

ESCOLA SUPERIOR DOM HELDER CÂMARA
MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Alexandra Fátima Saraiva Soares

DANO AOS RECURSOS HÍDRICOS POR LANÇAMENTO IRREGULAR DE
ESGOTO SANITÁRIO: METODOLOGIA PARA VALORAÇÃO E COMPENSAÇÃO
AMBIENTAL

Belo Horizonte

2019

Alexandra Fátima Saraiva Soares

**Dano aos recursos hídricos por lançamento irregular de esgoto sanitário: metodologia
para valoração e compensação ambiental**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola Superior Dom Helder Câmara e Centro de Estudos e Aperfeiçoamento Funcional do Ministério Público do Estado de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Direito Ambiental e Sustentabilidade.

Orientadora: Prof^a. Beatriz Souza Costa

Belo Horizonte

2019

ESCOLA SUPERIOR DOM HELDER CÂMARA
MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Alexandra Fátima Saraiva Soares

**Dano aos recursos hídricos por lançamento irregular de esgoto sanitário: metodologia
para valoração e compensação ambiental**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola Superior Dom Helder Câmara e Centro de
Estudos e Aperfeiçoamento Funcional do
Ministério Público de Minas Gerais, como
requisito parcial para obtenção do título de
Especialista em Direito Ambiental e
Sustentabilidade.

Aprovado em: __/__/____

Orientadora: Beatriz Souza Costa

Escola Superior Dom Helder Câmara

Dr. Lyssandro Norton Siqueira

Escola Superior Dom Helder Câmara

Maraluce Maria Custódio

Escola Superior Dom Helder Câmara

Nota: _____

Belo Horizonte

2019

Dedico este trabalho a minha mãe, Marta Maria, pessoa fundamental na minha vida e formação, exemplo de ser humano que eu admiro e amo incondicionalmente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Ministério Público de Minas Gerais e à Escola Superior Dom Helder Câmara pela oportunidade de participar deste curso de pós-graduação, que muito contribuiu para o aporte de conhecimentos e possibilitou a elaboração deste trabalho.

Agradeço aos professores pelas aulas ministradas, em especial às professoras Andressa de Oliveira Lanchotti e Beatriz Souza Costa, pela organização do curso em questão, que, certamente, terá grande valia no aperfeiçoamento dos trabalhos desenvolvidos no âmbito da tutela ambiental do Ministério Público mineiro, contribuindo para a promoção de melhor qualidade de vida às pessoas.

Agradeço também à minha orientadora, Profa. Beatriz Souza Costa, pelos ensinamentos e aos professores membros da banca avaliadora, Prof. Lyssandro Norton Siqueira e Profa. Maraluce Maria Custódio, que gentilmente aceitaram o convite para contribuir no aprimoramento deste trabalho.

Aos meus colegas do curso pelas colocações, críticas construtivas, discussões, debates e momentos de alegrias que estimularam a reflexão sobre os temas apresentados em aula e, assim, contribuíram para agregar conhecimento acerca da complexa questão ambiental.

Por fim, agradeço aos amigos Luís Fernando de Moraes Silva, Bárbara Janine Reis Silva Araújo, Thalles Henrique Rocha Claves, Dr. Edson Resende de Castro (Coordenador da Central de Apoio Técnico – CEAT/Setor de Meio Ambiente do MPMG), colegas da CEAT/MA, bem como àqueles que, de alguma forma, participaram da elaboração deste trabalho.

O mundo é um lugar perigoso de se viver, não por causa daqueles que fazem o mal, mas sim por causa daqueles que observam e deixam o mal acontecer (Albert Einstein)

RESUMO

Atualmente, constata-se aumento gradativo no número de gestores, profissionais da área técnica e jurídica, que se encontram em situações nas quais é requerida a valoração econômica de danos ambientais. Essa crescente demanda tem impulsionado os estudos desta área do conhecimento, que pode ser considerada uma fronteira da ciência econômica. Dessa forma, este trabalho objetiva apresentar metodologia de valoração, utilizada no caso de poluição hídrica ocasionada pelo lançamento irregular de esgoto sanitário. O método aplica a formulação do Valor Econômico do Recurso Ambiental, incluída pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 14.653-6:2008 e considera o valor de uso direto e o valor de uso indireto dos recursos hídricos afetados. Para o cálculo do valor de uso direto considerou o preço público unitário do uso do recurso hídrico para fins de lançamento de efluentes, apresentado pelo comitê da bacia hidrográfica considerada. Já para o cálculo do valor de uso indireto, utilizou-se o conceito de Emergia, que corresponde à energia solar que foi previamente requerida, de forma direta ou indireta para produzir o recurso hídrico afetado. Para demonstrar a aplicação da metodologia sugerida, estudo de caso é apresentado. Entende-se que o fato de o principal responsável pelo dano, neste caso, constituir ente público, a obrigação de fazer é mais adequada. O método de valoração utilizado 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 ha, que foi sugerida como medida de compensação para recuperar matas ciliares situadas na sub-bacia hidrográfica do Rio Itapecerica, onde o dano ocorreu.

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

ABSTRACT

Actually, there is a gradual increase in the number of professionals in the technical and legal that are in situations in which economic valuation of environmental damages is required. This growing demand by studies of this area, which can be considered a frontier of economic science. Thus, this work aims to present a methodology of valuation, used in the case of water pollution caused by the irregular launch of sanitary sewage. The method applies the formulation of the Economic Value of the Environmental Resource, included by the NBR 14.653-6:2008 and considers the value of direct and indirect use value of the affected water resources. For the calculation of the value of direct use, it was considered the unit public price for the use of the water resource for effluent discharge purposes, presented by the river Basin Committee considered. For the calculation of the indirect use value, the concept of Emergia was used. To demonstrate the application of the methodology, a case study is presented. It is understood that the fact that the principal responsible for the damage constitutes the public obligation to do is more appropriate. The valuation method used resulted in a quantum debit equivalent to R\$10,870,655.65 per year for damages caused to water resources due to the launch of untreated sanitary sewage generated in the city of Divinópolis. This value corresponds to the vegetation of an area of 344.44 ha, which was suggested as a compensation measure to recover riparian forests located in the Itapecerica River sub-basin.

KEYWORDS: Environmental valuation. Environmental compensation. Water pollution. Sanitary sewage. Environmental damage. Ecosystem service.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 DANO AMBIENTAL, RESPONSABILIZAÇÃO CIVIL E MEDIDAS DE COMPENSAÇÃO	11
3 POLUIÇÃO DA ÁGUA POR ESGOTOS SANITÁRIOS, CAPACIDADE DE AUTODEPURAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS E OS DANOS ASSOCIADOS	19
4 ECONOMIA E MEIO AMBIENTE	22
5 VALORAÇÃO AMBIENTAL	29
5.1 MÉTODOS DE VALORAÇÃO ECONÔMICA.....	30
5.1.1. Métodos da função da produção	31
5.1.2. Métodos da função da demanda	32
5.1.3 Métodos Normatizados.....	36
5.1.4 Valoração monetária dos serviços ecossistêmicos – Emergia	37
5.2 DISTORÇÕES DOS MÉTODOS DE VALORAÇÃO	39
6 METODOLOGIA.....	41
6.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	41
6.2 CARACTERIZAÇÃO DOS DANOS AMBIENTAIS OCASIONADOS AOS RECURSOS HÍDRICOS.....	42
6.3 VALORAÇÃO ECONÔMICA DOS DANOS AMBIENTAIS	42
6.3.1 Caracterização dos ecossistemas atingidos.....	43
6.3.2 Definição da metodologia de valoração a ser aplicada	43
6.3.3 Cálculo monetário dos serviços afetados	44
6.3.3.1 Cálculo do VUD	44
6.3.3.2 Cálculo do VUI.....	44
6.4. COMPENSAÇÃO AMBIENTAL	49
6.4.1 Cálculo da área a ser recuperada	49
6.4.2 Elaboração do mapa para identificação da área (mata ciliar) a ser recuperada	49
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
7.1 QUANTIFICAÇÃO DA CARGA POLUIDORA.....	51
7.2 VALORAÇÃO ECONÔMICA DOS DANOS AMBIENTAIS.....	51
7.2.1 Valor de Uso Direito – VUD	51
7.2.2 Valor de Uso Indireto – VUI.....	51
7.3 COMPENSAÇÃO AMBIENTAL.....	54
7.3.1 Cálculo da área a ser compensada	57
REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

A proteção jurídica das águas tem relevância indiscutível, visto que se trata de recurso natural essencial à sobrevivência das espécies. No entanto, cada vez mais, constata-se poluição hídrica em decorrência das atividades humanas. Em Minas Gerais, o Projeto Águas de Minas, desenvolvido pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas, aponta, desde seu início em 1997, o lançamento irregular de esgotos sanitários como principal responsável pela degradação da qualidade das águas superficiais no estado.

A degradação da qualidade dos recursos hídricos, pelo lançamento de esgotos sanitários, afeta negativamente o abastecimento público e as atividades econômicas que utilizam a água, como industrial, agrícola, pastoril, pesca e turismo.

Ademais, os esgotos sanitários estão cada vez mais complexos, no que tange a sua constituição, em virtude dos diversos produtos sintetizados (orgânicos e inorgânicos) que os compõem, tais como fármacos, produtos de higiene pessoal, hormônios esteroides, surfactantes e químicos industriais, utilizados nas diversas atividades domésticas. Muitos desses produtos, denominados micropoluentes, apresentam potencial para causar alterações na saúde humana, provocando câncer e infertilidade, e nos organismos aquáticos. Dessa forma, o dano ambiental ocasionado pelo lançamento de esgotos, sem prévio tratamento nos recursos hídricos, é irreversível.

