

Valoração de dano ocasionado pelo lançamento de esgotos sanitários *in natura* gerados em Divinópolis/MG no rio Itapecerica e correspondente medida de compensação ambiental³⁶

Alexandra Fátima Saraiva Soares

RESUMO: Este trabalho apresenta metodologia de valoração e compensação ambiental utilizada no caso de poluição hídrica ocasionada pelo lançamento irregular de esgoto sanitário. Para o cálculo do valor de uso direto, considerou-se o preço público unitário do uso do recurso hídrico para fins de lançamento de efluentes apresentado pelo comitê da bacia hidrográfica considerada. Para o cálculo do valor de uso indireto, utilizou-se o conceito de energia, que corresponde à energia solar que foi previamente requerida de forma direta ou indireta para produzir o recurso hídrico afetado. Entende-se que o fato de o principal responsável pelo dano neste caso constituir ente público, a obrigação de fazer é a mais adequada. A metodologia de valoração resultou em um *quantum debeatur* anual equivalente a R\$10.870.655,65 pelos danos ocasionados aos recursos hídricos devido ao lançamento de esgotos sanitários não tratados e gerados na cidade mineira de Divinópolis. Esse valor corresponde ao reflorestamento de uma área de 344,44 hectares, que foi sugerida como medida de compensação para recuperar matas ciliares situadas na sub-bacia hidrográfica do Rio Itapecerica, onde o dano ocorreu.

36 Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola Superior Dom Helder Câmara e ao Centro de Estudos e Aperfeiçoamento Funcional do Ministério Público do Estado de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de especialista em Direito Ambiental e Sustentabilidade. Orientadora: Beatriz Souza Costa. Banca examinadora: Maria Maraluce Custódio e Lyssandro Norton Siqueira. 2019 (SARAIVA SOARES, 2019).

PALAVRAS-CHAVE: Valoração ambiental. Compensação ambiental. Poluição hídrica. Esgoto sanitário. Dano ambiental. Serviço ecossistêmico.

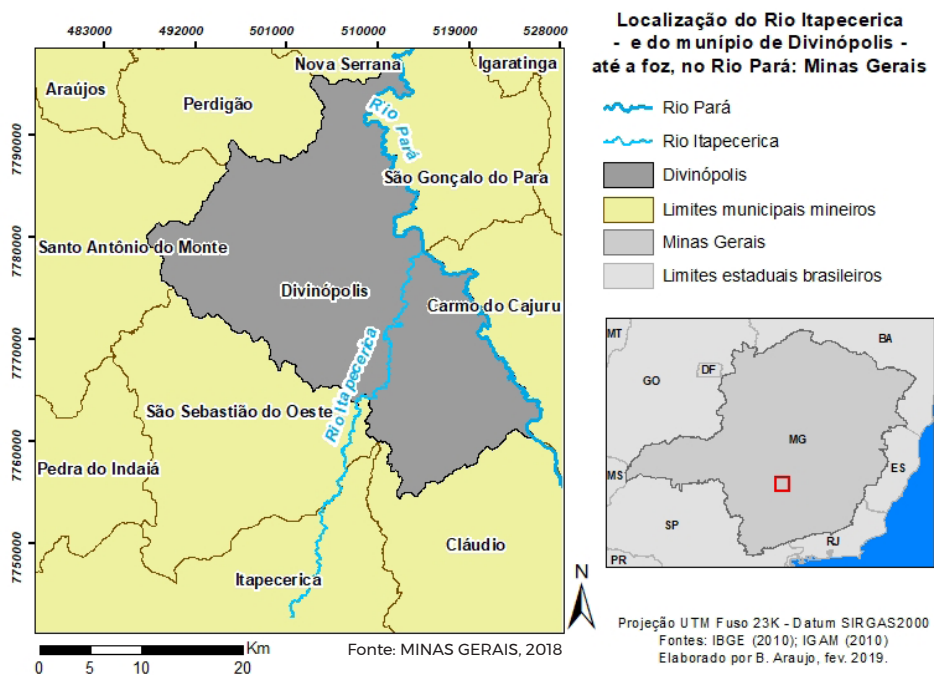
Metodologia

Trata-se de pesquisa quantitativa e aplicada, com adoção do procedimento de estudo de caso para demonstrar a metodologia proposta. O método utiliza a formulação do Valor Econômico do Recurso Ambiental, incluída pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 14.653-6:2008 (versão corrigida 2009), e considera o valor de uso direto e o valor de uso indireto dos recursos hídricos afetados.

Caracterização da área de estudo

O município mineiro de Divinópolis, fundado em 1767, situa-se no oeste do estado e representa a maior cidade da mesorregião do oeste de Minas Gerais e da microrregião de mesmo nome. Próximo à região metropolitana de Belo Horizonte, da qual está a cerca de 120 quilômetros, Divinópolis é cortada por dois rios: Rio Itapecerica e Rio Pará. (NOGUEIRA, 2016; IBGE, 2019)

Figura 1 - Mapa de localização de Divinópolis em Minas Gerais.



Segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população de Divinópolis, em 2018, era de 235.977 habitantes, sendo o mais populoso município da mesor-região do Oeste de Minas e o 12.º mais populoso de Minas Gerais. Com pouco mais de 708 quilômetros quadrados de área, a cidade é reconhecida como polo da moda do estado de Minas Gerais devido à alta concentração de indústrias do ramo confeccionista e têxtil. (IBGE, 2019)

Divinópolis dispõe de uma rede coletora de esgotos sanitários que atende a 85,8% da população, e o tratamento desses efluentes abrange apenas 2,1% dos divinopolitanos. (ANA, 2013)

Os esgotos sanitários, sem tratamento prévio e gerados na área urbana de Divinópolis, são lançados no Rio Itapecerica, afluente do Rio Pará. A bacia hidrográfica do Rio Pará compõe a bacia do Rio São Francisco, cuja área é de 12.233,06 km², correspondendo a 5,22% do território da bacia do Rio São Francisco. (CBHSF, 2019)

O Rio Itapecerica está entre os seus principais contribuintes, com uma velocidade média de 0,2m/s e vazão ($Q_{7,10}$) de 11,18m³/s. A altitude média é de aproximados 808m, com altitude mínima de 588m para seu exutório e máxima de 1.008m. (CBHSF, 2019; SOUSA, 2016; SIAM, 2007)

A montante da confluência com o Rio Itapecerica, na sub-bacia do Rio Pará, estão à MARGEM ESQUERDA os municípios de Desterro de Entre Rios, Passa Tempo, Carmópolis de Minas e à MARGEM DIREITA Piracema, Itaguara e Carmo do Cajuru. Já na sub-bacia do Rio Itapecerica e a montante de Divinópolis, localizam-se Cláudio, Carmo da Mata e São Sebastião do Oeste.

