

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da  
Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região  
Marinha e Costeira Adjacente**

**RELATÓRIO ANUAL:**

**Anexo 3 Dulcícola– Ações na Bacia**

**RT-18K RRDM/NOV19**

**Coordenação Geral**

Adalto Bianchini

Alex Cardoso Bastos

Edmilson Costa Teixeira

Eustáquio Vinícius de Castro

Jorge Abdala Dergam dos Santos

Vitória,

Novembro de 2019

## COORDENAÇÕES

### **Anexo 1**

Adalto Bianchini (FURG)

### **Anexo 3**

Edmilson Costa Teixeira (UFES)

Fabian Sá (UFES)

Jorge Dergam (UFV)

#### **Subprojetos**

Alessandra Delazari Barroso (FAESA)

Alex Cardoso Bastos (UFES)

Ana Cristina Teixeira Bonecker (UFRJ)

Anderson Geyson Alves de Araújo (UFES)

Björn Gücker (UFSJ)

Camilo Dias Júnior (UFES)

Daniel Rigo (UFES)

Eneida Maria Eskinazi Sant'Anna (UFOP)

Gilberto Amado Filho (IPJB) *in memoriam*

Gilberto Fonseca Barroso (UFES)

Iola Gonçalves Boechat (UFSJ)

Leila Lourdes Longo (UFRB)

Leonardo Tavares Salgado (IPJB)

Luís Fernando Loureiro (UFES)

Marco Aurélio Caiado (UFES)

Renato David Ghisolfi (UFES)

Renato Rodrigues Neto (UFES)

Rodrigo Leão de Moura (UFRJ)

Valéria da Silva Quaresma (UFES)

Valéria de Oliveira Fernandes (UFES)

Vanya Marcia Duarte Pasa (UFMG)

### **Anexo 4**

Jacqueline Albino (UFES)

#### **Subprojetos**

Karla Costa (UFES)

Maria Tereza Carneiro (UFES)

### **Anexo 5**

Diolina Moura Silva (UFES)

Mônica Tognella (UFES)

### **Anexo 6**

Agnaldo Silva Martins (UFES)

#### **Subprojetos**

Ana Paula Cazerta Farro (UFES)

Leandro Bugoni (FURG)

Sarah Vargas (UFES)

### **Anexo 7**

Maurício Hostim (UFES)

Jorge Dergam (UFV)

#### **Subprojetos**

Carlos W. Hackradt (UFSB)

Fabiana Felix Hackradt (UFSB)

Jean-Christophe Joyeux (UFES)

Luis Fernando Duboc (UFV)

### **Anexo 8**

Heitor Evangelista (UERJ)

#### **Coordenação Técnica (CTEC)**

Alex Cardoso Bastos

Lara Gabriela Magioni Santos

Laura Silveira Vieira Salles

Tarcila Franco Menandro

#### **Coordenação Escritório de Projetos**

Eustáquio Vinicius Ribeiro de Castro

Patrícia Bourguignon Soares

Paulo Roberto Filgueiras

Valdemar Lacerda Junior

Walter Luiz Alda Junior

#### **Coordenação Núcleo de Atuação Integrada em Rede (NAIR)**

Edmilson Costa Teixeira

Karla Libardi Gallina

Andressa Christiane Pereira

Anna Paula Lage Ribeiro

Caroline De Marchi Pignaton

Paulo Eduardo Marques

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>7</b>
2.1	CARACTERIZAÇÃO DAS AÇÕES COM POTENCIAL PARA INFLUENCIAR NOS FLUXOS DE ÁGUA, SEDIMENTOS E NUTRIENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE .....	7
2.1.1	<b>Usos e manejo do solo e da água na bacia hidrográfica do rio doce</b> .....	<b>7</b>
2.1.2	<b>Saneamento básico (eixos água e esgoto)</b> .....	<b>8</b>
2.1.3	<b>Manejo de rejeitos e controle de produção e aporte de sedimentos</b> .....	<b>9</b>
2.2	AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO CAUSA E EFEITO DAS AÇÕES IDENTIFICADAS SOBRE OS FLUXOS DE ÁGUA, SEDIMENTO E NUTRIENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE .....	9
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>12</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DAS AÇÕES COM POTENCIAL PARA INFLUENCIAR NOS FLUXOS DE ÁGUA, SEDIMENTO E NUTRIENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE.....	12
3.1.1	<b>Usos e manejo do solo e da água na bacia hidrográfica do rio Doce</b> .....	<b>12</b>
3.1.2	<b>Saneamento básico (eixos água e esgoto)</b> .....	<b>30</b>
3.1.3	<b>Manejo de rejeitos e controle de produção e aporte de sedimentos</b> .....	<b>41</b>
3.2	AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO CAUSA E EFEITO DAS AÇÕES IDENTIFICADAS SOBRE OS FLUXOS DE ÁGUA, SEDIMENTO E NUTRIENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE ....	48
3.2.1	<b>Indutores</b> .....	<b>48</b>
3.2.2	<b>Pressões e estado</b> .....	<b>49</b>
3.2.3	<b>Impactos</b> .....	<b>50</b>
<b>4</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>61</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição percentual das tipologias de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Doce.....	13
Figura 2: Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Doce. ....	14
Figura 3: Distribuição percentual por finalidade de uso da água na calha do rio Doce. a) do número captações; b) do volume de água captado.....	16
Figura 4: Distribuição percentual das cargas lançadas na calha principal do rio Doce, por finalidade de uso. a) DBO; b) Fósforo; c) Nitrogênio.....	17
Figura 5: Percentual da classe de uso e ocupação do solo por região hidrográfica da porção capixaba do rio Doce.....	20
Figura 6: Uso e ocupação do solo na região hidrográfica Pontões e Lagoas do rio Doce. ....	21
Figura 7: Uso e ocupação do solo na região hidrográfica do rio Guandu.....	22
Figura 8: Uso e ocupação do solo na região hidrográfica do rio Santa Joana. ....	23
Figura 9: Uso e ocupação do solo na região hidrográfica do rio Santa Maria do Doce.....	24
Figura 10: Uso e ocupação do solo na região hidrográfica Barra Seca e Foz. ....	25
Figura 11: Ações relacionadas à recuperação de APP e ao reflorestamento na bacia hidrográfica do rio Doce.....	29
Figura 12: Índice de atendimento total de água na bacia hidrográfica do rio Doce. ....	32
Figura 13: Índice de perdas na distribuição na bacia hidrográfica do rio Doce. ....	33
Figura 14: Índice de coleta de esgoto na bacia hidrográfica do rio Doce. ....	34
Figura 15: Índice de tratamento de esgoto referente a água consumida na bacia hidrográfica do rio Doce.....	35
Figura 16: Ações relacionadas ao Saneamento Básico na bacia hidrográfica do rio Doce.....	40
Figura 17: Ações relacionadas ao manejo de rejeitos e ao controle de produção e aporte de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Doce.....	47
Figura 18: Mapa conceitual de aplicação da abordagem DPSIR para o indutor urbanização.....	51
Figura 19: Mapa conceitual de aplicação da abordagem DPSIR para o indutor agropecuária. ....	51
Figura 20: Mapa conceitual de aplicação da abordagem DPSIR para o indutor mineração. ....	53
Figura 21: Mapa conceitual de aplicação da abordagem DPSIR para o indutor rompimento de barragem. ....	53

Figura 22: Mapa conceitual de aplicação da abordagem DPSIR no contexto da bacia do rio Doce. ....58

Figura 23: Metodologia de adaptação do modelo conceitual desenvolvido. ....60

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Definições utilizadas para aplicação da abordagem DPSIR.....	10
Quadro 2: Ações relacionadas à recuperação de APPs e reflorestamento na bacia hidrográfica do rio Doce.....	26
Quadro 3: Indicadores de Saneamento Básico nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, Região Sudeste e Brasil. ....	30
Quadro 4: Ações relacionadas ao saneamento básico na bacia hidrográfica do rio Doce.....	36
Quadro 5: Ações relacionadas ao manejo de rejeito e ao controle de produção e aporte de sedimento na bacia hidrográfica do rio Doce.....	41
Quadro 6: Impactos de segundo e terceiro grau sobre a biodiversidade decorrentes do rompimento da barragem.....	59

## **ANEXO 3 – Monitoramento e Avaliação do Impacto no Ambiente Dulcícola**

### **SUB-PROJETO: Subsídios a compreensão global das relações de causa e efeito do conjunto de ações realizadas na bacia hidrográfica do Rio Doce sobre o aporte de fluxo de água, sedimentos e nutrientes no sistema estuarino-marinho**

#### **1 INTRODUÇÃO**

Na bacia hidrográfica do rio Doce as variações espaço-temporais da qualidade dos ambientes aquáticos estão associadas ao uso e manejo do solo e da água e às condições hidrológicas da bacia. Com o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, em Mariana, novas pressões ambientais surgiram e potencializaram o quadro de degradação ambiental existente. Neste contexto, o presente subprojeto tem por objetivo subsidiar a compreensão global das relações de causa e efeito do conjunto de ações e intervenções realizadas na bacia hidrográfica do rio Doce sobre o aporte de fluxos de água, sedimentos e nutrientes no ambiente estuarino-marinho.

Este subprojeto está inserido no “Projeto Bacia Integração”, Anexo 3 Dulcícola.

#### **2 METODOLOGIA**

##### **2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AÇÕES COM POTENCIAL PARA INFLUENCIAR NOS FLUXOS DE ÁGUA, SEDIMENTOS E NUTRIENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE**

A caracterização das ações existentes na bacia do rio Doce com potencial para influenciar o aporte de fluxos de água, sedimentos e nutrientes ao ambiente estuarino-marinho adjacente foi realizada considerando: os usos e manejo do solo e da água realizados na bacia; o saneamento básico, focado no eixo água-esgoto; e manejo de rejeitos e controle de produção e aporte de sedimentos.

###### **2.1.1 Usos e manejo do solo e da água na bacia hidrográfica do rio doce**

Para realizar uma análise geral do uso e ocupação do solo na bacia, as tipologias de uso foram agrupadas em 13 classes. Foram utilizados dados obtidos junto à Agência Nacional de Água, por meio do portal *GeoNetwork opensource*, referentes ao levantamento de uso e ocupação do solo extraídos de imagens de satélites ALOS, QUICKBIRD, WORLD VIEW I e LANDSAT-7 (2013/2014), com resolução de 10 metros (escala 1:100.000).

A fim de subsidiar a avaliação do uso e ocupação do solo na porção espírito-santense da bacia, realizou-se uma avaliação detalhada de situação para cada uma das regiões hidrográficas do rio Doce

(Pontões e Lagoas do rio Doce, Barra Seca e Foz, Guandu, Santa Joana e Santa Maria do Doce). Para isso, foram utilizados dados obtidos junto ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA) referentes ao levantamento de uso e ocupação do solo extraídos dos ortofotomosaicos executados em 2012, na resolução de 1 metro (escala 1:15.000).

Em função desses dados, foram construídos mapas de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Doce e das regiões Pontões e Lagoas do rio Doce, Barra Seca e Foz, Guandu, Santa Joana e Santa Maria do Doce. De forma complementar à análise, foram elaborados gráficos de distribuição percentual de tipologias de uso.

A caracterização dos usos da água teve por base dados do Cadastro de Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos. Para diagnosticar os usos na calha do rio Doce (domínio da União), foram utilizados dados do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNAUH) – ano base de 2019 e para os demais corpos hídricos da porção espírito-santense foram empregados dados do Cadastro de Usuários Outorgados da Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH).

De modo mais detalhado foram identificadas intervenções relacionadas à recuperação de APP e ao reflorestamento nos municípios afetados pelo rompimento da barragem de Fundão, em particular. Essas ações foram identificadas por meio de consulta às bases de dados e informações disponíveis no site da Fundação Renova, das Prefeituras Municipais e do Ibio AGB Doce.

### **2.1.2 Saneamento básico (eixos água e esgoto)**

A caracterização geral da situação do saneamento básico na bacia hidrográfica do rio Doce se baseou nos dados e informações disponibilizados no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Os dados e informações mais recentes são referentes ao ano de 2017. Para cada município inserido na bacia, foram coletados indicadores relacionados ao acesso à água, perdas de água na distribuição e coleta e tratamento de esgotos. Para fins de comparação e contextualização da realidade da bacia, obtiveram-se os mesmos indicadores para os estados do Espírito Santo e Minas Gerais, para a região Sudeste e para o Brasil.

Os indicadores utilizados para diagnosticar o panorama do eixo água foram: o Índice de atendimento total de água (IN055), que representa a razão entre população abastecida com água e a população total; e o Índice de perdas na distribuição (IN049), que representa a razão entre volume de água consumido e volume de água produzido. Por outro lado, os indicadores empregados para o eixo esgoto foram: Índice de coleta de esgoto (IN015), que corresponde à razão entre volume de esgoto coletado e volume de água consumido; e Índice de esgoto tratado referido à água consumida (IN046), que corresponde à razão entre volume de esgoto tratado e volume de água consumido.

De modo mais detalhado foram identificadas intervenções relacionadas ao saneamento básico nos municípios afetados pelo rompimento da barragem de Fundão, em particular. Essas ações foram

identificadas por meio de consulta à base de dados e informações disponíveis no site da Fundação Renova, das Prefeituras Municipais e do Ibio AGB Doce.

### 2.1.3 Manejo de rejeitos e controle de produção e aporte de sedimentos

Para o levantamento de ações relacionadas ao manejo e controle de produção e aporte de sedimentos, buscaram-se dados e informações em bases públicas disponíveis no site da Fundação Renova, das Prefeituras Municipais e do Ibio AGB Doce. Também houve o acompanhamento mais próximo da atuação das Câmaras Técnicas (CTs) CT-Bio, CT-Flor, CT-Rejeitos e CT-SHQA, uma vez que elas possuem maior relação com temáticas “biodiversidade” e “alteração de quantidade e qualidade de água”.

## 2.2 AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO CAUSA E EFEITO DAS AÇÕES IDENTIFICADAS SOBRE OS FLUXOS DE ÁGUA, SEDIMENTO E NUTRIENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE

Para auxiliar na avaliação das relações de causa e efeito das ações identificadas sobre os fluxos de água, sedimento e nutrientes na bacia hidrográfica do rio Doce, foi realizada revisão de literatura técnico-científica na temática de “avaliação integrada de impactos”. Dentre as metodologias mapeadas estavam: Antes/Depois Controle/Impacto (BACI)<sup>1</sup>; b) Força Indutora, Pressão, Estado, Impacto e Resposta<sup>2</sup> (DPSIR); c) Pensamento Sistêmico e Planejamento de Cenários (PSPC); e d) Análise de Modos de Falhas e Efeitos<sup>3</sup> (FMEA). Após avaliação das metodologias identificadas, foi selecionada a DPSIR. Entre as razões da escolha, estão: flexibilidade de aplicação; forte ênfase na relação causa-efeito; facilidade de apropriação da metodologia; metodologia amplamente estudada na literatura.

A abordagem DPSIR tem como conceituação o fator de que forças indutoras (*Drivers*) são decorrentes das atividades humanas e podem acarretar pressões ambientais (*Pressure*) sobre os ecossistemas, alterando o seu estado (*State*) e por consequência gerando impactos (*Impacts*) sobre a qualidade e quantidade dos recursos naturais disponíveis e a biodiversidade. Esse arranjo de causa e efeito demanda respostas (*Responses*) dos sistemas de gestão (EEA, 1999).

O diagnóstico dos principais indutores e pressões ambientais existentes foi realizado por meio da caracterização das ações com potencial para influenciar os fluxos de água, sedimentos, nutrientes e metais na bacia hidrográfica do rio Doce. Por outro lado, a identificação das principais variáveis de estado e os potenciais impactos foi possível por meio de consulta aos resultados do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, de documentos produzidos no âmbito da Rede Rio Doce Mar (como Relatório de Avaliação e Consolidação de Dados Pretéritos e Relatório Semestral) e de revisão de literatura técnico-científica pertinente à temática.

<sup>1</sup> Before/After and Control/Impact.

<sup>2</sup> Drivers, Pressures, States, Impacts, Responses.

<sup>3</sup> Failure Mode and Effects Analysis.

As principais definições utilizadas para categorização dos indutores, pressões, estados, impactos e respostas são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Definições utilizadas para aplicação da abordagem DPSIR.

Conceito	Definição
Indutor	Reflete as influências das atividades humanas que, quando combinadas com as condições ambientais, provocam mudança no meio ambiente (LANDIM NETO, 2013)
Pressão	Consequências de atividades humanas que tem potencial de causar ou contribuir para eventos adversos (MAXIM et. al, 2009)
Estado	Mostra a qualidade, ou seja, a atual condição do ambiente (LANDIM NETO, 2013)
Impacto	Alteração da qualidade ambiental que resultará da modificação de processos ambientais ou sociais provocados por ação humana (SÁNCHEZ, 2013)
Resposta	São as ações com o objetivo de mitigar, adaptar ou prevenir impactos negativos de origem antrópica e também para cessar ou reverter eventuais danos que ainda estão sendo causados (OCDE, 1993)
Processos ambientais	São processos que "ocorrem em qualquer ecossistema, natural, alterado ou degradado (SÁNCHEZ, 2013)
Poluição	Introdução no meio ambiente de qualquer forma de matéria ou energia que possa afetar negativamente o homem ou outros organismos (SÁNCHEZ, 2013)
Degradação Ambiental	Qualquer alteração adversa dos processos, funções ou componentes ambientais (SÁNCHEZ, 2013)
Qualidade Ambiental	É uma medida da condição de um ambiente relativa aos requisitos de uma ou mais espécies e/ou de qualquer necessidade ou objetivo humano (SÁNCHEZ, 2013)
Aspecto ambiental	Elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente (ISO 14001/2004 visto em SÁNCHEZ, 2013)
Perigo	Propriedade ou condição inerente a uma substância ou atividade capaz de causar danos às pessoas, às propriedades ou ao meio ambiente (GALANTE, 2015)

Ressalta-se que os impactos foram categorizados em níveis: primeiro, segundo e terceiro grau. Os impactos de primeiro grau correspondem aqueles sobre o meio abiótico, ou seja, sobre as propriedades e variáveis físico-químicas do ambiente. Os impactos de segundo e terceiro grau se referem aos impactos sobre o meio biótico, no nível de indivíduo e no nível de comunidade, respectivamente.

Ressalta-se que a abordagem DPSIR não foi aplicada de forma restrita, uma vez que a componente “respostas” não foi trabalhada, visto não ser o objetivo desse estudo, no primeiro ano do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática. Logo, identificados os indutores, as pressões, o estado e os impactos, construiu-se um modelo conceitual para avaliação de relações causa-efeito para a bacia hidrográfica do rio Doce, com foco sobre as pressões oriundas do rompimento da barragem de Fundão e os reflexos sobre a biodiversidade aquática.

Para representação do modelo conceitual desenvolvido empregou-se a ferramenta *CmapsTools*. Uma vez que a bacia hidrográfica é um ente sistêmico e que todos os processos antrópicos (ou naturais) que fazem parte desse sistema estarão representados, em termos quali-quantitativos de água, em seu exultório, buscou-se empregar uma abordagem sistêmica às conexões existentes entre diferentes componentes do modelo.

### **3 RESULTADOS**

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AÇÕES COM POTENCIAL PARA INFLUENCIAR NOS FLUXOS DE ÁGUA, SEDIMENTO E NUTRIENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE**

Nessa seção serão caracterizadas as ações existentes sobre o território delimitado pela bacia hidrográfica do rio Doce, que possuem potencial para influenciar nos fluxos de água, sedimento e nutrientes particularmente a montante da seção de referência rio-estuário (em Linhares). A referida caracterização objetiva subsidiar a interpretação das análises dos parâmetros físicos, químicos e biológicos monitorados no âmbito do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática.

De modo geral, as ações identificadas possuem caráter estrutural e não estrutural. Dentre as de caráter estrutural foram observadas ações relacionadas à recuperação de Áreas de Preservação Permanente (APPs); ao reflorestamento, de forma mais abrangente; ao saneamento básico; à prevenção e controle de produção e/ou aporte de sedimentos; ao manejo de rejeitos; e outras que não se encaixam nessas categorias. Por outro lado, as ações de caráter não estrutural identificadas são ações de gestão relacionadas à elaboração de termos de referência, estudos e monitoramentos ambientais, planos de ação, capacitações, articulações institucionais e firmamento de parcerias, entre outras.

É necessário ressaltar que antes do rompimento da barragem de Fundão, as principais intervenções antrópicas que geravam pressão sobre a quantidade e qualidade eram as provenientes da alteração de uso e ocupação do solo, da deficiência do saneamento básico e dos usos da água demandados na bacia. Após o rompimento da barragem de Fundão, novas ações surgiram sobre o território delimitado pela bacia do rio Doce a fim de reparação e compensação de danos socioeconômicos e socioambientais. No contexto da reparação e compensação dos referidos danos – os socioambientais em particular – o Comitê Interfederativo (CIF) conta com apoio de Câmaras Técnicas (CT) que o assessoram com pareceres técnicos, abrangendo os programas pela Renova. Dentre as CTs, verificou-se que as de maior relação com as temáticas “biodiversidade” e “alteração de quantidade e qualidade de água” são as câmaras CT-Bio, CT-Flor, CT-Rejeitos e CT-SHQA.

##### **3.1.1 Usos e manejo do solo e da água na bacia hidrográfica do rio Doce**

O uso e manejo do solo e da água exercem influência sobre as funções ecossistêmicas dos ambientes, afetando processos como retenção de água da chuva (BESERRA, 2016; SARI; PAIVA; PAIVA, 2016), infiltração, recarga de aquíferos (SAJIKUMAR; REMYA, 2015), escoamentos superficiais e subsuperficiais (BAYER, 2014; BENINI, 2015;), produção de sedimentos (BATISTA, 2016; MARCHIORO, 2008), fertilização do solo (LOPES, 2008; ABDO; VALERI; MARTINS, 2009). Portanto, entender a distribuição espacial desses usos sobre o território da bacia hidrográfica do rio Doce é essencial para subsidiar a compreensão de como essas forças podem produzir variações nos fluxos de água, sedimento e nutrientes.

Na Figura 1 e na Figura 2 são apresentados a distribuição percentual das tipologias mais expressivas de uso do solo na bacia e o mapa de uso do solo, respectivamente.

Figura 1: Distribuição percentual das tipologias de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Doce.

