

[PRODUTO 3.3]

FONTES DE DEGRADAÇÃO

DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO
DE ÁREAS PARA RECUPERAÇÃO
AMBIENTAL NA BACIA DO RIO DOCE



Abril de 2018

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. DEGRADAÇÃO NAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP)	5
2.1. APP ripária de conservação.....	7
2.2. APP de topo de morro.....	10
3. AGROECOSSISTEMAS DEGRADADOS.....	13
4. ATIVIDADES MINERÁRIAS	18
5. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	22
6. ESGOTO URBANO	26
7. CONCENTRAÇÃO INDUSTRIAL	32
8. ESTRADAS RURAIS.....	38
9. QUEIMADAS.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS	52

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório faz parte do estudo que tem como objetivo a identificação de áreas prioritárias para a recuperação ambiental na bacia do rio Doce, focando especificamente no Produto 3.3 - Levantamento das principais fontes de degradação da bacia do rio Doce, notadamente aqueles relacionados diretamente com a qualidade e quantidade de água, a conservação do solo e da paisagem. A partir desse levantamento e da definição de um critério ambiental que represente o nível de degradação dos municípios que compõem a bacia será elaborado o terceiro produto (P3) do Termo de Referência de Definição de Critérios de Priorização de Áreas para Recuperação Ambiental na bacia do rio Doce. O P3 consiste em um ranking de municípios que indicará a prioridade para o recebimento das ações de reflorestamento de 10.000 ha e regeneração de 30.000 ha em áreas de preservação permanentes (APPs) degradadas, que é objeto da Cláusula 161 do TTAC.

A área de abrangência desse levantamento contempla os 228 municípios, segundo definição estabelecida pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (CBH-Doce). A recuperação ambiental, objetivo desse estudo visa contribuir, preferencialmente, mas não se limitando, às sub-bacias dos rios selecionados como fontes alternativas de abastecimento. O P1 realizado pelo IBIO e o estudo realizado para o Comitê Técnico de Segurança Hídrica e Qualidade da Água (CT-SHQA) identificam duas alternativas para captação de cada uma das localidades atingidas pelo rompimento da barragem de rejeitos minerais de Fundão. Em alguns casos já foi definido qual das duas alternativas será implementada, porém, visando a resiliência da bacia e o planejamento de longo prazo, todas as áreas identificadas como alternativas foram consideradas como integrantes do recorte prioritário.

O presente documento identifica as seguintes fontes de degradação ambiental, que são apresentadas na sequência:

- Áreas de preservação permanente (APPs) ripárias antropizadas.
- Áreas de preservação permanente (APPs) de topo de morro antropizadas.
- Agroecossistemas Degradados.
- Atividades Minerárias.
- Resíduos Sólidos Urbanos.
- Esgoto Urbano.

- Concentração Industrial.
- Estradas Rurais.
- Queimadas.

A maior parte das fontes de degradação identificadas tem ligação direta com o uso do solo e a produção agrícola. Porém, considera-se importante a inclusão, também, das atividades minerárias, resíduos sólidos urbanos e esgoto, visto que esses fatores podem interferir na qualidade da água. É importante ressaltar que, apesar de apresentadas de forma isolada, tendo em vista a necessidade de identificar sua ocorrência nos diferentes municípios ao longo da bacia do rio Doce, em várias situações as fontes de degradação se sobrepõem e, desse modo, têm seus efeitos degradantes potencializados, comprometendo a quantidade e a qualidade da água em vários trechos da bacia. Outro elemento a ser ressaltado se refere à perspectiva de que o enfrentamento e mitigação dos efeitos dessas fontes de degradação demandam ações integradas e convergentes, ou seja, demandam ações ao nível das propriedades rurais como, por exemplo, é caso da recuperação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e de agroecossistemas degradados. Demandam políticas públicas em diferentes níveis administrativos como em relação à disposição de resíduos sólidos, coleta e tratamento de esgotos, mas também demandam mudanças de comportamento da população, em geral, em relação ao lixo e à água, bem como ações integradas dos setores rurais e urbanos usuários dos recursos hídricos da bacia.

2. DEGRADAÇÃO NAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP)

O Código Florestal (Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012) define a área de preservação permanente (APP) como a “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (Art. 30, II). A definição de APP encontrada na lei atual tem sua origem na noção de florestas protetoras criada no Código Florestal de 1934 e ampliada no Código de 1965. Destaca-se, ainda, em especial no caso das APPs ripárias (também conhecidas como matas ciliares) que acompanham os leitos dos rios, que a maior parte das regiões do Canadá, Estados Unidos, México, Rússia e Austrália possuem exigências similares ou superiores às encontradas na legislação brasileira (McDermott *et al.*, 2009). Essa convergência do ponto de vista legal se deve ao amplo reconhecimento do papel das APPs na manutenção dos recursos hídricos (Osborne *et al.*, 1993; Liu *et al.*, 2017).

Além das matas ciliares às margens de lagos ou rios (perenes ou não), são consideradas APPs as áreas de vegetação nativa situadas em: (i) topos de morros; (ii) encostas com declividade acentuada (maior que 45 graus); (iii) áreas em altitude superior a 1.800 metros, dentre outras delimitações fisiográficas que possuem função ambiental reconhecida no arcabouço legal. Estas áreas, cobertas ou não por vegetação nativa, estão submetidas a um regime próprio de proteção, sendo que sua delimitação pode variar de acordo com a localização em ambiente urbano ou rural, largura do leito do rio, declividade, dentre outros critérios geográficos (BRASIL, 2012). Além das APPs, o Código Florestal estabelece restrições no uso do solo nas áreas denominadas de reserva legal, que variam entre 20 e 80% da área do imóvel rural, dependendo do bioma e da região do país (Figura 1).

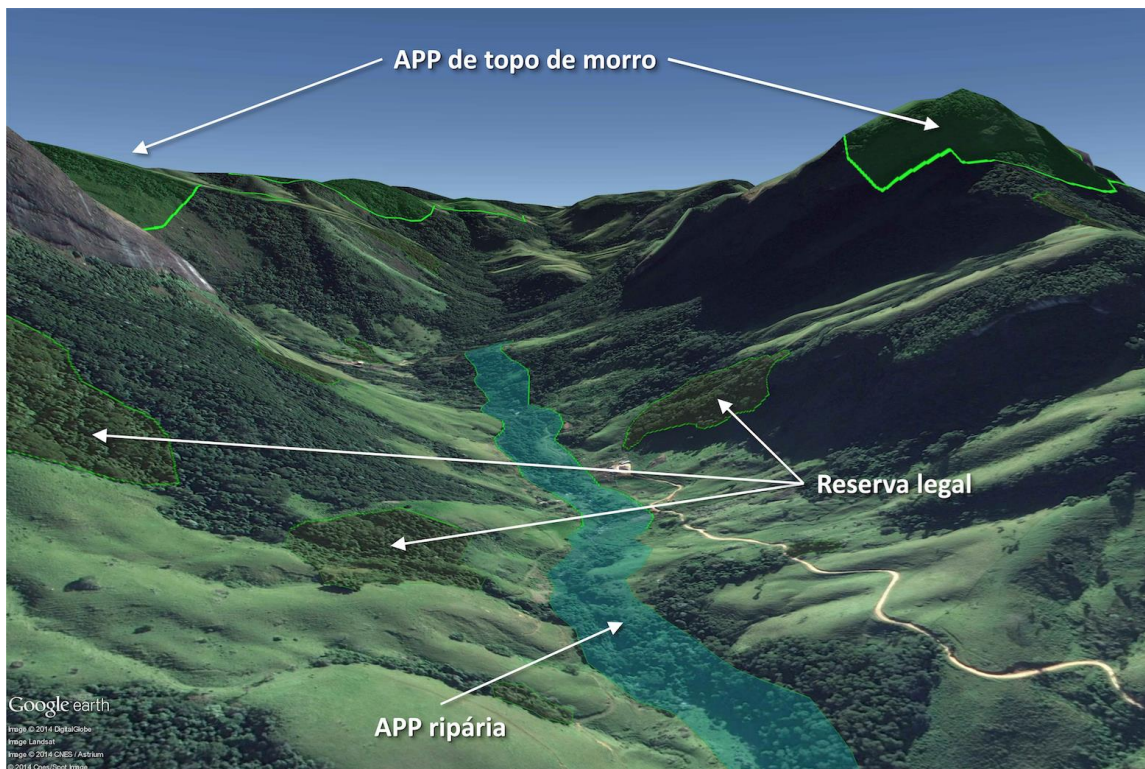


Figura 1. Representação simplificada de Áreas de Preservação Permanente (APP) conforme o Código Florestal Brasileiro.

Para que uma área de APP cumpra minimamente suas funções ambientais, conforme determina o Código Florestal, seu uso deve ser compatível com o regime de preservação da vegetação nativa previamente existente. Nesse sentido, o mapeamento do uso e cobertura da terra, preferencialmente em alta resolução espacial, é um importante instrumento para a análise da conformidade legal na escala das propriedades rurais e da paisagem, como no caso bacia hidrográfica do rio Doce. Para tanto, este estudo utiliza como insumo o mapeamento realizado pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), por meio de classificação supervisionada de imagens *RapidEye* para o ano de 2013, na escala de 1:10.000, produzindo mapas de uso e cobertura na escala de 1:20.000. O uso (e cobertura) da terra é classificado em seis categorias, conforme Tabela 1. Para as áreas edificadas os limites estabelecidos estão de acordo com a Base Cartográfica Contínua do IBGE (2013).

Tabela 1. Descrição das classes de uso e cobertura da terra

Classe de uso e cobertura da terra	Descrição
Formação florestal	Vegetação arbórea nativa com dossel contínuo
Formação não florestal	Vegetação arbustiva ou herbácea nativa
Água	Espelho d'água contínuo maior ou igual a 0,3 ha
Área edificada	Áreas edificadas (IBGE, 2013)
Área antropizada	Áreas desprovidas de cobertura nativa
Silvicultura	Cultivo de <i>Eucalyptus</i> sp. ou <i>Pinus</i> sp.

Fonte: FBDS (2013).

Nesse estudo foi considerado, enquanto fonte de degradação ambiental, a antropização de dois tipos de APP: as APPs ripárias situadas ao longo dos rios e no entorno dos recursos hídricos e as APPs de topo de morro encontradas nas cumeeiras de formações topográficas com altura mínima de 100 metros. O Código Florestal estabelece regras mais flexíveis para as áreas desmatadas antes de 2008 (i.e. consolidadas), onde as exigências de recuperação de APP são inferiores às regras de conservação. Essa diferenciação é feita também segundo o tamanho da propriedade, onde as pequenas têm exigências reduzidas de forma substancial. Aqui foi considerado o cálculo da degradação das APPs de acordo com regras de conservação, pois entendemos que a diminuição das exigências de recuperação se deu por questões ligadas à necessidade de adequação da lei ao contexto socioeconômico dos imóveis rurais, mantendo-se inalterada a importância da manutenção integral das áreas mínimas de APP apontadas para conservação. No próximo produto será fornecido uma estimativa das APPs de recuperação com base nos dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR) em um modelo que implementa de modo espacialmente explícito as regras do Código Florestal realizado por Soares-Filho, Rajão *et al.* (2014). Esse cálculo tem como objetivo o potencial da conciliação entre a atividade de recuperação ambiental, que é objeto desse estudo; e o processo de regularização ambiental dos imóveis rurais da bacia.

2.1. APP ripária de conservação

A legislação vigente estabelece que fica vedada a supressão da vegetação em faixas marginais aos cursos d'água que vão de 30 a 500 metros, dependendo da largura do rio e da tipologia do corpo hídrico. Como essas regras independem do tamanho da propriedade, para estimar o nível de degradação das APPs foram considerados os corpos d'água dispersos em toda paisagem. A Agência Nacional de Águas (ANA) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

(IBGE) disponibilizam mapas da hidrografia de todo o país, porém a escala de 1:100.000 ou superior presente nesses mapas não permite uma análise detalhada da bacia do rio Doce. Por isso, como se disse, foi utilizado nesse estudo o mapeamento da rede hidrográfica realizado pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), resultado do aprimoramento dos mapas oficiais já existentes com base nas imagens obtidas do satélite *RapidEye*, gerando um novo mapa na escala 1:10.000 (Figura 2).

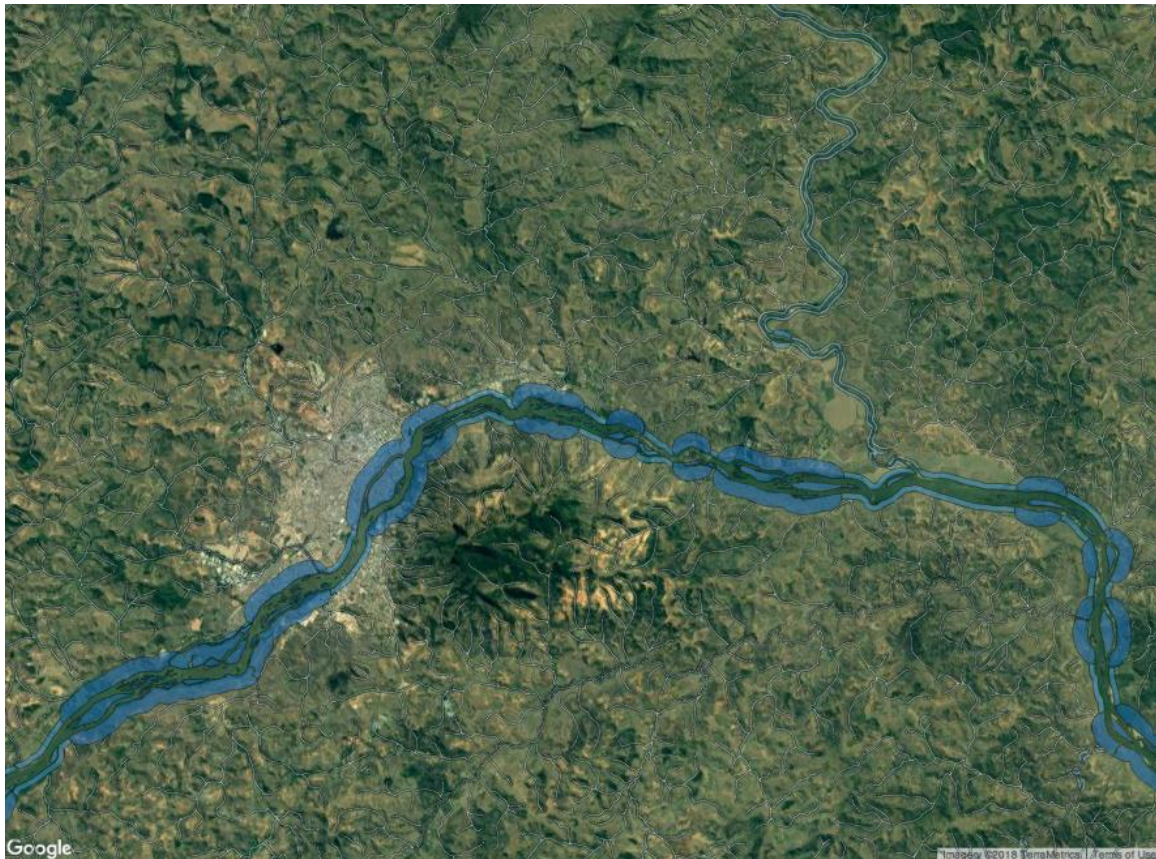


Figura 2. APPs riparias para conservação identificadas com base na largura dos cursos d'água na região de Governador Valadares. Fonte: FBDS, 2018 e Google Earth, 2018.

A elaboração da rede hidrográfica em formato vetorial realizada pelo FBDS contempla os seguintes critérios: (i) rios com mais de 10 metros de largura são digitalizados como polígonos; (ii) rios que tiveram seus cursos alterados são redelimitados; (iii) massas d'água oriundas de novos barramentos são incluídas ou redelimitadas; e (iv) eventuais deslocamentos foram corrigidos. A medida da largura dos cursos d'água é realizada para intervalos de 10 metros agrupados em trechos de 100 metros. Para cada trecho de 100 metros é atribuído o maior valor de largura para seus intervalos de 10 metros. Com base na rede hidrográfica assim

gerada, o FBDS calculou as APPs ripárias seguindo os critérios estabelecidos pelo Código Florestal (Tabela 2).

Tabela 2. Largura das Áreas de Preservação Permanente (APP) em função dos componentes da hidrografia

Componente Hidrográfica	Largura da APP (m)
Nascentes	50
Lago ou Lagoa natural, com até 20 ha, na zona rural	50
Lago ou Lagoa natural, com mais de 20 ha, na zona rural	100
Lago ou Lagoa natural na zona rural	30
Reservatório artificial, dentro de curso d'água, na zona rural	30
Reservatório artificial, dentro de curso d'água, na zona urbana	15
Reservatório artificial, fora de curso d'água	Isenta
Curso d'água com largura menor que 10 m	30
Curso d'água com largura entre 10 m 50 m	50
Curso d'água com largura entre 50 m 200 m	100
Curso d'água com largura entre 200 m 600 m	200
Curso d'água com largura maior que 600 m	500

Fonte: Brasil (2012).

Em consequência do relevo acidentado e hidrografia densa, os municípios que compõem a bacia do rio Doce contam com 1 milhão de hectares contemplados em APPs ripárias. Com base no mapa de uso e cobertura do solo, também elaborado pelo FBDS a partir de imagens RapidEye com 5 metros de resolução, foi calculado o nível de degradação ambiental das APPs. Dentro das áreas de APPs foram classificadas como antropizadas (ausência de cobertura vegetal nativa) 765 mil ha, o que corresponde a 70% do total (Tabela 3, Figura 3 e Anexo 1). Já o percentual de APPs ripária antropizada por município varia de 24% a 96%, sendo que a média dos municípios foi de 72% (Figura 3 e Anexo 1).

