISSOLVIDO</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>
<b>Número de dados</b>	48	48	44	44
<b>Média</b>	0,00405375	0,0125325	0,004022727	0,019272727
<b>Mediana</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>Máximo</b>	0,00546	0,411	0,005	0,675
<b>Mínimo</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>Variância</b>	5,63899E-08	0,003450158	2,27273E-08	0,010232063
<b>Desvio Padrão</b>	0,000237466	0,058738041	0,000150756	0,101153662
<b>Coefficiente de Variação</b>	5,857923232	468,6857483	3,747598633	524,8539089
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA BAGUARI</b>				
<b>Estatística</b>	<b>COBRE DISSOLVIDO</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>
<b>Número de dados</b>	48	48	44	44
<b>Média</b>	0,004	0,004	0,004022727	0,004022727
<b>Mediana</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>Máximo</b>	0,004	0,004	0,005	0,005
<b>Mínimo</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>Variância</b>	6,91491E-36	6,91491E-36	2,27273E-08	2,27273E-08
<b>Desvio Padrão</b>	2,62962E-18	2,62962E-18	0,000150756	0,000150756
<b>Coefficiente de Variação</b>	6,57405E-14	6,57405E-14	3,747598633	3,747598633
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA AIMORÉS</b>				
<b>Estatística</b>	<b>COBRE DISSOLVIDO</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>
<b>Número de dados</b>	48	47	42	42
<b>Média</b>	0,004139792	0,00399383	0,004338095	0,004028571
<b>Mediana</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>Máximo</b>	0,011	0,004	0,0078	0,005
<b>Mínimo</b>	0,00371	0,00371	0,004	0,004
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>Variância</b>	1,02439E-06	1,78936E-09	9,14611E-07	2,45296E-08
<b>Desvio Padrão</b>	0,001012119	4,23008E-05	0,000956353	0,000156619
<b>Coefficiente de Variação</b>	24,44855143	1,059154991	22,04545711	3,887714039

<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA RISOLETA NEVES</b>				
<b>Estatística</b>	<b>CROMO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>
<b>Número de dados</b>	29	14	39	39
<b>Média</b>	0,04	0,04	0,040282051	0,041435897
<b>Mediana</b>	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>Máximo</b>	0,04	0,04	0,051	0,07
<b>Mínimo</b>	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>Variância</b>	1,99471E-34	5,1852E-35	3,10256E-06	3,93576E-05
<b>Desvio Padrão</b>	1,41234E-17	7,20083E-18	0,00176141	0,006273566
<b>Coefficiente de Variação</b>	3,53086E-14	1,80021E-14	4,372691151	15,14041193
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA BAGUARI</b>				
<b>Estatística</b>	<b>CROMO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>
<b>Número de dados</b>	14	14	38	37
<b>Média</b>	0,04	0,04	0,042026316	0,054027027
<b>Mediana</b>	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>Máximo</b>	0,04	0,04	0,07	0,298
<b>Mínimo</b>	0,04	0,04	0,04	0,004
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>Variância</b>	5,1852E-35	5,1852E-35	4,06209E-05	0,003694027
<b>Desvio Padrão</b>	7,20083E-18	7,20083E-18	0,006373454	0,060778508
<b>Coefficiente de Variação</b>	1,80021E-14	1,80021E-14	15,16538733	112,4964879
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA AIMORÉS</b>				
<b>Estatística</b>	<b>CROMO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>
<b>Número de dados</b>	14	13	34	30
<b>Média</b>	0,04	0,04	0,039382353	0,041133333
<b>Mediana</b>	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>Máximo</b>	0,04	0,04	0,091	0,074
<b>Mínimo</b>	0,04	0,04	0,004	0,04
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>Variância</b>	5,1852E-35	5,21606E-35	0,000156971	3,85333E-05
<b>Desvio Padrão</b>	7,20083E-18	7,22223E-18	0,01252879	0,006207522
<b>Coefficiente de Variação</b>	1,80021E-14	1,80556E-14	31,81320931	15,0912212