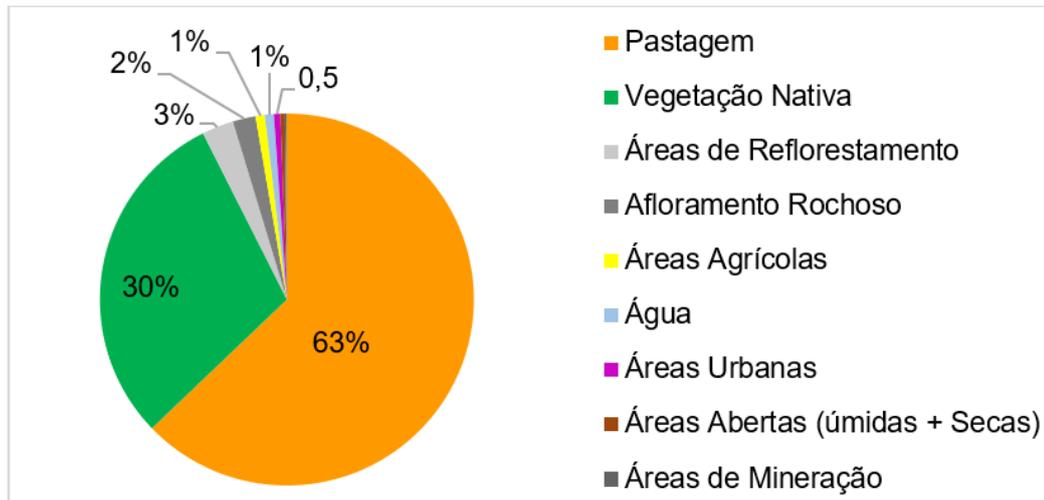
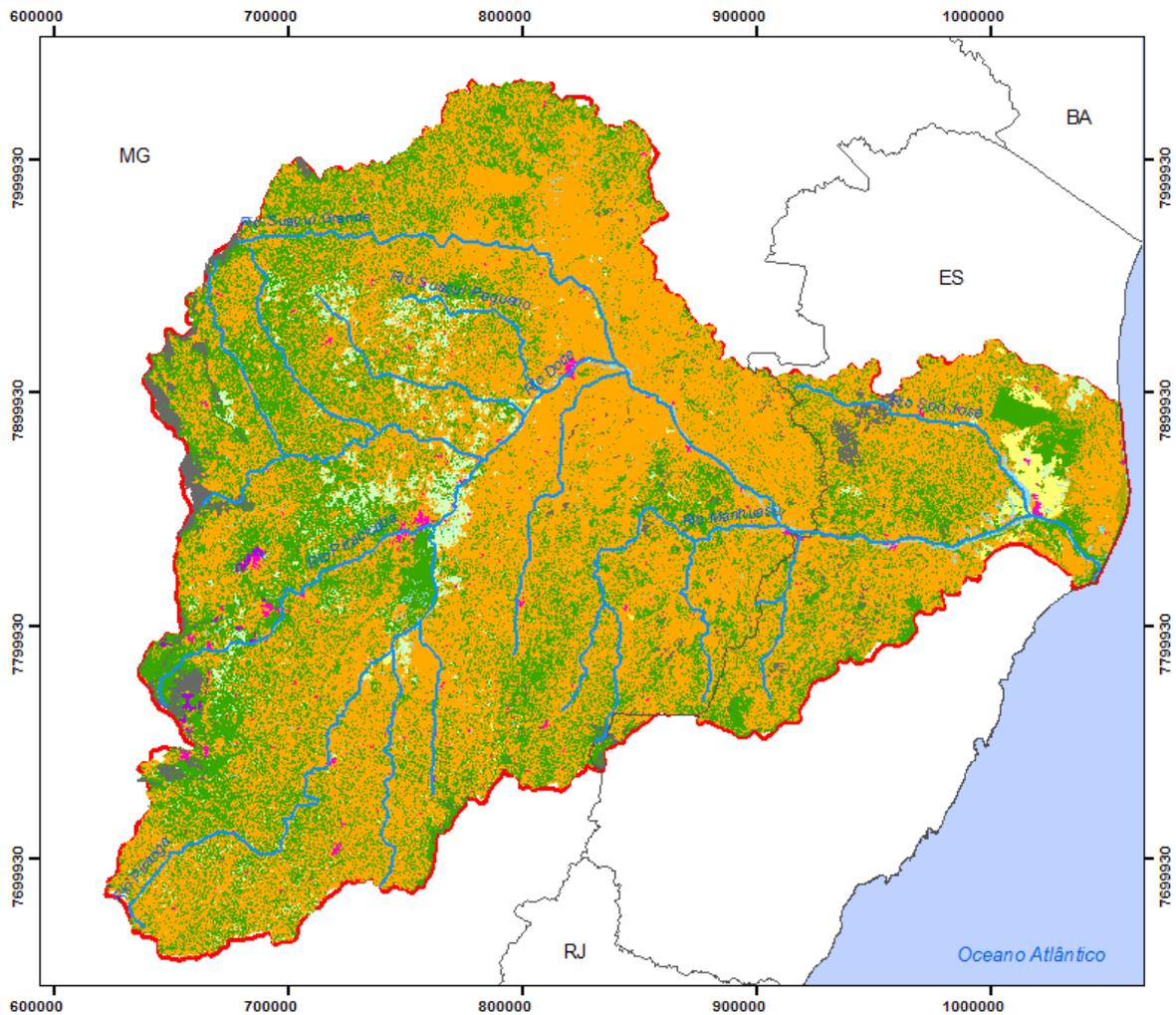


Figura 2: Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Doce.



### Uso e Ocupação do Solo

- |                     |                                |
|---------------------|--------------------------------|
| Hidrografia         | Vegetação Nativa               |
| Aeroporto           | Água                           |
| Afloramento Rochoso | Áreas Abertas (úmidas + Secas) |
| Oceano              | Áreas Agrícolas                |
| Pastagem            | Áreas Urbanas                  |
| Praia               | Áreas de Mineração             |
| Rodovias            | Áreas de Reflorestamento       |
|                     | BH rio Doce                    |
|                     | Limite Estadual                |



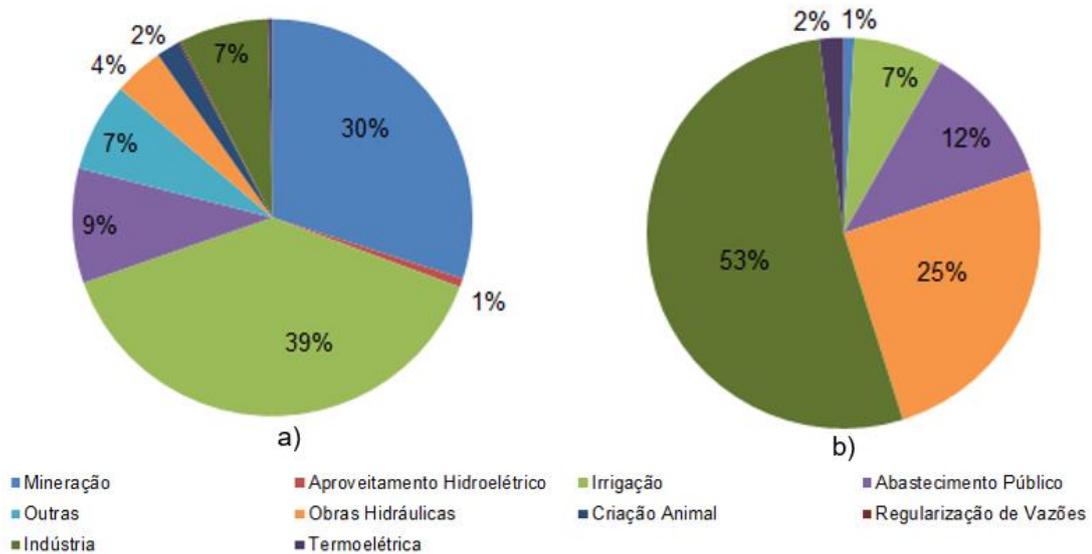
SISTEMA DE COORDENADAS UTM  
SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS2000 23K  
ELABORAÇÃO: ELIANE M. S. ARAÚJO  
MARÇO DE 2019

A partir de uma análise geral da bacia, verificou-se predominância da tipologia pastagem, fazendo-se presente em 63% da área da bacia do rio Doce. Essa predominância foi ainda mais destacada na porção média da bacia. Por outro lado, as áreas agrícolas se destacaram na porção mais baixa da bacia. Foram mapeadas também outras tipologias de uso e ocupação do solo, que apesar de pouco expressivas no que se refere à área de estudo, exercem pressões significativas sobre a disponibilidade quali-quantitativa do recurso hídrico. Exemplo disso são as áreas urbanas, que apesar de representarem 0,5% da cobertura total, demandam considerável vazão de retirada dos corpos hídricos para abastecimento público e industrial e são relevantes fontes de lançamento de efluentes no contexto da bacia. A mineração é uma das principais atividades econômicas da bacia, ocupando uma área relativa de 2%. Apesar do percentual relativamente pequeno, é uma atividade com alto potencial de impacto ambiental. Segundo Mechi e Sanches (2010) essa atividade acarreta supressão vegetal ou impedimento de regeneração. Os autores relatam que em muitas situações, o solo superficial mais fértil pode ser removido, e os solos remanescentes ficam expostos aos processos erosivos.

Apesar do uso antrópico prevalecer na maior parte da bacia (68%) e pressionar a degradação dos recursos hídricos, nota-se que a vegetação nativa ainda se faz presente, cobrindo 30% da área total. Observa-se presença destacada de fragmentos florestais dispersos na porção alta da bacia. De acordo com Mechi e Sanches (2010), essa fragmentação das áreas florestadas provoca a interrupção de corredores de fluxos gênicos e de movimentação da biota. Em fragmentos florestais de tamanho reduzido, pode haver diminuição da riqueza e abundância de espécies (BEGOTTI, 2014). Em relação aos afloramentos rochosos (2%), esses predominam no estado de Minas Gerais, especificamente no limite oeste da bacia. Nota-se, também na região mineira, a presença de áreas de reflorestamento (3%), localizadas na porção alta da bacia.

Em termos de uso da água, na calha do rio Doce a finalidade de uso com maior número de captações de água é irrigação, correspondendo a 39% do total de 567 registros, seguido de mineração para extração de areia/cascalho no leito do rio (30%) (Figura 3 a). Outras finalidades de uso da água, que chamam atenção, são abastecimento público (9%) e abastecimento industrial (7%).

Figura 3: Distribuição percentual por finalidade de uso da água na calha do rio Doce. a) do número captações; b) do volume de água captado.



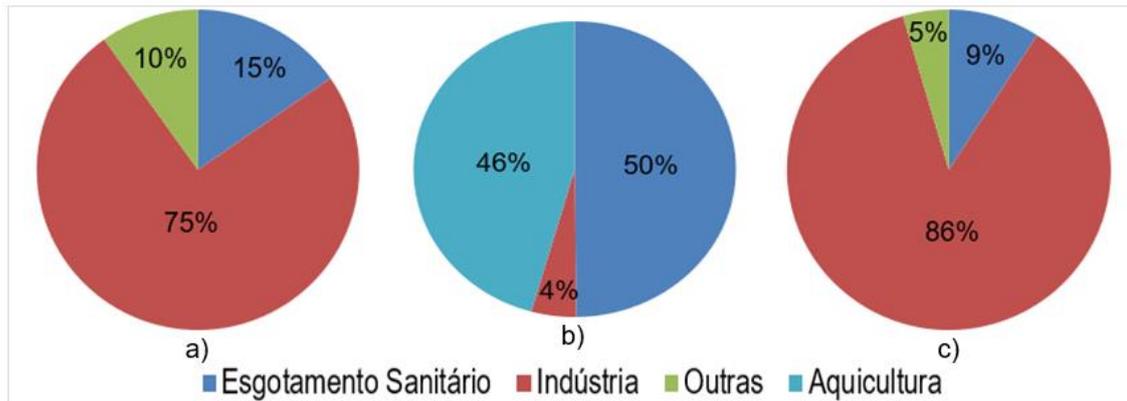
Porém, segundo os dados do CNARH, o abastecimento industrial é a finalidade de uso que possui o maior volume de captação, representando 53% dos 936 Hm<sup>3</sup> de água que são captados na calha principal do rio Doce (Figura 3 b). Outros volumes relativamente expressivos são os observados para obras hidráulicas (25%) e abastecimento público (12%). Verifica-se que apesar da irrigação possuir o maior número de captações, o volume percentual total de água captado é da ordem de 7% na calha do rio.

Além dos usos relacionados à captação de água, foram identificados usos para fins de diluição de efluentes. Ao todo foram identificados 135 registros de lançamento de efluentes cadastrados no CNARH; a maioria provenientes de esgotamento sanitário (55%) e indústrias (30%). O volume total de efluentes lançados diretamente na calha principal do rio Doce é de 250,5 Hm<sup>3</sup>.

O CNARH também disponibiliza para cada uso, a carga de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo (P) e Nitrogênio (N) lançada. Verificou-se que as cargas totais de DBO, P, e N lançadas ao longo da calha do rio Doce são de 4.953, 389 e 1.020 toneladas por ano, respectivamente.

Na Figura 4 é possível observar que os lançamentos provenientes das indústrias são responsáveis pela maior parte da carga de DBO e Nitrogênio afluente à calha do rio Doce, representando 75% e 86% do total, nessa ordem. Já os lançamentos oriundos do esgotamento sanitário ganham destaque quando é analisada a carga de fósforo afluente à calha do rio Doce (50%).

Figura 4: Distribuição percentual das cargas lançadas na calha principal do rio Doce, por finalidade de uso. a) DBO; b) Fósforo; c) Nitrogênio.



É necessário ressaltar que nem todas as captações ou lançamentos existentes na bacia hidrográfica do rio Doce estão disponíveis na base de dados do CNARH. Logo, os dados apresentados estão subestimados.

Em sua porção espírito-santense, a bacia do rio Doce está dividida em cinco regiões hidrográficas: Pontões e Lagoas do rio Doce, Barra Seca e Foz, Guandu, Santa Joana e Santa Maria do Doce.

A região hidrográfica Pontões e Lagoas do rio Doce possui aproximadamente 5.491 km<sup>2</sup>, em que 70% desta área está ocupada por usos antrópicos. A tipologia pastagem é a mais relevante em termos de área relativa, apresentando percentual de 32% (1.740km<sup>2</sup>) (Figura 5), seguida do cultivo de café, 18% (994km<sup>2</sup>). Entre as demais classes de usos antrópicos, podem ser observados, porém em menor expressão, a presença de silvicultura (6%), que consiste predominantemente em eucalipto, macega (6%), outros cultivos agrícolas (3%), solo exposto (2%) e área edificada (0,5%). Das tipologias naturais (30%), a mata nativa e a mata nativa em estágio inicial de regeneração, somadas, correspondem a 20% da região hidrográfica, enquanto afloramento rochoso equivale a 6%. Na Figura 6 verifica-se distribuição dispersa de fragmentos florestais, associados aos cultivos agrícolas e extensas áreas de pastagem. As áreas edificadas podem ser melhor percebidas nos municípios de Colatina e Linhares, sendo que este último também se destaca pela presença de grandes lagoas próximas a calha principal do rio Doce, como a lagoa Juparanã (de maior extensão). Ao longo da região hidrográfica o uso da água predominante, em termos de número de outorgas, é a irrigação. Do total de usuários cadastrados (11560), 96% destinam água para irrigação. Nas sedes urbanas são observadas outorgas para diluição de efluentes domésticos e industriais, especialmente em Colatina. Na região das lagoas se destaca a aquicultura.

Na região hidrográfica do rio Guandu (2475 km<sup>2</sup>), o sistema antropizado cobre 70% da área. A pastagem é o uso predominante (41%) (Figura 5) e se distribui ao longo de toda região (Figura 7). Essa é a maior área relativa de pastagem, quando comparada ao valor das demais regiões. A produção de

café é a atividade agrícola que mais se destaca, ocupando 13% do território e se concentra na parte alta da região, nos municípios de Brejetuba e Afonso Cláudio. As principais manchas urbanas são Afonso Cláudio e Baixo Guandu. A área de solo exposto corresponde a 1% do território e somado a alta declividade e práticas agrícolas inadequadas contribuem para o aporte de sedimentos ao rio Guandu. Em relação ao sistema natural, os fragmentos de mata nativa e mata nativa em estágio de regeneração (25%) estão dispersos ao longo da região. Fragmentos de maior extensão podem ser observados em Laranja da Terra. O uso da água predominante, em termos de número de outorga, é a irrigação, principalmente em Laranja da Terra e Baixo Guandu. Do total de usuários cadastrados (1.550), 90% destinam a água para fins de irrigação. Os usos da água para fins de aquicultura estão mais presentes em Afonso Cláudio. Nas sedes urbanas destaca-se a finalidade de diluição de efluentes.

Na região hidrográfica do rio Santa Joana (929 km<sup>2</sup>), a pastagem cobre maior parte do território (33%) (Figura 5) e se distribui ao longo da porção média e baixa (Figura 8), especialmente. Na porção alta da região, destaca-se a produção de cultivos temporários. De modo geral, o café é o cultivo mais representativo ocupando uma área relativa de 14%. Quanto ao sistema natural, os fragmentos de mata nativa e mata nativa em estágio de regeneração (28%) são mais extensos, provavelmente devido ao terreno com alta declividade, o qual dificulta a atividade de agricultura. Nesta região, o uso da água predominante é a irrigação. Do total de usuários cadastrados (1.335), 94% destinam água para fins de irrigação. A diluição de efluentes domésticos ocorre principalmente nas sedes urbanas de Itarana e Itaguaçu, localizadas na porção média.

Na região hidrográfica do Santa Maria do Doce (1.800 km<sup>2</sup>), o sistema antropizado corresponde a 70% do território. A área relativa de pastagem é de 40% (Figura 5), distribuída ao longo da porção média e baixa, principalmente (Figura 9). O cultivo do café é a principal atividade agrícola (10%) e está concentrado na porção alta da região, entre São Roque do Canaã e Santa Teresa. Na porção baixa, verifica-se concentração de fragmentos de silvicultura próxima à região das lagoas. A mancha urbana mais relevante nesta região é a de Colatina, cortada pela calha do rio Doce. No que se refere ao sistema natural, fragmentos de mata nativa e mata nativa em estágio de regeneração (22%) estão mais concentradas na região de Santa Teresa. Dentre os usos da água a irrigação é o predominante, especialmente na região de São Roque do Canaã. Do total de usuários cadastrados (1.890), 94% destinam água para fins de irrigação. Na proximidade das lagoas marginais destaca-se a aquicultura. Já a diluição de efluentes é mais destacada nas sedes urbanas.

A região hidrográfica Barra Seca e Foz possui 4.180 km<sup>2</sup>, onde a área coberta por tipologias antrópicas representa 59% de toda a região. A pastagem é a tipologia antrópica mais presente nessa região, cobrindo 28% da área, seguindo de café (12%) e outros cultivos agrícolas (7%) (Figura 5). As áreas de pastagem estão mais concentradas na porção alta e baixa da região hidrográfica (São Gabriel da Palha e Linhares) (Figura 10). Por outro lado, os cultivos agrícolas e silvicultura se concentram na região média (vila Valério, Sooretama e Jaguaré). A principal mancha urbana neste território é a de Linhares, cortada pelo rio Doce. O sistema natural cobre 41% da área total, destacando-se as áreas de mata

nativa e mata nativa em estágio inicial de regeneração (28%) e de brejo (9%). A maior parcela da área florestada na bacia está inserida na Reserva Biológica de Sooretama (278,6 km<sup>2</sup>) e nas margens do rio Doce a jusante da sede de Linhares. Nessa região hidrográfica, a irrigação é o uso da água predominante. Particularmente na região de São Gabriel da Palha, Vila Valério e Jaguaré. Do total de usuários cadastrados (6430), 96% destinam água para irrigação. O uso para fins de diluição de efluentes está mais concentrado na sede de Linhares e Sooretama.

Conclui-se que na porção espírito-santense o cultivo da pastagem e de café são os usos do solo predominantes e que o recurso hídrico disponível é expressivamente utilizado para fins de irrigação, evidenciando a vocação agropecuária da bacia. Sob a perspectiva dessa conjuntura, o Centro de Desenvolvimento do Agronegócio (CEDAGRO) realizou levantamento de áreas agrícolas degradadas no Espírito Santo, no ano de 2012. Essas áreas agrícolas correspondem a soma de áreas degradadas cultivadas com pastagem e café, principalmente. Na porção espírito-santense da bacia do rio Doce foram mapeadas 1.418 km<sup>2</sup> de áreas degradadas, valor que corresponde acerca de 9,5% da área da porção capixaba. As regiões com maiores áreas agrícolas degradadas são as dos rios Guandu (340 km<sup>2</sup>) e Santa Joana (288 km<sup>2</sup>).

As características de uso da bacia do rio Doce fazem com que a bacia seja, notoriamente, responsável por expressiva produção e transporte de sedimentos. Em 2010, o Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (PIRH-Doce) apontou que 58% da bacia apresentava forte susceptibilidade a erosão (IGAM, 2010).

Ressalta-se que as pastagens e cultivos de monoculturas mal manejados e atividades pouco conservativas contribuem para a diminuição da capacidade de percolação da água no solo e recarga de aquíferos rasos e profundos (BAKER; MILLER, 2013; BESERRA, 2016). Em médio e longo prazo, a alteração desses processos influencia na alimentação dos cursos d'água, com maior impacto nos períodos de estiagem, quando a vazão do curso d'água é mais dependente da recarga dos aquíferos (SAJIKUMAR; REMYA, 2015). Esses efeitos puderam ser observados no período de estiagem que ocorreu no Espírito Santo (2014-2016), em que todas as regiões hidrográficas da porção espírito-santense do rio Doce sofreram com a baixa vazão dos rios (AGERH, 2018), tendo sido relatado trechos onde a água secou, e períodos em que a foz do rio não alcançavam o mar.

Figura 5: Percentual da classe de uso e ocupação do solo por região hidrográfica da porção capixaba do rio Doce.