Tabela 3. Área Total de APPs ripárias nos municípios da bacia do rio Doce em função da classe de uso e cobertura da terra

Uso e Cobertura da Terra	Área em Hectares	%
Área antropizada	765.742,6	69,7
Área edificada	7.096,1	0,6
Área de vegetação nativa	304.534,1	27,7
Silvicultura	20.701,0	1,8
Total	1.098.070,0	100%

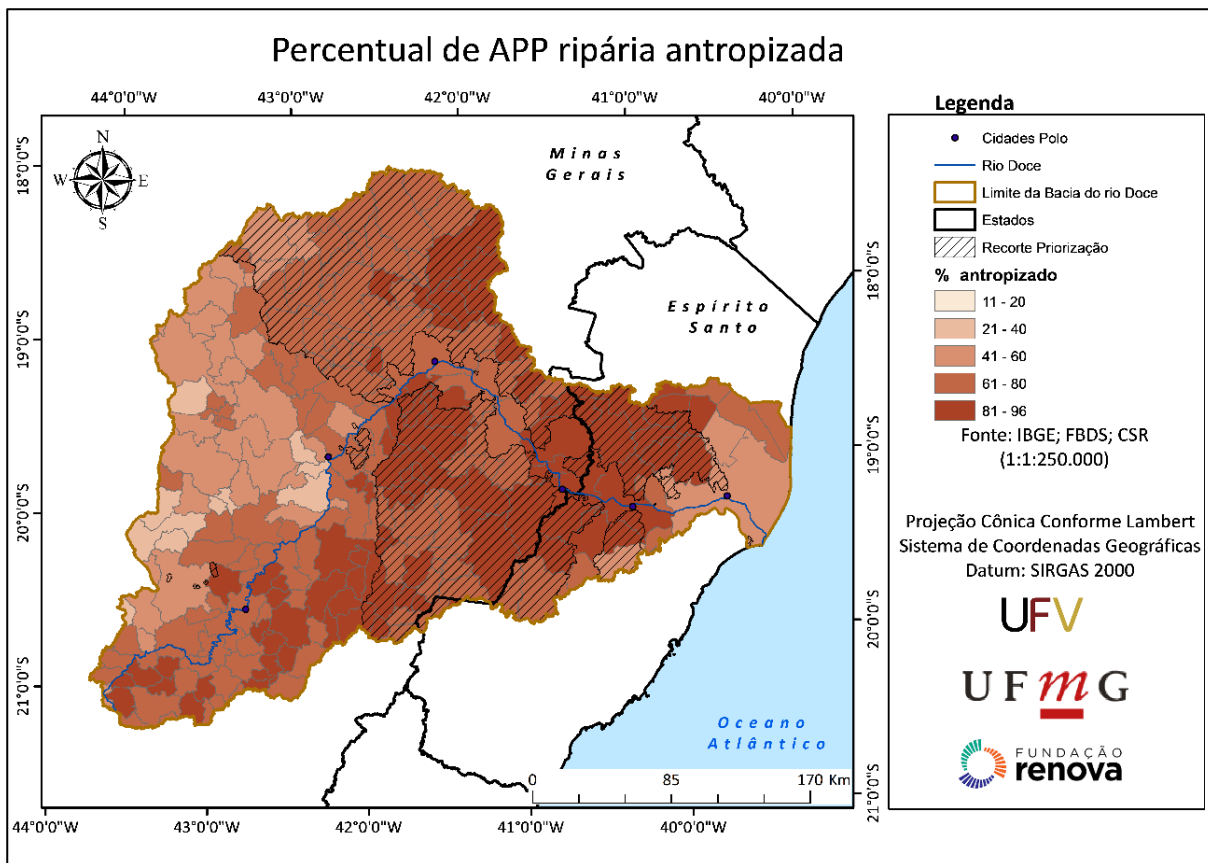


Figura 3. Percentual de APP ripária antropizada nos municípios da bacia do rio Doce.

2.2. APP de topo de morro

As áreas de APP de topo de morro (Figura 4) de acordo com o Artigo 4º do Código Florestal são aquelas que estão: “no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 m e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta, definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d’água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação”.

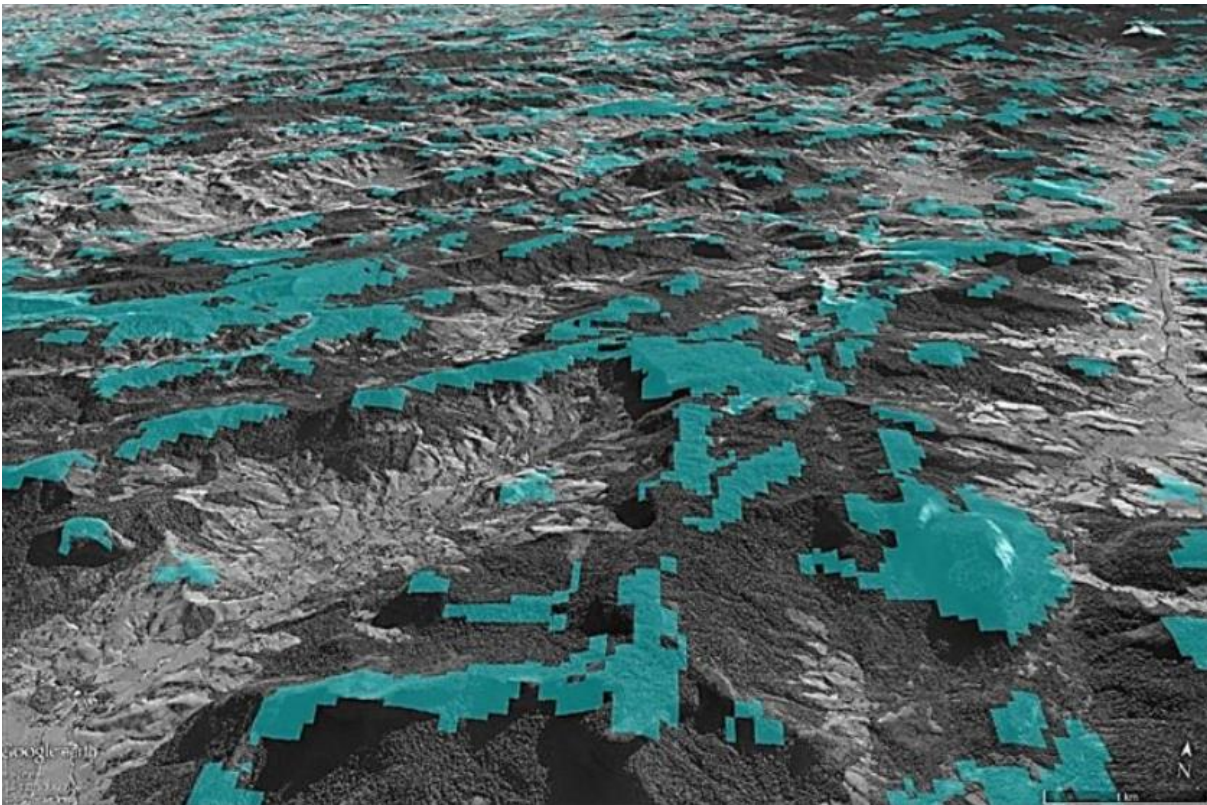


Figura 4. Ilustração APP topo de morro. Fonte: Soares-Filho, Rajão *et al.* (2014).

Para identificar as APPs de topo de morro foi utilizado um modelo implementado no software Dinâmica EGO que aplica os parâmetros da legislação em um Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução de 30 metros (Soares-Filho, Rajão *et al.*, 2014). Com esse procedimento foram identificadas na bacia do rio Doce, 707 mil ha de APP de topo de morro (Tabela 4), dos quais 401 mil ha estão antropizados (56%). O percentual de área de APP de topo de morro antropizada variou entre 18% a 98%, sendo que na média de degradação foi de 60% (Figura 5 e Anexo 2).

Tabela 4 - Uso da terra em APP de topo de morro nos municípios da bacia do rio Doce

Uso e cobertura da terra	Área (ha)	%
Área antropizada	401.054,1	56,7
Área de vegetação nativa	235.935,6	33,3
Silvicultura	32.758,7	4,6
Outros	37.958,6	5,3
Total	707.707,0	100

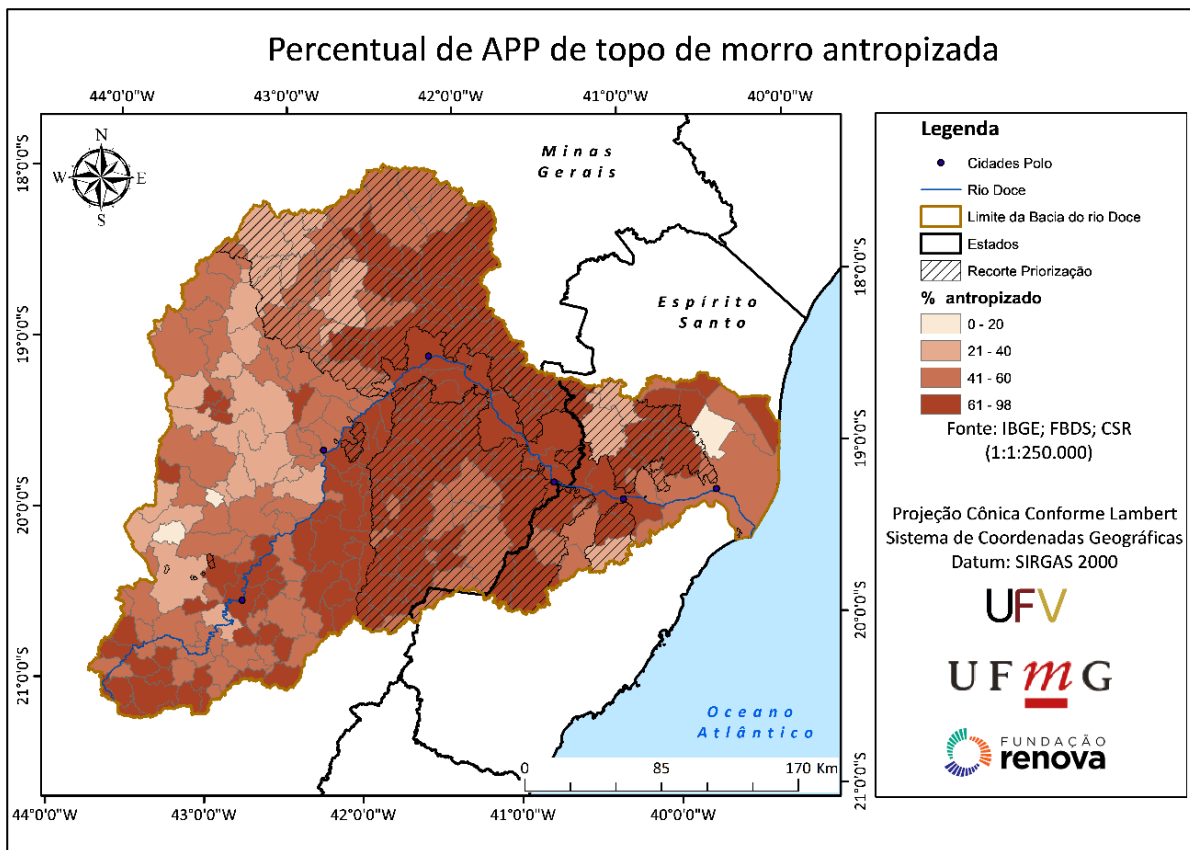


Figura 5. Percentual de APP de topo de morro antropizada nos municípios da bacia do rio Doce.

3. AGROECOSSISTEMAS DEGRADADOS

No mundo, a mais expressiva mudança na estrutura dos ecossistemas é a transformação de aproximadamente 24% da superfície terrestre em sistemas cultivados ou agroecossistemas (MEA, 2005). O Brasil, seguindo essa tendência, possui em torno de 26% da sua extensão territorial ocupada por atividades agrícolas (Dias *et al.*, 2016), enquanto que, na bacia do rio Doce, tem-se 64% da área, sendo 59% com pastagens e 5% de usos agrícolas (IBIO, 2017).

Tradicionalmente, os agroecossistemas são considerados como provedores de alimentos, fibras, bioenergia, dentre outros. Destaca-se, ainda, a contribuição para outros benefícios ecossistêmicos, como polinização, controle de pragas, regulação da fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes e controle de enchentes (MEA, 2005). Por outro lado, também podem ser considerados responsáveis por diversos danos ambientais, tais como a perda de biodiversidade, erosão acentuada, perda de nutrientes, dentre outros. Dessa maneira, as externalidades positivas e negativas advindas dos agroecossistemas são dependentes da maneira como os mesmos são manejados (Power, 2010; Van Oudenhoven *et al.*, 2015; Schneider *et al.*, 2016; Rocha Junior *et al.*, 2017).

Considerando a porcentagem da área da bacia do rio Doce ocupada por agroecossistemas, realizou-se um estudo para estimar o nível de degradação destes. Para isso, utilizou-se o mapa de uso e cobertura disponibilizado pela Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável (FBDS) e imagens do satélite Landsat 8, sensor OLI.

O mapa de uso e cobertura do FBDS possui seis classes de mapeamento, sendo que a classe “área antropizada” contempla campos agrícolas, mineração e superfície artificiais não edificadas. Considerando que os dois últimos constituem uma parte pouco expressiva da classe, considerou-se que a “área antropizadas” refere-se aos usos agropecuários. Dessa maneira, esta classe foi utilizada para estimativa de degradação dos agroecossistemas.

As imagens utilizadas do satélite Landsat 8 foram da época seca (julho a outubro), com poucas nuvens e menor diferença fenológica entre as culturas, em consequência do período sem chuvas, dos anos 2015 e 2016, em virtude de ter sido os únicos anos em que foi possível adquirir imagens para toda a bacia, livre de nuvens. Ressalta-se que as imagens órbitas do satélite eram da mesma data e que as datas das diferentes órbitas foram escolhidas de

maneira que as respostas espectrais fossem semelhantes. As datas das imagens utilizadas são apresentadas na **Tabela 5**.

Tabela 5. Data de aquisição das imagens do satélite Landsat 8 segundo ponto e órbita

Ponto / Órbita	218	217	216	215
72	-	10/08/2016	-	-
73	16/07/2016	10/08/2016	04/10/2015	27/07/2016
74	16/07/2016	10/08/2016	04/10/2015	27/07/2016
75	-	10/08/2016	-	-

Fonte: USGS (2018).

Para a modelagem dos níveis de degradação foi utilizado o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), conforme Equação 1 (Rouse *et al.*, 1973), o qual tem sido amplamente aplicado em estudos de diferenciação da vegetação via sensoriamento remoto por permitir expressiva correlação com parâmetros de avaliação comumente utilizados na caracterização do estrato vegetal, como fitomassa, área foliar, atividade fotossintética, produtividade e porcentagem de cobertura vegetal (Rouse *et al.*, 1973; INAES, 2015; Bernardi *et al.*, 2017). Dessa maneira, estimou-se indiretamente a biomassa vegetal que cobre o solo, sendo este um indicativo de proteção do solo contra a energia da precipitação.

$$NDVI = \frac{VNIR - RED}{VNIR + RED} \quad (1)$$

em que:

NDVI = Índice de Vegetação da Diferença Normalizada;

VNIR = Banda do infravermelho próximo; e

RED = banda do vermelho.

A metodologia utilizada consta de quatro etapas: (i) obtenção dos valores de NDVI referentes aos agroecossistemas; (ii) confronto das imagens do NDVI e Google Earth para determinação do limite inferior e superior de NDVI referente às áreas de solo exposto dentro da classe “usos agropecuários”; (iii) exclusão de valores de NDVI isolados na cauda superior dos histogramas; e (iv) divisão do intervalo entre o NDVI referente ao limite superior do solo exposto (etapa ii) e maior NDVI nos agroecossistemas (etapa iii) em três intervalos equidistantes. Dessa maneira, obteve-se quatro intervalos, sendo estes denominados: agroecossistemas intensamente degradados, degradados, moderadamente degradados e conservacionistas.

O mapa de níveis de degradação dos agroecossistemas é apresentado na Figura 6, enquanto que as porcentagens associadas aos quatro níveis são apresentadas na Tabela 5. A porcentagem do nível de degradação por município é apresentada no Anexo 3, sendo o ordenamento realizado segundo o somatório da porcentagem dos agroecossistemas intensamente degradados e degradados.

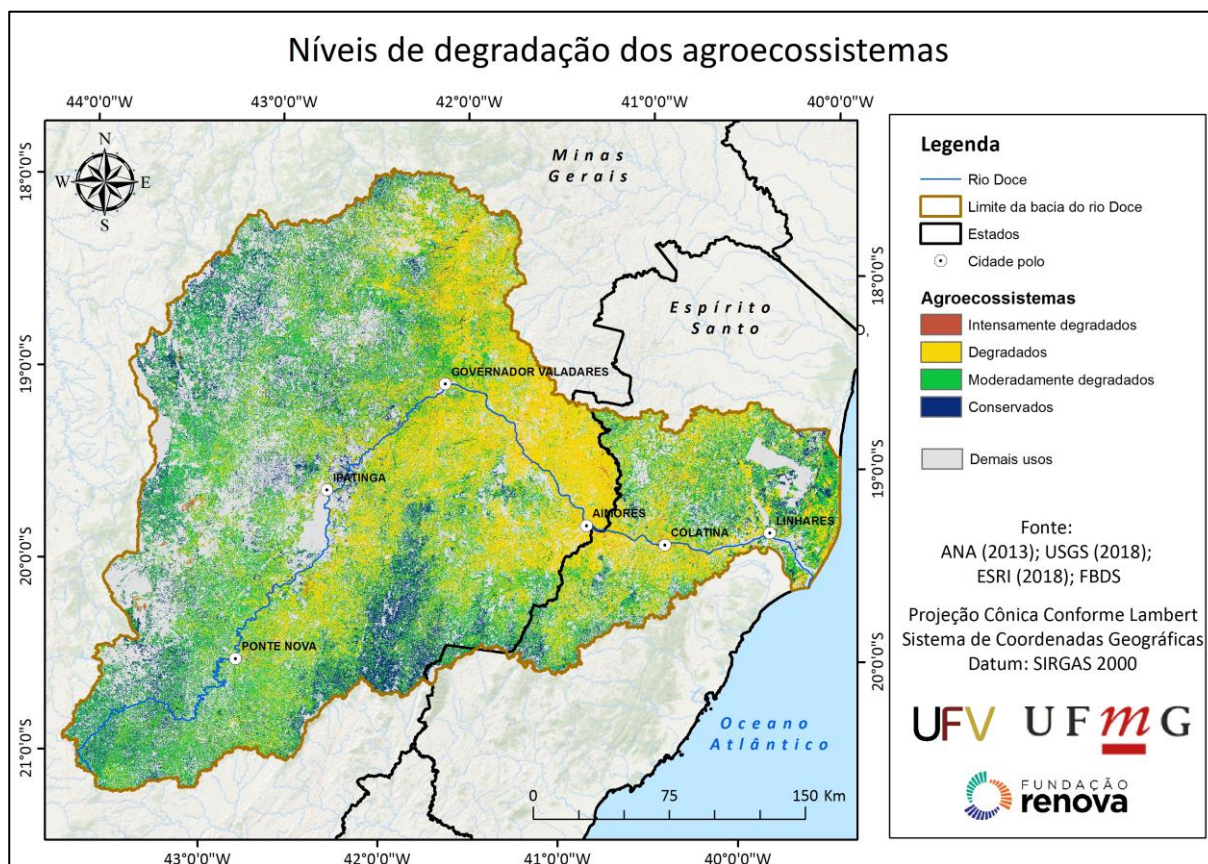


Figura 6. Níveis de degradação dos agroecossistemas na bacia do rio Doce.

Tabela 6. Percentagem de área associada aos níveis de degradação dos agroecossistemas na bacia do rio Doce

Nível de Degradação dos agroecossistemas (2015/2016)	Percentagem (%)
Intensamente degradado	1,0
Degradado	41,4
Moderadamente degradado	41,9
Conservado	15,7

O mapa de degradação dos agroecossistemas possui correlação com o mapa de precipitação média anual na bacia (Figura 7), visto que em regiões com menores índices pluviométricos

tendem a apresentar menor biomassa e vice-versa. Além disso, possui correlação com o relevo e geomorfologia, pois áreas mais declivosas, no topo das elevações e de feições convexas, tendem a ser menos úmidas e, portanto, apresentam menor biomassa vegetal (Figura 8). Por outro lado, observa-se que áreas dentro do mesmo compartimento da paisagem apresentam diferentes classificações em decorrência do grau de intervenção (manejo) na área (Figura 8).