Caracterização dos danos ambientais ocasionados aos recursos hídricos

A caracterização dos danos ocasionados aos recursos hídricos em virtude do lançamento irregular de esgotos sanitários foi por meio do levantamento da literatura técnica e dos dados históricos de monitoramento realizados desde 1997 pelo Projeto Águas de Minas. (IGAM, 2018)

No apêndice são fontes SIAM, 2017; IGAM, 2018; SOUSA et al., 2016; COPASA, 2017; ANA, 2018; VON SPERLING, 2014 – para determinação da carga poluidora lançada nos corpos de água.

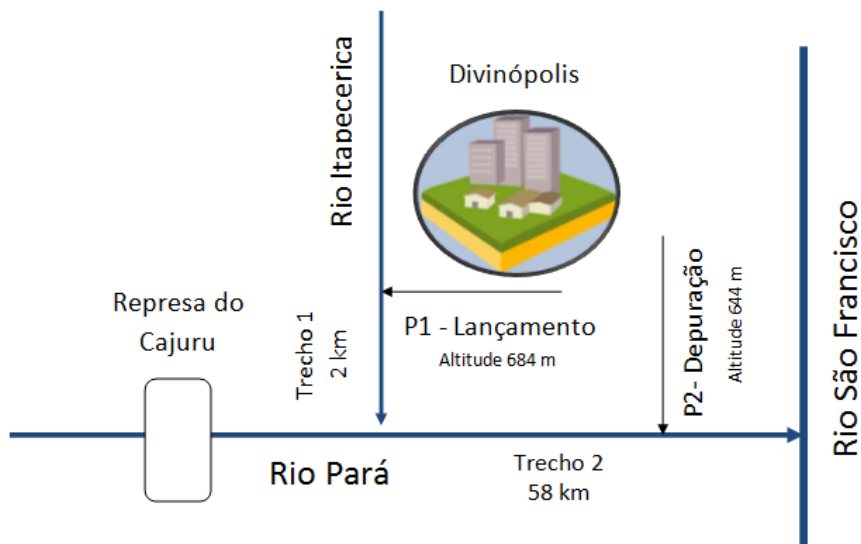
Valoração econômica dos danos ambientais

Para valorar os danos e alcançar os objetivos propostos, foram seguidas as etapas de caracterização dos ecossistemas atingidos, de definição da metodologia a ser aplicada, de cálculo monetário dos serviços afetados.

Caracterização dos ecossistemas atingidos

O lançamento dos esgotos afetou trecho do Rio Itapecerica e posteriormente do Rio Pará. (Figura 2)

Figura 2 – Esquema para localização espacial dos trechos dos corpos de água afetados pelo lançamento de esgotos sanitários de Divinópolis.



Definição da metodologia de valoração a ser aplicada

A metodologia para a valoração dos danos utilizou a formulação do VERA (Valor Econômico do Recurso Ambiental), incluída pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na Norma Brasileira – NBR 14.653-6:2008.

Cálculo monetário dos serviços afetados

Calculou-se na valoração o Valor de Uso Direto (VUD) e o Valor de Uso Indireto (VUI) dos recursos hídricos afetados. Para a quantificação da carga de DBO, proveniente do lançamento de efluentes sanitários, foram utilizados os seguintes dados: i) população do município de Divinópolis em 2018: 235.977 habitantes (IBGE, 2018), ii) carga per capita de DBO: 0,054kg DBO/hab./dia (VON SPERLING, 2014), iii) percentual de esgoto coletado e não tratado: 83,7% (ANA, 2013). Assim, a carga de DBO foi obtida pela Equação 1:

Carga de DBO = População x Carga *per capita* x % de esgoto
não tratado Equação 1

Para fins de cálculo, o ponto de lançamento desses esgotos está situado ao final da mancha urbana de Divinópolis, no Rio Itapecerica, a 2 quilômetros da confluência com o Rio Pará. (Figura 5)

Cálculo do VUD

O VUD foi estimado no valor de mercado estabelecido para o benefício advindo da utilização das águas do Rio Itapecerica e Rio Pará para diluição dos esgotos sanitários lançados em seus cursos.

Tendo em vista constituir importante insumo econômico, o recurso hídrico foi calculado, inicialmente, com base nas informações dos valores dos Preços Públicos Unitários (PPU) apresentado no Anexo II (Tabela I) da Deliberação Normativa do Comitê da Bacia do Rio Pará n.º 24/2013 para lançamento de efluentes (PPUDBO – R\$/Kg) e cálculo da carga poluidora (DBO) proveniente do esgoto lançado nos cursos dos rios Itapecerica e Pará (CBHRP, 2013). Assim, VUD é calculado pela Equação 2:

$$\text{VUD} = \text{PPUDBO} \frac{\text{R\$}}{\text{Kg}} \times \text{carga de DB kg} \quad \text{Equação 2}$$

Cálculo do VUI

O valor monetário dos serviços ambientais afetados pelo lançamento dos esgotos sanitários *in natura* nos rios Itapecerica e Pará foi obtido pela metodologia emergética ou ecoenergética, que utiliza a energia solar incorporada (emergia) aos recursos ambientais para expressar a contribuição da natureza na produção da massa de água necessária à diluição dos efluentes até atingir o padrão para o parâmetro considerado.

Assim, para a determinação do Valor de Uso Indireto (VUI) foi analisado o serviço ambiental associado à água superficial poluída.