Diante da irreversibilidade desse dano, sob o ponto de vista sanitário, ambiental e ecológico, uma compensação – *in natura* ou pecuniária – deverá ser concedida para compensar, na medida do possível, a degradação do bem.

Nesse contexto, cada vez mais, gestores, profissionais das áreas técnica e jurídica, que atuam na tutela ambiental, encontram-se em situações nas quais é requerida a valoração econômica por danos ocasionados ao meio ambiente. Essa crescente demanda tem impulsionado, de forma significativa, esta área de estudo, que pode ser considerada uma fronteira da ciência econômica.

O valor auferido na valoração, normalmente, é revertido em ações de melhoria da qualidade ambiental, que pode ser realizada via destinação a fundos de defesa de direitos difusos ou ser diretamente investido para melhorar as condições do bem degradado.

Neste caso de poluição hídrica, ocasionada por esgoto sanitário, o Município é o principal responsável pela geração do dano, por ser o titular da prestação do serviço. Assim, a obrigação de fazer em face do município – recuperação das matas ciliares dos corpos de água, como medida compensatória – assumida no âmbito do compromisso de ajustamento de

conduta entre o ente municipal e o Ministério Público, surte melhor efeito prático em benefício da sociedade e da preservação ambiental, em relação à obrigação de pagar a indenização.

Diante do exposto, este trabalho objetiva apresentar metodologia de valoração para o caso de poluição hídrica ocasionada pelo lançamento irregular de esgotos sanitários, bem como proposta de compensação ambiental, mediante recuperação das matas ciliares de corpos de água localizados na bacia hidrográfica onde ocorreu o dano. Essa proposta baseia-se no fato de a mata ciliar desempenhar importante função ambiental na preservação da qualidade da água, de modo que sua manutenção reduz a entrada de poluentes para o meio aquático.

Dessa forma, o trabalho se alinha com o fundamento da Política Nacional de Recursos Hídricos, que estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial para implantação dessa política de tutela dos recursos hídricos.

Estudo de caso é apresentado para ilustrar a metodologia proposta. O método de valoração utilizado aplica a formulação do VERA (Valor Econômico do Recurso Ambiental), incluída pela ABNT – NBR 14.653:2008 – Parte 6, que trata dos métodos e procedimentos para avaliação de recursos naturais. No cálculo da valoração, foram considerados o Valor de Uso Direto do recurso hídrico na bacia hidrográfica considerada e o Valor de Uso Indireto dos serviços ecossistêmicos afetados.

2 DANO AMBIENTAL, RESPONSABILIZAÇÃO CIVIL E MEDIDAS DE COMPENSAÇÃO

Entende-se por dano toda lesão a um bem jurídico tutelado, por exemplo, o meio ambiente. Embora não tenha conceituado o dano ambiental, a legislação pátria (Lei nº 6.938/81, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente – LPNMA), após conceituar meio ambiente, definiu os institutos da degradação ambiental e poluição, *in verbis*:

Art. 3º - Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por: [...]

II - degradação da qualidade ambiental, a alteração adversa das características do meio ambiente;

III - poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;

c) afetem desfavoravelmente a biota;

d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;

e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Por sua vez, Leite (2000) traz contornos jurídicos ao dano ambiental, conceituando-o como:

Toda degradação do meio ambiente, incluindo os aspectos naturais, culturais e artificiais que permitem e condicionam a vida, visto como bem unitário imaterial coletivo e indivisível, e dos bens ambientais e seus elementos corpóreos e incorpóreos específicos que o compõem, caracterizadora da violação do direito difuso e fundamental de todos à sadia qualidade de vida em um ambiente são e ecologicamente equilibrado.

Dessa forma, o lançamento de efluentes líquidos nos corpos de água, sem prévio tratamento, implica na ocorrência de poluição hídrica e, portanto, de dano ambiental.

Como bem adverte Odum, a poluição consiste numa alteração indesejável das características físicas, químicas ou biológicas do ar, do solo e da água que podem afetar negativamente a vida (ODUM, 1996).

Assim, a poluição ambiental tem estreita relação com os fatores capazes de comprometer a saúde e sobrevivência humana, bem como o ecossistema. Do Art. 54 da Lei nº 9.605/1998 (Lei de crimes ambientais), extrai-se que o conceito jurídico-penal de poluição, vincula-se, ao menos, à ocorrência de perigo de “danos à saúde humana” ou à concreta constatação de “mortalidade de animais ou destruição significativa da flora”.

Costa (2016) leciona que o acesso à água que não ofereça risco à saúde humana, deve ser compreendido como direito fundamental, inerente à própria noção de pessoa, constituindo a base da vida humana com dignidade. Nesse contexto, infere-se que colocar em risco a saúde da coletividade, negando às pessoas o acesso à água de qualidade é negar-lhes o direito à vida. Assim, a água em quantidade e qualidade adequadas deve estar disponível para uso.

A forma mais comum de poluição hídrica é a proveniente de substâncias orgânicas, acarretada pelo lançamento de esgotos domésticos nos cursos d'água. Em Minas Gerais, o lançamento de efluente é apontado como principal responsável pela degradação das águas superficiais, constituindo perigo iminente à saúde dos usuários situados a jusante, devido a potencial patogenicidade, toxicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade dos esgotos sanitários (IGAM, 2018; USEPA, 2019; ANDRÃ *et al.*, 2018; MONTAGNER *et al.*, 2019; WILLIAMS, 2019; PEREIRA *et al.*, 2015).

Fato relevante é que o Superior Tribunal de Justiça tem invocado o argumento de que as infrações ao meio ambiente são de caráter continuado e, assim, as ações de pretensão de cessação dos danos ambientais são consideradas imprescritíveis. Ademais, José Rubens Morato Leite e Patryck de Araújo Ayala defendem que também é imprescritível a pretensão

de reparação do dano ambiental (LEITE; AYALA, 2004). O instituto da prescrição tutela interesse privado consistente na proteção da segurança jurídica e da estabilidade dessas relações e o meio ambiente ecologicamente equilibrado consiste em direito fundamental, de caráter coletivo e, ainda, pré-requisito para a efetivação dos demais direitos fundamentais, gozando de irrenunciabilidade, inalienabilidade e imprescritibilidade (Resp. 1.120.117 – AC).

No que concerne à responsabilização civil ambiental, Paulo Affonso Leme Machado, citado no RECURSO ESPECIAL nº 1.120.117 - AC (2009/0074033-7) 10.11.2009, rel. Min. Eliana Calmon, ressalta que

"(...)A responsabilidade objetiva ambiental significa que quem danificar o ambiente tem o dever jurídico de repará-lo. Presente, pois, o binômio dano/reparação. Não se pergunta a razão da degradação para que haja o dever de indenizar e/ou reparar. A responsabilidade sem culpa tem incidência na indenização ou na reparação dos "danos causados ao meio ambiente e aos terceiros afetados por sua atividade" (art. 14, § III, da Lei 6.938/81). Não interessa que tipo de obra ou atividade seja exercida pelo que degrada, pois não há necessidade de que ela apresente risco ou seja perigosa. Procura-se quem foi atingido e, se for o meio ambiente e o homem, inicia-se o processo lógico-jurídico da imputação civil objetiva ambiental! Só depois é que se entrará na fase do estabelecimento do nexo de causalidade entre a ação ou omissão e o dano. É contra o Direito enriquecer-se ou ter lucro à custa da degradação do meio ambiente. O art. 927, parágrafo único, do CC de 2002, dispõe: "Haverá obrigação de reparar o dano, independentemente de culpa, nos casos especificados em lei, ou quando a atividade normalmente desenvolvida pelo autor do dano implicar, por sua natureza, risco para os direitos de outrem". Quanto à primeira parte, em matéria ambiental, já temos a Lei 6.938/81, que instituiu a responsabilidade sem culpa. Quanto à segunda parte, quando nos defrontarmos com atividades de risco, cujo regime de responsabilidade não tenha sido especificado em lei, o juiz analisará, caso a caso, ou o Poder Público fará a classificação dessas atividades. "É a responsabilidade pelo risco da atividade." Na conceituação do risco aplicam-se os princípios da precaução, da prevenção e da reparação. Repara-se por força do Direito Positivo e, também, por um princípio de Direito Natural, pois não é justo prejudicar nem os outros e nem a si mesmo. Facilita-se a obtenção da prova da responsabilidade, sem se exigir a intenção, a imprudência e a negligência para serem protegidos bens de alto interesse de todos e cuja lesão ou destruição terá consequências não só para a geração presente, como para a geração futura. Nenhum dos poderes da República, ninguém, está autorizado, moral e constitucionalmente, a concordar ou a praticar uma transação que acarrete a perda de chance de vida e de saúde das gerações(...)" in Direito Ambiental Brasileiro, Malheiros Editores, 12ª ed., 2004, p. 326-327.

A responsabilidade jurídica por danos ambientais tem suas raízes na Declaração do Rio de Janeiro, de 1992, cujo Princípio 13 assim determina: "Os Estados deverão desenvolver legislação nacional relativa à responsabilidade e à indenização das vítimas da poluição e outros danos ambientais".

No Brasil, a Constituição da República Federativa (CRFB/1988) estabeleceu em seu art. 225, § 3º "As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas,

independentemente da obrigação de reparar os danos causados”, consagrando a tríplice responsabilidade em matéria ambiental para promover o meio ambiente ecologicamente equilibrado e a sadia qualidade de vida.