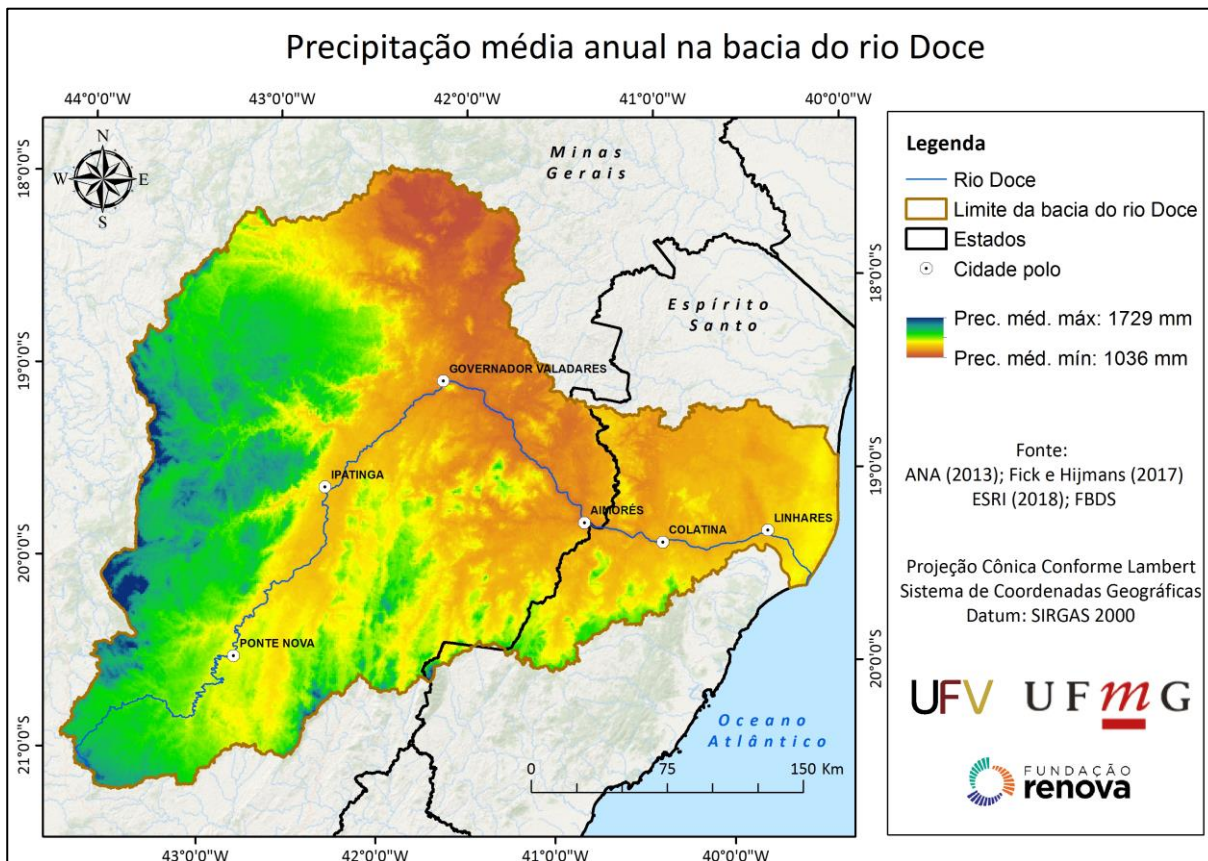


Figura 7. Precipitação anual média na bacia do rio Doce (1970 a 2000).

Níveis de degradação dos agroecossistemas na bacia do rio Doce

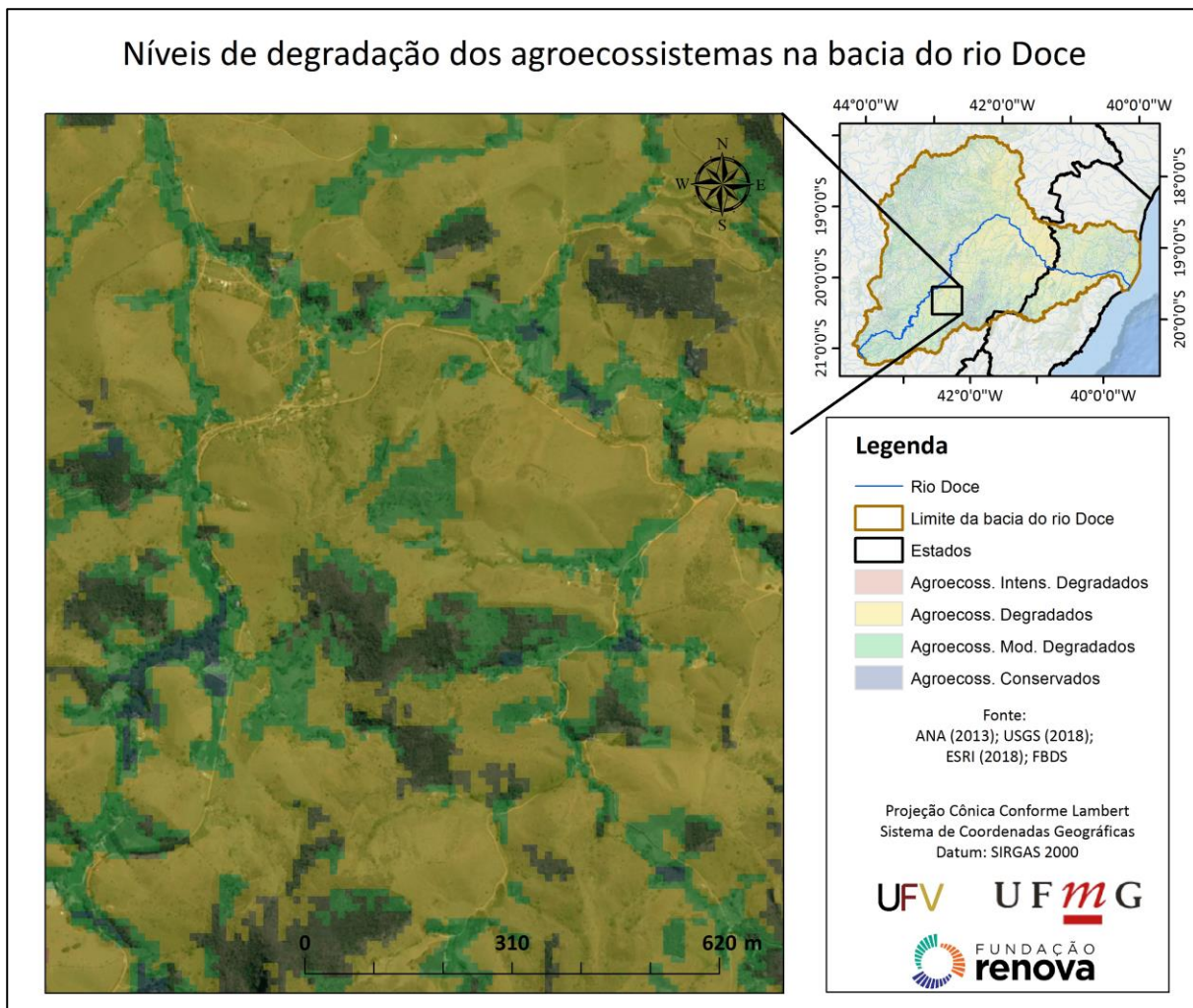


Figura 8. Detalhamento dos níveis de degradação dos agroecossistemas na bacia do rio Doce.

4. ATIVIDADES MINERÁRIAS

As operações de mineração têm um impacto expressivo nas características físicas da terra, envolvendo, na maioria dos casos, a escavação de grandes quantidades de materiais e o seu transporte à superfície para processamento, além do rebaixamento do nível freático quando da necessidade de operação em cavas profundas. As atividades minerárias podem também intensificar os processos erosivos no solo, resultando em problemas de qualidade do ar, por meio da geração de poeira, e de qualidade da água, devido ao assoreamento dos corpos de água superficiais (Jain *et al.*, 2015).

A água é crucial para a indústria de mineração, sendo utilizada em todos os estágios de uma mina, desde a exploração até a reabilitação. A água é necessária para o processamento de minerais, recuperação de metais, limpeza, bombeamento, transporte, resfriamento e controle de poeira. A retirada de água diretamente de fontes superficiais para o uso na lavra e beneficiamento da mineração pode alterar o regime hidrológico dos cursos de água, modificando o habitat aquático e a recarga hídrica subterrânea (Mechi e Sanches, 2010). Outras atividades associadas à mineração, como desmatamento, construção de barragens, manejo de águas pluviais e desvios de rios podem, ainda, alterar os padrões de escoamento e as taxas de percolação, levando a um aumento do escoamento superficial em algumas áreas e diminuição em outras (Jain *et al.*, 2015). A qualidade das águas superficiais e subterrâneas a jusante dos empreendimentos de exploração minerária pode ser, também, prejudicada em razão da turbidez provocada pelos sedimentos finos em suspensão, assim como pela poluição causada por substâncias lixiviadas e carreadas ou contidas nos efluentes das áreas de mineração, tais como óleos, graxa, metais pesados (Mechi e Sanches, 2010).

O levantamento dos processos minerários localizados na bacia do rio Doce foi realizado a partir da consulta ao banco de dados do Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE) do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), realizada em 11 de abril de 2018. Os processos de direitos minerários foram classificados por fase, tomando por base a metodologia adotada pelo DNPM, considerando as fases de tramitação processual e, também, por substância mineral extraída no processo de mineração.

Conforme os dados do cadastro do SIGMINE foram levantados os registros de 927 processos de direitos minerários na bacia do rio Doce, que no momento da pesquisa encontravam-se em

fase de lavra, ou seja, que estão em fase de aproveitamento industrial, constituindo-se numa atividade econômica. Estas informações estão apresentadas na Figura 9, na Tabela 7, na Tabela 8 e no Anexo 4 para melhor entendimento da totalização dos processos de direitos minerários.

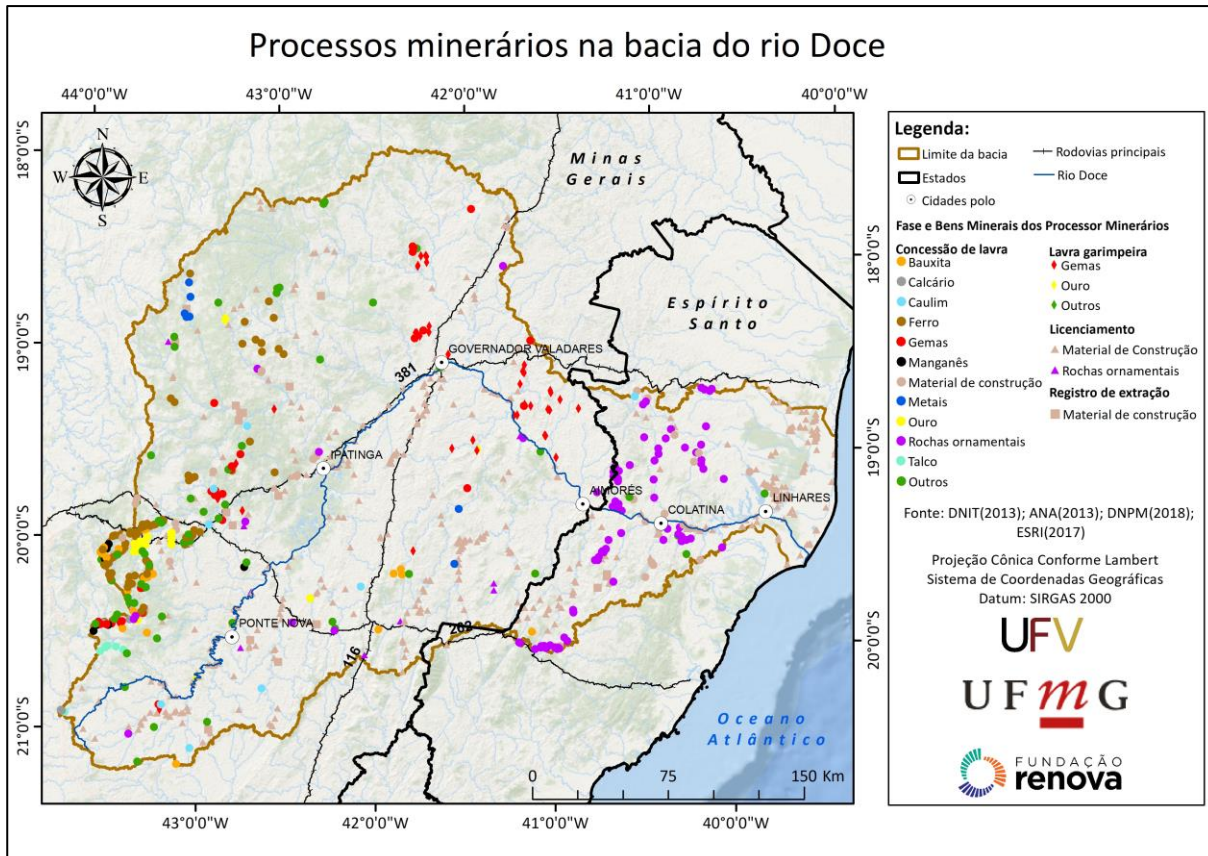


Figura 9. Processos minerários na bacia do rio Doce.

Na Tabela 7 é apresentada a totalização dos processos de direitos minerários agrupados por fase processual, conforme classificação do DNPM. Observa-se que a maior parte dos processos minerários se encontra no estado de Minas Gerais (71%), sendo que 42% desses encontram-se em fase de concessão de lavra, 8% em fase de lavra garimpeira, 48% em fase de licenciamento e 2% em fase de registo de extração. O Estado do Espírito Santo contabiliza apenas 29% dos processos minerários na bacia, dos quais 37% encontram-se em fase de concessão de lavra, 62 % em fase de licenciamento e 1% em fase de registo de extração.

Tabela 7. Relação de processos minerários na bacia do rio Doce classificados por fase de tramitação no Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)

Fase do Processo	ES	MG	Total
Concessão de Lavra	100	276	376
Lavra Garimpeira	0	50	50
Licenciamento	167	314	481
Registro de Extração	3	17	20
Total	270	657	927

Fonte: DNPM (2018).

Na Tabela 8 apresenta-se a totalização dos processos de direitos minerários agrupados por tipo de substrato minerado. Observa-se que os minérios utilizados na indústria de construção civil são os mais explorados na bacia (57% dos processos). Entre eles estão a extração de areia, areia de fundição, areia quartzosa, argila, argila para cerâmica vermelha, cascalho, dolomito, gnaïsse, gnaïsse para brita, granito para brita e saibro. Desses processos, 64% encontram-se na parte mineira da bacia do rio Doce e o restante, na parte capixaba. Outro material com grande exploração na bacia são as rochas ornamentais, incluindo granito, granito ornamental e quartzito. Esses minérios totalizam 10% de todos os processos minerários na bacia, sendo, a grande maioria dessa exploração, encontrada na parte capixaba da bacia (77%).

A exploração de Ferro também contabiliza expressiva parte da exploração minerária na bacia do rio Doce, representando 10% de todos os processos. Essa atividade se localiza totalmente na parte mineira, principalmente na parte sudoeste da bacia, na região do Quadrilátero Ferrífero. A exploração de ouro e pedras preciosas, como alexandrita, esmeralda, hematita, pedra corada, topázio e água marinha, também é de grande relevância, totalizando 11% dos processos minerários, localizada integralmente na parte mineira da bacia do rio Doce.

Tabela 8. Relação de processos minerários na bacia do rio Doce classificados por substrato minerado

Substância Mineral	ES	MG	Total
Bauxita	1	21	22
Calcário	0	4	4
Caulim	1	7	8
Ferro	0	89	89
Gemas	0	76	76
Manganês	0	7	7
Metais	0	7	7
Material de Construção	190	335	525
Ouro	0	23	23
Rochas Ornamentais	74	22	96
Talco	0	7	7
Outros	4	57	61
Total	270	655	925

Fonte: DNPM (2018).

5. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A disposição de forma inadequada dos Resíduos Sólidos Urbanos é fonte de contaminação e poluição de cursos de água, mananciais e do lençol freático. De acordo com o Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos - MGIRS, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM (2001), ao longo dos anos as administrações públicas dos municípios se preocuparam apenas em afastar o lixo coletado das áreas urbanas, muitas vezes depositando-o em áreas inadequadas como “encostas florestadas, manguezais, rios, baías e vales”. Naquele momento, segundo o IBAM (2001), “mais de 80% dos municípios brasileiros lançavam seus resíduos sólidos em locais a céu aberto, em cursos de água ou áreas ambientalmente protegidas”. Ao longo da última década esse panorama melhorou um pouco, principalmente pelos efeitos da Lei Federal Nº 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que, em seu artigo 54, estabeleceu a data de 02 de agosto de 2014 como prazo limite para eliminação dos lixões a céu aberto em todo o território nacional.

No entanto, apesar da legislação em vigor, segundo o Diagnóstico do Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos de 2016 elaborado pelo Ministério das Cidades, os lixões ainda representam 30,3% das unidades de processamento de resíduos sólidos nos municípios brasileiros, enquanto aterros sanitários somam apenas 17,3% dessas unidades. De acordo com Lopes e Barros (2015), citando Barros (2012), as questões ambientais, econômicas e sociais envolvendo os resíduos sólidos urbanos devem ser analisadas de forma abrangente e integrada e não apenas como uma solução tecnológica ou operacional pontual que, de modo geral, está associada apenas à fase final do processo. Para os autores, é preciso uma análise integrada que também leve em consideração os contextos a montante da produção de resíduos sólidos, suas causas e consequências.

Para a bacia do rio Doce, levando em consideração os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, do Ministério das Cidades, o percentual de lixões é menor do que a média nacional, perfazendo 7,0% dos municípios, como mostra a Figura 10 e o Anexo 5. Do mesmo modo, o percentual de aterros sanitários nos municípios que compõem a bacia do rio Doce é maior do que a média nacional, sendo de 22,4%. Chama a atenção, no entanto, o expressivo percentual de municípios que não apresentam informações sobre resíduos sólidos no banco de dados do SNIS, perfazendo 16,7% do total.

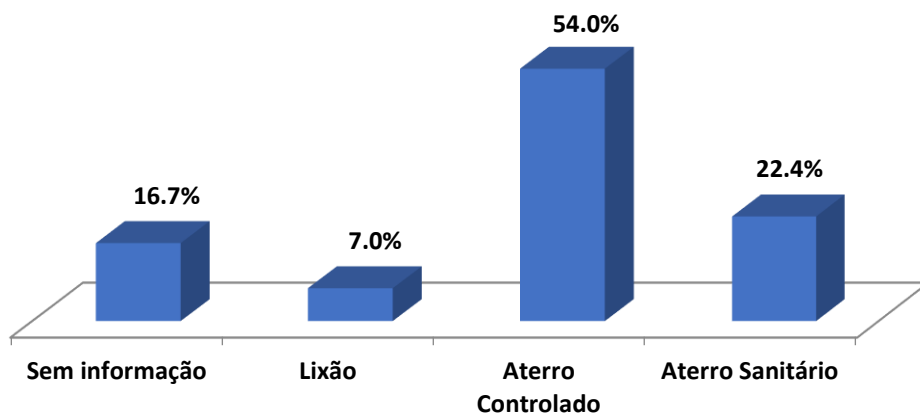


Figura 10. Principais unidades de processamento de resíduos sólidos nos municípios da bacia do rio Doce, 2016.

Fonte: Elaborado a partir de dados do SNIS (2016).

Como se pode observar pela Figura 11, faltam informações principalmente para os municípios da parte mineira da bacia do rio Doce, especialmente ao longo de sua calha principal. É importante ressaltar que a falta de informações é decorrente do caráter voluntário do preenchimento dos formulários do SNIS, que em 2016 recebeu informações de 3.670 municípios correspondendo a 65,9% dos municípios brasileiros e a cerca de 84% da população urbana nacional. De acordo com o Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2016, documento que compila as informações do SNIS, “apesar de todo o esforço realizado, não se consegue que todos os municípios enviem os dados solicitados, devido a razões que vão desde o desinteresse às dificuldades internas que têm alguns municípios para obter seus dados”. Assim, uma tarefa a ser realizada seria estimular as administrações municipais que conformam a área da bacia do rio Doce a prestarem informações adequadas para alimentar o SNIS de modo a possibilitar a construção de um quadro mais realístico sobre a estrutura de tratamento de resíduos sólidos e de saneamento nessa área e, conseqüentemente, a definição de políticas públicas visando melhorar a situação encontrada.