A emergência do serviço ambiental e seu respectivo valor monetário foram quantificados, inicialmente, por meio da estimativa do lançamento nas águas de matéria orgânica biodegradável expressa por DBO, em kg/dia, presente nos esgotos brutos. Em seguida, foi determinada a massa de água, em kg/dia, necessária à diluição do parâmetro DBO até os padrões de referência estabelecidos para as classes dos rios Itapecerica e Pará na Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH-MG n.º 1, de 5 de maio de 2008, e Resolução Conama 357, de 17 de março de 2005, que dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. (CONAMA, 2005; MINAS GERAIS, 2008)

Calculou-se, então, a energia potencial (serviço ecossistêmico) em Joule (J)/dia, associada ao escoamento gravitacional da massa de água durante a diluição do poluente (DBO), a qual foi convertida, posteriormente, em uma medida emergética equivalente (SeJ/dia), por meio do fator de conversão de energia em emergência (energia solar incorporada), denominado Transformidade Solar ou Índice de Transformidade, expresso em emergência por Joule (SeJ/J).

Os índices de transformidade são calculados por pesquisadores em todo o mundo (ODUM, 1996), sendo amplamente divulgados em periódicos científicos e endereços eletrônicos especializados. (ORTEGA, 2000a)

Finalmente, a emergência do serviço ambiental associado à massa de água foi obtida, em termos monetários (dólar), utilizando o índice de equivalência emergência/dólar ($3,0 \times 10^{12}$ SeJ/U\$), determinado para o Brasil por Ortega (2000). Esse índice permite comparar a emergência do serviço afetado à emergência do dinheiro que circula no país em determinado ano a fim de possibilitar a conversão dos valores de energia solar em dinheiro. Para a determinação dos valores em reais (R\$), foi utilizado o câmbio atual. (ECONOMIA, UOL, 2019)

Consideradas as características dos poluentes lançados, verificou-se que seus principais impactos estão relacionados ao lançamento de matéria orgânica no curso d'água, expresso na

forma da concentração do parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

No que concerne às interferências sobre os recursos hídricos, os serviços ecossistêmicos afetados podem ser quantificados em termos da energia necessária à diluição dos efluentes até os níveis máximos permitidos e pelo consumo do oxigênio dissolvido em suas águas devido à decomposição da matéria orgânica.

A avaliação desses serviços ecossistêmicos afetados seguiu os seguintes passos: quantificação da carga de DBO introduzida no meio aquático; determinação da massa de água necessária à diluição das emissões calculadas até as concentrações máximas admissíveis na legislação em vigor; cálculo da energia associada à massa de água necessária à diluição do parâmetro crítico até os padrões estabelecidos na legislação; estimativa do oxigênio aquático dissolvido consumido pela decomposição da matéria orgânica lançada pela população de Divinópolis no curso d'água, para definir as zonas de recuperação e as águas limpas.

Determinação da massa de água necessária à diluição das emissões

A massa total de água comprometida na diluição da carga de DBO lançada, até a concentração de DBO permitida pela legislação, foi obtida por meio da Equação 3:

$$M = d \frac{W_{DBO5}}{c} \quad \text{Equação 3}$$

M = massa de água, em kg;

d = densidade da água (1 kg/L);

W_{DBO5} = carga emitida de DBO em kg;

c = concentração de DBO no rio a montante do lançamento, em kg/L.

Cálculo da energia potencial da massa de água

A energia potencial (E_p) da massa de água utilizada na diluição dos poluentes foi calculada, em Joules, por meio da Equação 4:

$$E_p = Mgh \quad \text{Equação 4}$$

M = massa de água para diluir a DBO até os níveis permitidos, em kg (Equação 3),

g = aceleração da gravidade, ($9,8\text{m/s}^2$),

h = diferença de altitude entre o ponto de lançamento e o ponto de depuração.

Para cálculo da diferença de altitude (h), o Google Earth Pro® verificou as cotas do ponto de lançamento e do ponto de depuração por meio do modelo de Streeter-Phelps. Para utilização do modelo, estimou-se a vazão de esgotos pela Equação 5:

$$\text{Vazão} = \frac{\text{consumo per capita água} \times \text{População} \times R \times \% \text{ de esgoto não tratado}}{\quad \quad \quad \text{Equação 5}}$$

R é o coeficiente de retorno de água para o esgoto – 0,8 de acordo com von Sperling (2014). Ainda segundo esse autor, o consumo de água *per capita* médio diário para municípios do porte de Divinópolis é de 200 L/hab.dia. Assim, a vazão de esgotos lançada no ambiente foi estimada em 365,76 L/s.

Realizou-se estudo de autodepuração do esgoto sanitário no Rio Itapecerica e no Rio Pará. Para quantificação da carga de DBO proveniente do lançamento de esgotos sanitários de Divinópolis, foram utilizados dados apresentados pela literatura técnica pertinente (carga per capita de DBO) e sítios eletrônicos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018): dados de população, Agência Nacional de Águas (ANA, 2018): dados sobre o percentual de esgoto coletado e não tratado em Divinópolis, Siste-

ma Integrado de Informação Ambiental (SIAM, 2007): dado sobre vazão dos cursos de água.

Para estabelecer a diferença de altitude entre o ponto de lançamento dos esgotos e o início da zona de água limpa (local onde ocorreu a depuração da DBO), o Ponto 1 foi registrado no final da mancha urbana de Divinópolis e o Ponto 2 sinaliza o início da zona de águas limpas.

A Figura 2 apresenta a localização desses pontos considerados para fins de determinação das altitudes, cuja diferença foi utilizada no cálculo da energia potencial. A distância do ponto de lançamento e o início da zona de águas limpas foi obtida por meio da equação de Streeter-Phelps, e o ponto identificado utiliza o Google Earth Pro®.

Destaque-se que para ocorrer a autodepuração da matéria carbonácea biodegradável, expressa em termos de DBO, foram necessárias massas de água do Rio Itapecerica e do Rio Pará. O trecho do Rio Itapecerica comprometido pelo aporte de matéria orgânica foi de 2 quilômetros até sua foz no Rio Pará.

A partir da confluência desses corpos de água, considerou-se a carga de DBO, parcialmente depurada, e as características do Rio Pará, reaplicando a equação Streeter-Phelps para se conhecer o ponto onde ocorreu a autodepuração dos esgotos provenientes de Divinópolis.