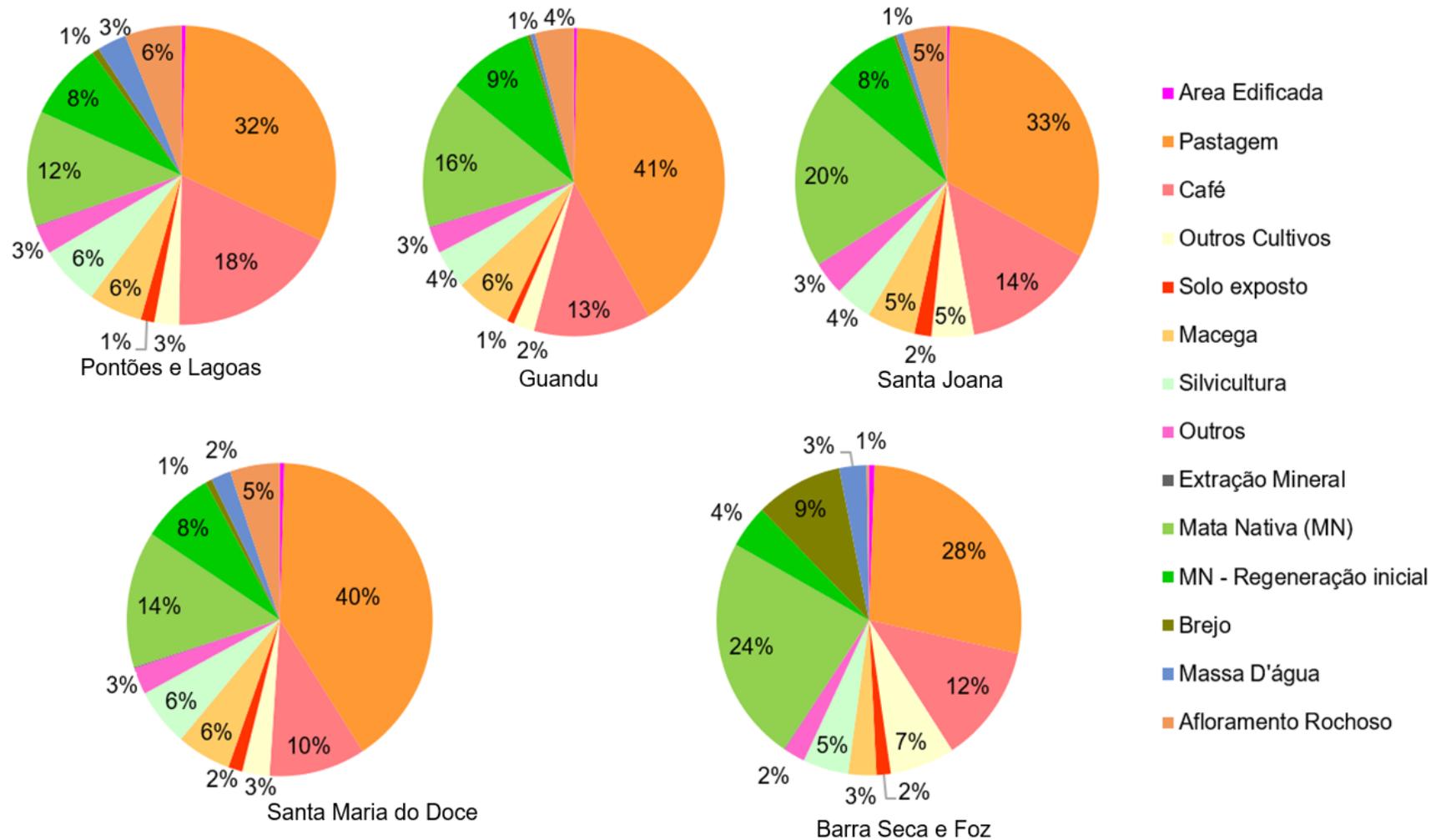
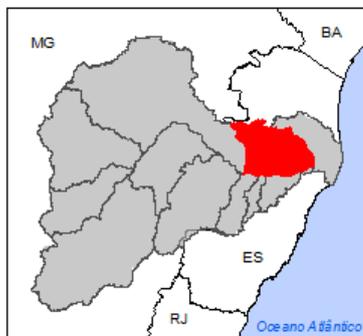
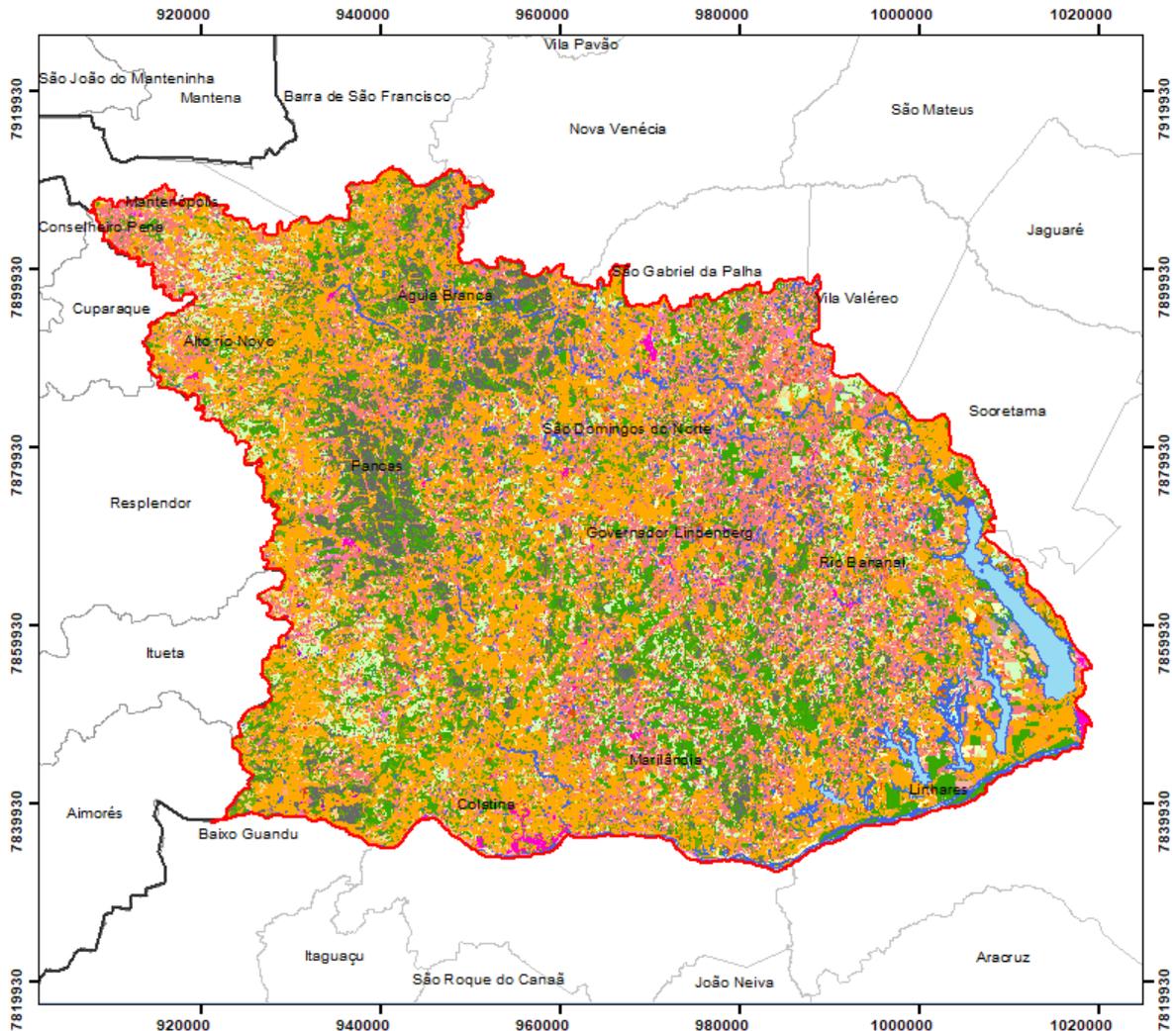


Figura 6: Uso e ocupação do solo na região hidrográfica Pontões e Lagoas do rio Doce.



SISTEMA DE COORDENADAS UTM  
SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS2000 23K  
ELABORAÇÃO: ELIANE M. S. ARAÚJO  
MARÇO DE 2019

### Uso e Ocupação do Solo Região Hidrográfica Pontões e Lagoas do rio Doce



Figura 7: Uso e ocupação do solo na região hidrográfica do rio Guandu.

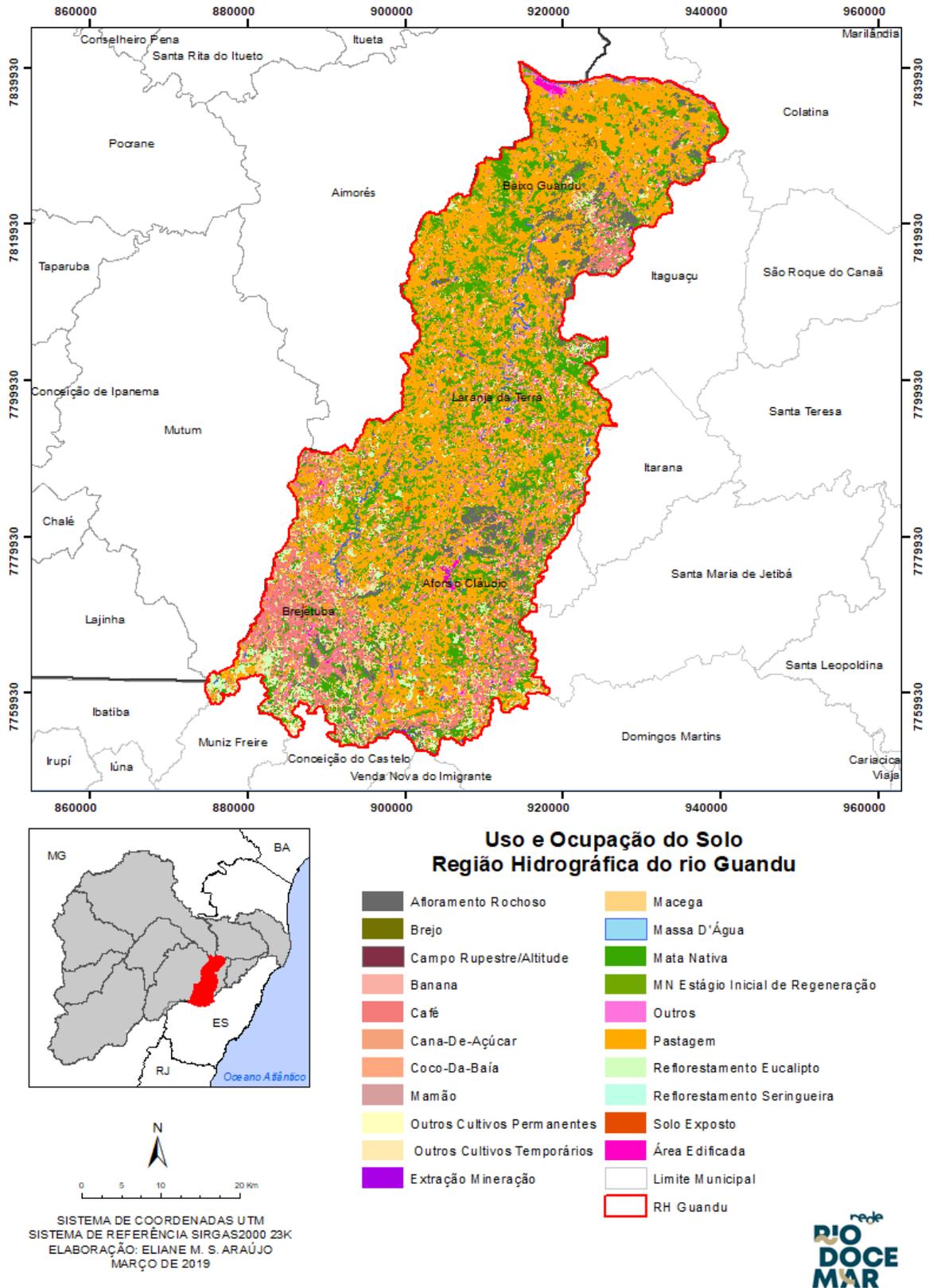


Figura 8: Uso e ocupação do solo na região hidrográfica do rio Santa Joana.

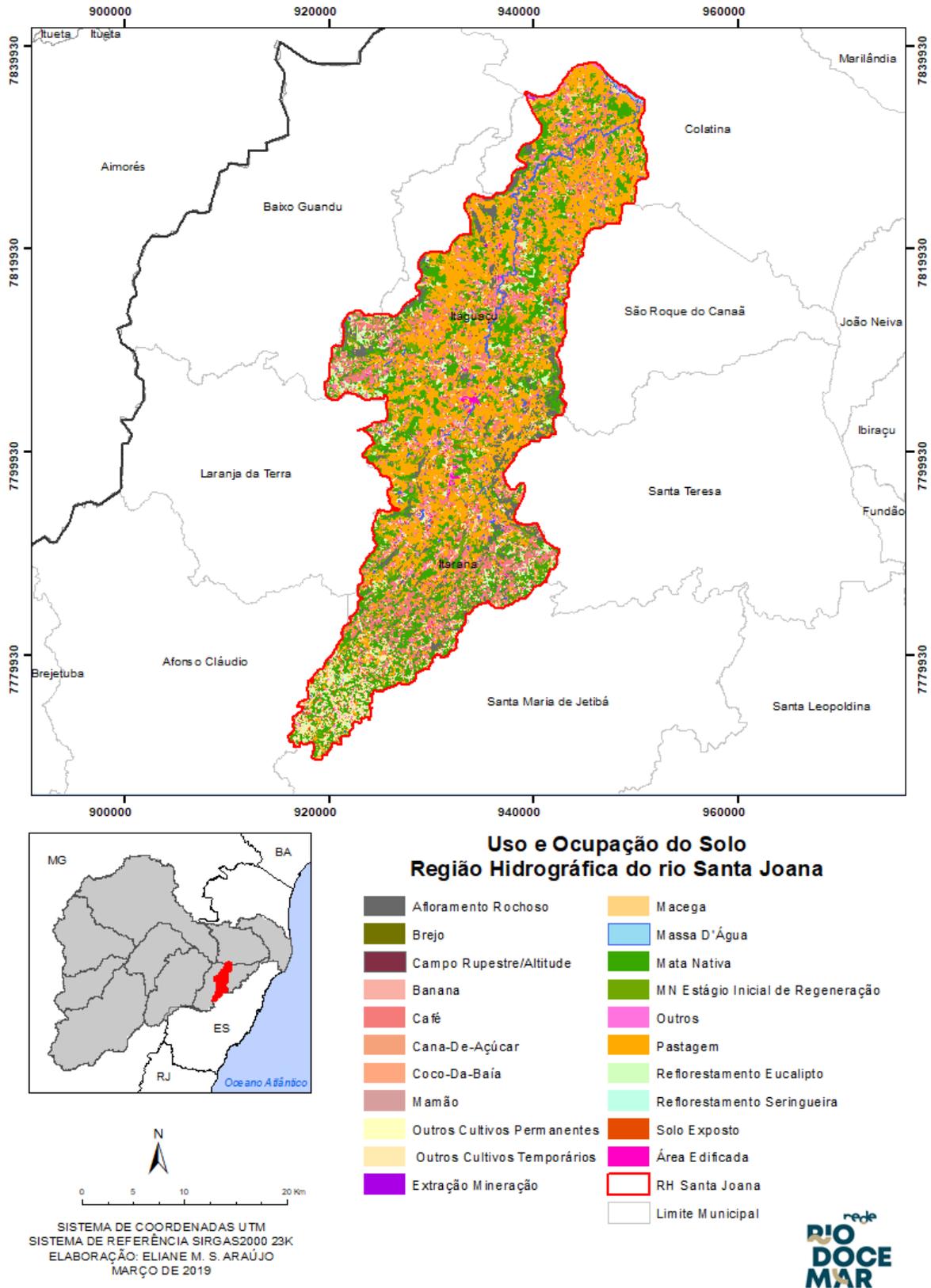


Figura 9: Uso e ocupação do solo na região hidrográfica do rio Santa Maria do Doce.

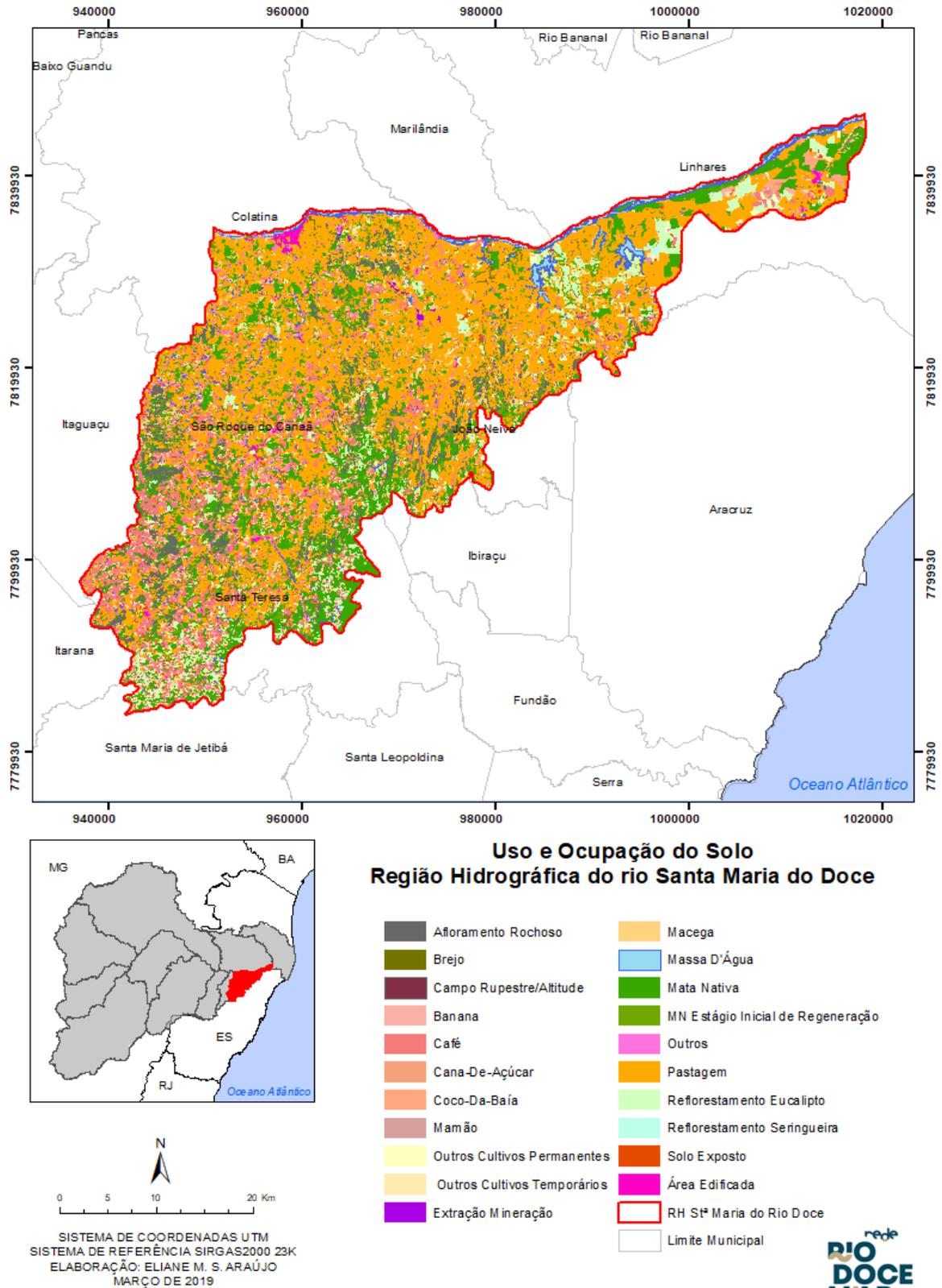
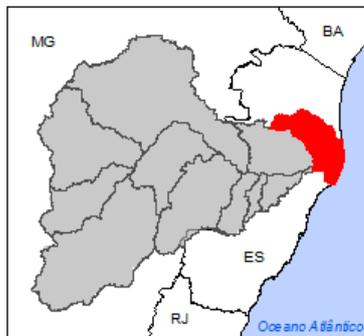
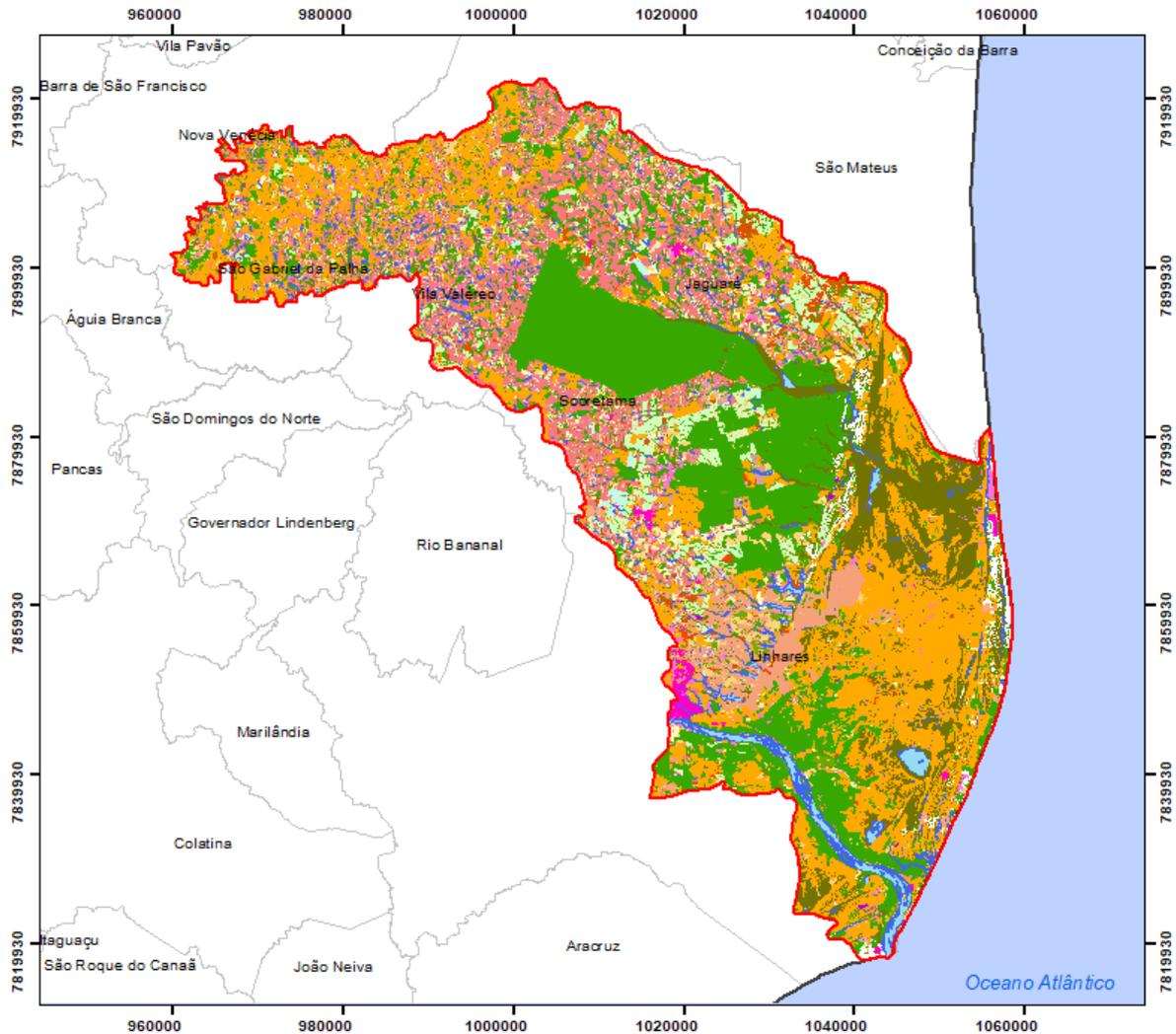


Figura 10: Uso e ocupação do solo na região hidrográfica Barra Seca e Foz.