<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA RISOLETA NEVES</b>				
<b>Estatística</b>	<b>MANGÃNES TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>
<b>Número de dados</b>	29	29	40	40
<b>Média</b>	0,20432069	0,121182759	3,057488368	2,474164083
<b>Mediana</b>	0,0752	0,0853	1,875	1,1885
<b>Máximo</b>	1,52	0,577	15,01	32,3
<b>Mínimo</b>	0,0263	0,0308	0,0794	0,127
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,0515	0,054	0,55075	0,5805
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,0752	0,0853	1,875	1,1885
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,158	0,1302	4,251	2,115
<b>Variância</b>	0,101104687	0,01340919	12,1025765	26,7828159
<b>Desvio Padrão</b>	0,317969633	0,115798057	3,478875753	5,175211676
<b>Coefficiente de Variação</b>	155,6228267	95,55654493	113,7821419	209,1701077
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA BAGUARI</b>				
<b>Estatística</b>	<b>MANGÃNES TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>
<b>Número de dados</b>	29	14	39	37
<b>Média</b>	0,057537931	0,070057143	2,655930313	3,362521014
<b>Mediana</b>	0,0427	0,03185	0,82	0,77
<b>Máximo</b>	0,266	0,281	21,85	67,2
<b>Mínimo</b>	0,0217	0,0187	0,029982206	0,021377531
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,0329	0,0224	0,2325	0,23
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,0427	0,03185	0,82	0,77
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,0556	0,073025	3,105	1,07
<b>Variância</b>	0,002254401	0,005982453	18,13922548	138,6296719
<b>Desvio Padrão</b>	0,047480533	0,077346321	4,259016962	11,77411024
<b>Coefficiente de Variação</b>	82,52040368	110,4046184	160,3587617	350,1572239
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA AIMORÉS</b>				
<b>Estatística</b>	<b>MANGÃNES TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>
<b>Número de dados</b>	14	13	34	30
<b>Média</b>	0,0607	0,038946154	0,715530851	0,327131738
<b>Mediana</b>	0,03145	0,0233	0,3845	0,1855
<b>Máximo</b>	0,385	0,181	4,54	1,82
<b>Mínimo</b>	0,0143	0,0098	0,021148927	0,0106
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,025575	0,0196	0,13725	0,06605
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,03145	0,0233	0,3845	0,1855
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,037575	0,0349	0,6325	0,244
<b>Variância</b>	0,009113122	0,002180958	1,006374178	0,237654481
<b>Desvio Padrão</b>	0,095462671	0,046700725	1,003182026	0,487498185
<b>Coefficiente de Variação</b>	157,2696391	119,9110057	140,2010864	149,0219778

<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA RISOLETA NEVES</b>				
<b>Estatística</b>	<b>MERCÚRIO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>
<b>Número de dados</b>	29	14	40	39
<b>Média</b>	0,2	0,2	0,205475	0,201
<b>Mediana</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Máximo</b>	0,2	0,2	0,326	0,239
<b>Mínimo</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Variância</b>	7,18097E-33	0	0,000598102	3,9E-05
<b>Desvio Padrão</b>	8,47406E-17	0	0,024456122	0,006244998
<b>Coefficiente de Variação</b>	4,23703E-14	0	11,90223745	3,106964178
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA BAGUARI</b>				
<b>Estatística</b>	<b>MERCÚRIO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>
<b>Número de dados</b>	14	14	38	36
<b>Média</b>	0,2	0,2	0,2	0,203583333
<b>Mediana</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Máximo</b>	0,2	0,2	0,2	0,304
<b>Mínimo</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Variância</b>	0	0	7,12074E-33	0,000313679
<b>Desvio Padrão</b>	0	0	8,43845E-17	0,017710973
<b>Coefficiente de Variação</b>	0	0	4,21922E-14	8,699618433
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA AIMORÉS</b>				
<b>Estatística</b>	<b>MERCÚRIO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>
<b>Número de dados</b>	14	13	33	29
<b>Média</b>	0,2	0,2	0,210666667	0,209965517
<b>Mediana</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Máximo</b>	0,2	0,2	0,529	0,489
<b>Mínimo</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Variância</b>	0	0	0,003281729	0,002880034
<b>Desvio Padrão</b>	0	0	0,057286379	0,053665953
<b>Coefficiente de Variação</b>	0	0	27,19290121	25,55941254