Ademais, a responsabilidade civil por danos ambientais é objetiva e fundada na teoria do risco integral, em face do disposto no art. 14, § 1º, da Lei nº 6.938/1981. Soares e Salvador (2015) explicam que, pela teoria do risco integral, o dever de indenizar está sempre presente pelo simples fato de constatar atividade potencialmente danosa ao meio ambiente, sendo irrelevantes as excludentes de responsabilidade.

Ainda no campo das discussões sobre a responsabilização civil (patrimonial, obrigacional) por danos ambientais, Mirra (2003) leciona que está fundamentado na doutrina e na jurisprudência que a reparação deve ser integral, ainda que o pleno restabelecimento de um ambiente danificado ao *status quo ante* seja impraticável de forma natural.

Em matéria ambiental, consolidou-se que a responsabilidade civil é solidária. A corresponsabilidade aumenta as garantias de reparação do dano ambiental, dispensa a identificação precisa de qual foi a conduta poluente e de quem tenha sido seu direto causador. Menciona-se também a natureza *propter rem* do dano ambiental, conforme diversas decisões dos tribunais.

O Capítulo VI, contido no Título VIII (“Da Ordem Social”) da CRFB/88 que trata especificamente de “Meio Ambiente”, por meio do artigo 225, estabelece em seu *caput* previsão do direito de todos ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, impondo-se à coletividade e ao Poder Público a obrigação de protegê-lo e preservá-lo, de forma a privilegiar a qualidade de vida, em todas as formas, para as presentes e futuras gerações.

Ao Ministério Público compete a fiscalização e a inauguração do litígio, quando se trata de normas protetoras do meio ambiente, explica Lopes (2015). A instituição traz consigo enorme responsabilidade na tutela ambiental, devido às atribuições conferidas pela Lei nº 7.347/85, que disciplina a Ação Civil Pública de responsabilidade por danos causados, dentre outros, ao meio ambiente (art. 5º, I). Essa instituição ministerial tem a incumbência de promover a proteção do meio ambiente, seja de maneira extrajudicial, com os mais variados instrumentos de composição do litígio disponíveis ao órgão, seja atuando no processo como autor da ação ou como fiscal da ordem jurídica (art. 6º, §4º, da Lei nº 4.717/65; art. 5º, § 1º, da Lei nº 7.347/85 e arts. 176 e 179 do Código de Processo Civil). Nesse último caso, a atuação se dará quando a instância for instaurada pelas demais entidades que promovam a tutela do meio ambiente (art. 5º, incisos I a V, da Lei nº 7.347/85). Ressalte-se que essa atribuição foi

elevada ao nível constitucional, por meio dos artigos 127 e 129, III da CRFB/88. Assim, a missão constitucional é proteção ambiental, com grande relevância quando realizada sob a perspectiva preventiva, ainda que também seja possível sob a ótica repressiva.

O Ministério Público possui diversos instrumentos hábeis em concretizar a tutela ambiental. Os mais indicados são os meios consensuais de resolução de conflitos ambientais. Esses meios consensuais evitam a demora do combate processual e os altos custos envolvidos em uma lide judicializada.

O Superior Tribunal de Justiça editou a Súmula nº 613, cujo teor é: “Súmula 613-STJ: Não se admite a aplicação da teoria do fato consumado em tema de Direito Ambiental. STJ. 1ª Seção. Aprovada em 09/05/2018, DJe 14/05/2018” (BRASIL, 2018b). Essa súmula evidencia que, mesmo que uma conduta tenha sido autorizada, inclusive judicialmente, e já se tenha transcorrido muito tempo desde a sua ocorrência, caso venha a ser reconhecida lesiva ao meio ambiente, o fato deverá ser desconstituído e não se convalidará pelo decurso do tempo (SOARES *et al.*, 2018).

A celeridade nas providências de tutela ambiental é crucial para evitar danos irreversíveis e para se garantir que, mesmo que não seja possível a recuperação integral, a composição dos danos deverá ocorrer de maneira satisfatória, especialmente pelo seu caráter educativo e inibidor de práticas degradadoras, que podem ser irreversíveis.

Quando se trata de compensação por dano ambiental ocasionado por lançamento de esgoto sanitário nas águas, é possível pleitear a responsabilização do Poder Público, seja por sua ação direta ou por sua omissão, quando ausente em seu dever fiscalizatório e de tutela do meio ambiente. Esse é o entendimento do STJ (BRASIL, 2018c):

ADMINISTRATIVO E PROCESSUAL CIVIL. AGRAVO INTERNO NO RECURSO ESPECIAL. AÇÃO CIVIL PÚBLICA. REPARAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. AGRAVO DE INSTRUMENTO. ACÓRDÃO RECORRIDO QUE ADMITE O IBAMA COMO LITISCONSORTE ATIVO. OMISSÃO DA AUTARQUIA NO DEVER DE FISCALIZAÇÃO. FIGURAÇÃO NO POLO PASSIVO DA DEMANDA. JURISPRUDÊNCIA FIRMADA PELO STJ. ALEGADA VIOLAÇÃO AO PRINCÍPIO DA COLEGIALIDADE. NÃO OCORRÊNCIA. SÚMULA 83/STJ E ART. 255, § 4º, III, DO RISTJ. AGRAVO INTERNO IMPROVIDO. I. Agravo interno aviado contra decisão publicada em 15/03/2018, que, por sua vez, julgara Recurso Especial interposto contra acórdão publicado na vigência do CPC/73. II. Trata-se, na origem, de Agravo de Instrumento, interposto pelo IBAMA contra decisão do Juízo de 1º Grau que indeferiu o pedido de ingresso da autarquia, no feito, como litisconsorte ativo, junto ao Ministério Público Federal, em Ação Civil Pública objetivando a reparação de danos causados ao meio ambiente, mantendo o agravante no polo passivo do processo. O Tribunal local deu provimento ao Agravo de Instrumento, para assegurar o direito à participação do IBAMA no polo ativo do feito. III. A questão ora controvertida possui entendimento firmado nesta Corte, fato esse que autoriza a

apreciação monocrática do apelo, nos termos da Súmula 83 do STJ ("Não se conhece do recurso especial pela divergência, quando a orientação do Tribunal se firmou no mesmo sentido da decisão recorrida") e do art. 255, § 4º, III, do RISTJ. Ademais, na forma da jurisprudência desta Corte, o posterior julgamento do recurso, pelo órgão colegiado, na via do Agravo Regimental ou interno, tem o condão de sanar qualquer eventual má aplicação da regra contida no art. 557 do CPC/73, entendimento que se aplica à sistemática advinda com o CPC/2015. Inocorrência de afronta ao art. 932 do CPC/2015. IV. Na forma da jurisprudência do STJ, o IBAMA detém legitimidade ad causam para constar no polo passivo da demanda em que se apurem supostos danos causados em decorrência de sua omissão no dever de fiscalização do meio ambiente (STJ, REsp 1.581.124/SP, Rel. Ministro HUMBERTO MARTINS, SEGUNDA TURMA, DJe de 15/04/2016). Destarte, aplica-se, ao caso, entendimento consolidado na Súmula 83/STJ ("Não se conhece do recurso especial pela divergência, quando a orientação do Tribunal se firmou no mesmo sentido da decisão recorrida"). V. Agravo interno improvido. (AgInt no REsp 1714303/SP, Rel. Ministra ASSUSETE MAGALHÃES, SEGUNDA TURMA, julgado em 15/05/2018, DJe 21/05/2018) (BRASIL, 2018c).

Carvalho Filho (2005) ensina que o Estado é responsável quando há o dever legal de impedir a ocorrência do dano. O autor defende a responsabilidade omissiva do Estado consubstanciada em elementos de culpa quando da responsabilidade administrativa, isto é, negligência em cumprir o dever legalmente imposto. Importa evidenciar tal entendimento porque, mesmo para aqueles que defendem que o Estado não responderia objetivamente por omissão, em face de dano ambiental ocorrido por circunstâncias estranhas à ingerência estatal, já que não haveria liame entre a conduta estatal e o dano propriamente dito, o imperativo de responsabilização decorre do texto constitucional (art. 225), bem como de disposições legais (art. 2º inciso I e 3º, inciso IV, da Lei nº 6.938/81), o que impõe a responsabilidade do Poder Público, independentemente da teoria de responsabilidade adotada, seja pela via objetiva, ante a concorrência indireta no dano (art. 3º, inciso IV, da Lei nº 6.938/81), seja pela via subjetiva, ante a negligência em cumprir o dever legal de proteção ambiental (art. 225 CRFB/88).

Nesse sentido, Soares *et al.* (2018) defendem que estabelecidos os benefícios econômicos e sociais para se efetivar a compensação e, no caso, fixada a responsabilidade do Poder Público, para fins de, consensualmente revegetar a área degradada, é possível adotar o compromisso de ajustamento de conduta, como instrumento apto à concretização dessa finalidade. Esse instituto, previsto no art. 5º, § 6º da Lei nº 7.347/85, disciplinado na Resolução nº 179, de 26 de julho de 2017, do Conselho Nacional do Ministério Público é de acentuada utilidade, na medida em que promove redução da litigiosidade e evita a judicialização (BRASIL, 1985; CNMP, 2017; SAMPAIO *et al.*, 2016). O compromisso de ajustamento de conduta firmado para fins de compensação por dano ambiental, cujo objeto é a revegetação de área degradada, possui força de título executivo extrajudicial ou judicial, este, caso tenha sido homologado previamente em juízo (art. 515, inciso III, do CPC).