**Uso e Ocupação do Solo**  
**Região Hidrográfica do rio Barra Seca e Foz**

- |                             |                                   |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| RH Barra Seca e Foz         | Extração Mineral                  |
| Afloramento Rochoso         | Macega                            |
| Brejo                       | Massa D'Água                      |
| Campo Rupestre/Altitude     | Mata Nativa                       |
| Banana                      | MN Estágio Inicial de Regeneração |
| Café                        | Outros                            |
| Cana-De-Açúcar              | Pastagem                          |
| Coco-Da-Baía                | Reflorestamento Eucalipto         |
| Mamão                       | Reflorestamento Seringueira       |
| Outros Cultivos Permanentes | Solo Exposto                      |
| Outros Cultivos Temporários | Área Edificada                    |
|                             | Limite Municipal                  |



SISTEMA DE COORDENADAS UTM  
SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS2000 23K  
ELABORAÇÃO: ELIANE M. S. ARAÚJO  
MARÇO DE 2019

Para minimizar o cenário de antropização do uso do solo evidenciado nos dados e informações supracitados, são realizadas ações de carácter conservacionista ao longo da bacia hidrográfica do rio Doce. Dentre essas ações, destacam-se: aquelas voltadas ao combate do desperdício de água na agricultura, inseridas dentro do Programa de Incentivo ao Uso Racional da Água na Agricultura (P22) do PIRH-Doce, que financia a instalação de irrigâmetros; e aquelas voltadas à recuperação de Áreas de Preservação Permanente (APP) e as de reflorestamento. No Quadro 2 são apresentadas ações dessa natureza identificadas na bacia, por município.

Quadro 2: Ações relacionadas à recuperação de APPs e reflorestamento na bacia hidrográfica do rio Doce.

<b>Ação</b>	<b>Município</b>	<b>Fonte da Informação</b>
Recuperação de nascentes	Governador Valadares, Guanhães e Sabinópolis, Virginópolis, Resplendor, Colatina, Marilândia, Linhares, Rio Bananal e Ponte Nova	PIRH-Doce
	Colatina, Marilândia, Linhares, Governador Valadares e Ponte Nova	Renova
	Baixo Guandu, Periquito, Governador Valadares, Ipatinga e Ipaba	Prefeitura
Cercamento de APPs	Rio Doce, Barra Longa e Mariana	Renova
	Timóteo e Governador Valadares	Prefeitura
Enriquecimento da vegetação nas planícies de inundação com espécies nativas	Mariana	Renova
Revitalização das Margens de Rios	Ipatinga	Prefeitura
Cercamento de APP e nascentes, controle de sedimentos e instalação de fossas sépticas em propriedades da zona rural	Timóteo	Prefeitura
Restauração de topos de morros	Aimorés	Renova
Projetos de produção de sementes e mudas de espécies nativas florestais, para recuperar áreas marginais e compensar APPs degradadas	Sem Referência	Renova
Reflorestamento e preservação de áreas	Marilândia	SEAMA/ Reflorestar

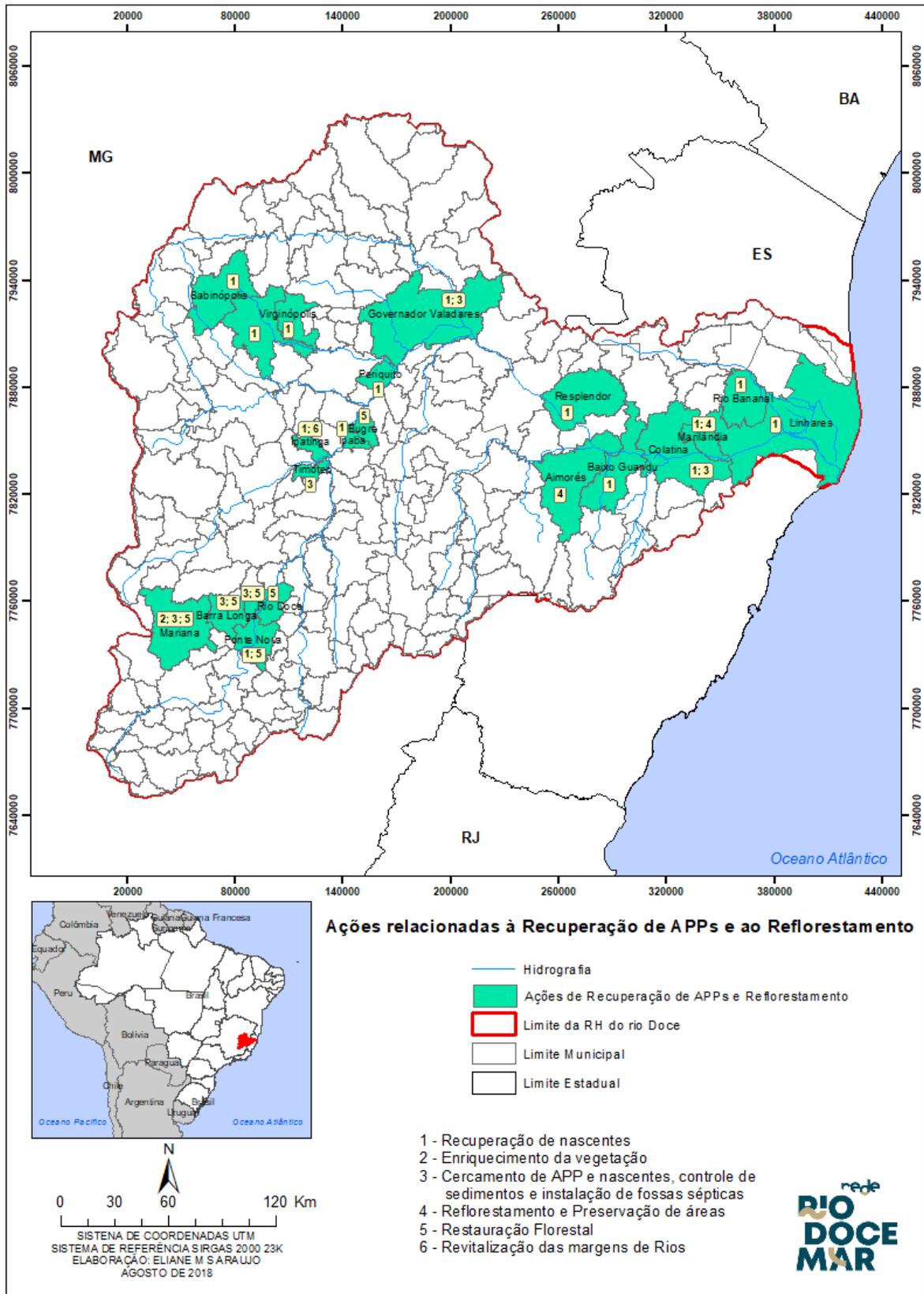
<b>Ação</b>	<b>Município</b>	<b>Fonte da Informação</b>
Restauração florestal	Barra Longa, Ponte Nova, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado e Mariana	Renova
Recuperação florestal	Toda a Bacia	Fundação Renova
Proteção de Nascentes	Mariana	Prefeitura
Plantio de 120 mudas de espécies nativas foram plantadas pelos alunos da Escola Municipal Izalpino Vicente Bonfim	Bugre	Renova

A partir da análise do Quadro 2, concluiu-se que a maioria das ações referentes à recuperação de APPs na bacia dizem respeito à proteção e recuperação de nascentes. Ações dessa natureza têm sido planejadas e executadas visando contribuir para melhoria da quantidade e qualidade de água no ponto de captação superficial de alguns municípios (sedes e localidades) que tiveram seu sistema de abastecimento de água afetado pela onda de rejeito proveniente do rompimento da barragem. Entre eles, destacam-se: sede de Governador Valadares (MG); aldeia indígena Krenak, em Resplendor (MG); sede de Colatina (ES); e Sede de Linhares (ES). No contexto do PIRH-Doce, existe o Programa de Recomposição de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Nascentes (P52), o qual promove levantamento de áreas críticas e prioritárias para recomposição ou adensamento de matas ciliares e de topos de morro e caracteriza e recupera nascentes e áreas degradadas. Sabe-se que as nascentes, em particular, são importantes para a dinâmica hidrológica uma vez que são focos de passagem da água subterrânea para a superfície e pela formação de canais fluviais.

As demais ações estão centradas em recuperação de APP e reflorestamento. Na Figura 11 podem ser visualizadas as ações relacionadas à recuperação de APP e ao reflorestamento identificadas na bacia hidrográfica do rio Doce, por município. Na porção alta da bacia, na região de Mariana, Barra Longa, Ponte Nova, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado (Figura 11) houve pronunciada atividade de revegetação e reflorestamento das áreas marginais à calha do rio Doce e de seus tributários afetados pelo rejeito. Segundo o Plano de Manejo de Rejeitos (CH2M, 2017), nessa região houve grande volume de depósito de rejeito em calhas e planícies aluvionares e maior erosão das margens das calhas dos rios onde a onda de rejeitos passou. Por outro lado, na porção baixa da bacia salienta-se o papel do programa Refloresta no reflorestamento e preservação de áreas em alguns dos municípios capixabas, como Marilândia. O investimento em ações dessa natureza se justifica, uma dada sua importância para a manutenção do equilíbrio ambiental (PIRES et al., 2009; TUCCI; MENDES, 2006). Alguns autores (PINHEIRO, 2011; ATTANASIO et al., 2012) também destacam o papel das APPs na promoção de serviços ecossistêmicos como controle de aporte de sedimentos, rejeitos e espécies químicas resultantes de processos erosivos, na estabilidade de margens de rios e infiltração de água no solo.

Ressalta-se que a promoção ou não desses serviços ecossistêmicos tem potencial para afetar na variação dos fluxos de água, sedimento e nutrientes na bacia.

Figura 11: Ações relacionadas à recuperação de APP e ao reflorestamento na bacia hidrográfica do rio Doce.



### 3.1.2 Saneamento básico (eixos água e esgoto)

A precariedade do saneamento básico é uma das principais pressões sobre a disponibilidade hídrica regional, seja em termos quantitativos devido a captações para abastecimento de água e perdas por vazamento, seja em termos qualitativos devido ao aporte de matéria orgânica e nutrientes aos corpos hídricos. Ambas situações convergem para limitar usos da água e potencializar problemas de saúde pública.

Os principais indicadores da qualidade de saneamento básico estão relacionados ao acesso de água, às perdas de água devido a vazamentos e à coleta e ao tratamento de esgoto. No Quadro 3 são apresentados indicadores elaborados pelo Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), ano base de 2017.

Quadro 3: Indicadores de Saneamento Básico nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, Região Sudeste e Brasil.

Indicador	MG	ES	Sudeste	Brasil
Índice de atendimento total de água (IN055)	82%	80%	91%	83%
Índice de perdas na distribuição (IN049)	36%	39%	34%	38%
Índice de coleta de esgoto (IN015)	64%	54%	69%	58%
Índice de esgoto tratado referido à água consumida (IN046)	38%	42%	50%	45%

Fonte: adaptado de Instituto Trata Brasil (2019).

Pode ser observado que os indicadores regionais de atendimento e perda de água e coleta e tratamento de esgoto do Sudeste são melhores que a média nacional apesar de ainda apontarem um longo caminho até a universalização do saneamento, especialmente no eixo de esgoto. Apenas 50% do esgoto produzido é tratado na região Sudeste. Por outro lado, nota-se que os indicadores de água e esgoto de Minas Gerais e do Espírito Santo estão abaixo da média da região Sudeste. Quando comparados os dois estados, percebe-se que o Espírito Santo possui maior índice de esgoto tratado.

Diagnosticar esse contexto é importante para compreender o cenário em que está inserida a bacia do rio Doce, quando o assunto é saneamento básico. Na bacia hidrográfica do rio Doce o valor médio do índice de atendimento total de água é de 59%, muito abaixo da média do Sudeste (91%). Esse resultado chama atenção, dado que o acesso à água tratada é a forma mais básica e essencial do saneamento, no que se refere à saúde pública. Do total de municípios inseridos na bacia (235), 83 (35%) deles possuem índice de tratamento abaixo de 50%; e 173 (74%) possuem índice abaixo de 80% (média do ES). O município que possui o menor grau de acesso à água é Cuparaque (MG) (15%) e os que possuem 100% de acesso são Baixo Guandu (ES), Linhares (ES), Dorés de Guanhanes (MG), Guanhanes (MG), João Monlevade (MG), Manhuaçu (MG), Mariana (MG), Pocrane (MG), Ponte Nova

(MG) e Santana dos Montes (MG). Na Figura 12 é apresentado um panorama do atendimento total de água na bacia hidrográfica do rio Doce.

Quanto às perdas de água, o valor médio das perdas nos sistemas de distribuição existentes na bacia é de 29%, valor abaixo da média do Sudeste (34%) e dos estados de Minas Gerais (36%) e Espírito Santo (39%). Os municípios que apresentam menores perdas de água são Capitão Andrade (MG) (0,01%) e Pocrane (MG) (0,06%). Por outro lado, Acaiaca (MG) e Presidente Bernardes (MG) possuem perdas da ordem de 90 e 89%, respectivamente. Ressalta-se que quanto maior o percentual de perdas maior é a pressão do abastecimento público sobre os recursos hídricos, haja vista que maior será a demanda de retirada de água nos corpos hídricos. Na Figura 13 é apresentado um panorama do percentual de perdas nos sistemas de distribuição de água na bacia hidrográfica do rio Doce.

Em relação à coleta de esgoto, o valor médio do índice na bacia é de 75%, valor acima da média da região Sudeste (69%) e dos estados de Minas Gerais (64%) e Espírito Santo (54%). Porém, muitos municípios (141) não possuem informação sobre o nível de coleta de esgotos na base de dados do SNIS e dos que possuem informação (94), 35 possuem índice de coleta abaixo da média do Sudeste. Os municípios que possuem menor percentual de coleta de esgotos são Mesquita (27%) e Nova Era (28%). Ao todo, 16 municípios possuem 100% de coleta de esgoto. Entre os espírito-santenses estão Baixo Guandu, Colatina, Itarana, João Neiva e Governador Lindenberg e entre os mineiros estão Abre Campo, Acaiaca, Diogo de Vasconcelos, Gonzaga, Luisburgo, Mariana, Pedra Bonita, Presidente Bernardes, São Geraldo da Piedade, Senhora de Oliveira e Vermelho Novo. Na Figura 14 é apresentado um panorama do percentual de coleta de esgoto na bacia hidrográfica do rio Doce.

Apesar de o valor médio do índice de coleta de esgoto na bacia ser relativamente alto (75%) e das ressalvas supracitadas, o valor médio do índice de tratamento de esgoto na bacia é de 21%. Valor esse sensivelmente abaixo da média da região Sudeste (50%) e dos estados de Minas Gerais (38%) e Espírito Santo (42%). De modo geral, quando comparadas as estatísticas do índice de coleta e do índice de tratamento, conclui-se que nem todo esgoto coletado é tratado. Esse fato também pode ser visualizado nas estatísticas apresentadas no Quadro 3. Ressalta-se que do total de municípios inseridos na bacia (235), apenas 94 (40%) possuem informação sobre tratamento de esgoto na base de dados do SNIS. Dos municípios que possuem informação, 57 (60%) não possuem tratamento de esgoto. Apenas 5 possuem índice de tratamento acima de 90%, são eles: Vila Valério (ES), Goiabeira (MG), Jaguaráçu (MG), Pedra Bonita (MG), Rio Doce (MG) e Senhora de Oliveira (MG). Na Figura 15 é apresentado um panorama do percentual de tratamento de esgoto na bacia hidrográfica do rio Doce.

Pode-se concluir que o panorama do saneamento na bacia do rio Doce evidencia um cenário crítico, bem distante da universalização, especialmente no que tange ao tratamento de esgoto. Esse cenário expõe a necessidade de intensificar investimento em ações voltadas à universalização do tratamento.

Figura 12: Índice de atendimento total de água na bacia hidrográfica do rio Doce.

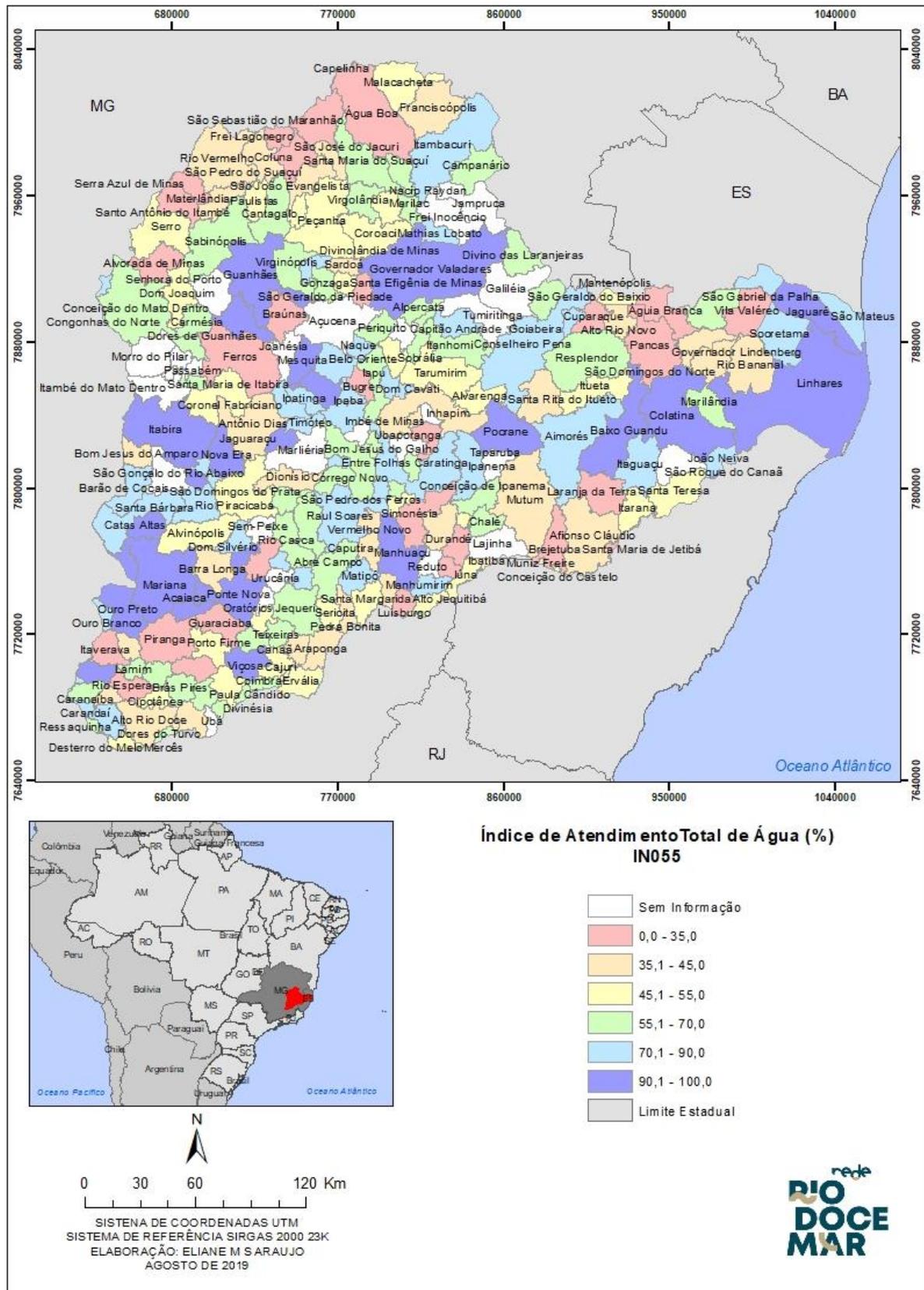


Figura 13: Índice de perdas na distribuição na bacia hidrográfica do rio Doce.