A diferença da altitude dos Pontos 1 e 2 forneceu o valor (h), para calcular a energia potencial necessária ao escoamento gravitacional da massa de água requisitada, a fim de diluir a matéria orgânica até atingir o limite estabelecido pela Resolução Conama 357/2005 e DN Copam/CERH 01/2008 (DBO_{5,20} igual a 5mg/L – Classe 2 (Rio Pará) e DBO_{5,20} igual a 10mg/L – Classe 3 (Rio Itapecerica)³⁷

37 Deliberação Normativa Copam 28, de 9 de setembro de 1998 (Trecho 2 – Rio Pará e Trecho 18 – Rio Itapecerica). Normalmente, as águas dos afluentes destinam-se a usos mais nobres do que os cursos de água onde deságuam. Não é comum, como nesse caso, a classificação das águas (enquadramento) do afluente (Rio Itapecerica) ser destinada a uso menos exigente (Classe 3) do que a classificação do trecho do curso de

(CONAMA, 2005; MINAS GERAIS, 1998; MINAS GERAIS, 2008). O software Excel® foi utilizado para todos os cálculos e gráficos deste trabalho.

Diante do exposto, a energia dos serviços ecossistêmicos afetados (capacidade de autodepuração do corpo d'água) e seu respectivo valor monetário foi calculado por meio dos seguintes passos: i) conversão dos serviços ecossistêmicos previamente calculados em uma medida emergética equivalente, no caso energia solar incorporada, adotando-se índices de transformidade, que avaliam a qualidade do fluxo de energia dos serviços ambientais associados a determinado recurso natural ou antrópico.

Tais índices, calculados por pesquisadores em todo o mundo, são amplamente divulgados em periódicos científicos e *sites* da internet especializados; ii) conversão da energia calculada em valores monetários por meio do índice de equivalência energia/dólar para o Brasil, o que permite comparar a energia do serviço afetado à energia do dinheiro que circula no país em determinado ano, convertidos os valores de energia em dinheiro; e iii) conversão do valor em dólar para real pelo câmbio atual.

Compensação ambiental

Para a compensação do dano ambiental, calculou-se a área a ser recuperada e se elaborou mapa para localização das áreas sugeridas para recomposição de matas ciliares.

Cálculo da área a ser recuperada

Houve levantamento dos valores de custos para recuperação de área degradada conforme diretrizes apresentadas pelo Ibama (2002). A área a ser recuperada foi inserida no valor da valoração pelo custo de recuperação de 1 hectare do bioma.

Elaboração do mapa para identificação da mata ciliar a ser recuperada

O fluxograma apresenta os procedimentos metodológicos para elaboração do mapa de identificação das áreas a serem recuperadas, como medida de compensação ambiental. (Figura 3)

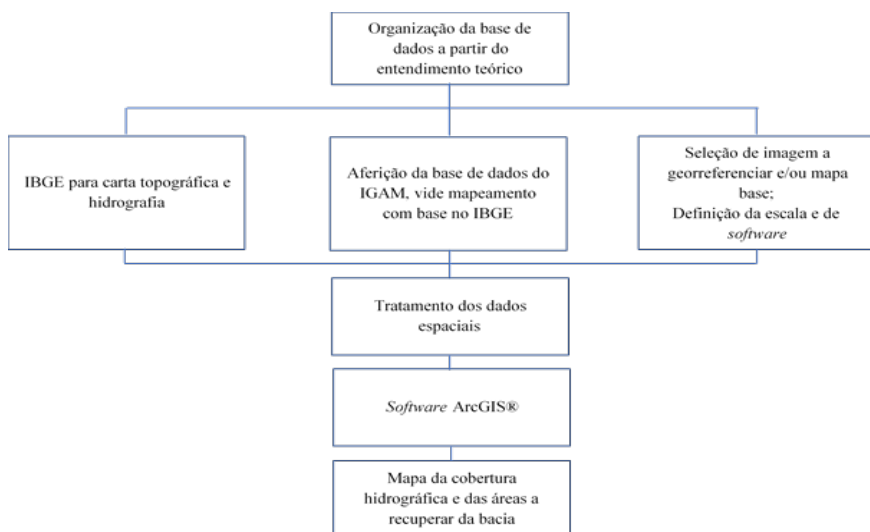


Figura 3 – Fluxograma para elaboração do mapa da hidrografia e das áreas a recuperar.

Delimitou-se a extensão das áreas de preservação permanente ao longo dos corpos de água comprometidos pela entrada dos poluentes em virtude do lançamento irregular de esgotos a montante do ponto de lançamento, bem como dessas áreas no que compreende o entorno das nascentes dos tributários do Rio Itapecerica.

Por meio do software ArcGIS 10.2 para desktop, e de seu aplicativo ArcMap na versão 10.2.0.3348, fora definido o sistema de projeção e datum, respectivamente, Universal Transverso de Mercator (UTM) e SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

Com a localização do ponto de lançamento dos esgotos, referenciou-se *shapefile* no formato ponto. Em seguida, houve aferição da hidrografia e adaptações necessárias ao desenho dos meandros dos rios Itapecerica e Pará, e foram delimitadas as extensões das áreas de preservação permanente com base nas faixas marginais do curso d'água principal, em ponto onde se observa a degradação da vegetação e das nascentes inseridas na bacia. Para tanto, criaram-se arquivos no formato *shape* por meio do menu geoprocessamento, com a ferramenta *buffer*, informando as extensões lineares (30m) em cada margem do Rio Itapecerica, conforme Lei 12.651/2012 (BRASIL, 2012).

Valoração

A seguir se apresentam os resultados obtidos para a carga poluidora diária lançada nos cursos de água bem como a respectiva valoração econômica do dano ambiental e medida de compensação proposta para estudo de caso.

Quantificação da carga poluidora

A carga de DBO proveniente do lançamento de esgotos sanitários de Divinópolis e lançada irregularmente nos cursos de água foi de:

$$\text{Carga de DBO por dia} = 10.665,69 \text{ kg/dia}$$

Valoração econômica dos danos ambientais

A valoração econômica dos danos aos recursos hídricos considerou uso direto e indireto do método normatizado do valor econômico do recurso ambiental – VERA (NBR 14.653-6:2008) apresentado neste tópico.