<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA RISOLETA NEVES</b>				
<b>Estatística</b>	<b>NÍQUEL TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>
<b>Número de dados</b>	29	14	40	39
<b>Média</b>	0,005362414	0,004315	0,007386	0,009423077
<b>Mediana</b>	0,004	0,004	0,00421	0,0047
<b>Máximo</b>	0,0193	0,00682	0,02383	0,099
<b>Mínimo</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,004	0,004	0,00421	0,0047
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,00514	0,004	0,00917	0,006035
<b>Variância</b>	9,76975E-06	6,99335E-07	2,47645E-05	0,000299218
<b>Desvio Padrão</b>	0,00312566	0,000836262	0,004976399	0,017297933
<b>Coefficiente de Variação</b>	58,28829436	19,38035431	67,37610437	183,5699041
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA BAGUARI</b>				
<b>Estatística</b>	<b>NÍQUEL TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>
<b>Número de dados</b>	14	14	38	37
<b>Média</b>	0,004883571	0,004320714	0,012368158	0,015944865
<b>Mediana</b>	0,004	0,004	0,00454	0,004
<b>Máximo</b>	0,014	0,00849	0,06956	0,216
<b>Mínimo</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,004	0,004	0,00454	0,004
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,004	0,004	0,01403	0,00524
<b>Variância</b>	7,28362E-06	1,44001E-06	0,000209004	0,002002561
<b>Desvio Padrão</b>	0,002698819	0,001200003	0,014456969	0,044749981
<b>Coefficiente de Variação</b>	55,26322641	27,77325453	116,8886187	280,6545045
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA AIMORÉS</b>				
<b>Estatística</b>	<b>NÍQUEL TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>
<b>Número de dados</b>	14	13	34	30
<b>Média</b>	0,004863571	0,00451	0,006804706	0,005418333
<b>Mediana</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>Máximo</b>	0,0144	0,0093	0,03372	0,0225
<b>Mínimo</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,004	0,004	0,004	0,004
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,004	0,004	0,0058525	0,004
<b>Variância</b>	7,73658E-06	2,20647E-06	4,92157E-05	1,72271E-05
<b>Desvio Padrão</b>	0,002781471	0,001485418	0,007015389	0,004150551
<b>Coefficiente de Variação</b>	57,18987822	32,9360978	103,0961358	76,60199338

<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA RISOLETA NEVES</b>				
<b>Estatística</b>	<b>SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>
<b>Número de dados</b>	48	47	44	44
<b>Média</b>	47,08333333	47,21276596	149,8181818	171,1363636
<b>Mediana</b>	47	44	138	148
<b>Máximo</b>	74	84	380	390
<b>Mínimo</b>	28	29	30	40
<b>1° Quartil - 25%</b>	39,75	37	70	85,25
<b>2° Quartil - 50%</b>	47	44	138	148
<b>3° Quartil - 75%</b>	55	56	200	237,5
<b>Variância</b>	101,0992908	179,2146161	7900,384778	10443,37632
<b>Desvio Padrão</b>	10,05481431	13,38710634	88,88410869	102,1928389
<b>Coefficiente de Variação</b>	21,35535782	28,35484443	59,32798517	59,71427505
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA BAGUARI</b>				
<b>Estatística</b>	<b>SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>
<b>Número de dados</b>	48	47	44	44
<b>Média</b>	55,41666667	58,87234043	157,3181818	173,2272727
<b>Mediana</b>	53,5	56	110	140
<b>Máximo</b>	92	163	430	940
<b>Mínimo</b>	39	28	40	46
<b>1° Quartil - 25%</b>	49	48,5	82	83
<b>2° Quartil - 50%</b>	53,5	56	110	140
<b>3° Quartil - 75%</b>	61	62,5	197,5	222,5
<b>Variância</b>	117,8652482	430,5920444	10765,84989	22115,71459
<b>Desvio Padrão</b>	10,85657627	20,7507119	103,7586136	148,713532
<b>Coefficiente de Variação</b>	19,59081432	35,24696275	65,95462291	85,8487983
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA AIMORÉS</b>				
<b>Estatística</b>	<b>SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>
<b>Número de dados</b>	47	47	42	42
<b>Média</b>	58,06382979	57,04255319	174,952381	179,8095238
<b>Mediana</b>	54	50	140	89
<b>Máximo</b>	149	140	660	930
<b>Mínimo</b>	36	31	40	40
<b>1° Quartil - 25%</b>	50	46	80,5	74,5
<b>2° Quartil - 50%</b>	54	50	140	89
<b>3° Quartil - 75%</b>	59,5	61	220	217
<b>Variância</b>	362,8436633	372,0416281	18723,99768	33867,32869
<b>Desvio Padrão</b>	19,04845567	19,28838065	136,8356594	184,0307819
<b>Coefficiente de Variação</b>	32,80606143	33,81402054	78,21308783	102,3476276