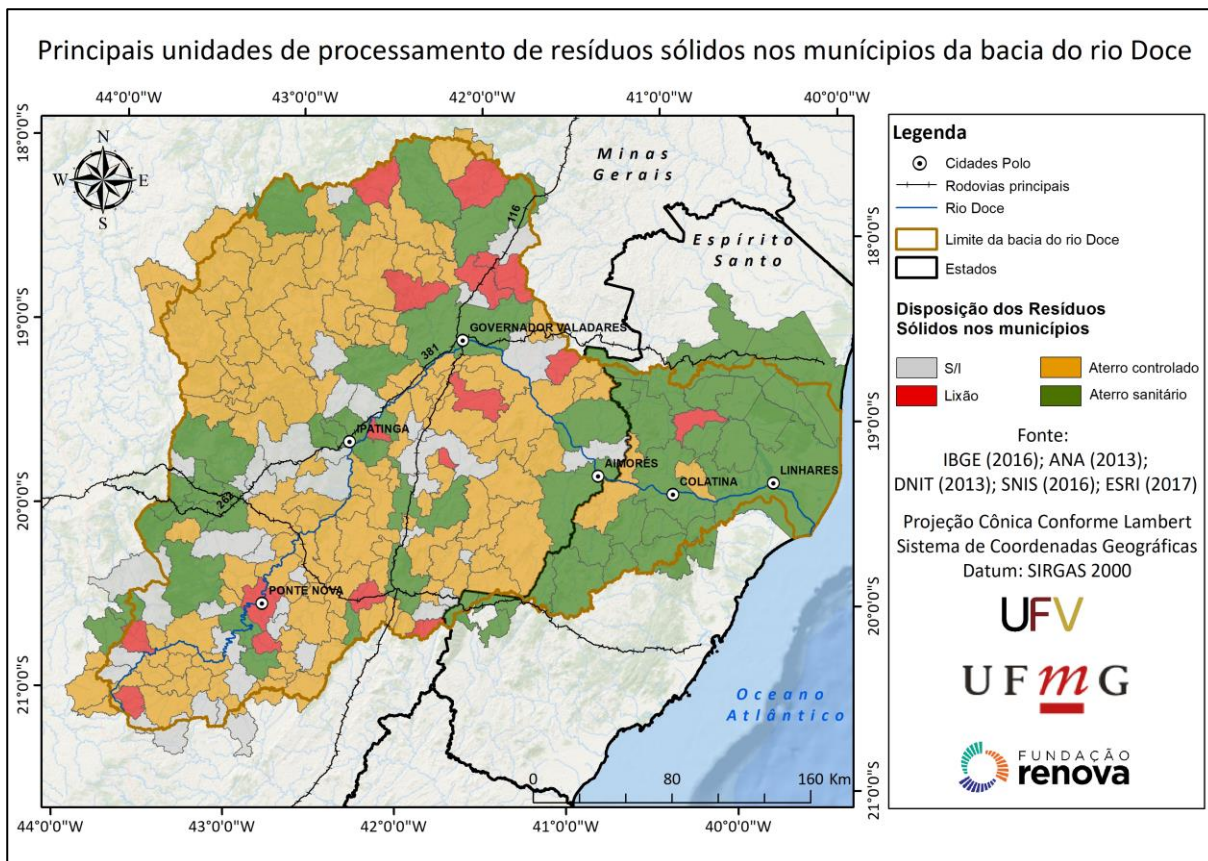


Figura 11. Principais unidades de processamento de resíduos sólidos nos municípios da bacia do rio Doce, 2016.

Ao analisar as informações válidas constantes no SNIS para os municípios da bacia do rio Doce, o perfil da estrutura geral de disposição de resíduos sólidos é pior do que a observada no estado do Espírito Santo e ligeiramente melhor do que em Minas Gerais, principalmente em termos do percentual de lixões que é de 7,0% na bacia e cerca de 10% entre os municípios mineiros, como é apresentado na Figura 12. Por outro lado, ainda que o percentual de lixões nos municípios da bacia seja inferior ao que se observa nos demais municípios brasileiros, é importante ressaltar que eles estão quase que totalmente concentrados na porção mineira da bacia do rio Doce que, por sua vez, representa a maior arte do território da bacia. Na porção capixaba da bacia apenas o município de São Domingos do Norte usa um lixão para disposição dos resíduos sólidos municipais.

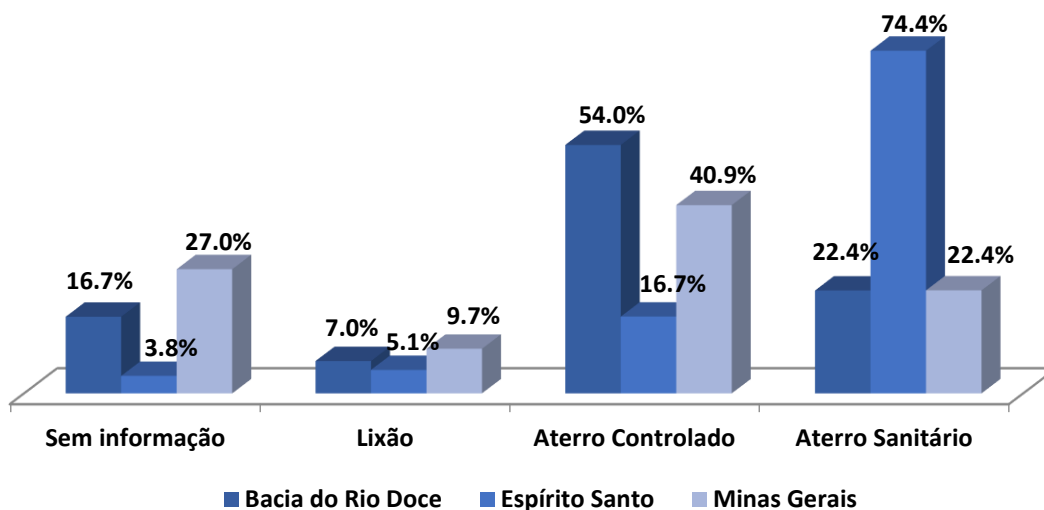


Figura 12. Unidades de processamento de resíduos sólidos nos municípios da bacia do rio Doce e nos estados do Espírito Santo e Minas Gerais, 2016.

Fonte: Elaborado a partir de dados do SNIS (2016).

Outro elemento que torna a situação na porção mineira pior do que a observada na porção capixaba é que dos 20 municípios do Espírito Santo pertencentes à bacia, um (5%) usa lixão, dois não forneceram informações ao SNIS e os 17 (85%) restantes fazem a disposição de seus resíduos sólidos em aterros sanitários, ou seja, de forma adequada do ponto de vista da legislação. Por outro lado, entre os 208 municípios mineiros, 36 (17,3%) não forneceram informações para o SNIS (2016), 15 (7,2%) utilizam lixões, 123 (59,13%) utilizam aterros controlados e apenas 34 (16,35%) utilizam aterros sanitários. Situação, como se percebe, bastante inferior à observada entre os municípios capixabas.

Associada à disposição inadequada dos resíduos sólidos, outra importante fonte de degradação de bacias hidrográficas é a inexistência de sistemas de captação, tratamento e destinação dos esgotos urbanos, como descrito a seguir.

6. ESGOTO URBANO

O esgoto urbano é fonte intensa de degradação da qualidade das águas em bacias hidrográficas. De acordo com Samuel (2011), somente 17,4% dos municípios brasileiros eram atendidos por serviços de esgoto sanitário em 2004. Essa situação, segundo o autor, se agravava em termos de saúde pública, uma vez que quase 10% das moradias urbanas e rurais no Brasil não possuíam canalização interna de água, em 2008. Segundo o mesmo autor, a Lei Federal Nº. 11.455, de 05 de janeiro de 2007, regulamentada pelo decreto Nº. 7217, de 21 de junho de 2010, ao definir a Política Nacional de Saneamento, significou um grande avanço nas possibilidades de melhoria das condições sanitárias no país por estabelecer “diretrizes nacionais para o saneamento básico, referindo-se às questões sobre os sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e resíduos sólidos” (SAMUEL, 2011, p19).

Para análise da situação de saneamento, em termos de coleta e tratamento de esgotos nos municípios da bacia do rio Doce, da mesma forma que em relação à disposição de resíduos sólidos, foram utilizados dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, que, como mencionado, têm abrangência nacional. Assim, as informações sobre água e saneamento municipal são prestadas em caráter voluntário pelas prefeituras e empresas públicas e/ou privadas responsáveis por esses sistemas nos municípios, com o preenchimento dos questionários do SNIS pelo sistema disponível na *web*. É importante ressaltar que a adesão e adimplência no fornecimento das informações ao SNIS é condição para o acesso a recursos de investimento da Secretária Nacional de Saneamento, vinculada ao Ministério das Cidades. No entanto, apesar de possibilitar acesso a recursos específicos para melhoria das condições de saneamento nos municípios, os níveis de adimplência por parte das prefeituras e companhias de água e esgoto não é total. Assim, segundo informa o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016 do SNIS, “... a adimplência ocorre para água e para esgotos separadamente. Desta forma, pode ocorrer, por exemplo, da companhia estadual, responsável pelos serviços de água no município, enviar os dados, mas a prefeitura, que responde pelos serviços de esgotos, não enviar. Nesse caso, o município torna-se adimplente em água, mas não em esgotos”.

Assim, a adimplência dos municípios ao SNIS não apenas possibilita melhores informações para o planejamento das ações voltadas para a garantia de melhores condições de acesso à água e saneamento básico, como também possibilita que os municípios tenham acesso a linhas de financiamento para investimentos nessas infraestruturas. A Figura 13 evidencia o percentual da população na bacia do rio Doce que é servida com rede de esgotos. Como se pode observar, a despeito do elevado percentual de ausência de informações, que ocorre pelos motivos já apontados, apenas 6,14% da população da bacia do rio Doce é totalmente servida por rede de esgotos, correspondendo a apenas 14 dos 228 municípios da bacia (Anexo 6).

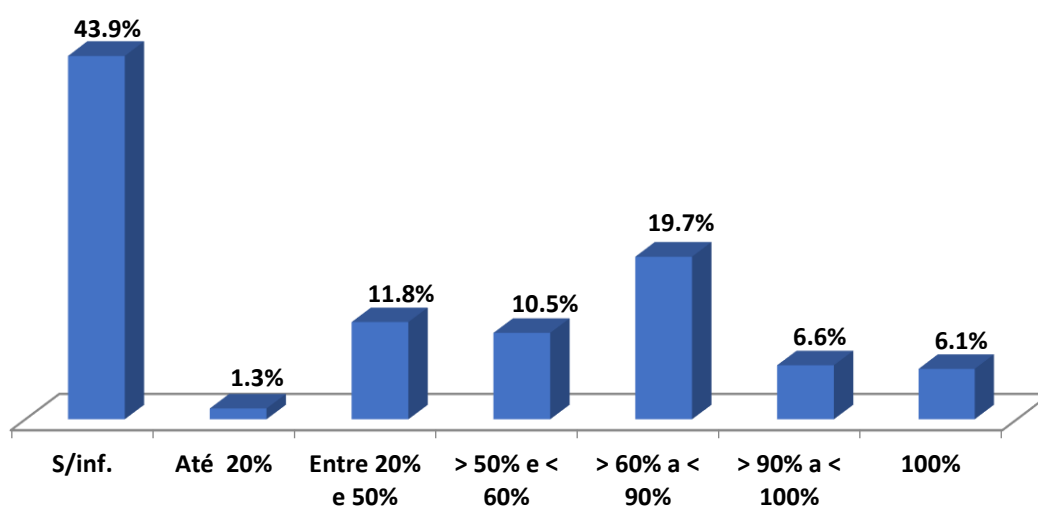


Figura 13. Percentual da população atendida por rede de esgotos nos municípios da bacia do rio Doce, 2016.

Fonte: Elaborado a partir de dados do SNIS (2016).

É importante ressaltar que a bacia do rio Doce possui uma população estimada para 2016 de 4.289.246 pessoas e que esses 14 municípios com cobertura de rede de esgotos para 100% população, quais sejam, Bom Jesus do Amparo, Caputira, Entre-Folhas, Itabira, Manhuaçu, Materlândia, Mercês, Mesquita, Nacip Raydan, Peçanha, São Geraldo, Sericita, e Urucânia, em Minas Gerais, e Baixo Guandu, no Espírito Santo, abrigam apenas 330.921 habitantes, o que corresponde a somente 7,72% da população total da bacia. Essa situação indica que aproximadamente 93% da população residente na área da bacia do rio Doce não têm serviços de coleta de esgotos adequados e com abrangência universal. Quando se analisam apenas os dados válidos disponíveis no SNIS (2016), referente a 132 municípios e uma população

estimada em 2016 de 2.635.998 habitantes, o percentual de municípios que atendem a 100% da população com rede de esgoto passa para 11% do total representando 12,55% da população. No entanto, é importante ressaltar, cerca de 25% dos municípios com informações disponíveis atendem a, no máximo, 50% da população com serviços de rede de esgoto, como mostra a Figura 14. Tais dados indicam que os serviços de saneamento básico ao longo da bacia do rio Doce são inadequados na grande maioria dos municípios e atendem mal à população residente. Segundo os dados do SNIS a população atendida com serviços coleta de esgotos na bacia do rio Doce é de 2.046.562 habitantes que, por sua vez, corresponde a apenas 47,71% da população total da bacia. Ou seja, menos de 50% da população da bacia é servida com sistema de coleta de esgotos.

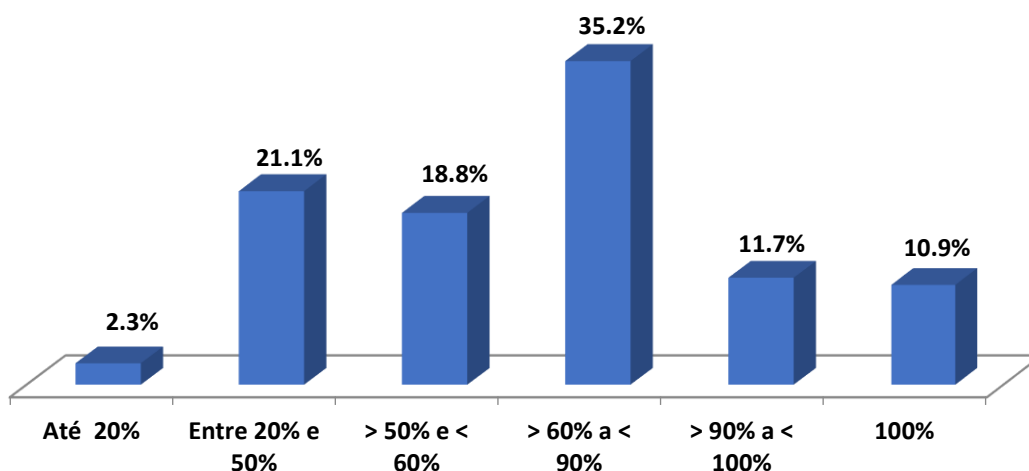


Figura 14. Percentual da população atendida por rede de esgotos nos municípios da bacia do rio Doce com informações disponíveis no SNIS, 2016.

Fonte: Elaborado a partir de dados do SNIS (2016).

Por outro lado, as condições de saneamento ao longo da bacia, em termos de saneamento básico, se tornam ainda mais precárias quando se observa que, além da baixa cobertura em termos da população total atendida pela coleta de esgotos, o percentual de tratamento dos efluentes é muito baixo. Como apresentado na Figura 15, apenas 10 (4,4%) municípios na bacia fazem o tratamento de 100% do esgoto coletado, situação que, no entanto, não significa que o esgoto coletado e tratado corresponde ao total de efluentes gerados. Os municípios que tratam 100% do esgoto coletado são: Araponga, Carmésia, Goiabeira, Itueta, Rio Doce, São Geraldo do Baixio, São José do Goiabal, Senhora de Oliveira e Tumiritinga, em Minas

Gerais, e Rio Bananal no Espírito Santo. Esses 10 municípios que possuem tratamento de 100% do esgoto coletado representam uma população de 71.405 habitantes, correspondendo a apenas 1,66% da população total da bacia. Tais informações são fortes indicadores do nível inexpressível de tratamento de esgotos na bacia do rio Doce, o que levando-se em consideração os seus mais de 4 milhões de habitantes, configura os efluentes urbanos como uma das principais fontes de degradação da bacia, principalmente em termos da qualidade de suas águas.

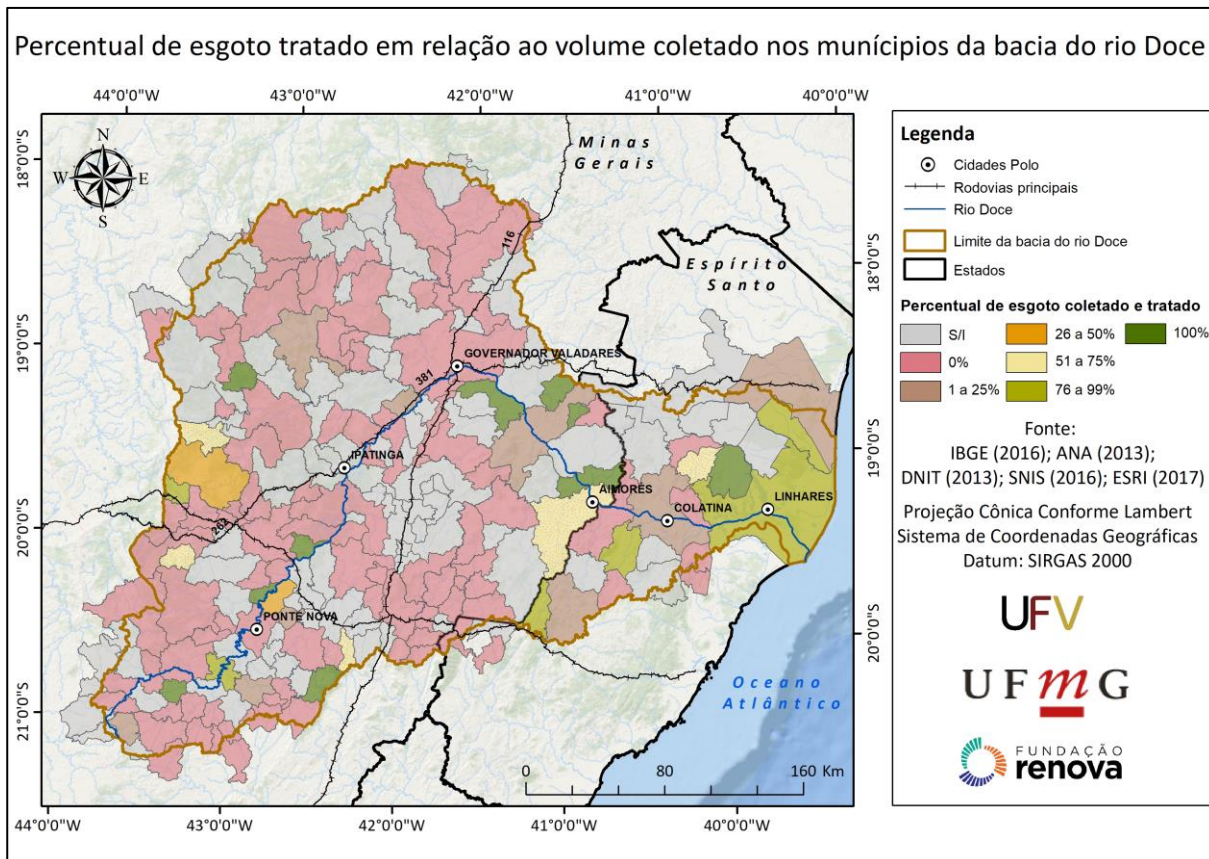


Figura 15. Percentual de esgoto tratado em relação ao volume coletado nos municípios da bacia do rio Doce.