Valor de Uso Direto – VUD

De acordo com a Tabela I – Valores dos preços públicos unitários (PPU) Anexo II da Deliberação Normativa do Comitê do Rio Pará 24/2013, o preço público unitário estabelecido para “lançamento de efluentes”, em relação à DBO, “PPU(DBO)” corresponde a R\$0,119 por kg de DBO emitida. Essa tarifa foi utilizada como referência de valor de mercado para obtenção do VUD. Portanto, o VDU correspondente à carga de 10.665,69kg/dia de DBO foi de R\$1.269,22 por dia. Por ano, chega-se a R\$ 463.264,25.

VDU = R\$ 463.264,25 por anos de lançamento irregular de esgotos

Valor de Uso Indireto – VUI

(determinação da massa de água necessária à diluição das emissões)

A massa total de água comprometida na diluição da carga de DBO lançada até a concentração de DBO permitida pela legislação foi obtida por meio da Equação 3.

De acordo com a Deliberação Normativa Copam 28, de 9 de setembro de 1998 (Trecho 18), o Rio Itapecerica – da captação de água para abastecimento doméstico da cidade de Divinópolis até a confluência com o Rio Pará – é enquadrado como Classe 3, cujo padrão para DBO é de 10 mg/L (0,000010kg/L). Logo:

$$M = \frac{1 \text{ Kg}}{L} \times \left[(10.665,69 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}) / (0,000010 \frac{\text{Kg}}{L}) \right]$$

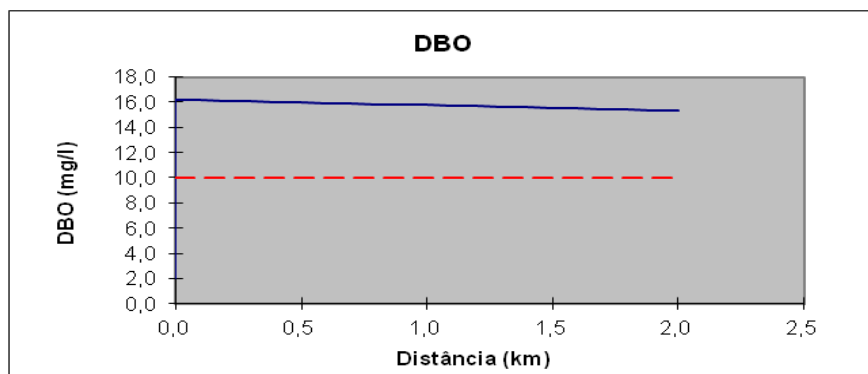
$$M = 2.133.137.689,20 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

Cálculo da energia potencial da massa de água

A energia potencial (E_p) da massa de água utilizada na diluição dos poluentes calculada em Joules foi obtida pela Equação 2. Assim, a vazão de esgotos lançada no ambiente foi estimada em 365,76 L/s.

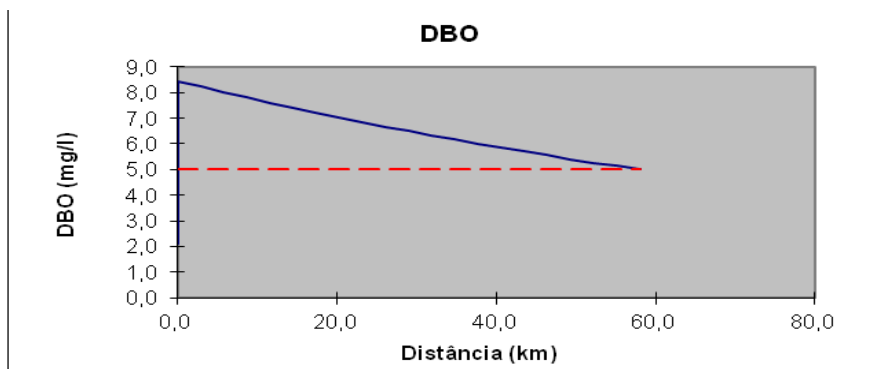
A simulação do modelo de Streeter-Phelps indica que a distância de depuração é de 60 quilômetros, 2km no Rio Itapecerica e 58km no Rio Pará. (Figuras 4 e 5)

Figura 4 - Decaimento da DBO no Rio Itapecerica a partir do ponto de lançamento de esgotos até a confluência com o Rio Pará.



Fonte: autora.

Figura 5 - Decaimento da DBO no Rio Pará a partir da confluência do Rio Itapecerica até o ponto de depuração



Fonte: autora.

Assim:

Altitude do ponto de lançamento: 684m;

Altitude do ponto de depuração: 644m;

Logo, $h = 40\text{m}$.

$$E_p = 2.133.137.689,2 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 40\text{m}$$

$$E_p = 836.189.974.166,4 \text{ J/dia}$$

Cálculo da energia

De acordo com Ortega (2000), a transformidade referente a rios escoamento gravitacional é 27.874 sej/J. Assim, a conversão da energia potencial calculada para energia é dada por:

$$\text{Energia} = 836.189.974.166,4 \cdot 27.874 = \mathbf{2,331 E + 16 \text{ sej/dia}}$$

Conversão energia-dólar

De acordo com Ortega (2000), a transformidade EMergia-Dólar = 3,0 E+12 sej/US\$, logo:

$$EMDólar = \frac{\text{Energia}}{\text{Transformidade Energia - Dólar}} = \frac{2,331 E + 16}{3,0E + 12} = \mathbf{7.769,32 US$/dia}$$

Conversão dólar-real

Cotação do dólar em 4/2/2019: R\$3,67 (ECONOMIA, 2019). Logo:

Custo ambiental do lançamento irregular de esgoto no Rio Itapecerica = R\$ 28.513,40 por dia de violação (Tabela 1)

Tabela 1 - Valores calculados para os danos diretos ocasionados pelo lançamento irregular de esgotos sanitários de Divinópolis.

Serviços ambientais afetados	Carga total, kg/dia	Massa de água para diluição, kg/dia	Energia Potencial J/dia	Transformidade sej/J	Energia sej/dia	Emdólares U\$/dia	Reais R\$/dia
Energia necessária à diluição (DBO)	10.665,69	2,13E+09	8,36E+11	2,8E+04	2,33E+16	7.769,32	28.513,40

Fonte: autora.