A natureza dessa obrigação é de fazer, sendo irrelevante o conteúdo patrimonial de fundo, razão pela qual não se submeterá ao rito dos precatórios previsto no art. 100 da CRFB/88. Entendimento consolidado pelo Supremo Tribunal Federal (RE 573872/RS):

RECURSO EXTRAORDINÁRIO COM REPERCUSSÃO GERAL. DIREITO CONSTITUCIONAL FINANCEIRO. SISTEMÁTICA DOS PRECATÓRIOS (ART. 100, CF/88). EXECUÇÃO PROVISÓRIA DE DÉBITOS DA FAZENDA PÚBLICA. OBRIGAÇÃO DE FAZER. SENTENÇA COM TRÂNSITO EM JULGADO. EMENDA CONSTITUCIONAL 30/2000. 1. Fixação da seguinte tese ao Tema 45 da sistemática da repercussão geral: “A execução provisória de obrigação de fazer em face da Fazenda Pública não atrai o regime constitucional dos precatórios.” 2. A jurisprudência do STF firmou-se no sentido da inaplicabilidade ao Poder Público do regime jurídico da execução provisória de prestação de pagar quantia certa, após o advento da Emenda Constitucional 30/2000. Precedentes. 3. A sistemática constitucional dos precatórios não se aplica às obrigações de fato positivo ou negativo, dado a excepcionalidade do regime de pagamento de débitos pela Fazenda Pública, cuja interpretação deve ser restrita. Por consequência, a situação rege-se pela regra geral de que toda decisão não autossuficiente pode ser cumprida de maneira imediata, na pendência de recursos não recebidos com efeito suspensivo. 4. Não se encontra parâmetro constitucional ou legal que obste a pretensão de execução provisória de sentença condenatória de obrigação de fazer relativa à implantação de pensão de militar, antes do trânsito em julgado dos embargos do devedor opostos pela Fazenda Pública. 5. Há compatibilidade material entre o regime de cumprimento integral de decisão provisória e a sistemática dos precatórios, haja vista que este apenas se refere às obrigações de pagar quantia certa. 6. Recurso extraordinário a que se nega provimento. (RE 573872, Relator(a): Min. EDSON FACHIN, Tribunal Pleno, julgado em 24/05/2017, PROCESSO ELETRÔNICO REPERCUSSÃO GERAL - MÉRITO DJe-204 DIVULG 08-09-2017 PUBLIC 11-09-2017) (BRASIL, 2017, grifo nosso).

Com isso, o compromisso de ajustamento de conduta poderá ser levado ao cumprimento nos termos do art. 536 e seguintes do Código de Processo Civil, em caso de o título ter se tornado judicial ou, nos termos do art. 814 e seguintes do diploma normativo em questão, se o título permaneceu extrajudicial. Nesse contexto, será possível reduzir custos econômicos e sociais que seriam decorrentes de um processo de conhecimento, bem como, proporcionará efetiva reparação do meio ambiente degradado.

Assim, a reparação (obrigação de fazer) é considerada mais adequada, se comparada a obrigação de pagar, e deve ser a mais abrangente possível, considerando os fatores da singularidade dos bens ambientais atingidos.

A reparação *in situ* é voltada para reabilitação dos bens naturais do local originalmente degradado, consistindo na forma ideal e completa de reparação. A recuperação *in natura*, realizada mediante imposição de obrigação de fazer, busca a recuperação da capacidade funcional do ambiente degradado, devendo assegurar a possibilidade de autorregulação e autorregeneração do bem afetado, por meio da reconstituição de

ecossistemas e *habitats* comprometidos e que estavam em desequilíbrio ecológico devido ao dano ocasionado (SOARES *et al.*, 2018).

Para Catalá (1998), a recuperação *in natura* deve ser a opção prioritária em relação às demais. Enfatiza-se que os danos ambientais não podem ser tratados unicamente a partir da visão econômica e, portanto, a compensação monetária será sempre subsidiária em relação à reparação *in natura*. O dano ocasionado pelo lançamento de esgotos é de difícil recuperação *in natura* e ocorre em grande escala nos municípios brasileiros, devido à precariedade da prestação dos serviços de esgotamento sanitário. O Município e Distrito Federal são os titulares da prestação do serviço desse serviço à sociedade, conforme art. 8º-C da Lei nº 11.445/2007¹, daí são os principais responsáveis pela geração do dano ambiental em caso de lançamento irregular de esgotos nas águas (BRASIL, 2007).

A compensação constitui forma de restauração natural do dano ambiental voltada para áreas/objetos/bens diferentes daqueles degradados, mas com a maior proximidade possível de equivalência ecológica, conforme ADI 3547 MC/PR (BRASIL, 2018a). O seu objetivo não é a restauração ou reabilitação dos bens naturais diretamente afetados, mas sim a substituição por bens equivalentes ou que contribuam para manutenção do ecossistema afetado.

Conforme Sánchez (2008), os princípios que norteiam a compensação ambiental monetária devem contemplar: i) proporcionalidade entre o dano causado e a compensação exigida; ii) conexão espacial: preferência por medidas que possam ser implementadas em área contígua à área afetada; iii) conexão funcional: preferência por medidas compensatórias que representem a reposição ou a substituição das funções ou dos componentes ambientais afetados, como é a proposta deste trabalho.

Steigleder (2011) esclarece que a compensação por equivalência nada mais é do que a transformação do valor que deveria ser depositado no fundo de reparação dos interesses difusos lesados em obrigação de fazer coisa certa ou incerta que, efetivamente, contribua na manutenção do equilíbrio ecológico. Para a autora, a possibilidade de converter a indenização dos danos irreversíveis em medidas compensatórias, consistentes em obrigações de entregar coisa distinta de dinheiro, encontra fundamento no artigo 83 da Lei nº 8.078/1990 – Código de Defesa do Consumidor (BRASIL, 1990), que admite toda espécie de ações capazes de propiciar adequada e efetiva tutela para a defesa dos direitos e interesses protegidos. O valor

¹ Redação dada pela Medida Provisória nº 868, de 2018.

do dano ambiental irreversível deve ser apurado, para que haja uma correlação entre o dano e o valor da obrigação proposta.

A compensação apresenta evidentes vantagens em relação à indenização e, por isso, deve ser priorizada, vez que ocasiona a preservação ambiental e permite que a sociedade possa usufruir do bem de uso comum (MPMS, 2018; IBAMA, 2002).

Dessa forma, a adoção de medidas compensatórias constitui boa alternativa nos casos de poluição hídrica. Para se alcançar a compensação plausível, importante que haja prévia quantificação, para posterior valoração dos danos ambientais.

A Lei nº 9.433/1997 estabelece como fundamento, no art. 1º, V, que “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos”. Sabe-se que o uso do solo na bacia hidrográfica interfere diretamente na qualidade da água superficial.

Nesse sentido, a mata ciliar desempenha importante função ambiental na manutenção da qualidade da água, estabilidade dos solos, regularização dos ciclos hidrológicos e conservação da biodiversidade. Em relação à qualidade da água, a manutenção dessas matas reduz o assoreamento e a força das águas que chegam aos rios, lagos e represas, o que mantém a qualidade do recurso hídrico ao impedir a entrada de poluentes para o meio aquático, via escoamento superficial (*runoff* – enxurrada). Sendo assim, a recomposição dessas matas ciliares constitui adequada medida de compensação ambiental.

3 POLUIÇÃO DA ÁGUA POR ESGOTOS SANITÁRIOS, CAPACIDADE DE AUTODEPURAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS E OS DANOS ASSOCIADOS

O lançamento de esgotos sanitários, sem prévio tratamento, ainda constitui ação continuada no Brasil e em Minas Gerais, mesmo sendo proibido desde 1934 (ANA, 2013; IBGE, 2019; BRASIL, 1934). Esse lançamento irregular ocasiona diversos danos à estrutura e às funções dos ecossistemas aquáticos e conduz à degradação ou perda de serviços ecossistêmicos.

A matéria orgânica presente nos esgotos constitui característica de fundamental importância, sendo a causadora do principal problema de poluição dos corpos de água, que constitui a depleção do oxigênio dissolvido (OD). A demanda por OD pelos micro-organismos presentes nos esgotos, em seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica biodegradável, expressa em termos de demanda bioquímica de oxigênio

(DBO), faz com que esse gás seja reduzido no meio aquoso e, assim, fique menos disponível para outras demandas do ecossistema aquático (VON SPERLING, 2014). As substâncias orgânicas presentes nos esgotos, segundo Metcalf e Eddy (2003), são constituídas principalmente por compostos de proteínas (40 a 60%), carboidratos (25 a 50%), gorduras e óleos (8 a 12%) e, em menor quantidade, ureia, surfactantes, fenóis, pesticidas, metais e outros.

A DBO reflete a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, por meio de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea. Trata-se de indicação indireta do carbono orgânico biodegradável. Embora outros poluentes, além da matéria orgânica, também estejam presentes nos esgotos e podem ocasionar danos ao ecossistema aquático (nutrientes, sólidos, micropoluentes e outros), a matéria orgânica constitui o parâmetro de maior importância na caracterização do grau de poluição do corpo de água (VON SPERLING, 2014).

O fenômeno da autodepuração está associado ao restabelecimento do equilíbrio no meio aquático após as alterações devidas ao lançamento de matéria orgânica biodegradável. Quando esses compostos são lançados nos corpos de água, eles são convertidos em compostos estáveis (estabilização da matéria orgânica), como gás carbônico e água.