Tomando-se como referência a metodologia adotada pelo SNIS (2016) para o cálculo do índice de tratamento dos esgotos gerados, segundo a qual o volume de esgoto gerado é considerado como igual ao volume de água consumido, excluindo-se o volume de água tratada exportado¹, percebe-se, mais uma vez, que existe uma grande lacuna no tratamento dos esgotos nos municípios da bacia do rio Doce. Segundo essa metodologia, o volume de água consumido, de

¹ Não houve exportação de água pelos municípios da bacia no ano de 2016.

acordo com as informações disponíveis no SNIS para 94 municípios da bacia, foi de cerca de 95.000.000(m³) no ano de 2016, o que, segundo a metodologia adotada pelo Ministério das Cidades, corresponderia a igual volume de esgoto gerado. No entanto, quando se analisam as informações sobre tratamento dos esgotos, observa-se que apenas 31 municípios apresentaram essas informações indicando o tratamento de aproximadamente 12.500.000 (m³) o que, por sua vez, corresponderia a apenas 13% da estimativa de efluentes gerados. Evidentemente que, se considerados os 228 municípios da bacia, o volume de esgoto gerado será muitas vezes superior ao identificado no SNIS (2016), o que torna a situação ainda mais dramática em termos da degradação da bacia do rio Doce em virtude da fragilidade da infraestrutura de saneamento básico nos municípios da região.

Como foi mencionado anteriormente, foram identificados 11 municípios que realizam o tratamento de 100% do esgoto coletado, entretanto, em apenas um município, Senhora de Oliveira, em Minas Gerais, faz-se o tratamento de 100% do esgoto gerado. As melhores situações, correspondendo a mais de 80% de tratamento do esgoto gerado, são encontradas nos municípios de Goiabeira, Itambé do Mato Dentro e Rio Doce, em Minas Gerais, e Rio Bananal no Espírito Santo, que tratam 91%, 86%, 82% e 80% do esgoto gerado, respectivamente.

A Figura 16 apresenta uma síntese da relação entre o volume de esgoto gerado e o volume tratado nos municípios da bacia do rio Doce. Como se pode observar, apesar do elevadíssimo percentual de municípios sem essa informação, apenas 1,8% dos municípios da bacia tratam mais de 75% do esgoto gerado.

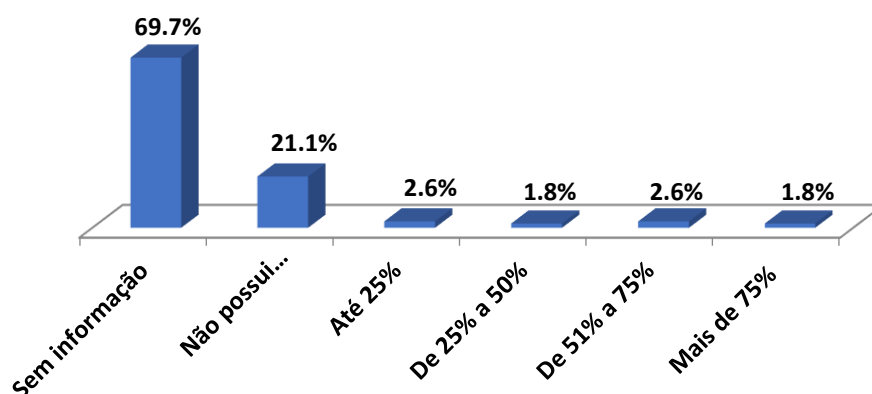


Figura 16. Percentual de esgoto tratado em relação ao volume gerado nos municípios da bacia do rio Doce.

Fonte: Elaborado a partir de dados do SNIS (2016).

De todo modo, apesar das evidências indicarem uma situação bastante precária em termos do tratamento de efluentes ao longo da bacia do rio Doce e de que a maioria dos municípios não possuem sistemas adequados de coleta e tratamento de esgotos, é importante ressaltar os esforços da Agência de Bacia (IBIO) do CBH-Doce na elaboração dos Planos Municipais de Saneamento que, em sintonia com a Lei 11.445, de 05 de janeiro de 2007, e o Plano Nacional de Saneamento, são uma exigência para que os municípios acessem recursos federais para investimentos em sistemas de abastecimento de água, esgoto sanitário, drenagem urbana e infraestrutura para disposição de resíduos sólidos. O CBH-Doce vem desenvolvendo esforços para universalização do acesso aos serviços de saneamento na bacia do rio Doce com seus programas P41 – Programa de Universalização do Saneamento (PMSB) e P11 – Programa de Saneamento da bacia. Nesse contexto, o CBH-Doce está apoiando 161 municípios a elaborar seus Planos Municipais de Saneamento e, dessa forma, obterem recursos federais para investimento, conforme mostra a Figura 17.

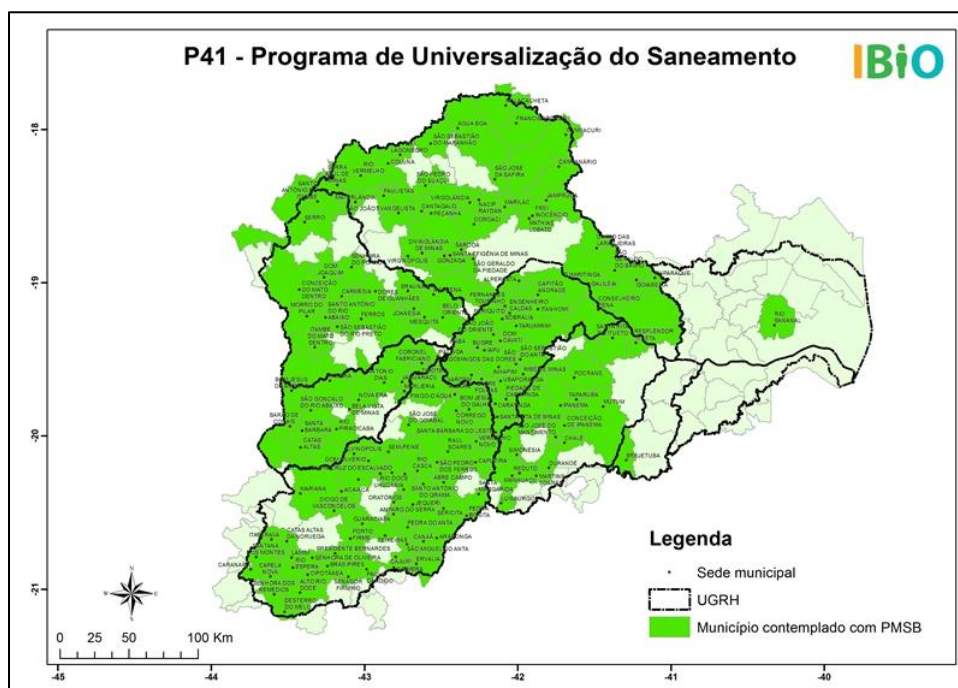


Figura 17. Municípios da bacia do rio Doce apoiados pelo CBH-Doce na elaboração de Planos municipais de Saneamento.

Fonte: CBH-Doce (2018)

A elaboração dos Planos Municipais de Saneamento e a posterior aplicação de recursos na implantação de infraestrutura para coleta e tratamento de esgotos pode, no médio prazo, diminuir os impactos dessa importante fonte de degradação da bacia do rio Doce.

7. CONCENTRAÇÃO INDUSTRIAL

Nas últimas décadas o processo de crescimento industrial no Brasil tem deixado de se concentrar nos grandes e tradicionais polos, geralmente nas regiões metropolitanas das grandes capitais brasileiras, para se distribuir em pequenas e médias cidades. Essa dispersão da concentração industrial tem um efeito positivo do ponto de vista econômico e, até mesmo, demográfico, uma vez que dispersa tanto a população, que deixa de se concentrar nas grandes metrópoles, quanto os ativos e potencialidades econômicas associadas à produção industrial.

Por outro lado, pode ter efeitos perversos no que se refere, entre outros fatores, à degradação ambiental. As análises sobre a concentração ou a formação de aglomerados industriais é feita por diferentes autores, como Suzigan *et al.* (2001), Crocco *et al.* (2002) Crocco e Galinari (2002), Resende e Wyllie (2005), Zissimos (2007), Mattos e Bastos (2008) que, por sua vez, se referem aos aglomerados industriais de diferentes formas, *clusters*, Arranjos Produtivos Locais (APLs), Sistemas Produtivos e Inovativos Locais (SPIL), Configuração Produtiva Local (CPL), mas sempre com foco na dinâmica econômica associada a esses aglomerados.

É importante ressaltar que os aglomerados industriais, a despeito das questões econômicas e demográficas, representam também evidentes elementos de degradação das bacias hidrográficas nos contextos em que se localizam, uma vez que se constituem em fontes geradoras de resíduos sólidos, de efluentes e de gases que, caso não sejam dispostos e tratados adequadamente, se constituem em fatores de degradação ambiental. O processo de concentração industrial tem efeitos potencializadores em relação à degradação de bacias hidrográficas principalmente em contextos onde os níveis de disposição adequada de resíduos sólidos e coleta e tratamento de esgotos são precários, como os observados nos municípios da bacia do rio Doce. Assim, pelo exposto, os aglomerados industriais, nessa medida, são aqui analisados como fatores potenciais de degradação ambiental da bacia do rio Doce.

Uma referência metodológica presente em distintos trabalhos como os de Resende e Wyllie (2005), Zissimos (2007) e Mattos e Bastos (2008) para definição dos aglomerados industriais é o número de trabalhadores no setor industrial em determinados municípios ou região. Para esses autores, o número de trabalhadores representa um nível de desagregação maior do que o número de indústrias, já que apenas o quantitativo de indústrias não dá uma adequada informação sobre dimensão da atividade econômica. Por sua vez, o número de trabalhadores

formais em determinado setor é um indicador efetivo de seu nível de atividade. Isso ocorre porque quanto maior o número de empregados em um determinado setor da economia, mais intensa é sua dinâmica, seja ele industrial, agrícola, comercial ou de serviços. Assim, esses trabalhos utilizam como base de informações para análises dos aglomerados industriais os dados da Relação Anual de Informações Sociais – RAIS do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).

A RAIS se refere a um sistema de informações sobre empregos relacionados ao mercado de trabalho formal (CLT e ESTATUTÁRIO), com periodicidade anual e detalhamento censitário ao nível das empresas. De acordo com informações do MTE, partir do ano base de 2006 a RAIS passou a captar informações segundo a nova classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE 2.0, trazendo informações para 26 subsetores da economia.

Como forma de avaliar o nível de concentração industrial ao longo da bacia do rio Doce foram utilizadas informações presentes na RAIS (2016) relativas a 14 setores industriais listados na CNAE 2.0, para os quais foram analisados o número de empregados em 226² municípios que conformam a área dessa bacia. Os setores da atividade industrial analisados foram:

1. Indústria Extrativa mineral,
2. Indústria de produtos minerais não metálicos,
3. Indústria metalúrgica,
4. Indústria mecânica,
5. Indústria do material elétrico e de comunicações,
6. Indústria do material de transporte,
7. Indústria da madeira e do mobiliário,
8. Indústria do papel, papelão, editorial e gráfica,
9. Indústria da borracha, fumo, couros, peles, similares, indústrias diversas,
10. Indústria química de produtos farmacêuticos, veterinários, perfumaria,
11. Indústria têxtil do vestuário e artefatos de tecidos,
12. Indústria de calçados,
13. Indústria de produtos alimentícios, bebidas e álcool etílico,

² A RAIS (2016) não apresenta registros de atividades de emprego formal nos municípios mineiros de Alto Jequitibá e Matias Lobato,

14. Serviços industriais de utilidade pública.

É importante ressaltar que de acordo com os dados da RAIS (2016) apenas 10 municípios da bacia do rio Doce, todos em território mineiro, não possuem trabalhadores formais registrados em atividades industriais. Os municípios sem atividade industrial formal são: Alvorada de Minas, Conceição de Ipanema, Diogo de Vasconcelos, Fernandes Tourinho, Frei Lagonegro, Joanésia, Mesquita, Naque, Santo Antônio do Rio Abaixo, Sem Peixe. Esses 10 municípios abrigam uma população de 41.563 pessoas representando apenas 0,97% da população total estimada para a bacia do rio Doce em 2016. Por outro lado, 20 municípios, representando 8,7% do total da bacia e 48,2% de sua população total, abrigam 74,7% dos trabalhadores em atividades industriais na bacia do rio Doce o que, conseqüentemente, os aponta como os polos industriais nesse território, como mostram a Figura 18 e o Anexo 7.

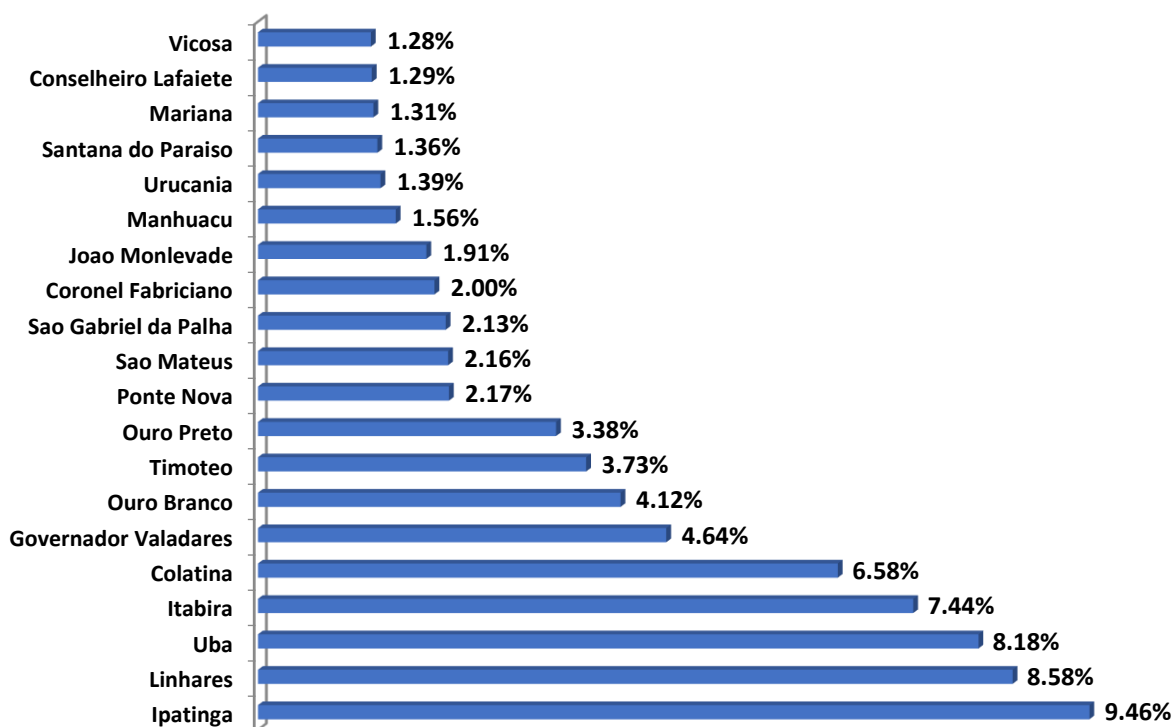


Figura 18. Municípios com maior concentração de atividades industriais, em função do número de empregados, na bacia do rio Doce.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da RAIS (2016).

Como se pode observar pela Figura 18, entre os 20 municípios com maior concentração industrial na bacia do rio Doce 4 são capixabas, Linhares, Colatina, São Mateus e São Gabriel da Palha. Esses 4 municípios capixabas, apesar de representarem apenas 1,75%, abrigam 20%

dos trabalhadores no setor industrial da bacia do rio Doce, o que indica alta atividade industrial nessa porção da bacia com suas eventuais externalidades em termos de produção de gases, efluentes e resíduos sólidos. Os 16 municípios mineiros, entre os 20 com maior atividade industrial, representam apenas 7% do total de municípios, mas são responsáveis por 54% dos trabalhadores empregados nesse setor sendo Ipatinga, Ubá, Itabira e Governador Valadares os mais importantes. Assim, apesar de pulverizada ao longo da bacia, sendo comum a ocorrência de atividades industriais em municípios relativamente pequenos como São Geraldo, em Minas Gerais, com forte atividade na indústria moveleira, ou Marilândia e Alvinópolis, também em território mineiro, com forte atividade no setor têxtil e de vestuário, a atividade industrial está concentrada nesses 20 municípios apresentados na Figura 18. É importante ressaltar que a forte concentração industrial no alto rio Roce, em especial nos municípios de Linhares, Colatina, São Mateus e São Gabriel da Palha, potencializa outros problemas de degradação da qualidade de suas águas, como a disposição inadequada de resíduos sólidos e de esgotos sanitários identificadas ao longo de toda a bacia.

Como mostra a Figura 19, a atividade industrial na bacia do rio Doce além de concentrada em apenas 20 municípios se destaca nas proximidades da calha principal do rio Doce, em especial na região de suas nascentes em virtude das atividades de metalurgia, mineração e minerais não metálicos nos municípios de Mariana, Ouro Preto e Ouro Branco e pela atividade da indústria de alimentos em Ponte Nova. No médio rio Doce pelas mesmas atividades de metalurgia, mineração e minerais não metálicos em Itabira, João Monlevade, Ipatinga e Coronel Fabriciano e pela indústria de alimentos em Governador Valadares. E, ainda, pela concentração nas proximidades de sua foz de atividades da indústria têxtil e de alimentos em Colatina, São Gabriel da Palha e São Mateus e pelas indústrias da madeira e de materiais não metálicos em Linhares.

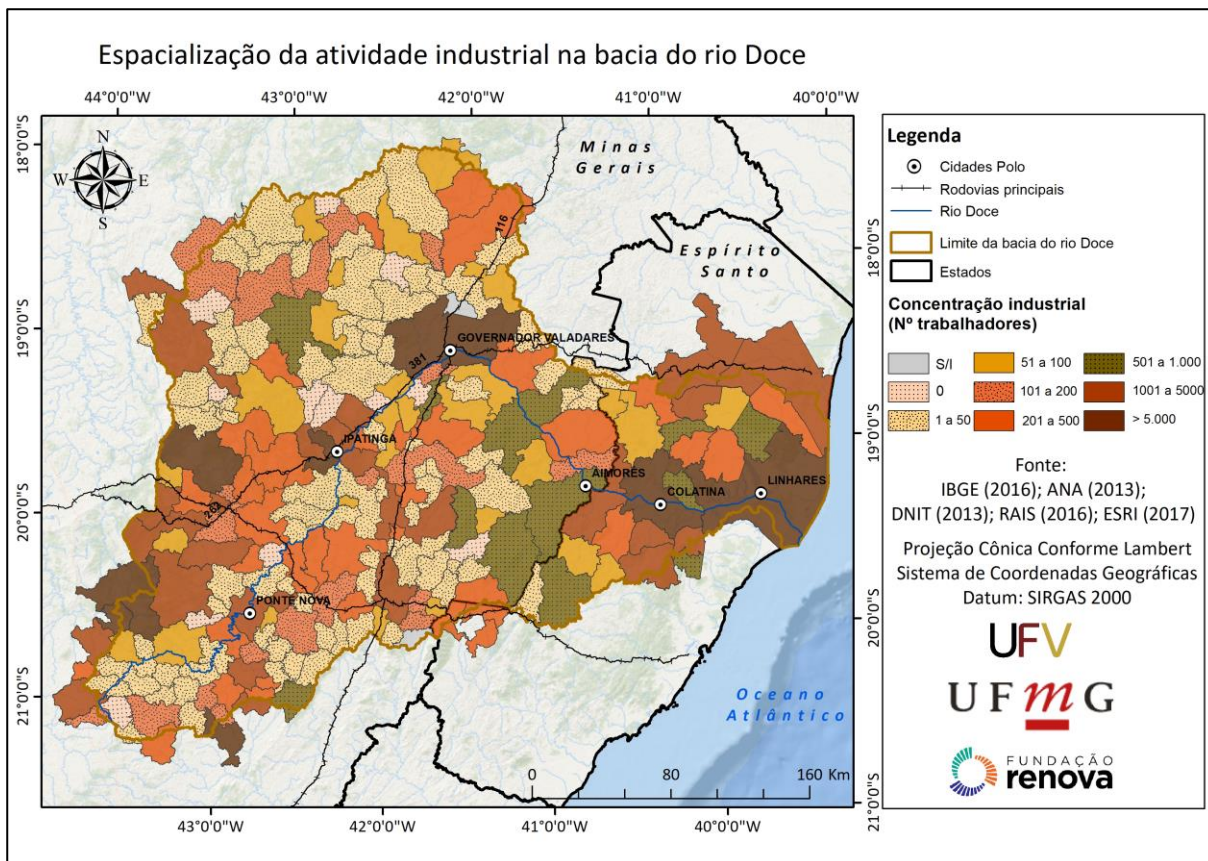


Figura 19. Espacialização da atividade industrial, em função do número de empregados, na bacia do rio Doce.