O valor de VUI corresponde a R\$10.407.391 por ano.³⁸ Dessa forma, a soma do VUD com o VUI obtido por meio da Tabela 1 resulta no valor anual dos danos ocasionados aos rios Itapecerica e Pará.

$$\text{VERA} = \text{R\$ } 463.264,25 + \text{R\$ } 10.407.391$$

$$\text{VERA} = \text{R\$ } 10.870.655,25 \text{ por ano}$$

Logo, o lançamento irregular nas águas superficiais da sub-bacia do Rio Pará dos esgotos coletados e não tratados provenientes da população urbana de Divinópolis corresponde a um *quantum debeatur* de R\$10.870.655,25 por ano.

Compensação ambiental

Como medida de compensação pelos danos ocasionados pelo lançamento irregular de esgotos sanitários em curso de água, calculou-se o custo de revegetação de áreas degradadas tendo como referência estudo de recuperação de área degradada do Parque Sucupira realizado pela Faculdade UnB de Planaltina – FUP (RODRIGUES, 2016).

³⁸ Considera-se ano com 365 dias.

Quadro 1 – Atividades do programa de recuperação de áreas degradadas nas fases de implantação, manutenção e monitoramento.

IMPLANTAÇÃO	
Cercamento da área	Isolamento da extensão revegetada com estacas de madeira e fio de arame farpado.
Sinalização da área	Confecção e alocação de placas de aviso na área de recuperação em locais estratégicos ao longo do perímetro da área de recuperação.
Manejo de pragas	Controle de formigas e cupins por meio de iscas com substâncias e quantidades previamente aprovadas segunda as normas vigentes.
Preparo do solo	Coveamento para plantio, propondo covas para todas as mudas com as dimensões de 45 x 45 x 60cm (largura x comprimento x profundidade).
Plantio de mudas	O plantio deve ser realizado preferencialmente na época chuvosa, com espaçamento de 3x2m. Utilizando entre 50 e 60% de espécies pioneiras, que são de crescimento rápido, cerca de 10% de climácicas e entre 30% e 40% de espécies secundárias.
Coroamento	Limpeza manual da vegetação herbácea e subarbustiva exótica no entorno do local do plantio das mudas e redução da densidade da vegetação ao longo da linha de plantio, focando mais na redução no entorno do local
Tutoramento	Fixação de tutores de bambu para suporte às mudas que também servirão para a fácil localização facilitando no monitoramento.
Calagem	Distribuição de 100g de calcário dolomítico por cova para corrigir a acidez do solo.
Adubação	Aplicação de 150g de adubo químico NPK 4:14:8 (4 partes de nitrogênio, 14 partes de fósforo e 8 partes de potássio), mais vinte litros de adubo orgânico (esterco de curral).
MANUTENÇÃO	
Adubação de cobertura	Adubação depois do plantio no início do ciclo das chuvas de 30 a 90 dias pós-plantio.
Replantio de mudas	Avaliação da sobrevivência das mudas e reposição de mudas mortas e replantio preferencialmente no período chuvoso para diminuir os custos.
Tratos silviculturais	Coroamento ao final do período chuvoso, roçadas de acordo com a avaliação da área e controle de pragas com iscas e roçagem.
Medidas de prevenção de incêndios	Controle de incêndios por meio de aceiramento; e vigilância da área durante o período de seca.
MONITORAMENTO	
Plano de Monitoramento	Atividades de Adubação de cobertura, tratos silviculturais, e prevenção de incêndios com supervisão de profissional habilitado.
Supervisão técnica	Acompanhamento e supervisão das atividades de implantação, manutenção e monitoramento por profissional técnico e profissional habilitado.

Fonte: RODRIGUES, 2016.

Custos totais

- i. Cercamento: $R\$19,24/m \cdot 300m = R\$ 5.772/ha$
- ii. Sinalização da área: $R\$ 316,31 /m^2 \cdot 2 = R\$ 632,62/ha$
- iii. Manejo de pragas: $R\$ 84,21/ha$
- iv. Preparo do solo: $R\$ 3.230/ha$
- v. Insumos para preparo do solo e para o plantio das mudas (calagem, adubação e mudas): $R\$ 12.765/ha$
- vi. Plantio das mudas, coroamento, adubação e tutoramento: $R\$5.871,50/ha$
- vii. Manutenção (adubação de cobertura, combate de pragas e replantio das mudas mortas): $R\$ 3.015,20$.
- viii. Prevenção de incêndios: $R\$190/ha$

O custo total da recomposição da flora nativa é de:

à custos (implantação, manutenção e monitoramento)/ha =
 $R\$ 5.772/ha + R\$ 632,62/ha + R\$ 84,21/ha + R\$ 3.230/ha + R\$ 12.765/ha + R\$5.871,50/ha + R\$ 3.015,20 + R\$190/ha = R\$ 31.560,53/ha$

Logo, o custo para reflorestamento de um hectare de área degradada totaliza $R\$ 31.560,53$.

Cálculo da área a ser compensada

A área a ser compensada (revegetação das matas ciliares) foi obtida considerando o total da valoração dos danos ocasionados pelo lançamento irregular de esgotos no ambiente e o custo estimado para recuperar um hectare. Logo:

$$\text{Área a ser revegetada por ano} = \frac{R\$ 10.870.655,25}{R\$ 31.560,53} = 344,44ha$$

Essa área corresponde a 482 gramados de campos de futebol padrão internacional (105 x 68m).

O Apêndice B demonstra a localização das áreas de mata ciliar sugeridas para serem revegetadas na sub-bacia hidrográfica onde ocorreu o dano ambiental (Rio Itapecerica).

Conclusão

Pelo método proposto, os esgotos sanitários *in natura* lançados nos recursos hídricos e provenientes da área urbana de Divinópolis, anualmente, ocasionam dano ambiental que equivale a um *quantum debeatur* de R\$ 10.870.655,25.

Como no caso o principal responsável pela geração do dano ambiental é o ente público municipal, a imputação de obrigação de fazer em face do município surte melhor efeito prático em benefício da sociedade e da preservação ambiental. Esse valor corresponde a medida de compensação para recuperar área de 344,44ha³⁹ (482 gramados de campos de futebol – padrão internacional de 105 x 68m) de matas ciliares na sub-bacia hidrográfica impactada negativamente.