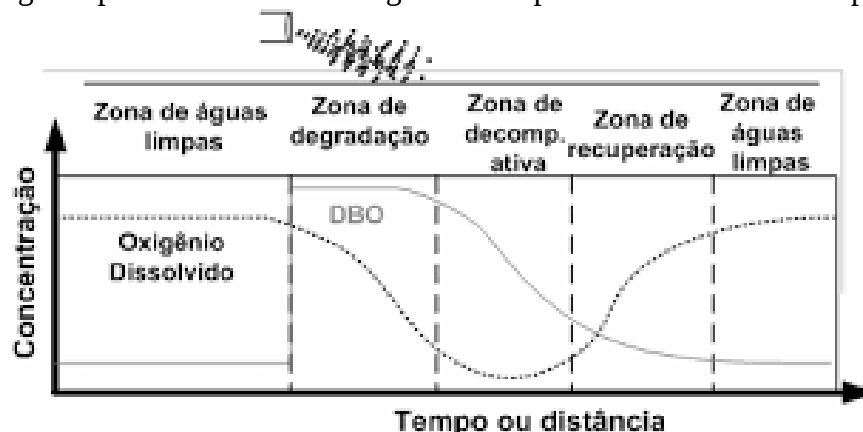
Antes do lançamento de esgotos sanitários, o ecossistema de um corpo de água encontra-se usualmente em um estado de equilíbrio. Após o lançamento e entrada dos poluentes, o equilíbrio entre as comunidades é afetado, resultando em uma desorganização inicial, seguida por uma tendência a se reequilibrar. Assim, a autodepuração representa fenômeno de sucessão ecológica. Existem sequências de substituição de uma comunidade por outra, até se obter o restabelecimento do equilíbrio do meio.

Ocorre, muitas vezes no cenário brasileiro, que antes de acontecer a depuração da matéria orgânica, contida nos esgotos lançados nos cursos de água, outra carga de poluentes é introduzida no corpo hídrico e a capacidade de autodepuração fica sempre comprometida.

A Figura 1 apresenta o perfil esquemático da concentração da matéria orgânica e oxigênio dissolvido ao longo do percurso no curso de água, após o lançamento dos esgotos sanitários, bem como as zonas de autodepuração².

² Zona de águas limpas: demonstra a qualidade do corpo de água antes da emissão da matéria orgânica e após o processo de autodepuração da matéria orgânica. Caracteriza-se pelo equilíbrio ecológico e elevada qualidade da água. Zona de degradação: esta zona tem início logo após o lançamento dos esgotos no curso de água. A principal característica química é a alta concentração de matéria orgânica em estágio complexo, mas potencialmente depurável. Zona de decomposição ativa: após a fase Inicial de perturbação do ecossistema,

Figura 1 – Perfil esquemático da concentração da matéria orgânica e oxigênio dissolvido ao longo do percurso no curso de água e as respectivas zonas de autodepuração.



Fonte: Adaptado de BRAGA, 2002 p. 89.

O modelo matemático de Streeter-Phelps relaciona os principais mecanismos que definem a concentração de OD em um curso de água superficial que recebe lançamento de esgotos sanitários: decomposição de matéria orgânica e aeração.

A hipótese básica do modelo Streeter-Phelps é que a taxa de decomposição da matéria orgânica no meio aquático (ou taxa de desoxigenação dL/dt) é proporcional à concentração da matéria orgânica presente em um dado instante de tempo, que é dada pela Equação 1:

$$\frac{dL}{dt} = -k_1 L \quad \text{Equação 1}$$

Onde L é a DBO remanescente ao fim do tempo t , em mg/L e k_1 é o coeficiente de decaimento, ou constante de desoxigenação, dada por dia^{-1} e t é o tempo, em dias.

Na literatura, o coeficiente de desoxigenação (k_1) é também denominado coeficiente de decomposição (k_d). Integrando a Equação 1, entre L_0 e L , tem-se:

$$\int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = -k_1 t \rightarrow L = L_0 e^{-k_1 t} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: L_0 é a DBO inicial de mistura (esgoto sanitário + corpo de água receptor), no ponto de lançamento, em mg/L.

constata-se o início da reorganização, com micro-organismos realizando ativamente suas funções de decomposição da matéria orgânica. Nessa zona, constata-se a maior depleção do oxigênio dissolvido no meio hídrico. Zona de recuperação: representa a fase de recuperação, após a etapa de intenso consumo de oxigênio para estabilizar a matéria orgânica.

Em termos de consumo de oxigênio, é importante a quantificação da DBO exercida, que pode ser obtida pela Equação 3:

$$y = L_0 (1 - e^{-k_1 t}) \quad \text{Equação 3}$$

y é a DBO exercida em um tempo t (mg/L).

A equação de Streeter-Phelps é usada no estudo da autodepuração da matéria orgânica como ferramenta de modelagem da qualidade da água. O modelo descreve como o OD diminui em um curso de água ao longo de uma distância, pela decomposição da matéria orgânica biodegradável (DBO). A equação foi obtida por Harold Warner Streeter, engenheiro sanitário, e Earle Bernard Phelps, consultor do Serviço de Saúde Pública dos Estados Unidos, em 1925, com base em dados de campo do rio Ohio e ainda é amplamente utilizada (DROSTE, 1997).

Cabe informar que o modelo de Streeter-Phelps considera as condições do corpo d'água estacionárias, isto é, assume que todas as condições são permanentemente as mesmas, e não simula eventos transientes ou que variem no tempo e características uniformes do trecho simulado, tais como declividade, velocidade, profundidade, coeficientes de desoxigenação e outros, para cada um dos corpos de água considerados neste estudo (STREETER; PHELPS, 1925).

4 ECONOMIA E MEIO AMBIENTE

Economia e meio ambiente estão inter-relacionados, vez que o meio ambiente é o provedor dos recursos que sustentam as atividades econômicas. Assim, o meio ambiente preservado provê matéria-prima adequada para que se tenha bens de consumo de forma a suprir as demandas da sociedade.

Na transformação dos elementos do meio ambiente surgem externalidades negativas, que é a poluição e/ou degradação dos recursos naturais, tornando-os cada vez mais escassos e assim, interferindo diretamente na relação de oferta e demanda que é a base da economia. No entanto, mesmo havendo essa relação de dependência entre a oferta dos recursos ambientais adequados e o provimento dos bens de consumo para a sociedade, que constituem a base da ciência econômica, somente a partir da década de 60 é que o meio ambiente passou a ser objeto das ciências econômicas (CUSTÓDIO, 2017). Esse reconhecimento tardio pode se relacionar com a equivocada impressão de abundância dos

recursos naturais, aliada a também equivocada noção de que a natureza possui inesgotável capacidade de depurar, recuperar e equilibrar as intervenções ocorridas, especialmente pela atividade antrópica desenfreada que se constata no cenário capitalista, onde o consumo de bens ocorre de forma intensa.

De acordo com Oliveira (2015), o primeiro economista a apresentar a externalidade foi Alfred Marshall no ano de 1890. Essa externalidade negativa somente emerge para a economia no caso de a degradação ambiental não ser computada como custo incorporado na empresa causadora do dano.

Salienta-se que a poluição/degradação sempre ocorreu. No entanto, era tida como algo necessário para a promoção do desenvolvimento econômico.

Custódio (2017) ensina que economia e ecologia apresentam a mesma raiz etimológica “oikos” que significa “casa”. Dessa forma, economia trata da administração da casa e ecologia, estudo da casa. Constata-se, dessa maneira, a estreita relação entre essas ciências. Conforme mencionado, foi na década de 60 que o meio ambiente começou a ser analisado sob a ótica *econômica, não apenas da valorização de seus elementos constituintes*, que são matérias-primas dos processos industriais, por exemplo; mas o meio ambiente como um sistema ecológico e prestador de serviços, por si só, indispensáveis para nossa sobrevivência.

Diante disso, na década de 60 surgem duas linhas de pensamento: a economia de fronteira e o ecologismo radical (NOGUEIRA; ARAÚJO, 2013). Os progressistas ou adeptos da economia de fronteira acreditavam que os recursos naturais eram ilimitados e os conservadores extremistas, adeptos do ecologismo radical defendiam o “crescimento zero”.

Na década de 80, quando surgiu o conceito atual de desenvolvimento sustentável, por meio do relatório Brundtland (Nosso Futuro Comum), a linha de pensamento das duas correntes apresentadas se aproximou e, embora se tenha consciência da necessidade da exploração dos recursos naturais para provimento das necessidades humanas, sabe-se também que as tecnologias de controle e mitigação das externalidades negativas inerentes a transformação dos recursos devem ser devidamente aplicadas (CUSTÓDIO, 2017; ONU, 2019).

O termo “desenvolvimento sustentável” estabeleceu vínculo sintonizado entre os aspectos ecológicos, econômico e social, sempre sobre a perspectiva cultural e histórica, para satisfazer os interesses materiais e imateriais da sociedade e de forma participativa.

Sabe-se, no entanto, que se vivencia uma era de transição, onde o homem, devido ao seu egoísmo e ignorância, muitas vezes não tem plena consciência da importância da preservação dos recursos para a manutenção da vida no planeta. Por se importar somente com seus interesses individuais a curto prazo e com a geração de riquezas, também a curto prazo, faz uso dos recursos naturais de forma irresponsável e inconsequente.

Atualmente, especialmente no Brasil, a preservação dos recursos naturais fica muito a cargo do falho sistema de fiscalização do Estado. Já se pode perceber, com muita clareza diante dos recentes desastres ambientais (caso da Samarco Mineração S.A. em Mariana-MG e da Vale S.A. em Brumadinho-MG, por exemplo), que essa forma de controle é ineficiente. A exemplo de países mais desenvolvidos, para que o sistema de fiscalização seja eficaz, é necessário que a sociedade esteja, de fato, consciente da importância do ambiente preservado e das consequências coletivas da degradação dos recursos, participando ativamente nas decisões para concessão dos licenciamentos ambientais, bem como em outros atos de interesse da sociedade.