Além de concentrada espacialmente, a atividade industrial na bacia do rio Doce é mais expressiva em apenas 6 das 14 atividades econômicas listadas pela CNAE 2.0, tendo como base dados da RAIS 2016. Assim, como mostra a Figura 20, essas 6 atividades econômicas concentram 82,5% dos trabalhadores no setor industrial na bacia. Finalmente, é importante ressaltar que essa concentração industrial potencializa as fontes de degradação da bacia, pois os municípios que apresentam atividades produtivas mais intensas, algumas delas com alto potencial de degradação dos recursos hídricos e de intensificação do consumo de água, como a metalurgia, a indústria de alimentos e bebidas, a indústria têxtil e a indústria da madeira, são, também, via de regra, aqueles cujo índice de coleta e tratamento de esgotos, por exemplo, é extremamente baixo ou mesmo inexistente.



Figura 20. Principais setores industriais na bacia do rio Doce considerando o número de empregados.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da RAIS (2016).

Assim, há uma potencialização entre diferentes fontes de degradação, o que demanda ações e políticas públicas bem articuladas para dar um tratamento estrutural e sistêmico para essa questão, a qual não deve ser tratada de forma pontual e isolada ou como um problema restrito a um município ou região, mas como um tema que afeta à bacia em sua integralidade.

8. ESTRADAS RURAIS

As estradas não pavimentadas, também chamadas de estradas vicinais ou estradas rurais, são consideradas como uma das principais fontes de produção de sedimentos, visto que influenciam negativamente nos processos hidrológicos, como: interceptação direta da água pluvial no leito da estrada; diminuição da taxa de infiltração da água no solo e aumento do volume de escoamento superficial, além da concentração do volume escoado em áreas adjacentes ao canal de drenagem da estrada (Forsyth *et al.*, 2006). O aumento das taxas de produção de sedimentos em estradas não pavimentadas pode ocorrer devido à má construção e/ou manutenção destas e ao distúrbio causado por caminhões pesados transportando materiais/produtos agrícolas e florestais (Reid e Dunne, 1984, Megahan *et al.*, 2001; Arnaez *et al.*, 2004).

De acordo com Pruski (2009), o principal agente causador da erosão em estradas não pavimentadas é o escoamento superficial direto, que promove o desprendimento das partículas de solo, que são geralmente transportadas até os cursos de água. Os impactos originados pelo estabelecimento desse processo incluem o assoreamento, a poluição e a interferência na qualidade de vida aquática dos cursos de água (Foltz *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2009; Cao *et al.*, 2009; Corrêa e Cruz, 2010).

O levantamento das estradas rurais na bacia do rio Doce foi realizado utilizando as cartas topográficas vetoriais, na escala de 1:100.000, disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Inicialmente, pretendia-se utilizar as cartas topográficas na escala de 1:50.000, contudo, apenas uma porção da bacia possuía cartas nessa escala. Consequentemente, a escala padronizada foi de 1:100.000. Na Figura 21 podem ser observadas as cartas que foram utilizadas.

Devido à limitação na escala, foi padronizado o uso apenas de estradas vicinais, de denominação “Rodovia não Pavimentada”, excluindo a classe denominada pelo IBGE de “Caminho Carroçável”.

As estradas rurais selecionadas são do tipo Leito Natural e Revestimento Primário. As Estradas de Leito Natural são construídas utilizando como pavimento o próprio solo do local, sem atendimento a quaisquer normas de pavimentação, além de não atender às normas

rodoviárias de projeto geométrico. Neste caso, a superfície de rolamento é o próprio terreno natural, podendo, em alguns casos, receber algum revestimento primário (DNIT, 2007).

Já as vias de revestimento primário possuem uma camada composta por agregados naturais e/ou artificiais, que são aplicados sobre o subleito compactado e regularizado, tendo como função promover melhores condições de tráfego (DER/PR, 2005).

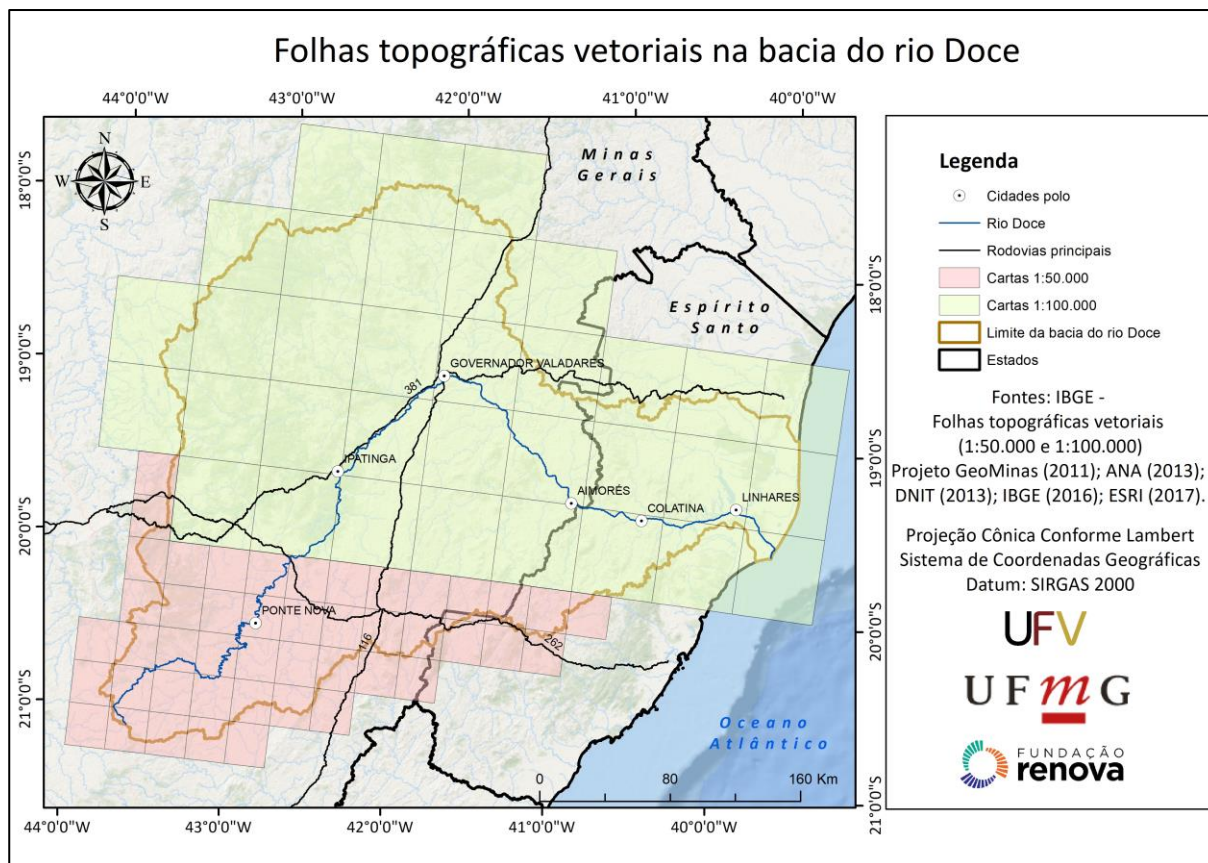


Figura 21 - Folhas topográficas utilizadas para o mapeamento das estradas rurais na bacia do rio Doce.

Após o mapeamento inicial, que consistiu na correção da projeção das folhas e na junção das estradas rurais, foi necessária a atualização das estradas pavimentadas, visto que as folhas topográficas do IBGE foram confeccionadas na década de 1970. Logo, a correção procedeu-se no intuito de mapear as estradas não pavimentadas em 1970 e que atualmente são pavimentadas.

Na Figura 22 é possível visualizar as estradas rurais na bacia do rio Doce, assim como as estradas atualmente pavimentadas, que incluem vias de jurisdição em níveis municipal, estadual e federal.



Figura 22 - Estradas rurais e pavimentadas na bacia do rio Doce.

Atualmente as estradas rurais representam cerca de 83,5% das estradas na bacia do rio Doce, correspondendo a aproximadamente 23.088,2 km de extensão. Sabendo-se do potencial de degradação das estradas rurais e da correlação desse potencial com a declividade do solo, adotou-se a classificação proposta pela Embrapa (1979) com a finalidade de diagnosticar em quais classes de declividade as estradas rurais localizadas na bacia do rio Doce se enquadram.

Ao observar a Tabela 9, nota-se que 41,32% das estradas rurais na bacia do rio Doce encontram-se em áreas com relevo do tipo Forte-Ondulado, com declividades variando de 20 a 75%. Nota-se, também, que 26,39% das estradas rurais encontram-se na classe “Ondulado”, além de aproximadamente 8% na Classe “Montanhoso”. Com base no que foi exposto, atenção especial deve ser dada às estradas rurais, uma vez que praticamente 50% das estradas vicinais da bacia do rio Doce encontram-se em declividades que variam entre 45 e 75%, constituindo em um fator potencial de degradação ambiental da bacia do rio Doce.

Tabela 9 - Classificação das estradas conforme a declividade da bacia do rio Doce

Classes de declividade	Relevo	Porcentagem (%)	Km
0 - 3%	Plano	11,73	2707,39
3 - 8%	Suave - Ondulado	12,18	2811,4
8 - 20%	Ondulado	26,38	6093,7
20 - 45%	Forte - Ondulado	41,32	9540,25
45 - 75%	Montanhoso	8,04	1855,21
> 75%	Forte - Ondulado	0,35	80,24
		100	23088,19

A extensão de estradas nas classes de elevada declividade representa uma preocupação do ponto de vista ambiental, uma vez que se o estado de conservação dessas estradas não for satisfatório a propensão à degradação ambiental é grande, potencializando a erosão hídrica e a produção de sedimentos.

Nesses casos, a geração do escoamento superficial nas estradas associada à declividade potencializa a erosão hídrica, uma vez que, conforme Villela e Matos (1975), a declividade controla boa parte da velocidade do escoamento superficial. Esses mesmos autores enfatizam que a susceptibilidade à erosão depende da velocidade de escoamento das águas pluviais sobre o terreno.

À medida que se identificam estradas rurais com declividades acentuadas e com poucas obras de manutenção e controle de erosão, maior será a desagregação, transporte e deposição de partículas do solo e saprolito. Além disso, ao longo de vários eventos de precipitação e na ausência de manutenção, os filetes de água, que inicialmente, são formados pelo o escoamento superficial, tendem a se acumular, formando canais e concentrando o escoamento. A partir do momento que isso ocorre, a erosão que se caracterizava como laminar, ou seja, apenas sobre a superfície do solo, passa a transportar grandes volumes de materiais soltos, resultando na formação de sulcos e ravinas, podendo até mesmo evoluir para voçorocas.

Algumas regiões da bacia necessitam de maior atenção nesse sentido, devido a concentração de estradas rurais em áreas bastante declivosas. A título de exemplo, na Figura 23 são apresentadas em destaque algumas regiões que possuem elevada declividade e presença de estradas rurais.

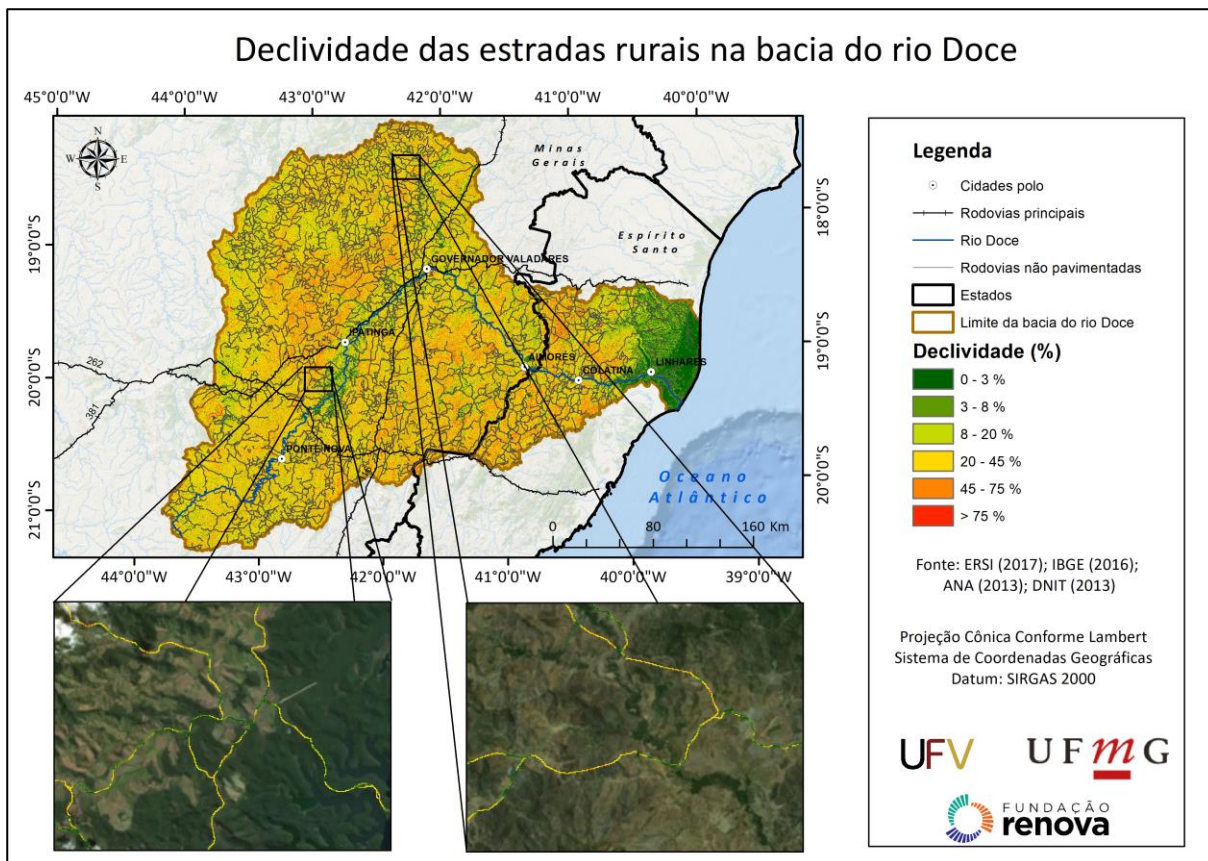


Figura 23 – Detalhe de estradas rurais da bacia do rio Doce localizadas em regiões com declividades elevadas.

Ressalta-se que a para as estradas rurais não foi feito um *ranking* por município, uma vez que em decorrência da escala das cartas utilizadas para o mapeamento, não foi possível mapear estradas rurais de porte menor, além de que a fonte utilizada data da década de 1970. Logo, mesmo considerando as correções realizadas, muitas estradas rurais construídas após o mapeamento não foram contempladas. Dessa maneira, para evitar erros na comparação entre municípios, optou-se pelo não ranqueamento para essa fonte de degradação.

9. QUEIMADAS

O estudo e avaliação das consequências das queimadas no ambiente são fundamentais para mitigar os impactos sobre a fauna, a flora e, principalmente, sobre os solos e suas propriedades, caracterizando-se como uma fonte de degradação relevante. As queimadas afetam diretamente a qualidade do ar, pela emissão de gases, e a qualidade dos solos, volatizando nutrientes e mineralizando a matéria orgânica, fazendo com que ao longo do tempo o solo perca sua fertilidade natural, comprometendo diretamente o crescimento da vegetação (Santos, 2015).

As queimadas podem ser provocadas direta ou indiretamente pelo homem. Em escala global, estima-se que cerca de 90% das queimadas são de origem antrópica, com os 10% restantes relacionados a acidentes ou causas naturais (Andreae e Merlet, 2001). No Brasil, o fogo é utilizado, de modo geral, diretamente para: (i) limpeza de áreas tanto agrícolas quanto florestais; (ii) renovar pastagens; (iii) abrir novas fronteiras agrícolas; (iv) melhorar o manejo de pré-colheita da cultura da cana-de-açúcar; e (v) controlar pragas e doenças em culturas (anuais e perenes) e em manejo pós-colheita (Redin *et al.*, 2011).

Os estudos relacionados às queimadas foram, durante muitas décadas, realizados a partir de experimentos e medições “*in situ*”, porém a cobertura espacial e temporal desse tipo de abordagem é limitada, devido ao dinamismo desse fenômeno (Andreae e Merlet, 2001). Nos últimos anos, com o avanço do sensoriamento remoto orbital, as dificuldades impostas por essas limitações diminuíram, possibilitando a aquisição de informações em nível global de forma sistemática (Ichoku *et al.*, 2012; Ichoku *et al.*, 2008; Hantson *et al.*, 2013).

O estudo e a disponibilização de dados sobre os focos de calor no Brasil são fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desde a década de 1980. Esses dados são provenientes de imagens de sensores a bordo de satélites em órbita polar ou geoestacionária. Podem ser considerados como “focos de calor” os pontos geográficos com temperatura acima de 47°C e área mínima de 30 x 30 m na superfície do solo (Gontijo *et al.*, 2011). Com o avanço da tecnologia desenvolvida acerca de melhorias nos sensores e na manipulação de dados, as informações podem ser disponibilizadas operacionalmente aos usuários com cerca de 20 minutos após as passagens dos satélites. Na Tabela 10 tem-se a relação dos satélites utilizados neste estudo e suas respectivas características.

Tabela 10. Características dos sensores de monitoramento para fins de avaliação dos focos de calor oriundos de queimadas

Satélite	Sensor	Lançamento	Situação Atual	Órbita	Altitude	Resolução Espacial	Resolução Temporal
Aqua	Modis	04/05/2002	Ativo	Polar	705 Km	1 Km	1 A 2 Dias
Terra	Modis	18/12/1999	Ativo	Polar	705 Km	1 Km	1 A 2 Dias

Fonte: INPE (2018b)

Neste estudo foram utilizados todos os dados de focos de calor para a bacia do rio Doce, obtidos por meio dos satélites AQUA e TERRA, disponibilizados no banco de queimadas do INPE (<https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas/>), considerando o período de 2013 a 2017, totalizando 11.359 focos. Ao analisar os focos de calor observou-se que a mesma queimada pode ser representada por mais de um foco, que pode ser devido à passagem de satélites diferentes ou duplicidade do mesmo satélite, quando se trata de cicatrizes maiores ou com presença de fumaça por longas áreas com temperatura compatível com a de captação dos sensores.