39 Essa área pode variar em função do Projeto Técnico de Reconstituição da Flora (PTRF) apresentado ao Processo Administrativo de Regularização Ambiental, em virtude da necessidade do caso concreto como gastos para contenção de taludes (margens dos cursos de água e outros).

APÊNDICE A

RIO ITAPECERICA

DADOS DE ENTRADA

Variáveis

	Símbolo	Valor	Fonte
Vazão do rio (m ³ /s)	Qr	11,175	Fonte: SIAM(2007)
Vazão do esgoto (m ³ /s)	Qe	0,366	
DBO5 do rio (mg/l)	DBOr	2	Fonte: IGAM(2018)
DBO5 do esgoto bruto (mg/l)	DBOe	450	Fonte: SOUSA ET. AL. (2016)
OD do rio (mg/l)	ODr	6,7	Fonte: IGAM(2018)
OD do esgoto (mg/l)	ODe	0,0	

Coefficientes (na temperatura do líquido)

Coef. desoxigenação (l/d)	K1	0,42
Coef. reaeração (l/d)	K2	1,29

Dados adicionais

Distância do trecho (km)	d	2	Fonte: SOUSA ET. AL. (2016)
Velocidade (m/s)	v	0,18	

Legislação (Resolução Conama)

OD mínimo permissível segundo a classe do corpo de água	4,0	Classe 3
DBO máximo permissível segundo a classe do corpo de água	10	Classe 3

DADOS DE SAIDA

Dados da mistura

OD da mistura (mg/l)	ODo	6,48	
DBO5 da mistura (mg/l)	DBOo	16,2	
Coef.DBO ultima	KT	1,14	
DBO última da mistura (mg/l)	Lo	18,5	

Dados do trecho

Tempo de percurso (d)	t	0,13	DADOS DE ENTRADA - RIO PARÁ
OD no final do trecho (mg/l)	ODt	5,78	
DBO5 no final do trecho (mg/l)	DBOt	15,3	
OD mínimo no trecho (mg/l)	ODmin	5,78	

**PERFIS DE OD
E DBO**

SEGMENTO	DIST	TEMPO	OD mínimo		DBO5 máximo	
			OD	permissível	DBO5	permissível
	(km)	(d)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	0,0	0,00	6,69	4	2,0	10
0	0,0	0,00	6,48	4	16,2	10
1	0,1	0,01	6,44	4	16,2	10
2	0,2	0,01	6,40	4	16,1	10
3	0,3	0,02	6,36	4	16,1	10
4	0,4	0,03	6,32	4	16,0	10
5	0,5	0,03	6,29	4	16,0	10
6	0,6	0,04	6,25	4	15,9	10
7	0,7	0,05	6,21	4	15,9	10
8	0,8	0,05	6,18	4	15,8	10
9	0,9	0,06	6,14	4	15,8	10
10	1,0	0,07	6,11	4	15,8	10
11	1,1	0,07	6,07	4	15,7	10
12	1,2	0,08	6,04	4	15,7	10
13	1,3	0,08	6,01	4	15,6	10
14	1,4	0,09	5,97	4	15,6	10
15	1,5	0,10	5,94	4	15,6	10
16	1,6	0,10	5,91	4	15,5	10
17	1,7	0,11	5,88	4	15,5	10
18	1,8	0,12	5,84	4	15,4	10
19	1,9	0,12	5,81	4	15,4	10
20	2,0	0,13	5,78	4	15,3	10

RIO PARÁ

DADOS DE ENTRADA

Variáveis

	Símbolo	Valor	Fonte
Vazão do rio (m ³ /s)	Qr	12,510	Fonte: COPASA (2017)
Vazão do Itapecerica (m ³ /s)	Qe	11,540	
DBO5 do Rio Pará (mg/l)	DBOr	2	Fonte: IGAM (2018)
DBO5 do Itapecerica (mg/l)	DBOe	15	
OD do Rio Pará (mg/l)	ODr	6,7	Fonte: IGAM (2018)
OD do Itapecerica (mg/l)	ODe	5,8	

Coefficientes (na temperatura do líquido)

Coef. desoxigenação (1/d)	K1	0,42
Coef. reaeração (1/d)	K2	1,29

Dados adicionais

Distância do trecho (km)	d	58	Fonte: ANA (2018)
Velocidade (m/s)	v	0,53	

Legislação (Resolução Conama)

OD mínimo permissível segundo a classe do corpo de água	5,0
DBO máximo permissível segundo a classe do corpo de água	5

DADOS DE SAÍDA

Dados da mistura

OD da mistura (mg/l)	ODo	6,27	
DBO5 da mistura (mg/l)	DBOo	8,4	
Coef.DBO última	KT	1,14	
DBO última da mistura (mg/l)	Lo	9,6	

Dados do trecho

Tempo de percurso (d)	t	1,26	
OD no final do trecho (mg/l)	ODt	5,68	
DBO5 no final do trecho (mg/l)	DBOt	5,0	
OD mínimo no trecho (mg/l)	ODmín	5,60	