Trata-se de um processo longo em que, muitas vezes, não se constata interesse da Administração Pública em tornar eficiente o controle dessas externalidades negativas.

Custódio (2017) informa que atualmente parte considerável de profissionais da economia acredita no crescimento econômico infinito, baseando-se nas ideias do cientificismo, onde o progresso técnico é ilimitado e suficiente para solucionar os problemas advindos da falta de bens e componentes ambientais, de maneira que quando um determinado recurso exaurir, outro já terá sido descoberto e assim sempre será substituído.

Nessa linha de raciocínio, não há razões para se preservar os recursos e a exploração pode se dar de forma a favorecer o rápido enriquecimento de alguns. Nesse sentido também aponta Siqueira (2017, p. 8-9) “com isso, os significativos impactos ambientais gerados ao longo da vida ativa do empreendimento acabam não reparados ou compensados, impondo-se à sociedade todo o ônus ambiental”. Essa prática contribui para a privatização dos lucros (bônus) e socialização dos prejuízos (ônus), contrariando o princípio do poluidor-pagador, que está em consonância com a internalização das externalidades ambientais negativas. Trata-se de corrente que engloba os principais modelos macroeconômicos, segundo Custódio (2017) e Lima (2001).

No entanto, constata-se outras correntes de pensamento que vêm sendo desenvolvidas, apesar de ainda marginalizadas. Essas correntes emergem no sentido de o

empreendedor, usuário dos recursos naturais, oferecer garantias (caução) para a sociedade pelos danos eventualmente constatados e provenientes de sua atividade.

O art. 9º, inciso XIII da Lei nº 6.938/1981 apresenta o seguro ambiental³ como instrumento para efetivar a Política Nacional de Meio Ambiente. Infelizmente, na prática, esse dispositivo ainda não foi implementado. Também o art. 4º, VII da mesma Lei nº 6.938/1981 estabelece como um de seus objetivos a imposição, ao poluidor, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos.

A cobrança pelo uso da água também encontra guarida no princípio do usuário-pagador, que se refere ao uso autorizado de recurso ambiental, por meio de critérios estabelecidos em norma. A contribuição financeira ocorre antes que o dano aconteça. Logo, não se trata de penalidade, mas do pagamento pelo uso do recurso. A cobrança pelo uso dos recursos hídricos constitui forma de conscientizar e estabelecer controle sobre mau uso (excessos e desperdícios) do bem (MACHADO, 2004).

O art. 19 da Lei nº 9.433/1997 define os objetivos dessa cobrança: i) reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor; ii) incentivar a racionalização do uso da água e iii) obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos. Sujeitam-se à cobrança pelo uso da água, usuários que demandam o recurso para consumo ou outro uso outorgável, em quantidade considerada significativa (MILARÉ, 2015).

Em “A Tragédia dos Comuns” (The Tragedy of the Commons), Garrett Hardin demonstra que há uma tendência do ser humano em utilizar os bens comuns de forma a atender interesses individualizados e não visar a tutela do bem de interesse público. E é esse uso exagerado e egoísta que culmina na escassez desses bens (HARDIN, 1968).

Neste contexto, o Quadro 1 demonstra as principais teorias econômicas concernentes ao meio ambiente.

³ Incluído pela Lei nº 11.284 de 2006.

Quadro 1 – Principais teorias econômicas concernentes ao meio ambiente.

	Economia convencional	Escola conservacionista	Economia do meio ambiente	Economia ecológica
Matriz	Tecnocêntrica	Ecocêntrica	Antropocêntrica	Antropocêntrica
Sustentabilidade	Muito fraca	Muito forte	Fraca	Forte
Principal objetivo	Eficiência econômica	Conservação da natureza	Desenvolvimento sustentável	“saúde econômica e ecológica global”
Instrumental	Economia neoclássica	Ciências naturais	Economia neoclássica adaptada	Pluralista e eclético
Característica	Quase perfeita substituição entre o capital natural e outras formas de capital	Rejeitam a utilização, mesmo que sustentável, dos ativos naturais	Introduz dimensões ambientais dentro do arcabouço teórico da economia convencional	Postula uma nova representação teórica da atividade econômica a partir de conceitos das ciências naturais.

Fonte: LIMA, 2001.

As escolas novas objetivam ecologizar a economia e economizar o meio ambiente, aplicando políticas mais ambientais, de forma a internalizar as externalidades negativas geradas pelas atividades econômicas. Isso em sintonia com as diretrizes do princípio ambiental do poluidor-pagador e visando ao uso dos recursos naturais nos processos produtivos, promovendo o crescimento econômico, mediante a adoção de técnicas de controle dos danos gerados na transformação da matéria-prima (recursos naturais).

Cabe ainda esclarecer que as externalidades negativas, oriundas da transformação dos recursos naturais para promover o equivocado progresso, atender às complexas demandas da sociedade e gerar riquezas individualizadas, também apresentam potencial para intervir negativamente na saúde pública, vez que tornam os recursos naturais, além de poluídos, contaminados por substâncias patogênicas, tóxicas e até carcinogênicas, que são, por exemplo, precariamente removidas pelos métodos convencionais de potabilização da água (GHISELLI; JARDIM, 2007; SARAIVA SOARES *et al.*, 2013; IUPAC, 2019; USEPA, 2019; ANDRÃ *et al.*, 2018; MONTAGNER *et al.*, 2019; WILLIAMS, 2019). Todos esses

fatores justificam a preservação dos recursos naturais e a consideração do meio ambiente nos cálculos dos gastos econômicos.

Alia-se a esse raciocínio a essência do princípio da prevenção que está em vários artigos da Constituição da República de 1988 e deve ser respeitado e aplicado em todas as ações humanas que interferem no ambiente. Destaca-se, ainda, o princípio que ilumina todo texto constitucional – da dignidade da pessoa humana –, que certamente se faz desrespeitado quando se lança esgotos nos nossos rios, degradando a qualidade das águas.

A obtenção do crescimento econômico é necessária, mas deve ser garantida a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento social para as presentes e futuras gerações.

A valoração, de acordo com os ensinamentos de Custódio (2017), busca corrigir um erro metodológico econômico, vez que, ao se considerar o valor de um bem, é desconsiderado o valor do substrato natural que é utilizado para constituição do produto, tal como a água, o ar, serviços ecossistêmicos (energia) e outros. Assim, ensina a professora que um dos maiores desafios é valorizar o invalorizável, já que o meio ambiente tem valor infinito e, equivocadamente, pode-se defender a tese de que não tem como valorar o que é infinito.

Oliveira (2015) menciona que Pigou, o primeiro a utilizar o conceito de externalidade em análise de impacto ambiental, percebeu que havia como consequência a queda na qualidade de vida e sugeriu a taxa corretiva por meio da denominada taxa de Pigouviana, focada na ideia de que externalidade pode ser avaliada monetariamente.

Pigou era adepto da teoria clássica e se preocupava em corrigir distorções na formação dos preços dos produtos, sob a argumentação de que isso conduziria a falhas de mercado e a alocação eficiente desses ativos, inclusive dos recursos naturais utilizados no processo e não o meio ambiente. A teoria de Pigou, ensinam Lyssandro Norton Siqueira e Carlos da Costa e Silva Filho, ignora as “falhas do Estado”, que muitas vezes é o próprio poluidor ou se omite na sua responsabilidade de fiscalizar eficientemente (SIQUEIRA, 2017).

Destaca-se, ainda, Ronald Harry Coase que, em resposta à visão intervencionista de Pigou, defende a mudança de abordagem do problema dos efeitos prejudiciais da atividade empreendedora. O autor (COASE, 2008, p. 36) defende que se deve considerar nos cálculos de valoração “os custos envolvidos para operar os vários arranjos sociais (seja o trabalho de um mercado ou de um departamento de governo), bem como os custos envolvidos na mudança para um novo sistema”. Também essa teoria tem seus pontos fracos, de acordo com Carlos da Costa e Silva Filho citado por Siqueira (2017), vez que enfrenta a dificuldade da

pluralidade de interesses de conflito, elevando os custos da transação, além de eventualmente gerar uma concentração monopolista no acesso aos recursos naturais, pelo preço atribuído à parcela da natureza que se pretender usufruir, excluindo, dessa maneira, parte da população.

Essas teorias são criticadas pelo fato de não considerarem a complexidade das questões ambientais e resultarem na inepta valoração ambiental. Maria Alexandra de Sousa Aragão leciona que apesar do individualismo econômico de Ronald Coase não ter prevalecido, o sistema econômico e o ordenamento jurídico direcionam o indivíduo para a degradação do ambiente (ARAGÃO, 2012). Dessa forma, a solução consistiria na intervenção estatal no sentido de corrigir as falhas, sendo, assim, corresponsável por eventuais danos. Neste contexto, a presença do Estado na gestão dos recursos ambientais parece ser inafastável, como pondera Siqueira (2017).

Identificado o macrobem ambiental, como bem de uso comum do povo, o Poder Público tem legitimidade para avaliar as possíveis intervenções e autorizar a captação de recursos naturais, enquanto microbens ambientais. Lyssandro Norton Siqueira (2017, p. 41-42) conclui acerca do tema:

Para tanto, a intervenção estatal deve se dar de forma clara, com critérios precisos norteados pela principiologia do Direito Ambiental, sendo necessário um Estado forte, aparelhado para o exercício eficaz de sua atividade. A intervenção estatal no equilíbrio das externalidades ambientais deve ter um caráter preventivo, mostrando-se relevante, neste sentido, os princípios da prevenção e da precaução. Os princípios da prevenção e da precaução possuem o escopo comum de cautela quanto aos potenciais impactos ambientais causados por atividades e empreendimentos. A avaliação das externalidades ambientais negativas é fundamental para subsidiar o órgão ambiental responsável pela decisão administrativa que permitirá o acesso ao recurso natural. Caberá à autoridade administrativa, a partir do exame dos estudos técnicos, definir pela viabilidade, ou não, daquele empreendimento e examinar, entre as alternativas técnicas apresentadas, as mais adequadas medidas mitigadoras e compensatórias dos impactos ambientais. (SIQUEIRA, 2017, p. 41-42).