Para amenizar a multiplicidade dos focos foram realizados alguns processamentos de identificação, agrupamento e retirada de informações repetidas. Os focos de calor que foram reportados na mesma data e estavam a menos de 1 km (resolução espacial dos satélites) de distância entre si, foram agrupados como sendo um único foco de calor. Por meio desse procedimento, foi possível realizar a exclusão de focos múltiplos, resultando na redução de 4.233 focos de calor (11.359 para 7.156 focos), representando uma diminuição de 37% dos focos. Na Figura 24 apresenta-se o mapa com os focos de calor na bacia do rio Doce, considerando o período analisado de 2013 a 2017.

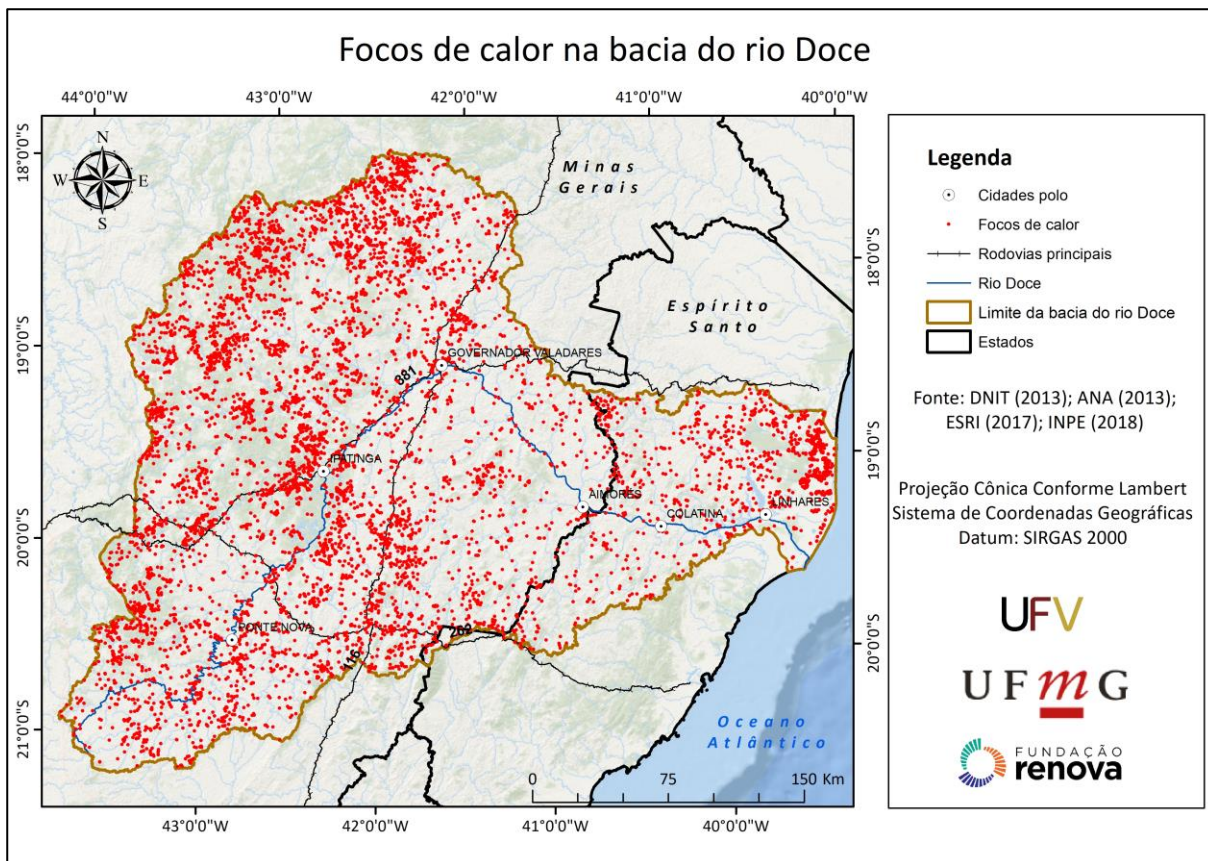


Figura 24. Distribuição dos focos de calor na bacia do rio Doce relativo ao período de 2013 a 2017.

Por meio da análise da distribuição de focos de calor no período analisado (Figura 25), observam-se variações consideráveis no número de focos ao longo dos anos, que pode ser explicado, de maneira geral, pelas variações na precipitação. Com base nos dados de precipitação total anual obtidos no INMET (2018), os anos de 2014 e 2015 foram os mais secos do período analisado, sendo esses os anos com maior número de focos de calor.

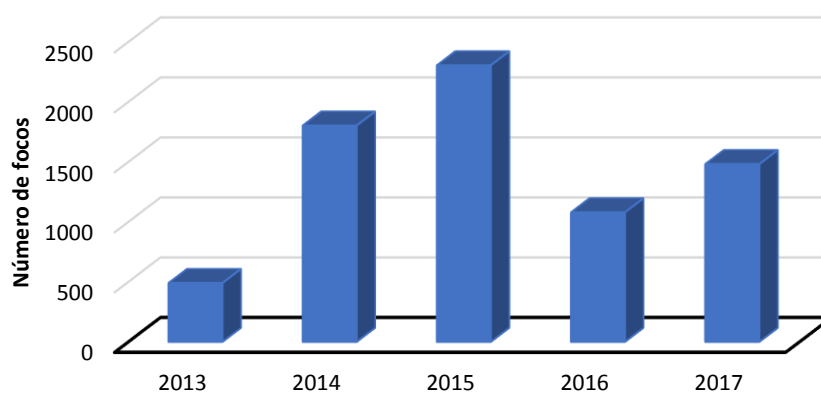


Figura 25. Distribuição de focos de calor na bacia do rio Doce no período de 2013 a 2017.

A Figura 26 apresenta a distribuição de focos de calor nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Observa-se que, apesar do Estado do Espírito Santo possuir a menor porcentagem de focos de calor (15%), ambos os Estados apresentaram uma densidade de focos de, aproximadamente, 0,09 focos/km², o que demonstra a mesma proporção de focos de calor (queimadas) quando consideradas as suas áreas de abrangência dentro da bacia.

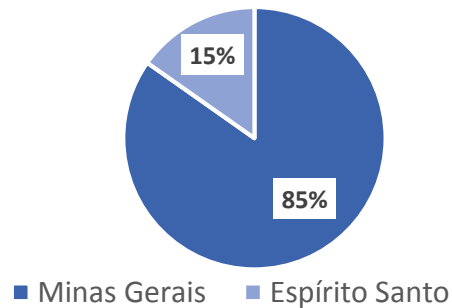


Figura 26. Distribuição dos focos de calor para as áreas dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo pertencentes à bacia do rio Doce.

A partir da base de dados de rodovias federais e estaduais fornecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foi estabelecido um buffer de 3 km ao entorno das rodovias a fim de avaliar a existência de correlação entre as estradas e os focos e calor, analisando-se a distribuição de focos nas regiões das estradas comparativamente ao restante da bacia. Foram detectados 2.296 focos na proximidade das estradas, o que correspondeu a 32% dos focos na bacia.

Outra maneira de avaliar a distribuição das queimadas é por meio do Índice de Densidade de Kernel (IDK), método originalmente desenvolvido para obter estimativas suaves de densidades uni ou multivariadas de observações (Bailey e Gatrell, 1995). Recentemente, também tem sido amplamente utilizado para derivar mapas de calor. Silva *et al.* (2013) ressaltam a importância do estimador Kernel em identificar áreas críticas onde há concentração de focos de calor visando a elaboração de planos de ação estratégicos contra as queimadas. Adotando esse procedimento, é apresentado na Figura 27 o mapa do Índice de Densidade Kernel com um raio de busca de 5 km, para a série de 5 anos de dados (2013 a 2017).

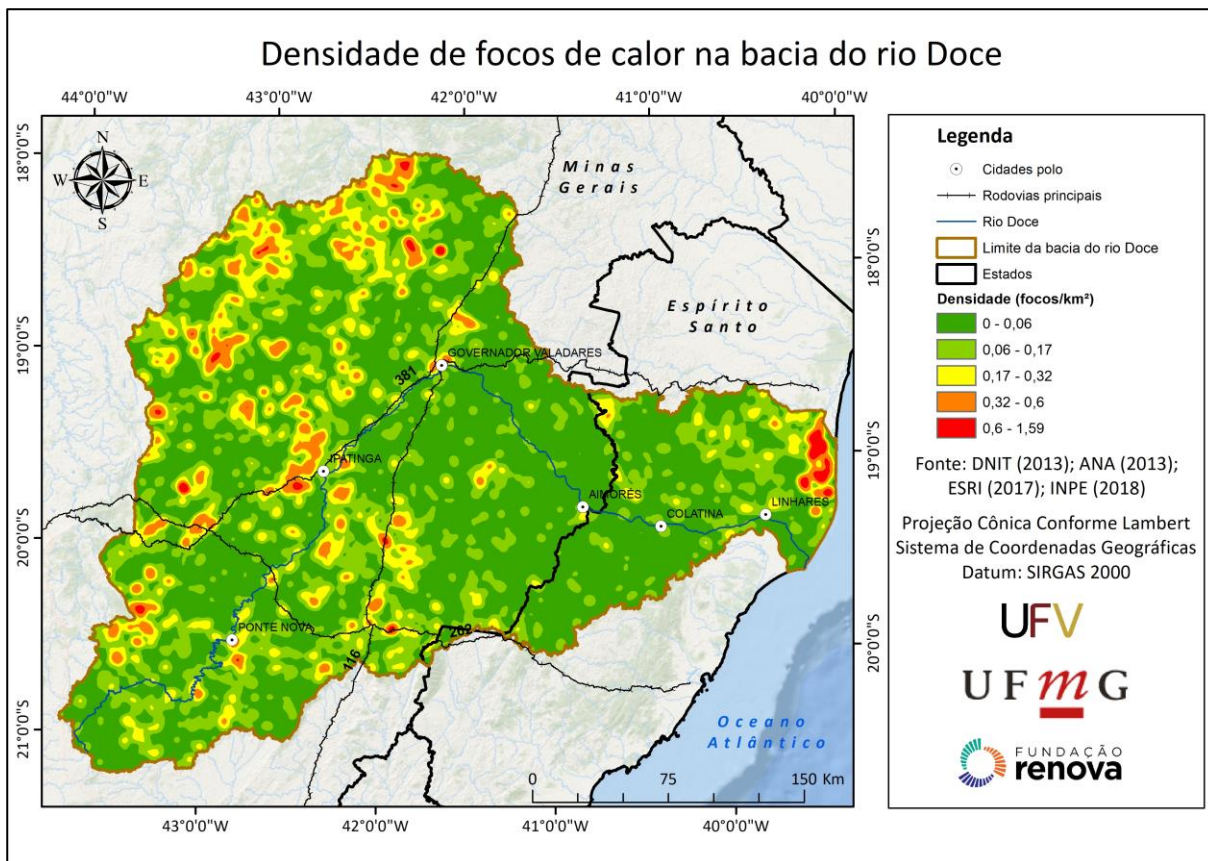


Figura 27. Densidade de Kernel para a bacia do rio Doce com raio de 5 km (2013 a 2017).

Observa-se que 0,5% da área da bacia do rio Doce possui um índice de 0,6 a 1,5 focos de calor por km², que é a classe de maior densidade de focos. É possível analisar, também, que há maior concentração de focos de calor nas porções norte e centro-oeste da bacia, possivelmente devido à proximidade com as Unidades de Conservação (UCs) da bacia, que são grande fonte de biomassa para as queimadas. Importante ressaltar que mais de 20% dos focos ocorreram em áreas de UCs. Observa-se, também, a existência de uma alta densidade de focos de calor na região leste da bacia no período de estudo, que, possivelmente, pode estar diretamente relacionada com à queima de pastagens ou mesmo à limpeza de terrenos (Anexo 8).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREAE, M. O.; MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning, *Global Biogeochemical Cycles*, n. 15, v.4, p. 955-966, 10.1029/2000GB001382, 2001.

ARNAEZ, J., LARREA, V., ORTIGOSA, L. Surface runoff and soil erosion on unpaved forest roads from rainfall simulation tests in northeastern Spain. *Catena* 57, 1–14, 2004.

BERNARDI, A. C. C.; GREGO, C. R.; ANDRADE, R. G.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y. Spatial variability of vegetation index and soil properties in an integrated crop-livestock system. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, p.513-518, 2017.

BRASIL, Ministério das Cidades, Relatório Anual de Informações Sociais – RAIS, 2016. disponível em <https://ces.ibge.gov.br/base-de-dados/metadados/mte/relacao-anual-de-informacoes-sociais-rais.html>

BRASIL. Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF: 02 ago.2010. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> 2010.

BRASIL. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF (2012). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm . Acesso em: abril de 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego, Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, 2016.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego, Diagnóstico do Manejo dos Serviços de Água e Esgotos, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, 2016.

CAO, L.; ZHANG. K.; ZHANG. W. Detachment of road surface soil by flowing water. *Catena*, v.76, p.155-162. 2009.

CBH-DOCE. Programa de universalização do saneamento (PMSB). Comitê de bacia hidrográfica do rio Doce, 2018. Disponível em: <http://www.cbhdoce.org.br/programas-e-projetos/p41-programa-de-universalizacao-do-saneamento>. Acesso em: abril de 2018.

CORRÊA, C. M. C.; CRUZ, J. Erosão real e estimada através de RUSLE em estradas florestais, em relevo ondulado a fortemente ondulado. *Revista Árvore*, v.34, p.587-595, 2010.

CROCCO, M. A., GALINARI, R., SANTOS, F., LEMOS, M. B., SIMÕES, R. Metodologia de Identificação de Arranjos Produtivos Locais Potenciais: Uma Nota Técnica. Belo Horizonte: UFMG/CEDEPLAR, 2002.

CROCCO, M.; GALINARI, R.. Aglomerações Produtivas Locais. In: Minas Gerais do Século XXI. V.6. Cap 3. Belo Horizonte: BDMG, 2002.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO PARANÁ. DER/PR ES-T-07/05. Terraplenagem - Revestimento Primário. Curitiba, 2005.

DIAS, L. C. P.; PIMENTA, F. M.; SANTOS, A. B.; COSTA, M. H.; LADLE, R. J. Patterns of land use, extensification, and intensification of brazilian agriculture. *Glob Chang Biol.*, v.22, p.2887–2903, 2016.

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Planejamento e Programação de Investimentos. Terminologias Rodoviárias Usualmente Utilizadas. Brasília, 2007.

DNPM. Sistema de Informações Geográficas da Mineração. Departamento Nacional de Produção Mineral, 2018. Disponível em: <http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/>. Acesso em: abr. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio de Janeiro. Súmula... Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, 1).

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 2017.

FOLTZ, R. B.; RHEE, H.; ELLIOT, W. J. Modeling changes in rill erodibility and critical shear stress on native surface roads. *Hydrological Processes*, v.22, p.4783-4788, 2008.

FORSYTH, A. R.; BUBB, K. A.; COX, M. E. Runoff, sediment loss and quality from forest roads in a southeast Queensland coastal plain Pinus plantation. *Forest Ecology and Management*, v.221, p.194-206, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2005.09.018>

GONTIJO, A. B; PEREIRA, A. A; OLIVEIRA, D.S.O; JUNIOR, F.W.A; Detecção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de Sensoriamento Remoto. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.7966, 2011.

HANTSON, S.; PADILLA, M.; CORTI, D.; CHUVIECO, E. Strengths and weaknesses of MODIS hotspots to characterize global fire occurrence. *Remote Sensing of Environment*, v.131, n.1,

IBGE. Base Cartográfica Contínua do Brasil na escala 1:250.000, 2013.

IBGE. Folhas topográficas na escala 1:100.000 e 1:50.000. 2016. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/folhas_topograficas/vetoriais/escala_100mil/projeto_conv_digital/. Acesso: abr. 2018.

IBIO. Inteligência geoespacial. Mapa de uso e ocupação da bacia do rio Doce. 2012. Disponível em <http://www.igeo.org.br>. Acesso: abr. 2018.

ICHOKU, C.; GIGLIO, L.; WOOSTER, M.; REMER, L. Global characterization of biomass burning patterns using satellite measurements of fire radiative energy. *Remote Sensing of*

ICHOKU, C.; KAHN, R.; CHIN, M. Satellite contributions to the quantitative characterization of biomass burning for climate modeling. *Atmospheric Research*, v.111, p. 1-28, 2012.

INAES - Instituto Ernesto de Salvo. Estado da arte das pastagens em Minas Gerais. 1 ed., Belo Horizonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2015, 206p.

INMET. Precipitação Total Anual. Monitoramento Climático. Instituto Nacional de Meteorologia, 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/page&page=desvioChuvaAnual/>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

INPE. Banco de Dados de Queimadas. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2018a. Disponível em: <https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas/> . Acesso em: 5 abr. 2018.

INPE. Satélites Aqua e Terra e o Sensor Modis. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2018b. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/modis.html>. Acesso em: 17 abr. 2018.

JAIN, R.; ZENGDI, C. C.; DOMEN, J. K. Environmental Impact of Mining and Mineral Processing: Management, Monitoring, and Auditing Strategies. Butterworth-Heinemann, 2015.

KAGEYAMA PY, GANDARA FB. Resultados do programa de restauração com espécies arbóreas nativas do convênio ESALQ/USP e CESP. In: Galvão APM, Porfírio-da-Silva V, editores. Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso. Colombo: Embrapa; 2005.

LIU, Y., ENGEL, B. A., FLANAGAN, D. C., GITAU, M. W., MCMILLAN, S. K., & CHAUBEY, I. A review on effectiveness of best management practices in improving hydrology and water quality: needs and opportunities. *Science of the Total Environment*, 601, 580-593; 2017.

MATTOS, B. B., BASTOS, S. Q. A., Aglomerações industriais em Minas Gerais: identificação através de distintas bases de dados, ANPEC, 2008. disponível em <http://www.anpec.org.br/encontro2008/artigos/200807202356040-.pdf>

MCDERMOTT, C. L., CASHORE, B., & KANOWSKI, P. Setting the bar: an international comparison of public and private forest policy specifications and implications for explaining policy trends. *Environmental Sciences*, 6(3), 217-237; 2009.

MEA - Millennium Ecosystem Assessment. Millennium ecosystem assessment. ecosystems and human well-being: Synthesis. Washington: Ecosystems and human well-being: Synthesis. Washington: Island Press, 2005, 137p.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no estado de São Paulo. *Revista de Estudos Avançados*, v. 24, n. 68, São Paulo, 2010.

MEGAHAN, W.F., WILSON, M., MONSEN, S. Sediment production from granitic cutslopes on forest roads in Idaho, USA. *Earth Surf. Processes Landforms* 26, 153–163, 2001.

MONTEIRO, J. H. P., *et al.* Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

OSBORNE, L. L., & KOVACIC, D. A. Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management. *Freshwater biology*, 29(2), 243-258; 1993.p. 152-159, 2013.

PRUSKI, F. F. Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Universidade Federal de Viçosa, 2009.

REDIN, M.; MIGUEL, P.; DENEGA, G. L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; LORENSI DE SOUZA, E.; SANTOS, G. D. F. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. *Ciência Florestal*, v. 21, n. 2, 2011.

REID, L.M., DUNNE, T. Sediment production from forest road surfaces. *Water Resour. Res.* 20 (11), 1753–1761., 1984.

RESENDE, M., WYLLIE, R., Aglomeração industrial no Brasil: um estudo empírico, *Estudos Econômicos*, São Paulo, 35(3): 433-460, jul -set 2005.