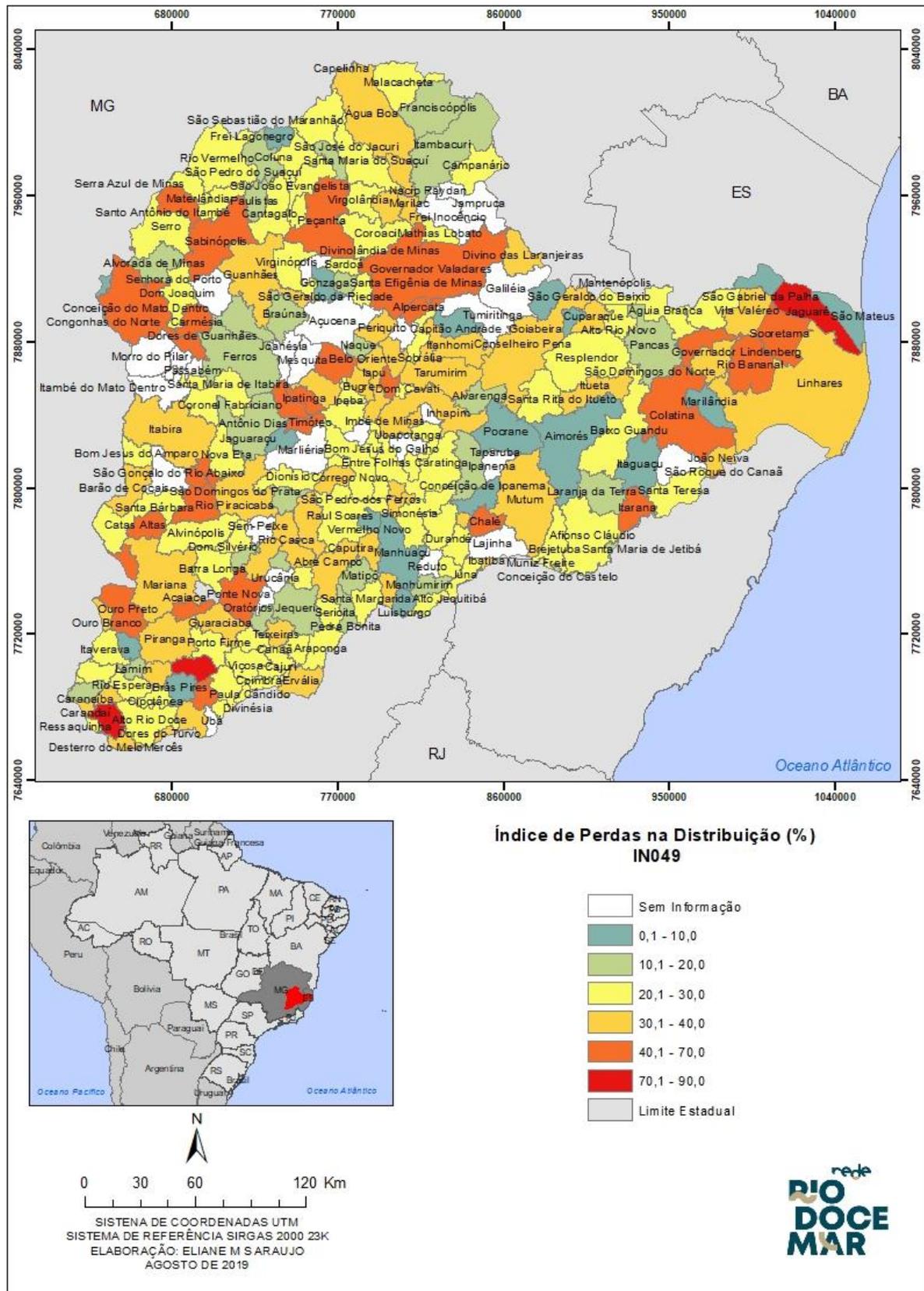


Figura 14: Índice de coleta de esgoto na bacia hidrográfica do rio Doce.

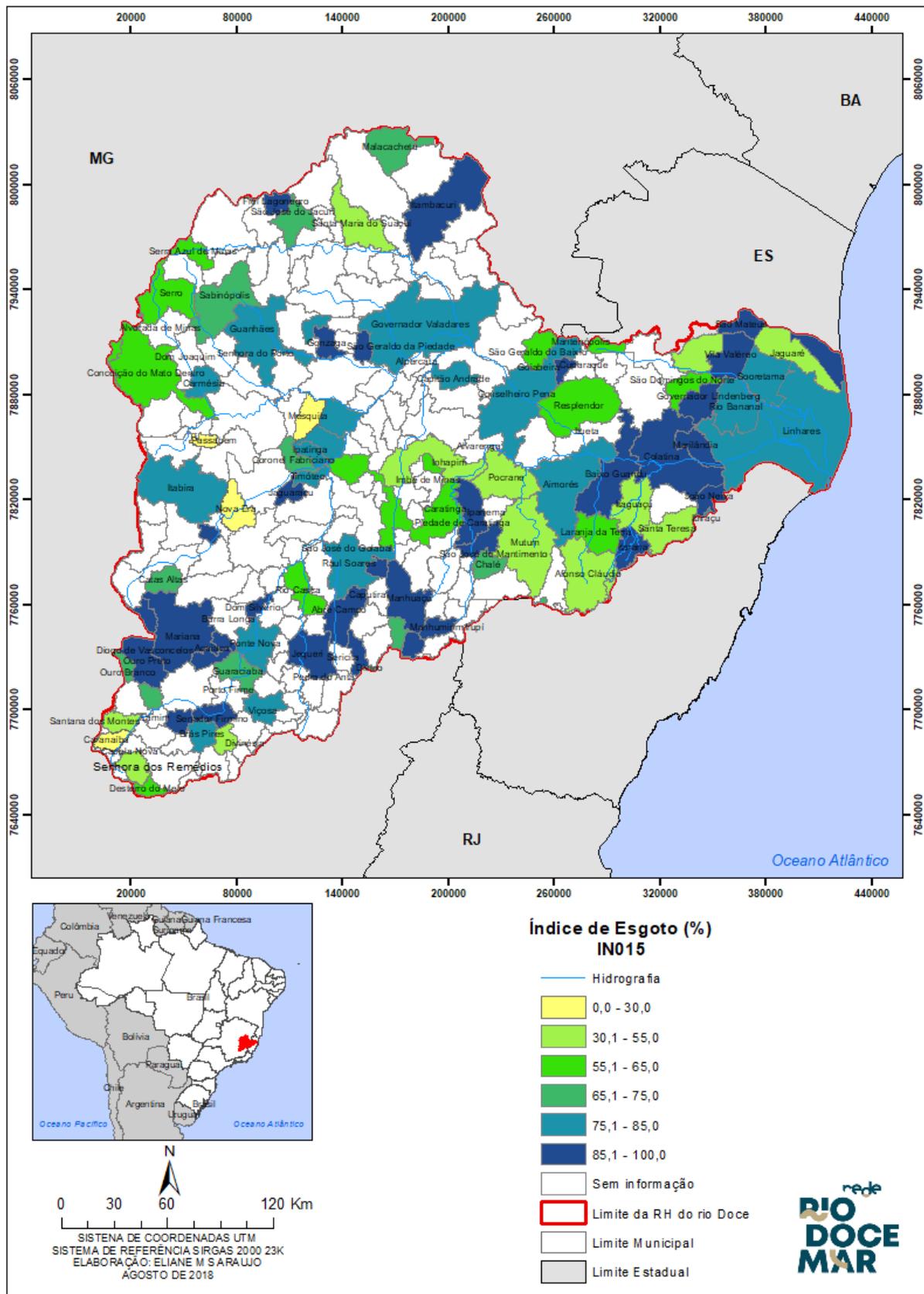
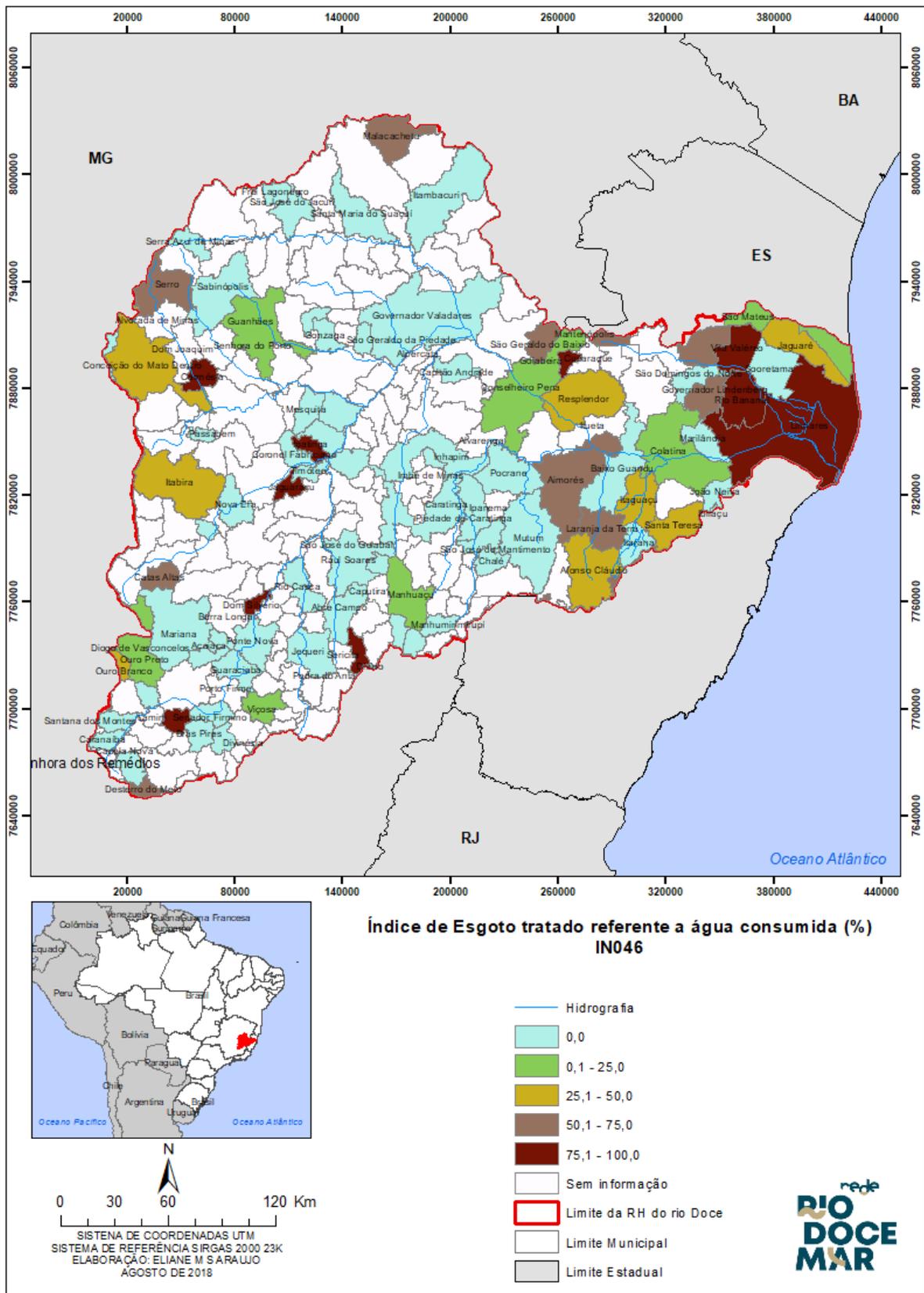


Figura 15: Índice de tratamento de esgoto referente à água consumida na bacia hidrográfica do rio Doce.



Destaca-se que antes mesmo do rompimento da barragem de rejeitos, em 2015, a bacia hidrográfica do rio Doce já possuía carência de infraestrutura adequada de coleta e tratamento de esgoto. Carência essa, identificada no PIRH-Doce o qual previu ações dessa natureza para núcleos populacionais de toda bacia, urbano ou rural. Após o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana (MG), a Fundação Renova vem disponibilizando recursos financeiros aos municípios banhados pelo Rio Doce e por trechos impactados dos rios Gualaxo do Norte e Carmo a fim de elaboração de planos municipais de saneamento, execução de projetos e obras de sistemas de tratamento de esgoto, implantação de aterros sanitários regionais, entre outras.

No Quadro 4 são apresentadas as ações identificadas que estão relacionadas ao saneamento básico na bacia hidrográfica rio Doce, focadas no eixo de tratamento de água e coleta e tratamento de esgoto. Outras ações relacionadas ao gerenciamento de resíduos sólidos e drenagem urbana também foram identificadas.

Quadro 4: Ações relacionadas ao saneamento básico na bacia hidrográfica do rio Doce.

<b>Ação</b>	<b>Município</b>	<b>Fonte da Informação</b>
Implantação de novas redes de esgotamento sanitário	Periquito	Prefeitura
Implantação de fossas sépticas	Raul Soares	Prefeitura
Manutenção e reparos nas redes de esgoto e drenagem	Linhares	Prefeitura
Construção de ETE	Ipaba, Rio Doce, Ponte Nova, São José do Goiabal, Sem-Peixe, Baixo Guandu, Linhares	Prefeitura
Construção de ETE	Mariana, São Domingos do Prata, Marliéria, Timóteo, Ipatinga, Santana do Paraíso	PIRH-Doce
Implantação de Estação de Tratamento Natural	Mariana	Renova
Obras de coleta e tratamento de esgotos domésticos dos núcleos populacionais de toda a bacia, Programa de Saneamento da Bacia (P11) e Programa de Universalização do Saneamento (P41)	Sem Referência	PIRH-Doce
Implantação de Adutora de água	Governador Valadares	Renova
Ampliação da ETA Central	Governador Valadares	Prefeitura
Obras no Sistema de Captação e Tratamento de água	Galiléia	Renova
Implantação de ETAs	Mariana, São Domingos do Prata, Marliéria, Timóteo, Ipatinga, Santana do Paraíso	PIRH-Doce

<b>Ação</b>	<b>Município</b>	<b>Fonte da Informação</b>
Implantação de ETAs	Barra Longa, Belo Oriente, Periquito, Alpercata, Governador Valadares, Tumiritinga, Galileia, Resplendor, Itueta, Aimorés, Baixo Guandu, Colatina, Marilândia, Linhares	Renova
Implantação de Sistemas de Captação Alternativa (Coletivo)	Resplendor, Itueta, Aimorés, Baixo Guandu, Linhares	Renova
Implantação de Sistemas de Captação Alternativa (Individual)	Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Santana do Paraíso	Renova
Lançamento da tubulação no trecho aéreo (km 28,6 ao 31,5) e do ramal ETA Santa Rita (km 0,00 ao 0,14) da adutora para captação no Rio Corrente Grande	Governador Valadares	Renova
Início das obras do Tunnel Liner que atravessa a BR-381 da adutora do rio Corrente Grande	Governador Valadares	Renova
Obras de melhoria de acesso e montagem eletromecânica nas ETAs	Galileia	Renova
Construção de nova Captação	Governador Valadares	Renova
Obras de lançamento da tubulação da linha principal da adutora	Linhares	Renova
Monitoramento e prestação de assistência técnica a ETAs	Linhares e Baixo Guandu	Renova
Perfuração de Poços	Galiléia	Prefeitura
	Mariana, Santana do Paraíso, Marilândia e Galiléia	Renova
Recuperação dos poços como solução de captação alternativa	Belo Oriente e Tumiritinga	Renova
Obras de interligação dos poços de captação de água subterrânea	Galiléia e Resplendor	Renova
Recuperação de redes pluviais	Ipatinga	Prefeitura
Instalação de rede pluvial	Belo Oriente e Bom Jesus do Galho	Prefeitura
Obras de drenagem	Bom Jesus do Galho	Prefeitura
Limpeza das redes de drenagem	Linhares	Prefeitura
Limpeza de galerias	Colatina	Prefeitura
Construção de galeria de contenção das águas	Conselheiro Pena	Prefeitura

<b>Ação</b>	<b>Município</b>	<b>Fonte da Informação</b>
Limpeza e desobstrução de canais fluviais	Ipatinga e Aimorés	Prefeitura
Canalização de Córregos	Bom Jesus do Galho	Prefeitura
Limpeza da Margem de Rios	Marilândia	Prefeitura
Retirada de Macrófitas da Superfície de Rios	Linhares	Renova
Construção de aterro sanitário	Ipatinga e Mariana	Renova
	Alpercata	Prefeitura
Implantação de Unidade de Tratamento de Resíduos	Galiléia	Renova
Coleta seletiva nas escolas da rede pública municipal e estadual	Rio Doce	Prefeitura
Construção de galpão para materiais recicláveis	Belo Oriente	Prefeitura

Em relação ao eixo de esgotamento sanitário, foram identificadas ações pontuais com objetivo de construção de novas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) ou ampliação da cobertura de redes coletoras (Quadro 4). A maioria delas localizadas na porção mineira da bacia do rio Doce, como as de Ipaba, Rio Doce, Ponte Nova, São José do Goiabal, Sem-Peixe. No Espírito Santo destacam-se os municípios de Baixo Guandu e Linhares. No que se refere ao eixo água, foram identificadas ações relacionadas à implantação de ETAs e/ou ampliação do sistema de abastecimento (Quadro 4). Nesse eixo, destaca-se a implantação de sistemas de captação alternativos (individuais e coletivos).

Salienta-se que a existência ou inexistência de ações relacionadas ao tratamento de esgoto, em particular, contribui para o aporte de matéria orgânica e nutrientes aos corpos hídricos, influenciando a variação do fluxo de matéria orgânica e nutrientes na bacia hidrográfica do rio Doce. Segundo Von Sperling (2007), após a entrada da fonte de poluição, o equilíbrio entre as comunidades aquáticas é afetado, resultando em uma desordenação inicial, que com o tempo tende a se reorganizar. O autor ressalta que, geralmente, nas regiões próximas aos pontos de lançamento de esgoto verifica-se alta concentração de matéria orgânica e de compostos orgânicos nitrogenados complexos, baixos níveis de oxigênio dissolvido e uma sensível diminuição do número de espécies de seres vivos (fauna e flora). Segundo Chão (2006), o lançamento de efluentes também aumenta a concentração de fósforo na coluna d'água, propiciando a eutrofização de corpos hídricos. Dentre os impactos decorrentes da eutrofização dos corpos hídricos, Mota (2000) destaca: redução da transparência da coluna d'água; proliferação de grupos de algas que liberam toxinas; mortandade de peixes devido à depleção de oxigênio dissolvido e/ou presença de toxinas na água.

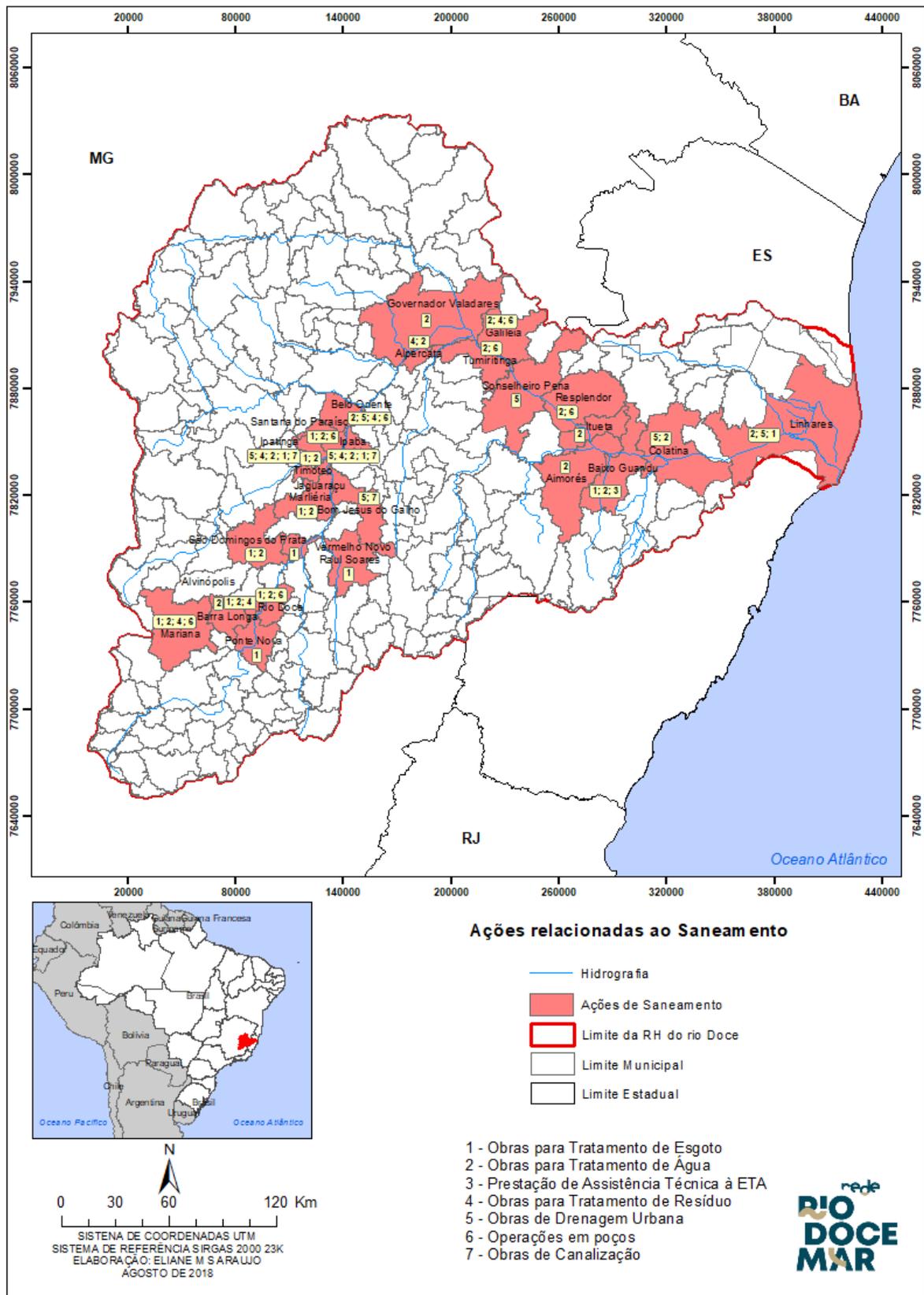
No eixo de drenagem, é possível notar ações relacionadas à instalação, recuperação e limpeza de redes pluviais e desobstrução e canalização de cursos d'água (Quadro 4). Essas ações são relevantes, haja vista Tucci (1997) chama atenção para relação direta entre enchentes em áreas urbanas e obstruções ao escoamento e projetos inadequados de drenagem. No eixo de resíduos sólidos, destaca-

se a construção de aterros sanitários em Ipatinga, Mariana e Alpercata e a implementação de Unidade de Tratamento de Resíduos em Galileia (Quadro 4). Sabe-se que a destinação e disposição inadequada de resíduos sólidos pode obstruir a drenagem natural e artificial e poluir solo e águas superficiais e subterrâneas.

No contexto do PIRH-Doce, o Programa de Universalização do Saneamento (P41) contempla a elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) para os municípios que não o possuem e nem dispõem de recursos para implantá-lo.

Na Figura 16 estão especializadas na escala municipal as ações identificadas relacionadas ao saneamento básico na bacia. Os municípios de Ipaba (MG) e Ipatinga (MG) se destacam com o maior número e diversidade de ações. Na porção espírito-santense as ações associadas ao tratamento de água são mais perceptíveis. Enquanto que na porção mineira, especialmente na parte alta da bacia, são mais evidentes ações relacionadas ao tratamento de esgoto.

Figura 16: Ações relacionadas ao Saneamento Básico na bacia hidrográfica do rio Doce.



### 3.1.3 Manejo de rejeitos e controle de produção e aporte de sedimentos

No Quadro 5 são apresentadas as ações relacionadas ao manejo de rejeitos e ao controle de produção e aporte de sedimento identificadas na bacia hidrográfica rio Doce. No referido quadro, além da escala municipal, apresentam-se também os trechos nos quais as ações ocorreram. Esses trechos foram criados no âmbito do plano de manejo de rejeitos (CH2M, 2017), considerando a forma como houve deposição e o tipo de deposição de materiais, as características dos cursos d'água e seu relevo, além da abrangência espacial das áreas afetadas. Ao todo foram criados 17 trechos.