Assim, a análise econômica é incorporada na questão ambiental e dá-se início ao desenvolvimento de métodos e técnicas de valoração monetária dos danos ambientais. Esses métodos e técnicas exigem dos pesquisadores e usuários conhecimentos multidisciplinares devido a complexa inter-relação dos compartimentos ambientais.

Os economistas Nogueira e Mello (2003) ressaltam a dificuldade do judiciário brasileiro em estabelecer o *quantum debeatur*, que consiste no valor devido como indenização pecuniária por danos ocasionados ao meio ambiente. Muitas vezes, as partes processuais arbitram valores sem base científica comprovada, contrapondo a noção de completude das

ciências que envolvem a tutela ambiental, tornando o resultado inseguro juridicamente e gerando um mal-estar na população.

Os valores que envolvem este tipo de valoração podem ser de diversos tipos: filosóficos, sociais, naturais, econômicos, culturais, históricos, religiosos e outros. Diante disso, cada sociedade irá valorar de acordo com suas experiências e necessidades. Trata-se, portanto, de um cálculo complexo e com aspectos subjetivos que variam de caso a caso, sendo que considerar todos os fatores que envolvem um determinado dano ambiental é tarefa praticamente impossível. Deve-se, portanto, mediante análise criteriosa de especialistas na área do conhecimento do caso específico, considerar o máximo das variáveis envolvidas de forma a propiciar um resultado justo e baseado em conhecimentos científicos. Tendo sempre o cuidado e a responsabilidade de não considerar nos cálculos variáveis, métodos e valores que não sejam completamente justificáveis, de forma a não contribuir para descrédito da sociedade na valoração ambiental, que consiste em importante ferramenta para que os recursos ambientais sejam utilizados de forma consciente e, assim, promover sua preservação para as atuais e futuras gerações.

5 VALORAÇÃO AMBIENTAL

Valorar economicamente um recurso ambiental consiste em determinar quanto melhor ou pior estará o bem-estar das pessoas, em virtude de mudanças na quantidade e/ou quantidade de bens e serviços ambientais, seja na apropriação por uso ou não-uso (MOTTA, 1997).

A importância da valoração ambiental está no fato de oferecer um valor de referência para quantificar monetariamente os danos ambientais. Existem no Brasil e no mundo vários métodos de valoração, desenvolvidos para mensurar bens e serviços ambientais, cada qual com suas peculiaridades. No entanto, nem sempre atendem todos os tipos de dano ambiental (MPMS, 2018; IBAMA, 2002).

Não existe no ordenamento jurídico brasileiro regra jurídica que estabeleça método ou critério de valoração de dano ambiental que deva ser necessariamente aplicado.

A escolha do método de valoração deve, preferencialmente, contemplar os serviços ambientais envolvidos no caso em análise. No entanto, muitas vezes, devido à restrição de dados disponíveis, opta-se por métodos mais simplificados. Ademais, cada

procedimento se restringe a determinadas condições, tornando-se insatisfatório e inaplicável em outras situações, como ensina Magliano (2013).

A despeito de não haver regra jurídica para se utilizar os métodos de valoração, a norma técnica NBR 14653:2008, elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sempre que aplicável, deve ser utilizada como referência nos cálculos.

A NBR 14653:2008 (versão corrigida: 2009), em sua parte 6, trata de avaliação de bens – recursos naturais e ambientais – e também dispõe que não é possível estabelecer, *a priori*, a prevalência de um método de valoração de dano ambiental em relação ao outro.

5.1 Métodos de Valoração Econômica

Ronaldo Seroa da Motta adverte para o fato de que o valor econômico dos recursos ambientais é derivado de todos os seus atributos e que essas características podem estar ou não associadas a um uso. Dessa forma, o consumo de um recurso ambiental se realiza via uso e não-uso (MOTTA, 1997).

O autor (MOTTA, 1997, p.11) explica que um bem é homogêneo quando os seus atributos ou características que geram satisfação de consumo não se alteram. Outros bens são, na verdade, parte de classes de bens ou serviços compostos. Nesses casos, cada membro da classe apresenta atributos diferenciados, como, por exemplo, imóveis, veículos, viagens de lazer e também recursos ambientais. Logo, o preço de uma unidade j do bem x_i , P_{xij} , pode ser definido por um vetor de atributos ou características, a_{ij} , conforme Equação 4:

$$P_{xij} = P_{xi}(a_{ij1}, a_{ij2}, \dots, a_{ijn}) \quad \text{Equação 4}$$

No caso de um recurso ambiental, definem seus atributos, os fluxos de bens e serviços ambientais, que são derivados do seu consumo.

Entretanto, existem também atributos de consumo associados à própria existência do recurso ambiental, independentemente do fluxo atual e futuro de bens e serviços apropriados na forma do seu uso.

Assim, é comum na literatura desagregar o valor econômico do recurso ambiental (VERA) em valor de uso (VU) e valor de não-uso (VNU).

Ronaldo Seroa da Motta explica que valores de uso podem ser, por sua vez, desagregados em (MOTTA, 1997, p. 11-12):

- i. valor de Uso Direto (VUD): quando o indivíduo se utiliza atualmente de um recurso, por exemplo, na forma de extração ou outro uso do recurso ambiental. Consiste no valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental em função do bem-estar que ele proporciona, por meio do uso direto,
- ii. valor de Uso Indireto (VUI): quando o benefício atual do recurso deriva das funções ecossistêmicas, como, por exemplo, a proteção da fauna e flora aquáticas. É definido como o valor atribuído a um recurso ambiental em virtude de suas funções ecossistêmicas,
- iii. valor de Opção (VO): quando o indivíduo atribui valor em usos direto e indireto que poderão ser optados em futuro próximo e cuja preservação pode ser ameaçada. Por exemplo, o benefício advindo de fármacos desenvolvidos com base em propriedades medicinais ainda não descobertas de plantas em florestas tropicais,
- iv. o valor de não-uso (ou valor passivo) representa o valor de existência (VE) que está dissociado do uso (embora represente consumo ambiental) e deriva-se de uma posição moral, cultural, ética ou altruística em relação aos direitos de existência de espécies não-humanas ou preservação de outras riquezas naturais, mesmo que estas não representem uso atual ou futuro para o indivíduo⁴.

Os métodos de valoração econômica apresentam diversas classificações. Ronaldo Seroa da Motta categoriza os métodos de valoração em dois tipos: função de produção e função da demanda. Esses métodos podem ser aplicados concomitantemente, em função do tipo de valoração requerido.

5.1.1. Métodos da função da produção

Os métodos da função da produção utilizam técnicas mais simples para definição de valores ambientais. O valor dos recursos é considerado como insumo ou fator de produção.

Há duas subdivisões: *métodos de produtividade marginal* e de *mercados de bens substitutos*.

O primeiro método de valoração, intitulado de produtividade marginal, fundamenta-se no uso do preço de mercado para compor o valor econômico do recurso, vez que são valores reconhecidos pelo mercado. Trata-se de método bastante aplicado por ser de fácil mensuração, mas desconsidera os valores de opção e de existência. Já o método de mercado de bens substitutos utiliza a mesma técnica do método de produtividade marginal, vez que aplica preço de mercado. A base de cálculo consiste na reposição dos gastos requeridos para repor um bem ambiental avariado pela poluição ou uso inadequado. Esse método se subdivide em (MOTTA, 1997, p. 18-19):

- i. custo de reposição: consiste naqueles que o usuário teve que arcar para substituir o bem ambiental de forma a garantir o nível

⁴ Bens privados também podem apresentar este atributo, que se expressa no que as pessoas chamam de valor de estimação.

desejado, como os custos de construção de piscinas públicas para garantir as atividades de recreação balneária quando as praias estão poluídas;

- ii. custos evitados: representa os gastos que o usuário arcou para substituir o bem original garantindo sua satisfação, como por exemplo, a aquisição de água tratada para substituir a água de reservatório de águas poluídas ou o custo que se deixou de arcar com determinado tratamento de água ou esgoto;
- iii. custos de controle: representa os gastos que o usuário tem para que o bem ambiental não se degrade ou não reduza seu estoque. Exemplo do pagamento das taxas de tratamento de esgotos para evitar a degradação dos recursos hídricos;
- iv. custo de oportunidade: mensura as perdas de renda devido aos investimentos realizados nas linhas de produção e consumo de bens e serviços privados por meio de adoção de medidas com objetivo de conservar ou preservar os recursos ambientais.

5.1.2. Métodos da função da demanda

Os métodos de função de demanda estão baseados na vontade dos indivíduos em pagar para ter disponível um recurso ambiental ou aceitar compensação por sua perda. Consistem dos seguintes: método de mercado de bens complementares e método de valoração contingente.