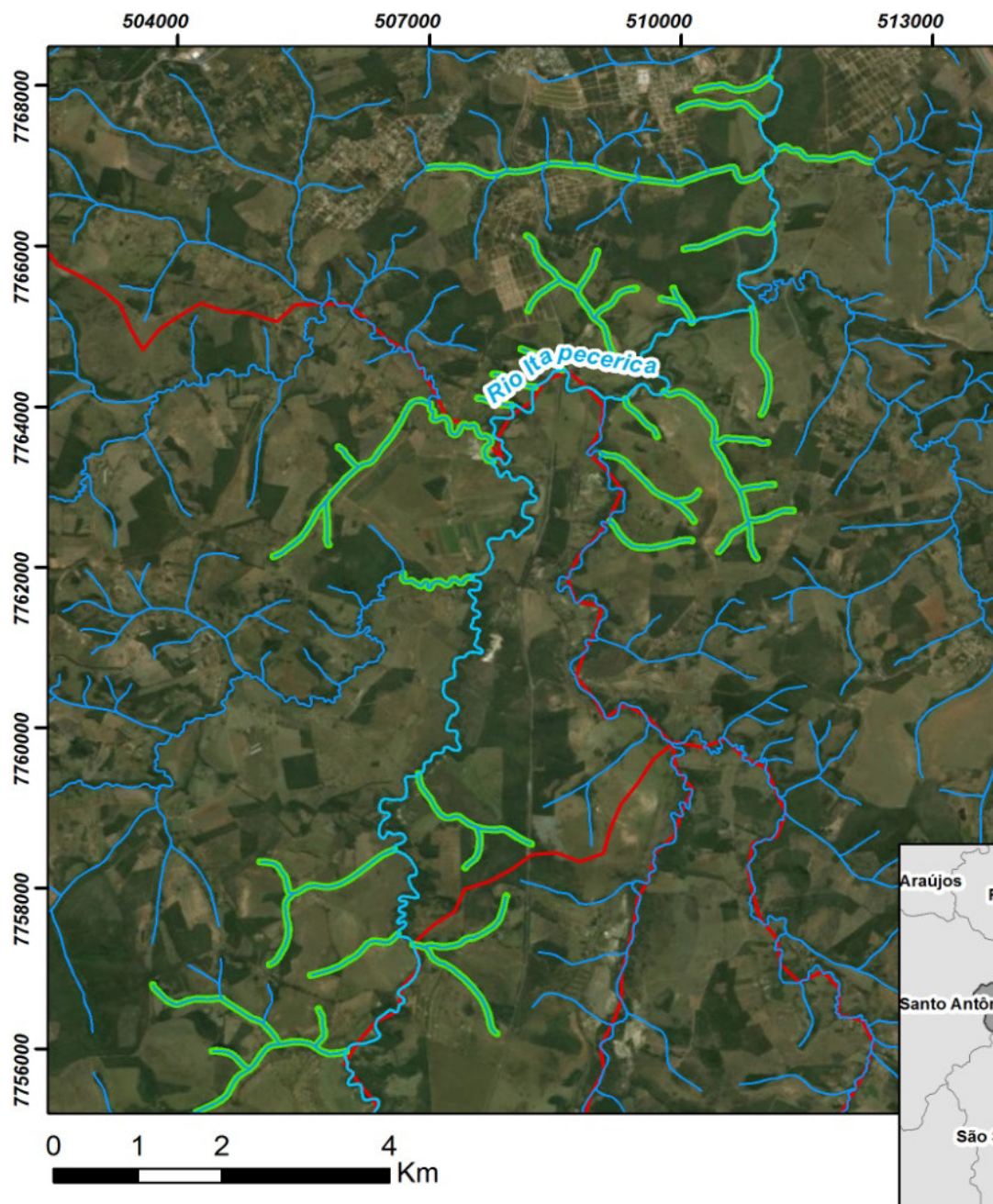
**PERFIS DE OD
E DBO**

SEGMENTO	DIST (km)	TEMPO (d)	OD mínimo		DBO5 máximo	
			OD (mg/l)	permissível (mg/l)	DBO5 (mg/l)	permissível (mg/l)
0	0,0	0,00	6,73	5	2,1	5
0	0,0	0,00	6,27	5	8,4	5
1	2,9	0,06	6,15	5	8,2	5
2	5,8	0,13	6,05	5	8,0	5
3	8,7	0,19	5,96	5	7,8	5
4	11,6	0,25	5,88	5	7,6	5
5	14,5	0,31	5,81	5	7,4	5
6	17,4	0,38	5,76	5	7,2	5
7	20,3	0,44	5,71	5	7,0	5
8	23,2	0,50	5,68	5	6,8	5
9	26,1	0,57	5,65	5	6,7	5
10	29,0	0,63	5,63	5	6,5	5
11	31,9	0,69	5,61	5	6,3	5
12	34,8	0,75	5,60	5	6,2	5
13	37,7	0,82	5,60	5	6,0	5
14	40,6	0,88	5,60	5	5,9	5
15	43,5	0,94	5,60	5	5,7	5
16	46,4	1,01	5,61	5	5,6	5
17	49,3	1,07	5,63	5	5,4	5
18	52,2	1,13	5,64	5	5,3	5
19	55,1	1,19	5,66	5	5,1	5
20	58,0	1,26	5,68	5	5,0	5

APÊNDICE B

Figura B1 (páginas seguintes) - Imagem ilustrativa das áreas passíveis de recuperação anual, por meio da compensação pelos danos ambientais ocasionados pelo lançamento irregular de esgoto sanitário de Divinópolis

Áreas a recuperar na Bacia do Rio Itapecerica: Minas Gerais





— Hidrografia seleção

~ Rio Itapecerica

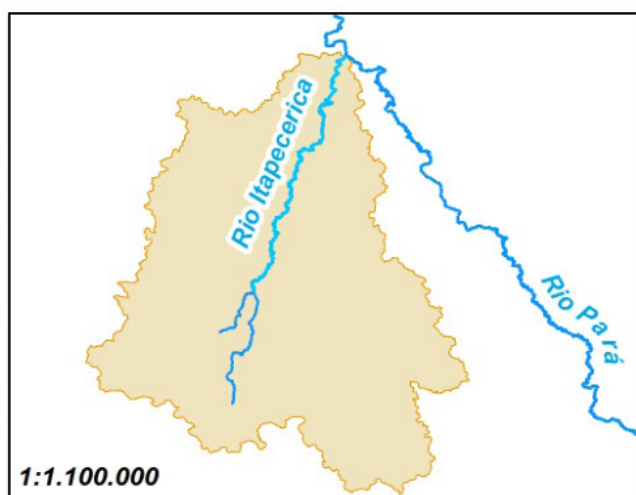
~ Hidrografia

Áreas a recuperar¹: 344,5 Ha

Limite da bacia do Rio Itapecerica

Limite entre municípios

¹Áreas a recuperar, dentro da bacia do Rio Itapecerica, a partir do eixo sul da mancha urbana do município de Divinópolis-MG.



Conjunto das bacias do Rio Itapecerica e das bacias dos Ribeirões Santo Antônio (D) e Vermelho (ou do Gama) (E), cuja confluência representa a nascente do Rio Itapecerica.



Projeção UTM Fuso 23K - Datum SIRGAS2000
Fontes: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community; IBGE (2010); IGAM (2010); SARAIVA (2018-19)
Elaborado por Bárbara Araujo, fev. 2019