Quadro 5: Ações relacionadas ao manejo de rejeito e ao controle de produção e aporte de sedimento na bacia hidrográfica do rio Doce.

<b>Ação</b>	<b>Município</b>	<b>Trecho</b>	<b>Fonte da Informação</b>
Implantação de troncos para renaturalização	Mariana	Trechos 1 a 4	Renova
Condução de regeneração natural	Mariana	Trechos 1 a 4	Renova
Execução da barragem EIXO 1	Mariana	Trechos 1 a 4	Renova
Estruturas de contenção de sedimentos	Mariana	Trechos 1 a 8	Renova
Construção de dique de contenção de finos	Mariana	Trechos 1 a 8	Renova
Retaludamento da ombreira direita do dique intermediário	Mariana	Trechos 1 a 8	Renova
Manutenção e bioengenharia	Mariana	Trechos 6, 7 e 8	Renova
Recuperação ambiental de Lagoas Marginais	Mariana	Trechos 6, 7 e 8	Renova
Remoção Emergencial de Rejeitos	Barra Longa	Barra Longa e em fazendas de Gesteira. Trechos 9 e 10	Renova
Retaludamento, enrocamentos e revegetação de áreas	Barra Longa	Pedras, Paracatu de Cima, Campinas Barreto, Ponte do Gama, PCH Bicas, Rio Carmo em Barra Longa e Barra Longa. Trechos 9 e 10	Renova
Plantio de Gramíneas para conter o rejeito nas margens dos rios	Barra Longa	Trechos 9 e 10	Renova
Intervenções no trecho urbano com remoção de rochas do leito do rio em	Barra Longa	Trechos 9 e 10	Renova

<b>Ação</b>	<b>Município</b>	<b>Trecho</b>	<b>Fonte da Informação</b>
pontos de construições e estabilização das margens com enrocamento			
Cercamento e estabilização de margens com cobertura vegetal	Barra Longa	Trechos 9 e 10	Renova
Recuperação nas margens	Barra Longa	Trechos 9 e 10	Renova
Obras de recuperação nos taludes e nas planícies aluvionares em ambas as margens com aplicação de retentores, ombreiras, enrocamentos e mix de sementes	Barra Longa	Trechos 9 e 10	Renova
Retaludamento da margem direita e reconformação das linhas de drenagem com enrocamento, retentores, ombreiras e canaletas	Barra Longa	Trechos 9 e 10	Renova
Aplicação de biomanta na junção do talude da margem direita com a planície aluvionar	Barra Longa	Trechos 9 e 10	Renova
Início da retirada de rochas às margens do rio do Carmo	Barra Longa	Trecho 10	Renova
Reconformação das calhas dos rios principais	Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado	Trechos 1 a 12	Renova
Recuperação de terrenos expostos	Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Santa Cruz	Trechos 1 a 12	Renova
Obras de controle de erosão	Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado	Trechos 1 a 12	Renova
Implantação de sistemas de drenagem superficial e de revegetação por plantio	Mariana, Barra Longa, Rio Doce	Córrego Santarém, rio Gualaxo do Norte e rio do Carmo. Trechos 1 a 12	Renova
Manutenção, controle de processos erosivos e cobertura vegetal de todos os trechos	Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Ponte Nova e Santa Cruz do Escalvado	Trechos 1 a 12	Renova
Dragagem	Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado	Trechos 4, 6, 8, 9, 10, 11 e 12	Renova
Construção de passagem molhada	Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado	Trecho 12	Renova

<b>Ação</b>	<b>Município</b>	<b>Trecho</b>	<b>Fonte da Informação</b>
Recomposição de jusante do barramento C	Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado	Trecho 12	Renova
Drenagem do setor 8	Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado	Trecho 12	Renova
Cochão reno e enrocamento das ombreiras	Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado	Trecho 12	Renova
Recuperação de vias urbanas e rurais	Rio Doce	Trecho 12	Prefeitura
Obras na fazenda Floresta	Rio Doce	Próximo à comunidade de Santana, Trecho 12	Prefeitura
Enrocamentos e bermalongas nas margens	Rio Doce	Trecho 12	Renova
Revegetação e a drenagem com bioengenharia	Rio Doce	Trecho 12	Renova
Cercamento e obras de drenagem	Rio Doce	Trecho 12	Renova
Instalação de telas para inibir o acesso das capivaras em capineira na margem direita	Rio Doce	Trecho 12	Renova
Construção de Barraginhas	Ipatinga	Trecho 13	Prefeitura
Recuperação de estradas para evitar processos erosivos	Belo Oriente	Distrito de Perpétuo Socorro. Trecho 13	Prefeitura
Limpeza e desassoreamento de córregos	Ponte Nova, Governador Valadares e Timóteo	Córrego Passa Cinco - Trecho 13, Córrego Figueirinha - Trecho 14, Córrego Figueirinha. Trecho 14 e córrego do Santa Rita - Trecho 13	Prefeitura
Escavação hidráulica	Barra Longa, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado, Fernandes Tourinho, Ipatinga, Naque, Periquito, São José do Goiabal, Tumiritinga, Itueta, Galileia, Governador Valadares, Conselheiro Pena, Baixo Guandu	Trechos 10, 11, 12 e 14	Renova
Dragagem	Baixo Guandu	Rio Mutum (Km 14). Trecho 14	Prefeitura

<b>Ação</b>	<b>Município</b>	<b>Trecho</b>	<b>Fonte da Informação</b>
Operação para limpeza do reservatório da hidrelétrica Aimorés (ES/MG)	Itueta	Remanço do reservatório de UHE de Aimorés. Trecho 14	Prefeitura
Instalação de cortina antiturbidez	Baixo Guandu	Trecho 14	Fundação Renova
Limpeza e desassoreamento de canais	Governador Valadares	Córrego Figueirinha. Trecho 14	Prefeitura
Construção de Barragens	Baixo Guandu, Marilândia	Guandu: Vila Nova do Bananal, Córrego Pinta Fogo e Córrego Bonfim. Marilândia: Rio Liberdade. Trecho 14	Governo do Estado
Construção de Barragens	Linhares e Governador Valadares	Trechos 14, 15 e 16	Prefeitura
Alargamento do canal lateral extravasor da lagoa Juparanã, para reduzir alagamento	Linhares	Lagoa Juparanã Trechos 15 e 16	Renova
Realização das obras de adequação do canteiro e limpeza do colchão de areia no barramento do rio	Linhares	Rio Pequeno. Trechos 15 e 16	Renova
Construção de caixas secas	Linhares	Região de Pedrolândia, incluindo Córrego do Meio, São Sebastião de Terra Alta, Bom Parto, São Jorge, Humaitá. Trechos 15 e 16	Prefeitura
Abertura de canais para escoamento de água excedente	Linhares	Lagoa Juparanã, Rio Pequeno. Trechos 15 e 16	Renova
Retirada manual de rejeitos	Mariana, Barra Longa, Fernandes Tourinho, Ipaba, Ipatinga, Naque, Periquito, São José do Goiabal, Tumiritinga, Itueta, Galileia, Governador Valadares, Conselheiro Pena, Baixo Guandu, Aimorés, Colatina, Marilândia, Linhares	Trechos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16	Renova

Ação	Município	Trecho	Fonte da Informação
Escavação mecanizada	Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado, Fernandes Tourinho, Ipaba, Ipatinga, Naque, Periquito, São José do Goiabal, Tumiritinga, Itueta, Galileia, Governador Valadares, Conselheiro Pena, Baixo Guandu, Aimorés, Colatina, Marilândia, Linhares	Trechos 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	Renova
Mudança de alinhamento de tributários	Todos os Municípios	Todos os trechos	Renova

No município de Mariana, entre os trechos 1 e 4, foram identificadas ações relacionadas à renaturalização, como implantação de troncos em rios – de maneira a refrear a correnteza e favorecer a formação de nichos de reprodução – e condução de regeneração natural. Até o trecho 8, são nítidas ações estruturais voltadas à construção de estruturas de contenção de rejeitos e obras de manutenção e controle de processos erosivos. Segundo CH2M (2017), em função da proximidade com o local da barragem de Fundão, nesses trechos houve grande volume de rejeitos depositado em calhas e planícies de terraços aluvionares dos rios Gualaxo e Carmo.

Em Barra Longa, entre os trechos 9 e 10, também houve grande volume de rejeitos depositado em calhas e planícies dos rios Gualaxo e Carmo. Logo após o desastre foram realizadas ações emergenciais (Quadro 5), como: remoção emergencial de rejeitos; revegetação das margens dos rios por gramíneas; retaludamento, enrocamentos e revegetação de áreas; e obras de recuperação nos taludes.

Até o trecho 12, foram identificadas ações centradas no controle de processos erosivos e aporte de sedimento às calhas dos cursos d'água, como: reconformação de calhas de rios; recuperação de terrenos com solo exposto e revegetação por plantio. Em alguns pontos entre os trechos 4 e 12 foram realizadas ações de dragagem.

O trecho 12 é particular, pois nele está localizado a UHE Risoleta Neves onde grande parte do volume de rejeito ficou retido. Nesse trecho foi realizada uma série de ações estruturais relacionadas à usina, como construção de passagem molhada; recomposição de jusante do barramento C; drenagem do setor 8; implantação de cochão reno e enrocamento das ombreiras; e não estruturais, como a elaboração do plano de manejo de rejeito desse trecho. No ano 2019 novas ações de dragagem foram realizadas no reservatório da usina, visando remover parcela do rejeito e material detrítico depositado.

Salienta-se que no ato da realização da dragagem pode haver remobilização dos rejeitos depositados, afetando a qualidade da água a jusante mesmo que temporariamente. A atividade de dragagem também pode afetar as comunidades bentônicas. Parte dos rejeitos que serão retirados desse reservatório serão dispostos na Fazenda Floresta (a 3 km de Candonga). Para isso, a fazenda passa por uma série de intervenções para receber parte dos rejeitos, com previsão de término em 2020.

Ainda no trecho 12, no município de Rio Doce, foram identificadas obras de engenharia como: enrocamentos e bermalongas nas margens; revegetação e drenagem com bioengenharia; e instalação de telas para inibir o acesso de capivaras em capineira na margem direita. Porém, existem pontos que não possuem cercamento e por isso o gado tem acesso ao rio, promovendo a exposição de rejeito.

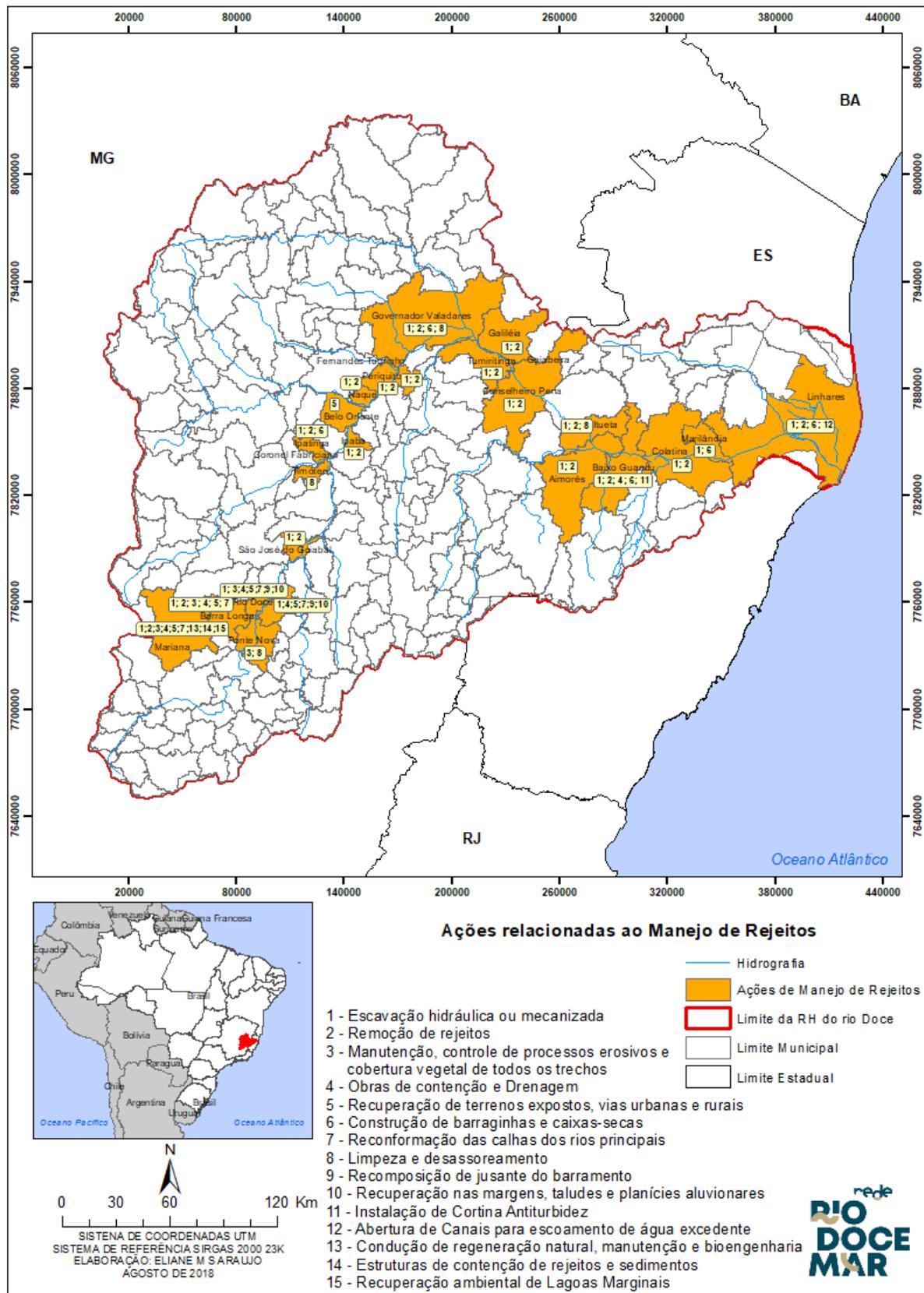
Os trechos 13 e 14 abrangem o território de vários municípios e estão localizados após o barramento da UHE Risoleta Neves. Após a usina, o depósito de rejeitos foi quase que exclusivamente no leito normal do rio Doce. Foram identificadas ações relacionadas a limpeza e desassoreamento de rios em Timóteo (córrego Santa Rita), Ponte Nova (Córrego Passa Cinco) e Governador Valadares (Córrego Figueirinha) realizadas no final de 2018; e dragagem e instalação de cortina antiturbidez em Baixo Guandu. Nesses trechos ainda são identificadas ações pontuais de retirada manual de rejeitos. A retirada manual de rejeitos pode expor o solo, temporariamente, a processos erosivos e produzir aportes de sedimentos aos cursos d'água. Uma ação prevista diz respeito a remoção de sedimentos do reservatório da hidrelétrica Aimorés (ES/MG).

Entre os trechos 15 e 16, particularmente em Linhares, foram realizadas ações de construção de barragens, abertura de canais para escoamento de água excedente (Lagoa Juparanã e Rio Pequeno, em abril), elaborado um plano de manejo das lagoas afetadas (nesses trechos também foram atingidas as lagoas Pandolfi, Areal Nova e Monsarás), realização de obras para alargamento do canal lateral extravasor da lagoa Juparanã para reduzir alagamentos e construção de caixas secas para minimizar processos erosivos. Até o trecho 16, são verificadas ações pontuais de retirada manual de rejeitos.

A escavação mecânica foi citada como alternativa ao manejo de rejeitos nos trechos impactados, no Plano de Manejo de Rejeitos (CH2M, 2017). O mesmo ressalta que nas regiões onde esse tipo de manejo for adotado, poderá haver remobilização dos rejeitos depositados na calha fluvial, com consequente aumento de concentração de sólidos suspensos na coluna d'água. Nas regiões onde houve depósitos de rejeitos, Roseboom et al. (1983) destacam que os sedimentos mais finos podem cobrir o cascalho de fundo, onde muitos organismos encontram alimento e se reproduzem, especialmente os bentônicos.

Na Figura 17 estão espacializadas as ações relacionadas ao manejo de rejeitos e ao controle e aporte de sedimentos identificadas na bacia hidrográfica do rio Doce. Nela é possível observar alta concentração e diversidade de ações nos trechos iniciais do caminho do rejeito. Destaca-se que ao longo de grande parte da calha principal do rio Doce podem ser observadas ações sendo realizadas, especialmente às relacionadas ao manejo de rejeitos (dragagem, escavação e retirada manual de rejeitos).

Figura 17: Ações relacionadas ao manejo de rejeitos e ao controle de produção e aporte de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Doce.



### 3.2 AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO CAUSA E EFEITO DAS AÇÕES IDENTIFICADAS SOBRE OS FLUXOS DE ÁGUA, SEDIMENTO E NUTRIENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE

A abordagem DPSIR foi empregada para subsidiar a compreensão das relações de causa e efeito das ações identificadas sobre os fluxos de água, sedimentos e nutrientes, com reflexos sobre a biodiversidade. A seguir, são apresentados os resultados obtidos com a abordagem DPSIR aplicada à bacia do rio Doce.

#### 3.2.1 Indutores

A partir da caracterização das ações com potencial para influenciar no aporte dos fluxos de água, sedimentos e nutrientes ao ambiente estuarino-marinho adjacente à bacia hidrográfica do rio Doce, evidenciou-se que os principais indutores de pressões ambientais existentes na bacia antes do rompimento da barragem de Fundão eram: a agropecuária, a urbanização e a mineração.

O conhecimento sobre o uso e ocupação do solo na bacia do rio Doce foi fundamental para a identificação dos indutores de maior destaque. Verificou-se que a atividade agropecuária (pastagem e áreas agrícolas) corresponde a 64% do uso do território da bacia e apresentou o maior percentual do número de captações de água, 41%. Como apresentado, parte considerável das áreas agropecuárias estão degradadas. Só na porção espírito-santense, 9,5% do território está ocupado com áreas degradadas.

Por outro lado, as áreas urbanas que ocupam aproximadamente 0,5% do território, estão associadas aos maiores volumes d'água captados na bacia. Na calha do rio Doce, o abastecimento público detém 12% e o abastecimento industrial 53% do volume captado, além de serem relevantes fontes de lançamento de efluentes na bacia. Esse último aspecto merece ser ressaltado, uma vez que o panorama do saneamento na bacia do rio Doce evidenciou um cenário crítico, especialmente no que tange ao tratamento de esgoto.

As áreas de mineração, por sua vez, ocupam aproximadamente 2% do território e estão relacionadas a uma importante atividade econômica na bacia. Porém, são áreas com relativo potencial para acarretar impactos ambientais diversos. Entre eles, redução de fertilidade do solo e impactos associados à supressão vegetal (MECHI; SANCHES, 2010); emissão de óleo, graxas e metais e redução da biodiversidade (SÁNCHEZ, 2013).

Outro fator relevante diz respeito a eventos extremos potencialmente capazes de afetar processos que ocorrem no território, com conseqüentes alterações na transferência de sedimentos e poluentes para os ambientes terrestres e aquáticos. O rompimento da barragem de Fundão pode ser classificado como um desses eventos. Após o rompimento da barragem, percebeu-se que novas pressões ambientais surgiram sobre o território, por vezes atuando de forma sinérgica com as já existentes. Ou seja, o rompimento atuou (de forma aguda) e atua (de forma crônica) como um indutor de pressões na bacia.

Com base no exposto, foram definidos como principais indutores nesta abordagem: urbanização, agropecuária, mineração e rompimento da barragem.

### 3.2.2 Pressões e estado

Os indutores identificados anteriormente desencadeiam pressões no ambiente que têm potencial de causar ou contribuir para eventos adversos, fazendo-se necessário, deste modo, conhecer e descrever o nível de variação do estado dos ambientes. As principais pressões decorrentes da urbanização, agropecuária, mineração e do rompimento da barragem, são:

- Aporte de cargas pontuais e difusas da agropecuária
- Aumento do consumo de água superficial
- Aumento do consumo de água subterrânea
- Construção das barraginhas em curso d'água
- Destinação inadequada de resíduos sólidos
- Emissão de substâncias no solo e na água
- Impermeabilização do solo
- Lançamento de efluentes domésticos e industriais
- Manejo inadequado do solo
- Presença de reservatórios para geração de energia e/ou abastecimento público
- Supressão vegetal
- Deposição de rejeitos em barragens
- Deposição de rejeito nas áreas marginais aos corpos hídricos
- Transporte e deposição de rejeito nos corpos hídricos
- Aporte de rejeito em praias, manguezal, restinga e ambiente marinho

A supressão vegetal é uma pressão que está associada a todos os indutores. Ela provoca alteração do estado por: aumentar o solo exposto (CARDOSO, 2012), reduzir a resistência do solo ao cisalhamento em atividades de agropecuária intensiva (SANTOS, 2010) e de mineração, além de proporcionar o aumento da fragmentação florestal (WANTZEN; PINTO-SILVA, 2006) e da vulnerabilidade à inundação (PONTES et al., 2015). Além disso, os principais indutores identificados estão associados ao aumento do consumo de águas superficiais e subterrâneas, o qual pressiona o volume de água superficial disponível, bem como os níveis dos lençóis freáticos. Destaca-se, ainda, que o lançamento de efluentes domésticos e industriais, decorrente da urbanização e o aporte de cargas pontuais e difusas oriundas da agropecuária são capazes de tornar o ambiente aquático poluído (VON SPERLING, 2007; LINS, 2010).

A presença de barraginhas para irrigação e dessedentação de animais e de reservatórios para geração de energia elétrica e/ou abastecimento são pressões que levam a fragmentação dos corpos hídricos, afetando sua dinâmica natural de escoamento. Bizerril (1999) ressalta que a fragmentação desses

habitats aquáticos pode acarretar redução na diversidade genética das populações impactadas e, a longo prazo, seu desaparecimento.