ROCHA JUNIOR, P. R.; ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; DONAGEMMA, G. K.; FERNANDES, R. B. A.; BHATTARA, R. KALITA, P. K. Soil, water and nutrient losses from management alternatives for degraded pasture in brazilian atlantic rainforest biome. *Sci Total Environ.*, v.583, p.53-63, 2017.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J.; A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Earth technology satellite symposium*, 3, 1973, Washington. *Proceedings*. Washington: NASA, v.1, p.309-317, 1973.

SAMUEL, P. R. da S., Alternativas sustentáveis de tratamento de esgotos sanitários urbanos, através de sistemas descentralizados, para municípios de pequeno porte. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 2011.

SANTOS, E. E. Uso da Geotecnologia na Detecção e Espacialização de Queimadas no Estado de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, 2015.

SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES, M.; ALENCAR, M. "Cracking Brazil's forest code." *Science*, 344(6182), 363-364; 2014.

SUZIGAN, W.; FURTADO, J.; GARCIA, R.; SAMPAIO, S. E. K. Aglomerações Industriais no Estado de São Paulo. *Revista de Economia Aplicada*, São Paulo, v. 5, n. 14, p. 695-717, 2001.

USGS. Earth Explorer. 2018. Disponível em <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso: abr. 2018.

VAN OUDENHOVEN A. P. E.; VEERKAMP, C. J.; ALKEMADE, R.; LEEMANS, R. Effects of different management regimes on soil erosion and surface runoff in semi-arid to sub-humid rangelands. *J Arid Environ.* Elsevier Ltd. v.121, p.100-111, 2015.

VILLELA, S. M.; MATOS, A. *Hidrologia Aplicadas*. São Paulo: McGraw – Hill do Brasil. 245p., 1975.

ZHANG, Z.; LIU, S.; DONG, S.; FU, W.; CUI, B. Spatio temporal analysis of different levels of road expansion on soil erosion distribution: A case study of Fengqing county, Southwest China. *Frontiers of Earth Science in China*, v.3, p.389-396, 2009.

ZISSIMOS, I. R. M. Métodos de Identificação e de Análise de Configurações Produtivas Locais: Uma Aplicação no Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 178p. Tese de Doutorado. Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

ANEXOS

Anexo 1. Uso da terra em APP ripária nos municípios do CBH-Doce (seleção dos municípios com maior % de área antropizada)

Município	Área antropizada (ha)	Área edificada (ha)	Área de vegetação nativa (ha)	Silvicultura (ha)	Área total (ha)	APP ripária antropizada (%)
Fernandes Tourinho	1140,2	8,1	32,8	0,5	1182,0	96,0
Engenheiro Caldas	1468,3	18,8	98,5	0,0	1586,0	93,0
Alpercata	2065,7	9,9	178,7	0,0	2254,0	92,0
Jampruca	3916,7	0,0	400,5	0,8	4318,0	91,0
Piedade De Ponte Nova	905,3	8,3	74,2	10,5	998,0	91,0
Divino Das Laranjeiras	2869,0	21,5	291,2	0,7	3182,0	90,0
Itanhomi	4234,5	14,1	441,0	0,0	4690,0	90,0
Matipó	3266,1	27,7	330,2	12,1	3636,0	90,0
Vargem Alegre	859,6	12,1	80,1	2,2	954,0	90,0
Mantenópolis	3368,2	23,6	325,6	19,4	3737,0	90,0
São Domingos Do Norte	2555,5	9,9	242,5	32,2	2840,0	90,0
Cuparaque	1818,5	13,8	217,4	0,3	2050,0	89,0
Entre Folhas	727,5	1,9	86,3	3,5	819,0	89,0
Goiabeira	904,3	6,7	110,0	0,3	1021,0	89,0
Mathias Lobato	1545,1	5,0	174,6	4,9	1730,0	89,0
São Gabriel Da Palha	3634,0	37,7	366,3	59,1	4097,0	89,0
Canaã	1968,3	5,0	253,6	20,0	2247,0	88,0
Santa Margarida	2935,6	15,4	337,7	37,5	3326,0	88,0
São João Do Oriente	828,6	6,1	107,2	0,0	942,0	88,0
Sobralia	1365,2	8,6	168,2	0,4	1543,0	88,0
Urucânia	1498,8	5,5	204,3	2,6	1711,0	88,0
Alto Rio Novo	2382,2	11,9	312,6	13,0	2720,0	88,0
Governador Lindenberg	2930,4	18,3	309,6	56,3	3315,0	88,0
Caputira	2013,9	8,6	283,8	17,0	2323,0	87,0
Luisburgo	1882,3	7,1	239,2	46,3	2175,0	87,0

Anexo 2. Uso da terra em APP de topo de morro nos municípios do CBH-Doce (seleção dos municípios com maior % de área antropizada)

Município	Área antropizada (ha)	Área de vegetação nativa (ha)	Silvicultura (ha)	Área total (ha)	APP de topo de morro antropizada (%)
Fernandes Tourinho	671,0	14,9	0,4	686,0	98,0
Mathias Lobato	418,1	15,7	0,0	434,0	96,0
Alpercata	667,7	34,8	0,0	716,0	93,0
Engenheiro Caldas	629,8	81,0	0,0	711,0	89,0
Frei Inocêncio	1594,7	202,8	0,2	1798,0	89,0
Cristiano Otoni	964,6	138,0	12,5	1115,0	87,0
São Sebastião Do Anta	427,9	62,0	0,1	490,0	87,0
Sobralia	1015,2	146,3	0,0	1162,0	87,0
Dom Cavati	724,1	113,3	3,4	841,0	86,0
Jampruca	3911,4	646,4	0,0	4558,0	86,0
São João do Oriente	531,6	104,9	0,0	636,0	84,0
Mantenópolis	2083,1	387,1	16,7	2488,0	84,0
Bugre	622,9	133,0	1,8	759,0	82,0
Itanhomi	3215,3	700,5	0,0	3918,0	82,0
São Geraldo	962,6	140,8	72,1	1175,0	82,0
São Geraldo do Baixo	1160,1	221,6	28,4	1421,0	82,0
São Mateus	1885,2	391,9	10,8	2293,0	82,0
Divino Das Laranjeiras	2098,9	457,8	0,0	2579,0	81,0
Marilac	673,3	152,3	7,0	833,0	81,0
Baixo Guandu	4829,8	946,3	106,3	5974,0	81,0
São Domingos do Norte	1955,4	244,1	119,4	2409,0	81,0
Goiabeira	784,0	115,3	0,0	977,0	80,0
Santa Rita De Minas	423,9	100,6	3,9	528,0	80,0
Governador Valadares	10666,9	2832,8	70,5	13583,0	79,0
Resplendor	5081,9	1298,3	46,4	6436,0	79,0

Anexo 3. Nível de degradação dos municípios do CBH-Doce (seleção dos municípios com maior % de agroecossistemas intensamente degradados e degradados)

Município	Agroecossistemas intensamente degradados (%)	Agroecossistemas degradados (%)	Agroecossistemas moderadamente degradados (%)	Agroecossistemas conservados (%)
São Geraldo do Baixo	2,5	93,7	3,7	0,1
Resplendor	2,5	90,6	6,7	0,2
Goiabeira	2,3	90,5	7,0	0,2
Cuparaque	0,7	89,2	9,4	0,7
Divino das Laranjeiras	1,7	86,1	11,7	0,4
Galiléia	1,9	85,3	12,3	0,4
Itueta	1,6	85,0	12,4	1,1
Tumiritinga	2,5	83,1	15,2	0,7
Capitão Andrade	0,8	81,7	15,2	0,9
Engenheiro Caldas	2,3	77,9	18,5	1,3
Conselheiro Pena	1,8	77,9	16,5	3,8
Itanhomi	1,4	76,2	20,7	1,7
Aimorés	0,9	76,0	20,7	2,4
Campanário	4,2	73,9	22,1	2,4
Pocrane	0,6	71,7	23,8	1,7
Jampruca	2,2	71,3	25,2	1,7
Itambacuri	3,7	71,2	23,6	3,5
Baixo Guandu	1,9	70,9	23,4	4,0
Mathias Lobato	0,3	70,8	25,4	2,7
Fernandes Lourinho	1,1	70,7	24,5	3,6
Colatina	2,9	70,7	24,8	3,3
Vargem Alegre	1,2	70,6	26,6	1,7
Sobralia	0,4	70,3	26,1	2,3
Tarumirim	0,6	69,2	26,3	2,3
Entre Folhas	0,8	69,2	25,8	3,1

Anexo 4. Processo minerários nos municípios do CBH-Doce (seleção dos municípios com maior densidade de processos minerários por área)

Bauxita*		Ferro*	
Municípios	(Processos/Km ²)	Municípios	(Processos/Km ²)
Santa Bárbara	0,0081	Barão De Cocais	0,0554
Simonésia	0,0068	Santa Bárbara	0,0340
Barão De Cocais	0,0065	Catas Altas	0,0230
Mariana	0,0056	Ouro Branco	0,0206
Dores Do Turvo	0,0048	Rio Piracicaba	0,0178
Catas Altas	0,0046	São Gonçalo Do Rio Abaixo	0,0152
Ouro Preto	0,0040	Ouro Preto	0,0100
Brejetuba	0,0031	Mariana	0,0074
Manhuaçu	0,0018	Guanhães	0,0062
		Morro Do Pilar	0,0046
		Itabira	0,0044
		Senhora Do Porto	0,0029
		Antônio Dias	0,0028
		Sabinópolis	0,0024
		Santa Maria De Itabira	0,0018
		Serro	0,0017
Calcário*		Gemas	
Municípios	(Processos/Km ²)	Municípios	(Processos/Km ²)
Caranaíba	0,0139	São José Da Safira	0,0463
Ouro Preto	0,0040	Nova Era	0,0183
		Ouro Preto	0,0161
		Brás Pires	0,0099
		Goiabeira	0,0098
		São Geraldo Do Baixo	0,0079
		Conselheiro Pena	0,0074
		Galiléia	0,0061
		Antônio Dias	0,0056
		Governador Valadares	0,0047
		Alvarenga	0,0040
		Santa Maria De Itabira	0,0037
		Divino Das Laranjeiras	0,0032
		Tarumirim	0,0030
		Dores De Guanhães	0,0029
		Itabira	0,0026
		Itanhomi	0,0023
		Mariana	0,0019
		Santa Maria Do Suaçuí	0,0018
		Franciscópolis	0,0015
		Sabinópolis	0,0012
		Resplendor	0,0010
		Ferros	0,0010
		Caratinga	0,0009
		Conceição Do Mato Dentro	0,0008
Caulim*			
Municípios	(Processos/Km ²)		
Ubá	0,0133		
João Monlevade	0,0112		
Vermelho Novo	0,0096		
São Miguel Do Anta	0,0073		
Brás Pires	0,0050		
Águia Branca	0,0025		
Santa Maria De Itabira	0,0018		
Itabira	0,0009		
Manganês*			
Municípios	(Processos/Km ²)		
Ouro Branco	0,0206		
Dom Silvério	0,0057		
Santa Bárbara	0,0049		
Ouro Preto	0,0020		
Metais*			
Municípios	(Processos/Km ²)		
Alvorada De Minas	0,0089		
Ipanema	0,0048		
Serro	0,0033		

Cont...

... Continuação

Material De Construção	
Municípios	(Processos/Km ²)
São João Do Oriente	0,0828
Engenheiro Caldas	0,0826
Pingo D'água	0,0498
Oratórios	0,0497
Timóteo	0,0459
São Mateus	0,0448
Cipotânea	0,0433
Ipanema	0,0412
Brás Pires	0,0347
Taparuba	0,0344
Alpercata	0,0330
Rio Doce	0,0296
Ipaba	0,0293
Santana Do Manhuaçu	0,0287
Porto Firme	0,0272
Jaguaraçu	0,0270
Conceição De Ipanema	0,0261
Guaraciaba	0,0254
Jaguaré	0,0242
Presidente Bernardes	0,0234
Linhares	0,0232
Ervália	0,0220
Reduto	0,0219
Belo Oriente	0,0198
Colatina	0,0195

Rochas Ornamentais	
Municípios	(Processos/Km ²)
Nova Venécia	0,0278
Afonso Cláudio	0,0188
Itaguaçu	0,0186
Baixo Guandu	0,0145
Governador Lindenberg	0,0123
Colatina	0,0101
Rio Doce	0,0099
Águia Branca	0,0098
Santo Antônio Do Grama	0,0085
São João Do Manhuaçu	0,0077
São Domingos Do Norte	0,0074
Reduto	0,0073
Pancas	0,0067
Brejetuba	0,0063
Itueta	0,0049
Matipó	0,0041
Santana Do Paraíso	0,0040
São Domingos Do Prata	0,0030
Dores De Guanhões	0,0029
São Gabriel Da Palha	0,0025
Campanário	0,0025
Ponte Nova	0,0024
Alto Rio Doce	0,0021
Mariana	0,0019
Mutum	0,0018

Ouro	
Municípios	(Processos/Km ²)
Santa Bárbara	0,0194
Sabinópolis	0,0072
Porto Firme	0,0039
Barão De Cocais	0,0033
São Pedro Dos Ferros	0,0027
Mariana	0,0009
Conselheiro Pena	0,0007

Talco*	
Municípios	(Processos/Km ²)
Ouro Branco	0,0308
Caranaíba	0,0069
Ouro Preto	0,0060

Outros	
Municípios	(Processos/Km ²)
Mercês	0,0238
Ouro Preto	0,0161
Catas Altas	0,0138
Ouro Branco	0,0103
Bela Vista De Minas	0,0101
Lamim	0,0093
São Gonçalo Do Rio Abaixo	0,0091
Matipó	0,0083
Cipotânea	0,0072
São João Evangelista	0,0069
Frei Lagonegro	0,0066
Barão De Cocais	0,0065
João Neiva	0,0060
Rio Piracicaba	0,0059
São José Da Safira	0,0051
Santa Bárbara	0,0049
Ponte Nova	0,0047
Mariana	0,0046
Paula Cândido	0,0041
Nova Era	0,0031
Virginópolis	0,0025
Simonésia	0,0023
São Sebastião Do Maranhão	0,0021
Coroaci	0,0019
Itabira	0,0018

*Processos minerários que são encontrados em menos de 25 municípios do CBH-Doce.

Anexo 5. Disposição dos resíduos sólidos nos municípios do CBH-Doce

<u>Município</u>	<u>Disposição resíduo sólido</u>
Alto Jequitibá	Lixão
Coroaci	Lixão
Franciscópolis	Lixão
Frei Inocêncio	Lixão
Ipaba	Lixão
Itanhomi	Lixão
Itaverava	Lixão
Jampruca	Lixão
Matipó	Lixão
Ponte Nova	Lixão
São Domingos do Norte	Lixão
São Gerado do Baixo	Lixão
São Sebastião do Anta	Lixão
São Sebastião do Maranhão	Lixão
Senhora dos Remédios	Lixão
Teixeiras	Lixão

Anexo 6. Porcentual do esgoto coletado e tratado nos municípios do CBH-Doce (seleção dos municípios com menor porcentagem)

Município	Esgoto coletado e tratado (%)	Município	Esgoto coletado e tratado (%)
Acaiaca	0%	Jaguaraçu	0%
Água Boa	0%	Jequeri	0%
Alpercata	0%	João Monlevade	0%
Alto Jequitibá	0%	João Neiva	0%
Alto Rio Doce	0%	Lajinha	0%
Alvarenga	0%	Lamim	0%
Alvorada de Minas	0%	Luisburgo	0%
Baixo Guandu	0%	Manhuaçu	0%
Barão de Cocais	0%	Manhumirim	0%
Bela Vista de Minas	0%	Mariana	0%
Belo Oriente	0%	Marilac	0%
Bom Jesus do Galho	0%	Marilândia	0%
Brás Pires	0%	Marliéria	0%
Cajuri	0%	Materlândia	0%
Capela Nova	0%	Mercês	0%
Caputira	0%	Mesquita	0%
Caranaíba	0%	Nacip Raydan	0%
Catas Altas da Noruega	0%	Naque	0%
Chalé	0%	Nova Era	0%
Cipotânea	0%	Ouro Preto	0%
Coimbra	0%	Paulistas	0%
Conceição de Ipanema	0%	Peçanha	0%
Congonhas do Norte	0%	Piranga	0%
Córrego Novo	0%	Pocrane	0%
Cuparaque	0%	Ponte Nova	0%
Diogo de Vasconcelos	0%	Raul Soares	0%
Dionísio	0%	Reduto	0%
Divinésia	0%	Rio Vermelho	0%
Divinolândia de Minas	0%	Sabinópolis	0%
Dom Cavati	0%	Santa Bárbara	0%
Dom Joaquim	0%	Santa Maria de Itabira	0%
Dom Silvério	0%	Santana do Manhuaçu	0%
Dores do Turvo	0%	Santana dos Montes	0%
Durandé	0%	Santo Antônio do Rio Abaixo	0%
Engenheiro Caldas	0%	São Domingos do Norte	0%
Entre-Folhas	0%	São Domingos do Prata	0%
Ervália	0%	São Geraldo	0%
Ferros	0%	São Gonçalo do Rio Abaixo	0%
Franciscópolis	0%	São João Evangelista	0%
Frei Inocêncio	0%	São José da Safira	0%
Frei Lagonegro	0%	São José do Mantimento	0%
Gonzaga	0%	São Miguel do Anta	0%
Governador Valadares	0%	São Pedro do Suaçuí	0%
Iapu	0%	Sem-Peixe	0%
Ibiraçu	0%	Senador Firmino	0%
Ipaba	0%	Sericita	0%
Ipanema	0%	Simonésia	0%
Itambacuri	0%	Tarumirim	0%
Itarana	0%	Ubá	0%
Lúna	0%	Vermelho Novo	0%
		Virginópolis	0%

Obs. Esses 101 municípios não tratam o esgoto coletado. Existem outros 95 municípios para os quais não foram disponibilizadas informações no SNIS (2016).

Anexo 7. Concentração industrial nos municípios da CBH-DOCE (seleção dos municípios com o maior número de trabalhadores)

Município	Trabalhadores
Ipatinga	17587
Linhares	15942
Ubá	15211
Itabira	13832
Colatina	12239
Governador Valadares	8618
Ouro Branco	7654
Timóteo	6927
Ouro Preto	6292
Ponte Nova	4031
São Mateus	4013
São Gabriel da Palha	3963
Coronel Fabriciano	3726
João Monlevade	3554
Manhuaçu	2908
Urucânia	2587
Santana do paraíso	2520
Mariana	2437
Conselheiro Lafaiete	2403
Viçosa	2384
Nova Venécia	2382
Caratinga	2323
Belo Oriente	2200
Conceição do Mato Dentro	1979
São Geraldo	1896

Anexo 8. Focos de calor nos municípios do CBH-Doce (seleção dos municípios com maior densidade de focos de calor)

Município	Densidade (focos/km ²)
João Monlevade	0,4015
Timóteo	0,3598
São Mateus	0,3022
Bela Vista De Minas	0,2634
Ipatinga	0,2479
Rio Vermelho	0,2414
Santana do Paraíso	0,2401
Senhora do Porto	0,2372
Jaguaré	0,2352
Pingo D'água	0,2325
José Raydan	0,2313
Coronel Fabriciano	0,2297
Mesquita	0,2289
Água Boa	0,2278
São Sebastião Do Maranhão	0,2193
São José Da Safira	0,2162
Ouro Preto	0,2149
Ipaba	0,2146
Congonhas Do Norte	0,2136
Ubaporanga	0,2105
Dom Joaquim	0,2075
Córrego Novo	0,2046
São Pedro Do Suaçuí	0,2037
Materlândia	0,2003
Manhuaçu	0,1867