<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA RISOLETA NEVES</b>				
<b>Estatística</b>	<b>SÓLIDOS TOTAIS</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>
<b>Número de dados</b>	48	48	44	44
<b>Média</b>	115,5416667	82,33333333	4983,840909	7646,545455
<b>Mediana</b>	63	60	1361	1080
<b>Máximo</b>	968	283	112470	221430
<b>Mínimo</b>	35	35	72	103
<b>1° Quartil - 25%</b>	50,75	50,75	409	507
<b>2° Quartil - 50%</b>	63	60	1361	1080
<b>3° Quartil - 75%</b>	86,5	82	4112,5	1640,5
<b>Variância</b>	27623,35993	3642,992908	284142004,4	1166467147
<b>Desvio Padrão</b>	166,2027675	60,3572109	16856,51222	34153,58176
<b>Coefficiente de Variação</b>	143,8466073	73,30835332	338,2233208	446,6537466
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA BAGUARI</b>				
<b>Estatística</b>	<b>SÓLIDOS TOTAIS</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>
<b>Número de dados</b>	48	48	44	44
<b>Média</b>	84,85416667	79,4375	1562,477273	1546,590909
<b>Mediana</b>	70	68	815	515
<b>Máximo</b>	517	226	9190	20580
<b>Mínimo</b>	46	28	81	60
<b>1° Quartil - 25%</b>	60,75	59,5	169,5	129
<b>2° Quartil - 50%</b>	70	68	815	515
<b>3° Quartil - 75%</b>	79,5	82	1485	842,5
<b>Variância</b>	4567,233599	1480,038564	4817524,86	14809726,29
<b>Desvio Padrão</b>	67,58131102	38,47126933	2194,88607	3848,34072
<b>Coefficiente de Variação</b>	79,64406897	48,42960734	140,4747517	248,8273206
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA AIMORÉS</b>				
<b>Estatística</b>	<b>SÓLIDOS TOTAIS</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>
<b>Número de dados</b>	48	47	42	42
<b>Média</b>	89,52083333	78,44680851	849,7380952	543,047619
<b>Mediana</b>	70,5	65	520	264
<b>Máximo</b>	574	386	6130	3270
<b>Mínimo</b>	44	43	63	72
<b>1° Quartil - 25%</b>	60	58,5	112,5	96,5
<b>2° Quartil - 50%</b>	70,5	65	520	264
<b>3° Quartil - 75%</b>	82,5	81,5	965	707,5
<b>Variância</b>	6017,10594	2844,165587	1302911,32	519150,6318
<b>Desvio Padrão</b>	77,5700067	53,33071898	1141,451409	720,5210835
<b>Coefficiente de Variação</b>	86,65022857	67,98328702	134,3297912	132,6810133

<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA RISOLETA NEVES</b>				
<b>Estatística</b>	<b>ZINCO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>	<b>RD072</b>	<b>RD019</b>
<b>Número de dados</b>	29	14	11	9
<b>Média</b>	0,028789655	0,025257143	0,0239	0,025022222
<b>Mediana</b>	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Máximo</b>	0,074	0,0493	0,0629	0,0578
<b>Mínimo</b>	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,0333	0,025775	0,02	0,02
<b>Variância</b>	0,000203775	8,74242E-05	0,00016731	0,000157074
<b>Desvio Padrão</b>	0,014274962	0,00935009	0,012934837	0,012532934
<b>Coefficiente de Variação</b>	49,58364951	37,01958558	54,12065557	50,08721559
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA BAGUARI</b>				
<b>Estatística</b>	<b>ZINCO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>	<b>RD083</b>	<b>RD044</b>
<b>Número de dados</b>	14	14	9	9
<b>Média</b>	0,024935714	0,032557143	0,027433333	0,035555556
<b>Mediana</b>	0,02	0,0218	0,02	0,02
<b>Máximo</b>	0,0626	0,0962	0,0557	0,1282
<b>Mínimo</b>	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,02	0,0218	0,02	0,02
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,02495	0,028675	0,0306	0,0307
<b>Variância</b>	0,00013203	0,000600298	0,00016424	0,001261145
<b>Desvio Padrão</b>	0,011490438	0,02450098	0,012815615	0,035512607
<b>Coefficiente de Variação</b>	46,08024395	75,2553138	46,71548776	99,87920805
<b>ANÁLISE SOBRE A HIDRELÉTRICA AIMORÉS</b>				
<b>Estatística</b>	<b>ZINCO TOTAL</b>			
	<b>ANTES DO ACIDENTE</b>		<b>DEPOIS DO ACIDENTE</b>	
	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>	<b>RD059</b>	<b>RD067</b>
<b>Número de dados</b>	14	13	9	9
<b>Média</b>	0,036764286	0,036284615	0,034166667	0,040477778
<b>Mediana</b>	0,0316	0,0283	0,02	0,02
<b>Máximo</b>	0,0987	0,0861	0,1378	0,1386
<b>Mínimo</b>	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>1° Quartil - 25%</b>	0,020725	0,02	0,02	0,02
<b>2° Quartil - 50%</b>	0,0316	0,0283	0,02	0,02
<b>3° Quartil - 75%</b>	0,038275	0,0444	0,0233	0,02
<b>Variância</b>	0,000522364	0,000491151	0,001515305	0,001826049
<b>Desvio Padrão</b>	0,022855284	0,022161936	0,038926919	0,0427323
<b>Coefficiente de Variação</b>	62,16708321	61,07805149	113,932445	105,5697771