De forma particular, na visão de análise de risco, sendo o perigo de rompimento uma característica intrínseca de barragens de rejeito (DUARTE, 2008), a pressão denominada “deposição de rejeitos em barragens” traz consigo o perigo de “rompimento da barragem” que por sua vez, no caso do presente estudo, ao se dar o fato do rompimento tornou-se agente motriz de diversas pressões, alterações de estados e impactos, alguns desses não previamente identificados na atividade de mineração, sendo na questão metodológica uma pressão gerando um novo indutor, reforçando a característica sistêmica de bacias hidrográficas. As pressões advindas do rompimento são: deposição de rejeito nas áreas marginais aos corpos hídricos, transporte e deposição de rejeito nos corpos hídricos e aporte de rejeito em praias, manguezal, restinga e ambiente marinho. Estas pressões provocaram alterações no estado dos ambientes, como a descaracterização de leito dos cursos d’água e cobertura de material dendrítico, até UHE Risoleta Neves; soterramento de lagoas na Área 2; poluição dos ambientes dulcícolas, ao longo da calha principal; e poluição de ambientes marinhos, antepraia rasa, manguezal e restinga. Essas alterações de estado foram evidenciadas pelos monitoramentos realizados na bacia no âmbito do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática.

### **3.2.3 Impactos**

Nesta abordagem DPSIR, os impactos consistiram na alteração da qualidade ambiental, resultado da modificação do estado dos ambientes. Por estarem diretamente associados às alterações do meio abiótico, os impactos de primeiro grau foram diretamente correlacionados ao estado.

A abordagem DPSIR aplicada foi organizada no formato de mapa conceitual, em uma cadeia de ligação que relacionou os componentes do modelo. Os indutores, que determinam indiretamente as condições da bacia são apresentadas em azul, as pressões que modificam o ambiente são apresentadas em cinza ligadas por setas conectoras de causalidade. As alterações de estado estão ilustradas em laranja, enquanto que os impactos provocados estão destacados em amarelo. As Figura 18, Figura 19,

Figura 20 e Figura 21 apresentam os mapas conceituais referentes à urbanização, agropecuária, mineração e ao rompimento de barragem, nessa ordem.

Figura 18: Mapa conceitual de aplicação da abordagem DPSIR para o indutor urbanização.

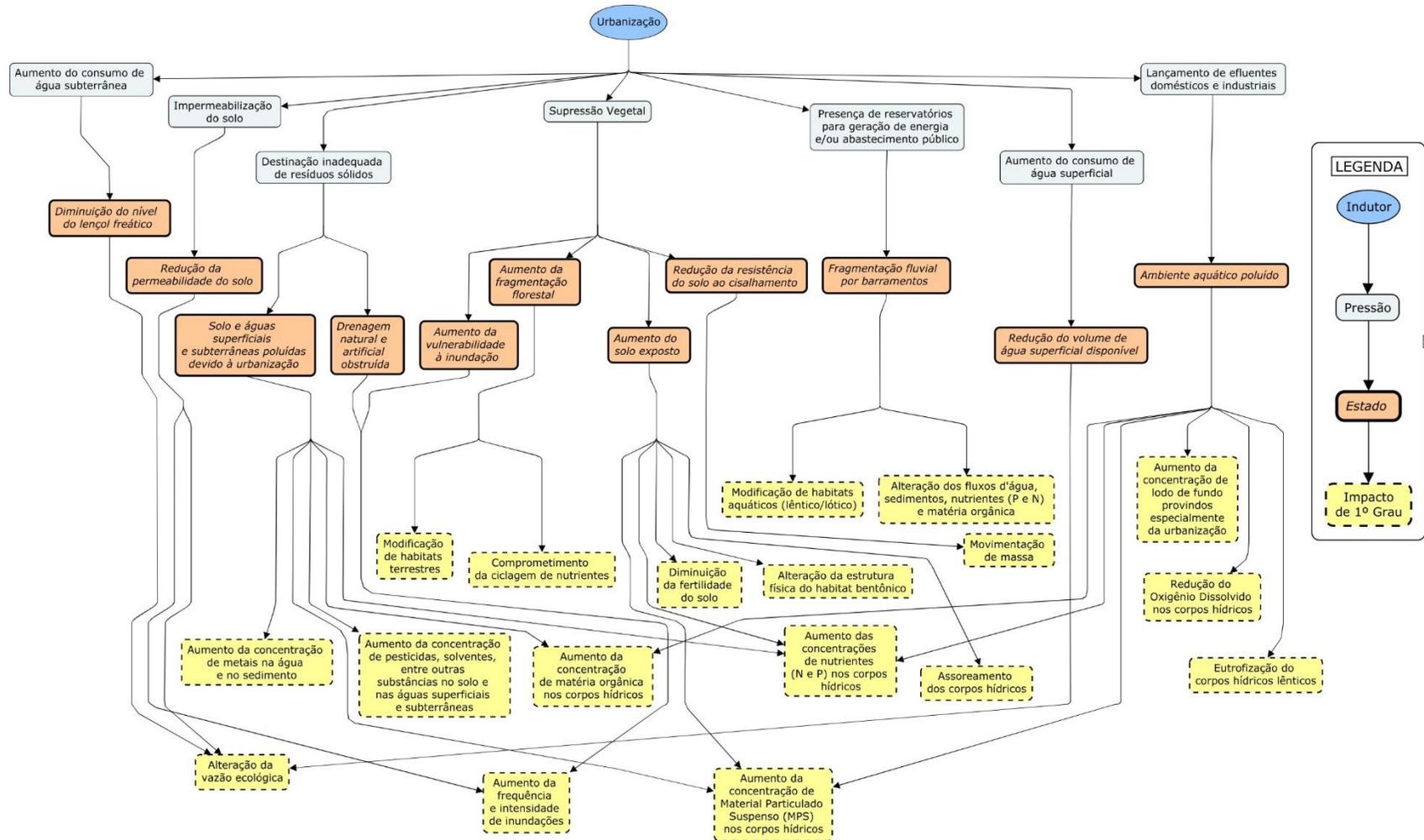


Figura 19: Mapa conceitual de aplicação da abordagem DPSIR para o indutor agropecuária.

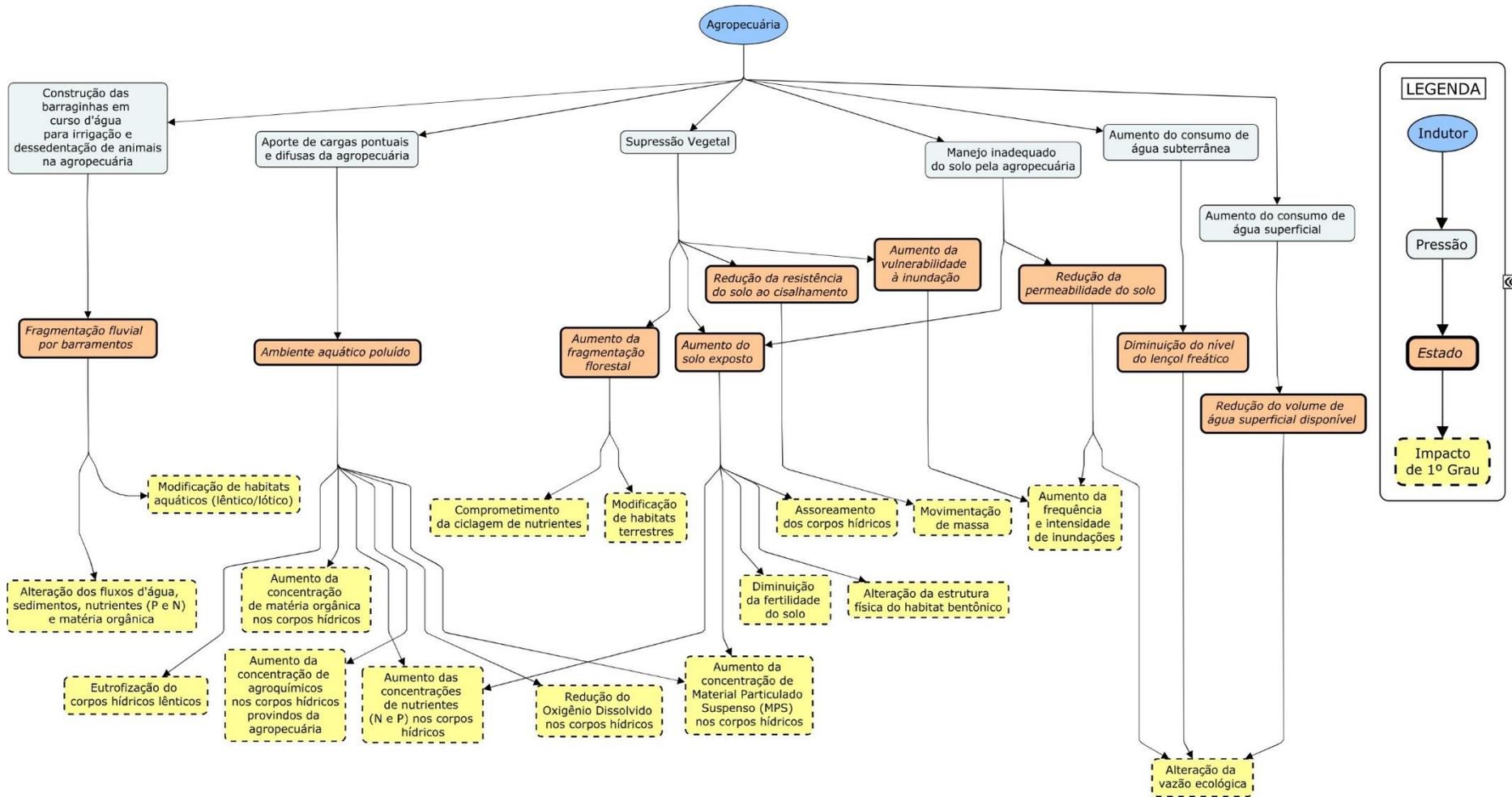


Figura 20: Mapa conceitual de aplicação da abordagem DPSIR para o indutor mineração.

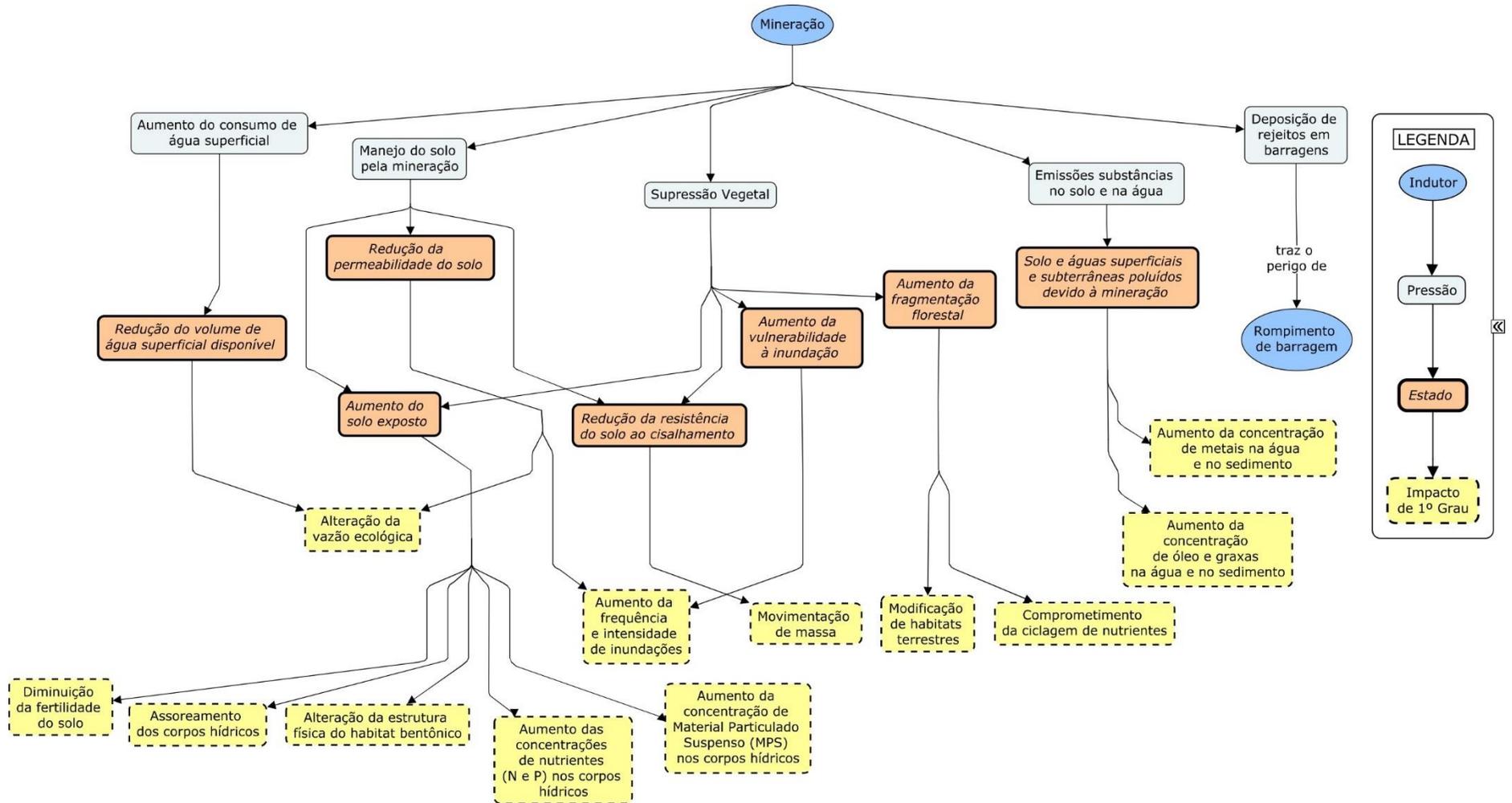
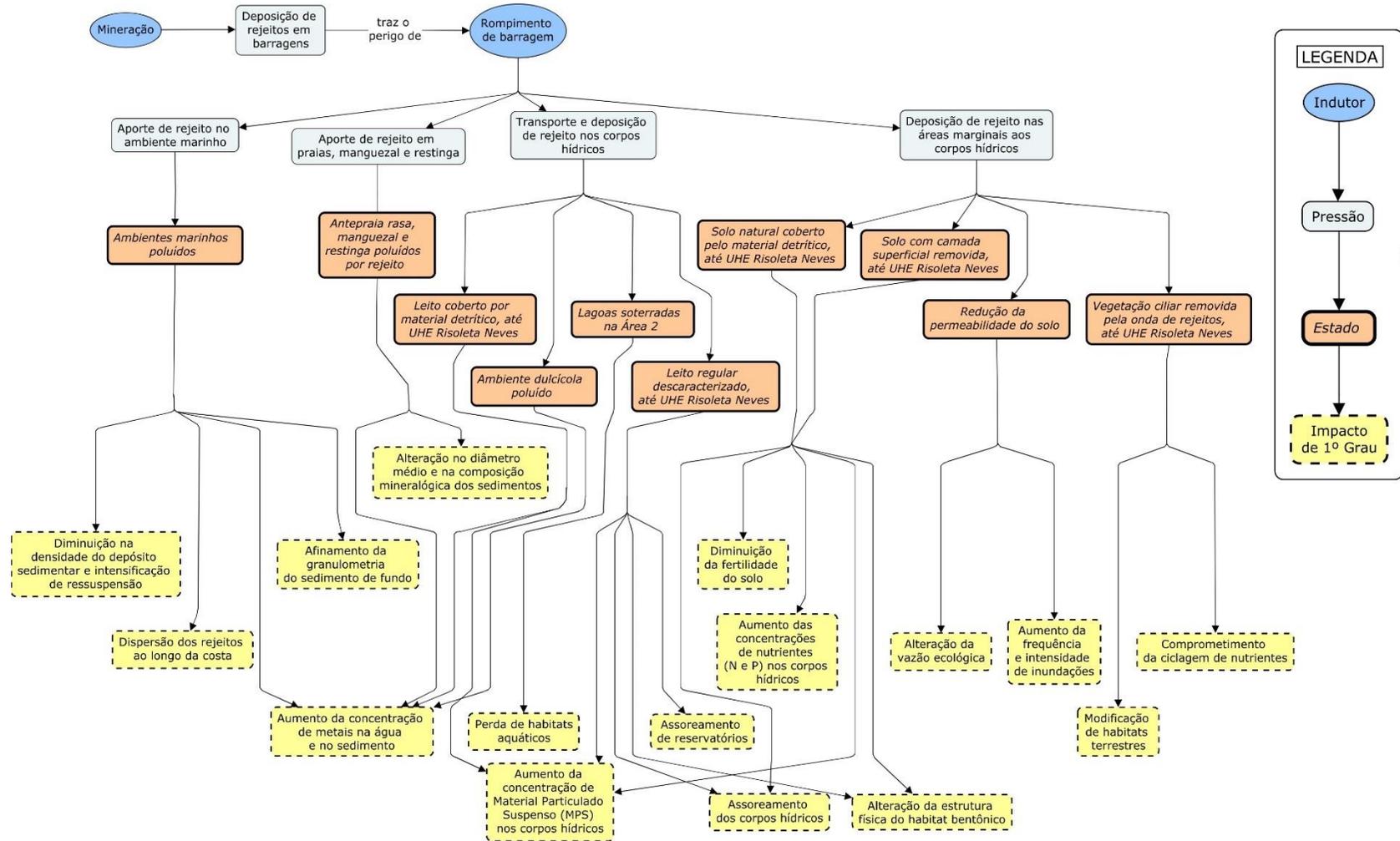


Figura 21: Mapa conceitual de aplicação da abordagem DPSIR para o indutor rompimento de barragem.



Na Figura 18 é ilustrado o mapa conceitual com as principais relações de causa e efeito da urbanização sobre os fluxos de água, sedimento e nutrientes na bacia do rio Doce. A urbanização induz o lançamento de fluentes doméstico, a destinação inadequada de resíduos, a supressão vegetal, a impermeabilização do solo e o aumento da demanda da água e energia para abastecimento público. Esses componentes pressionam o ambiente terrestre e aquático provocando alteração de seu estado. As alterações de estado, por sua vez, geram impactos no ambiente. Dentre eles se destacam o aumento da frequência e intensidade das inundações (BENINI, 2015; TUCCI, 2005; TUCCI; CLARKE, 1997), o aumento das concentrações de nutrientes, material particulado e teor de matéria orgânica nos corpos hídricos (VON SPERLING, 2007).

Na Figura 19 observa-se que a agropecuária induz a supressão vegetal do território, o aporte de cargas pontuais e difusas no meio aquático, o manejo inadequado do solo, além do aumento da demanda de água para a irrigação e dessedentação animais. Esses aspectos pressionam os ecossistemas terrestres e aquáticos para o estado de ambiente aquático poluído; solo exposto e de fragmentação florestal nos ambientes terrestres (CONCEIÇÃO, 2014; SANTOS, 2010; BIZERRIL, 1999). Assim como na urbanização, o ambiente aquático poluído gera uma série de impactos. No caso da indução da agropecuária, tem-se o agravante do aumento da concentração de agroquímicos na água, além da fragmentação florestal, a qual promove modificação dos habitats e comprometimento da ciclagem de nutrientes.

Já as atividades de mineração presentes na bacia induzem ao aumento do consumo de água superficial, a supressão vegetal do território, a emissão de substâncias no solo e na água e a necessidade de deposição de rejeitos (

Figura 20). Sendo que, a emissão de substâncias no solo e na água se destaca por causar poluição do solo, de águas superficiais e subterrâneas (SANCHÉZ, 2013). Entre os impactos estão o aumento da concentração de metais na água e no sedimento, bem como de óleos e graxas. Além disso, como mencionado, a deposição de rejeito traz o perigo do rompimento de barragens, onde se inicia outra cadeia de relações de causa e efeito (Figura 21).

Até este ponto, nota-se que uma alteração de estado pode ser induzida por diferentes fatores; que determinados impactos são provocados por um conjunto de alterações de estado; bem como uma única alteração de estado pode ser capaz de provocar diferentes impactos no ambiente. Isso implica que a análise da influência dos indutores sobre o aporte de água, sedimento e nutrientes na região estuarina-marinha do rio Doce não deve se dar de forma isolada, mas sistêmica, conforme apresentado na Figura 22.

Como pode ser visto na Figura 22, por exemplo, o aumento do consumo de água superficial e supressão vegetal foram apontadas como uma das principais pressões impostas à bacia do rio Doce, causadas pelos processos de urbanização, atividades agropecuárias e de mineração. Entretanto, a pressão do aumento do consumo de água, pode alterar o estado do ambiente no sentido de redução do volume de água superficial disponível (MEDEIROS; SOUSA; RIBEIRO 2011), que pode gerar o impacto de

alteração da vazão ecológica (CRUZ, 2005), que por sua vez, também pode ser impacto decorrente da diminuição de nível do lençol freático e da redução da permeabilidade do solo.

Por outro lado, a supressão vegetal tem potencial para provocar diferentes alterações de estado no ambiente de modo que o aumento do solo exposto pode provocar: a diminuição da fertilidade do solo, aumento das concentrações de nutrientes (N e P) nos corpos hídricos, aumento da concentração de Material Particulado Suspenso (MPS) nos corpos hídricos, assoreamento dos corpos hídricos e alteração da estrutura física do habitat bentônico; Já o aumento da fragmentação florestal pode provocar a modificação de habitats terrestres e comprometimento da ciclagem de nutrientes; o aumento da vulnerabilidade à inundação pode provocar o aumento da frequência e intensidade a inundações; e a redução da resistência do solo ao cisalhamento pode provocar a movimentação de massa.

O lançamento de efluentes domésticos e industriais, em conjunto com o aporte de cargas pontuais e difusas da agropecuária, levam ao estado de ambiente aquático poluído. Que, por sua vez, acarreta impactos no ambiente aquático como: aumento da concentração de lodo de fundo, redução do oxigênio dissolvido, aumento da concentração de agroquímicos e eutrofização.

No que se refere aos impactos associados ao rompimento da barragem, é importante que se compreenda e diferencie aqueles que surgiram nitidamente a partir do rompimento e aqueles que eram bem característicos da bacia e foram reforçados por ele. Nesse sentido, dentre os impactos de 1º Grau que podem ser considerados como potencializados pelo rompimento, visto que já existiam anteriormente ao evento, estão:

- Aumento da frequência e intensidade de inundações;
- Modificação de habitats terrestres;
- Comprometimento da ciclagem de nutrientes;
- Aumento da concentração de nutrientes (N e P) nos corpos hídricos;
- Aumento da concentração de Material Particulado Suspenso (MPS) nos corpos hídricos;
- Alteração da estrutura física do habitat bentônico;
- Diminuição da fertilidade do solo;
- Assoreamento dos corpos hídricos;

Percebeu-se também que boa parte dos impactos, em especial os provindos da pressão "Deposição de rejeitos nas áreas marginais aos corpos hídricos" estão estritamente relacionados aos impactos advindos da pressão "Supressão vegetal", sendo estes:

- Aumento da frequência e intensidade de inundações;
- Modificação de habitats terrestres;
- Comprometimento da ciclagem de nutrientes;
- Aumento da concentração de nutrientes (N e P) nos corpos hídricos;
- Aumento da concentração de Material Particulado Suspenso (MPS) nos corpos hídricos;
- Alteração da estrutura física do habitat bentônico;

- Assoreamento dos corpos hídricos.

Dentre os impactos de 1º Grau que se destacaram após o rompimento da barragem, estão:

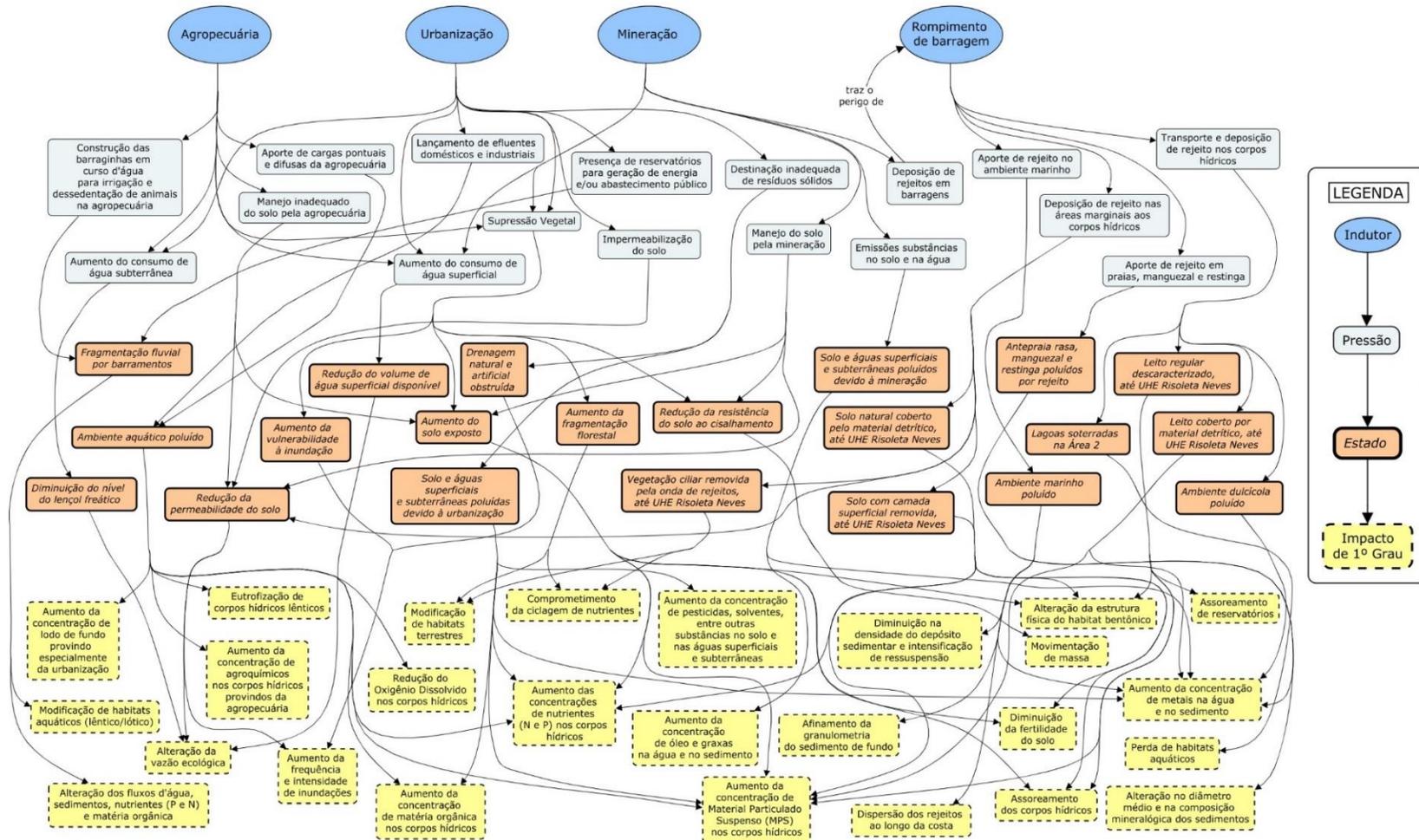
- Alteração da estrutura do ambiente bentônico marinho;
- Diminuição na densidade do depósito sedimentar;
- Intensificação de ressuspensão de sedimentos;
- Alteração do diâmetro médio e da composição mineralógica dos sedimentos
- Afinamento da granulometria do sedimento de fundo;
- Aumento significativo da concentração de metais no sedimento e na água.

Ressalta-se que o depósito de sedimentos com granulometria fina pode cobrir o cascalho de fundo, preenchendo as fendas, onde os organismos bentônicos encontram alimento e o utilizam como habitat para reprodução (ROSEBOOM et al., 1983 visto em *National Research Council*, 1992.). Quando a turbidez é elevada, o excesso de partículas na água atua como abrasivo e pode bloquear estigmas e filtros da biodiversidade bentônica (RYAN, 1991). Por outro lado, o aumento significativo da concentração de metais na água ou sedimento pode resultar em efeitos deletérios sobre a biodiversidade que habita os ambientes impactados. Esses efeitos podem variar desde o nível de indivíduo até o nível de populações e comunidades.

Portanto, os impactos de 1º Grau (meio abiótico) apresentados na Figura 22, em conjunto, convergem de forma sinérgica para reduzir a qualidade dos ecossistemas aquáticos. Consequentemente, acarretam impacto sobre a biodiversidade que usufrui desses ecossistemas. No Quadro 6 são apresentados os principais impactos a nível de indivíduo (impacto de 2º Grau) e de população e comunidade (impacto de 3º Grau), baseando-se nos resultados apresentados no Relatório Semestral da Rede Rio Doce Mar, em 2019.

Dentre os impactos de 2º Grau destacam-se: acúmulo de metais em camarões, peixes, aves, caranguejos e plâncton; danos morfológicos em tecidos de peixes; e redução da saúde fisiológica do fitoplâncton. Por outro lado, dentre os impactos de 3º Grau, ressaltam-se: baixa diversidade de táxons em fitoplâncton, zooplâncton e macrófitas no rio doce; diminuição na densidade, riqueza e composição de organismos fitoplanctônicos e da macrofauna; alteração na assembleia de peixes e crustáceos; aumento na mortalidade dos organismos bentônicos; alteração na composição da fauna de manguezais; e desaparecimento de espécies de restingas.

Figura 22: Mapa conceitual de aplicação da abordagem DPSIR no contexto da bacia do rio Doce.



Quadro 6: Impactos de segundo e terceiro grau sobre a biodiversidade decorrentes do rompimento da barragem.

Nível	Impacto
2° Grau	Acumulação de metais em plâncton, camarões, peixes e aves
	Aumento da biomassa de espécies exóticas de peixes em ambientes mais alterados
	Alteração na riqueza de peixes estuarinos
	Bioacumulação de metais em caranguejos e aves de manguezal
	Bioacumulação de metais em invertebrados
	Comprometimento da fotossíntese por parte dos vegetais e do plâncton
	Comprometimento da comunidade bentônica
	Crescimento intensificado de fitoplâncton e macrófitas
	Danos morfológicos em tecidos de peixes
	Efeitos bioquímicos e fisiológicos adversos sobre o metabolismo de peixes e invertebrados comprometendo a diversidade de espécies
	Mortandade de peixes
	Presença de cianobactérias potencialmente tóxicas
	Redução na saúde fisiológica do fitoplâncton
3° Grau	Alteração na composição da microbiota da água e do sedimento
	Presença de espécies de zooplâncton tolerantes e indicadoras de ambientes enriquecidos por metais, sobretudo Fe
	Baixa biodiversidade de táxons em fitoplâncton, zooplâncton e macrófitas na calha do Rio Doce
	Alteração na composição da assembleia de peixes
	Impacto na microbiota associada aos corais em Abrolhos
	Diminuição na densidade, riqueza e composição de organismos fitoplanctônicos
	Alteração na estrutura da comunidade zooplanctônica
	Aumento na mortalidade (presença de vestígios) de organismos bentônicos
	Alteração na composição da assembleia de crustáceos
	Alteração na composição da fauna de ambientes recifais
	Alta incidência de encalhes de mamífero marinho
	Redução da riqueza, densidade e diversidade da macrofauna
	Redução na fecundidade de caranguejos
Alteração na composição da fauna de manguezais	
Desaparecimento de espécies de restinga	

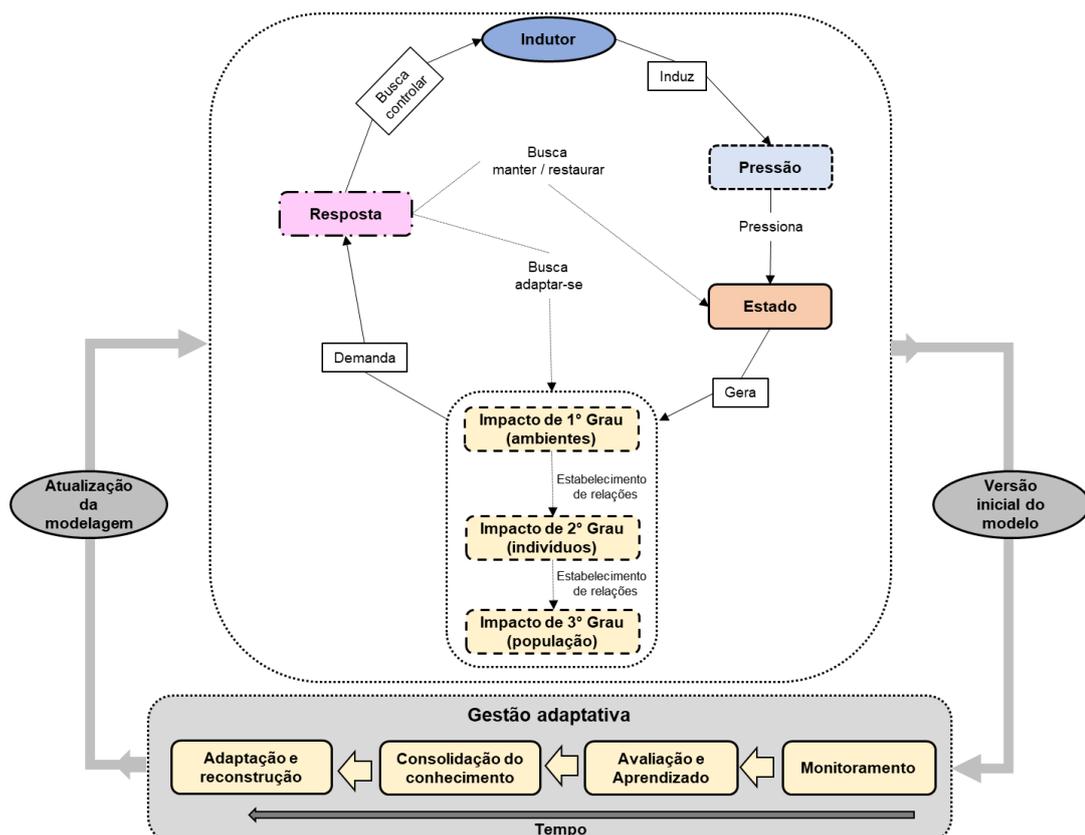
Fonte: adaptado de RRDM (2019).

Uma ressalva a ser destacada é que o modelo conceitual apresentado na Figura 22 é uma primeira versão para avaliação de relações de causa e efeito das ações existentes na bacia do rio Doce sobre o aporte de água, sedimento e nutriente ao ambiente estuarino-marinho adjacente. Isso porque é necessário maior conhecimento sobre as relações entre pressões ambientais oriundas do rompimento da barragem ou reforçadas por elas e impactos sobre a biodiversidade. Esse conhecimento ainda não está disponível, por inteiro, uma vez que o Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática está apenas em seu primeiro ano (2018-2019) e o modelo conceitual apresentado se baseou nos resultados encontrados nos seis primeiros meses de monitoramento.

Na Figura 23 é proposta uma abordagem de gestão adaptativa para aperfeiçoar o modelo conceitual, a partir de uma versão inicial do mesmo. Com o avanço do monitoramento de variáveis ambientais (físicas, químicas e biológicas) e das ações realizadas sobre o território da bacia (indutores e pressões ambientais), será possível produzir novo aprendizado sobre os entes do sistema, com base em novas avaliações. O incremento no aprendizado contribuirá para a consolidação do conhecimento ao longo do tempo, o qual fornecerá fundamentos para revisar e adaptar a versão inicialmente proposta do modelo, se necessário. A atualização da modelagem produzirá uma nova versão, que possivelmente trará maior detalhamento ao modelo conceitual de modo a permitir a inserção de novos entes para compor o sistema, bem como estabelecer relações mais consistentes entre eles, especialmente entre os impactos de 1º Grau e 2º Grau e entre os de 2º e os de 3º Grau. No processo de atualização da modelagem, poderão ser realizadas oficinas com especialistas para auxiliar no ajuste do modelo, a partir de suas experiências e saberes. Eles também poderão contribuir em outros aspectos de aperfeiçoamento, como: selecionar e estabelecer indicadores para as pressões, estado e impactos; e estabelecer pesos para cada uma das relações causa-efeito, por meio de métodos multicritério.

É importante dizer que os modelos conceituais, mesmo não refletindo e mensurando todas as complexas relações existentes entre os entes do sistema real, permitem o entendimento do funcionamento geral do sistema e possibilitam diagnosticar respostas para mitigar, adaptar ou prevenir pressões sobre o estado dos ecossistemas e impactos sobre a biodiversidade.

Figura 23: Metodologia de adaptação do modelo conceitual desenvolvido.



#### 4 REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_. On beyond BACI: sampling designs that might reliably detect environmental disturbances. **Ecological applications**, v. 4, n. 1, p. 3-15, 1994.

\_\_\_\_\_. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **Revista brasileira de recursos hídricos**, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997.

\_\_\_\_\_. **Principais estatísticas**. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/dados-regionais>. Acesso em: 08/08/2019.

ABDO, M. T. V. N.; VALERI, S. V.; MARTINS, A. L. M. Sistemas Agroflorestais e Agricultura Familiar: Uma Parceria Interessante. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, 2008.

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESPÍRITO SANTO (AGERH). **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo – PERH-ES**. Revisão Final. 2010. Disponível em: <<https://perh.es.gov.br/Media/perh/Arquivos%20Biblioteca/PERHES-DocumentoConsolidado.pdf>>.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas de Vulnerabilidade a Inundações**. 2014. Disponível em: [http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=243&fname=Atlas\\_d\\_e\\_Vulnerabilidade\\_a\\_Inundaes.pdf&access=private](http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=243&fname=Atlas_d_e_Vulnerabilidade_a_Inundaes.pdf&access=private). Acesso em: 17/03/2017.

ANDRADE, A. L. et al; SELEME, A.; RODRIGUES, L. H. **Pensamento sistêmico: caderno de campo: o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ANDRADE, M. R. S.; TURRIONI, J. B. Uma Metodologia De Análise Dos Aspectos E Impactos Ambientais Através Da Utilização Do FMEA. **XX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, n. 1997, p. 01–08, 2000.

ATTANASIO, C. M. et al. A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 493-501, 2012.

BAKER, T. J.; MILLER, S. N. Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed. **Journal of Hydrology**, v. 486, p. 100–111, 2013.

BATISTA, N. L. F. **Proposição de metodologia baseada em indicadores de qualidade do solo para sustentabilidade da produção agrícola**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

BAYER, Débora Missio. **Efeitos das mudanças de uso da terra no regime hidrológico de bacias de grande escala**. 2014. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BEGOTTI, R. A. O papel dos remanescentes florestais na retenção da biodiversidade e conservação da água em uma paisagem fragmentada na região central de Rondônia. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo., São Paulo, 2014.

BELL, S. DPSIR = A Problem Structuring Method? An exploration from the “imagine” approach. **European Journal of Operational Research**, v. 222, n. 2, p. 350–360, 2012.

BENINI, Sandra Medina. **Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana**: Estudo de caso da cidade de Tupã/SP. 2015. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2015.

BESERRA, P. S. **Avaliação dos Efeitos das alterações na Cobertura e uso do solo sobre o regime de vazões via Modelagem Hidrológica**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. 2016, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

BIZERRIL, C. R. S. F. A ictiofauna da bacia do rio Paraíba do Sul. Biodiversidade e padrões biogeográficos. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 42, n. 2, p. 0-0, 1999.

CARDOSO, D. P. et al. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Embrapa Pesca e Aquicultura-Artigo em periódico indexado**, 2012.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DO AGRONEGÓCIO – CEDAGRO. **Levantamento de áreas agrícolas degradadas no estado do Espírito Santo**. Vitória, 2012. Disponível em: [http://www.cedagro.org.br/artigos/20121101104240\\_areas\\_Degradadas\\_Documento\\_Completo.pdf](http://www.cedagro.org.br/artigos/20121101104240_areas_Degradadas_Documento_Completo.pdf). Acesso em: 02/08/2019.

CH2M. **Plano de Manejo de Rejeitos**, Rev. 1, 2017.

CHÃO, I.R.S. **Remoção de fósforo de efluentes de estações de tratamento biológico de esgotos utilizando lodo de estação de tratamento de água**. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo 2006.

CRUZ, Rafael Cabral. Prescrição de vazão ecológica: aspectos conceituais e técnicos para bacias com carência de dados. 2005.

DE LIMA, P. N. **Problem Structuring Methods: Métodos para a abordagem de situações complexas para a engenharia de produção**. 2015. Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, 2015.

DUARTE, Anderson Pires. Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco. **Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Belo Horizonte, 2008.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). “Environmental indicators: typology and overview” . Technical Report, n. 25. Smeets, E. & Wetering, R. Copenhagen, 1999. 19p.

FUNDAÇÃO RENOVA. Quem Faz Parte. Disponível em: <https://www.fundacaorenova.org/quem-faz-parte/>. Acesso em: 12/03/2019.

GALANTE, E. B. F. Princípios de gestão de riscos. Ed. Appris., 2015, 155p.

GREGORY, A. J. et al. A problem structuring method for ecosystem-based management: The DPSIR modelling process. **European Journal of Operational Research**, v. 227, n. 3, p. 558–569, 2013.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (PIRH) e Planos de Ações para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce** - Relatório Final, Volume I. 2010.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Esgoto**. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto>. Acesso em: 22/03/2019.

JUNIOR, F. J. T. **Aporte de água e nutrientes para o sistema estuarino da Baía de Vitória (ES): Subsídios para a gestão ambiental integrada**. 2016. UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, 2016.

LANDIM NETO, F. O.; GORAYEB, A.; SILVA, E. V.; PEREIRA FILHO, N. S. Application of the DPSIR model to an estuary of the Brazilian Northeast: a tool for local and regional management. **Journal of Coastal Research**, special Issue. V 65, p. 986-990, 2013.

LINS, G. A. Impactos Ambientais em Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's). 2010.

LOPES, N. H. Y. **Análise da produção de água e sedimentos em microbacias experimentais com o modelo SWAT**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

MARCHIORO, E. **Modelagem hidrosedimentológica na bacia do córrego Santa Maria: Subsídios à Aplicação de Práticas de Conservação de Água e Solo no Noroeste Fluminense**. 2008. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MAXIM, L.; SPANGENBERG, J. H.; O'CONNOR, M. An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework. **Ecological Economics**, v. 69, n. 1, p. 12–23, 15 nov. 2009.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos avançados**. v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010.

MEDEIROS, P.; SOUSA, F. A S; RIBEIRO, M. M. R.. Aspectos conceituais sobre o regime hidrológico para a definição do hidrograma ambiental. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 6, n. 1, p. 131-147, 2011.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017**. Brasília, 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos>. Acesso em: 08/08/2019.

MOTA, S. **Introdução a engenharia ambiental**. 1 ed. Rio de Janeiro. ABES. 2000.

OCED. Using the Pressure - State - Response - Model to Develop Indicators of Sustainability, 1993.

PINHEIRO, A. et al. Uso do solo na zona ripária de bacias agrícolas de pequeno a médio porte. **Revista Árvore**, v. 35, n. 6, 2011.

PIRES, L. F. et al. Riparian forest potential to retain sediment and carbon evaluated by the <sup>137</sup>Cs fallout and carbon isotopic ratio techniques. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 81, n. 2, p. 271-279, 2009.

PONTES, P. R. M et al. Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 888-904, 2015.

ROSEBOOM, D. P.; EVANS, R. L.; ERICKSON, J. E.; BROOKS, L. G. **An inventory of court creek watershed characteristics that may relate to water quality in the watershed**. Illinois Department of Energy and Natural Resources, Peoria, 1983.

SAJIKUMAR, N.; REMYA, R. S. Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. **Journal of Environmental Management**, v. 161, p. 460–468, 2015.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental**. Oficina de Textos, 2013.

SARI, V; PAIVA, E. M. C. Dias de PAIVA, João Batista Dias de. **Interceptação da chuva em diferentes formações florestais na região sul do Brasil**. RBRH [online]. 2016, vol.21, n.1, pp.65-79. ISSN 2318-0331. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p65-79>.

SCHMITT, J. C.; LIMA, C. R. C. Método de Análise de Falhas utilizando a Integração das Ferramentas DMAIC, RCA, FTA e FMEA. **Revista ESPACIOS| Vol. 37 (Nº 08) Año 2016**, 2016.

SEMEOSHENKOVA, V. et al. A combined DPSIR and SAF approach for the adaptive management of beach erosion in Monte Hermoso and Pehuen Co (Argentina). **Ocean and Coastal Management**, v. 143, p. 63–73, 2017.

TORRES, A. et al. Assessing the effects of a highway on a threatened species using Before-During-After and Before-During-After-Control-Impact designs. **Biological Conservation**, v. 144, n. 9, p. 2223–2232, 2011.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. Ministério do Meio Ambiente, 2006.

TUCCI, Carlos EM; CLARKE, Robin T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 135-152, 1997.

UNDERWOOD, A. J. Beyond BACI: the detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world. v. 161, p. 1–34, 2002.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água em rios**. v. 7, DESA/UFMG, 2007.

WANTZEN, K. M.; PINTO-SILVA, V. Uso de substratos artificiais para avaliação do impacto do assoreamento sobre macroinvertebrados bentônicos em um córrego de Cabeceira no Pantanal do Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 1, p. 99-107, 2006.