Esses métodos baseiam em um ponto comum que são o DAP (Disposição a Pagar) e o DAC (Disposição a Aceitar uma Compensação), ensina Custódio (2017). DAP está relacionado à quanto o indivíduo está disposto a pagar para que um bem ambiental não seja danificado. Por esse método se mensura preferências pessoais que são expressas em curvas de demanda pessoal e se estabelece pela Equação 5:

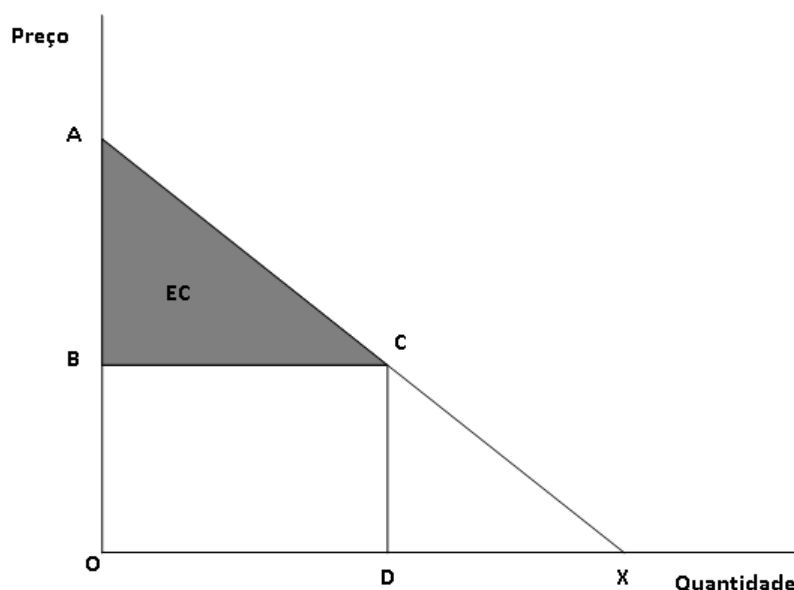
$$\text{DAP} = \text{VM} + \text{EC} \quad \text{Equação 5}$$

Onde: DAP = disposição a pagar; VM = valor de mercado; EC = excedente de consumo.

O EC, de acordo com Lima (2001), consiste na quantidade de renda que um indivíduo pagaria, além e acima de seu preço efetivo, de maneira a não ficar sem a quantidade desejada de um dado bem.

O gráfico apresentado na Figura 2 demonstra o DAP e o EC no caso em questão.

Figura 2. Gráfico do excedente de consumo.



Fonte: LIMA, 2001, p. 159.

A reta AX da Figura 2 representa demanda do consumidor por determinado bem. A reta é decrescente (função negativa) já que quanto maior a quantidade de produzida de determinado bem, menor será o preço correspondente a unidade. Ademais, supõe-se que a utilidade das primeiras unidades é maior do que das últimas. Se o preço do bem situa-se no ponto B da reta AO, a área OACD representa o total do que o consumidor está disposto a pagar (DAP). Como o consumidor paga efetivamente o equivalente a área OBCD, o triângulo ABC representa o excedente de consumo (EC). Já O DAC consiste na disposição a aceitar uma compensação para suportar uma perda de bem-estar.

Na técnica de valoração denominada *Métodos de Mercado e de Bens Complementares*, o parâmetro de cálculo consiste na preferência dos indivíduos, revelada por meio de mercados reais, recorrendo a análise de valores de bens correlacionados ao bem ambiental, onde este complementa aquele, tornando-o mais valioso. O valor do bem permite valorar o recurso ambiental pretendido.

Custódio (2017) esclarece que da mesma forma que mercados de bens e serviços privados substitutos a bens e serviços ambientais podem oferecer medidas de valor de uso dos recursos ambientais, quando representam a produção de um bem de demanda final que não possui preço observável, também mercados de bens e serviços privados complementares a bens e serviços ambientais podem ser utilizados para mensuração do valor de uso de um

recurso ambiental. Aqueles bens consumidos em proporções constantes entre si são denominados bens perfeitamente complementares.

Nesse contexto, uma análise que recorra aos mercados desses bens e serviços privados complementares pode gerar informações sobre a demanda do bem ou serviço ambiental relacionado com esses. Assim, se determinado bem é um complementar perfeito de outro, seu valor será desprezível, se a demanda pelo outro bem também for (MOTTA, 1997).

Há duas classificações para esse método: preços hedônicos e custo de viagem. O preço hedônico utiliza um bem privado que possua atributos complementares, bens ou serviços ambientais. O preço implícito do bem ou serviço ambiental é obtido pela identificação do valor do bem complementar. Maraluce M. Custódio cita que o exemplo mais comum é pertinente à área imobiliária, onde se levanta o valor de imóveis em diferentes locais com distintos níveis de atributos ambientais. Constatando-se as diferenças de valores, obtém-se a valoração atribuída aos bens ambientais (CUSTÓDIO, 2017).

Ronald Seroa da Motta ensina que se a oferta de propriedades é perfeitamente inelástica, os indivíduos estarão restritos a uma quantidade fixa de propriedades que possuem distintos conjuntos de atributos. O autor informa que uma transformação possível de $f^*(E)$ será dada pela regressão de P_E (medida estimada da disposição a pagar) com o respectivo nível do atributo ambiental e outras variáveis socioeconômicas do indivíduo (renda, idade, escolaridade etc). Considerando-se essa variável, define-se uma função de demanda que pode ser aplicada para estimar a disposição a pagar para cada grupo de indivíduos, de acordo com as variáveis socioeconômicas. “A partir da identificação desses grupos, estimam-se os valores do excedente do consumidor referente a uma variação discreta de E para cada grupo. O excedente total é dado pela agregação desses excedentes parciais” (MOTTA, 1997, p. 25).

Motta (1997) menciona também que este método capta apenas os valores de uso direto, indireto e de opção e é obtido por meio da Equação 6, segundo (TOLMASQUIM; MAGRINI *et al.*, 2002, p.41):

$$P_i = f(a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, \dots, R_i)$$

Equação 6

Onde,

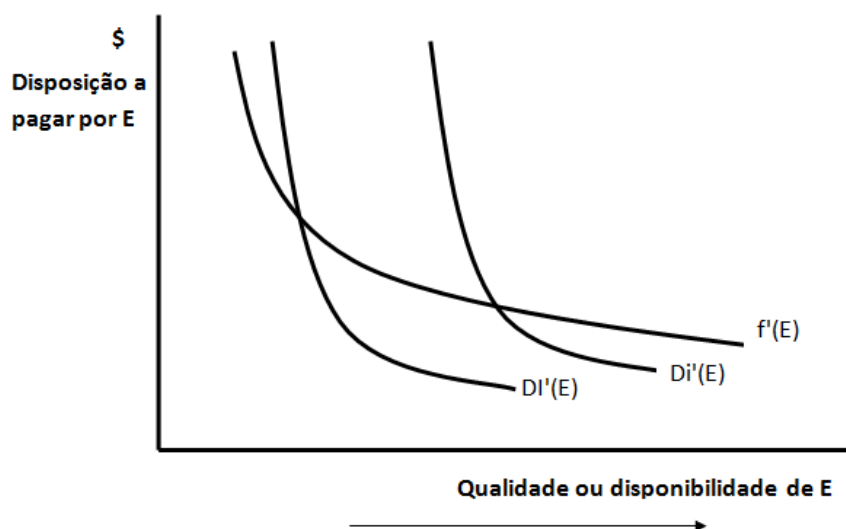
P_i = preço da propriedade

a_i = atributos da propriedade i

R_i = nível do bem ou serviço ambiental R da propriedade i .

A Equação 6 pode ser representada por meio das curvas apresentadas na Figura 3.

Figura 3 – Curvas de preço e de demanda por preços hedônicos.



Fonte: MOTTA, 1997, p. 26.

O método de custo de viagem (MCV) considera a demanda de atividades recreacionais e sua valoração ocorre por meio da estimativa de gastos para usufruir do bem. O valor de uso nunca será inferior ao custo de deslocamento despendido pelo indivíduo para o caso em questão. São considerados todos os custos do indivíduo, incluindo todas as variáveis pertinentes à viagem. Esse método é utilizado para valoração de parques, sítios naturais, cavernas e outros e não leva em consideração os valores de opção e de existência do bem. Trata-se de método que requer muita informação, o que pode restringir sua aplicação.

Método de valoração contingente ou de mercado hipotético é o único que considera o valor de existência de um bem ambiental, tendo assim, aplicação mais ampla, já que é capaz de captar particularidades objetivas e subjetivas dos fenômenos. Consiste na condução de pesquisas ou aplicação de questionários para indicar o DAP ou DAC dos indivíduos em relação a determinado bem ou qualidade ambiental e estima valores de uso e/ou de existência do bem, situando-o em caso hipotético em condições atuais e/ou futuras por meio de diferentes cenários – situações hipotéticas próximas da realidade.

As etapas para aplicação deste método contemplam (CUSTÓDIO, 2017):

- definição do bem ambiental a ser valorado, determinar se o mecanismo será DAP ou DAC,
- definição do instrumento de pagamento em pecúnia ou compensação
- seleção da forma de resposta para valorar o DAP ou DAC,
- elaboração dos itens do questionário,

- definição da amostra de população a ser entrevistada,
- caracterização da forma de aplicação do questionário, determinação do conteúdo das informações que devem ser prestadas no questionário,
- análise dos questionários respondidos,
- cálculo da medida monetária (TOLMASQUIM, 2000).

Esta técnica de valoração aproxima e apresenta o interesse da sociedade em relação a determinado bem ambiental e, dessa forma, atende ao princípio da participação comunitária na tomada de decisões sobre o uso ou não uso do bem.

5.1.3 Métodos Normalizados

A Norma Brasileira – NBR 14.653-6:2008 (versão corrigida) da ABNT, trata de avaliação de bens – recursos naturais e ambientais. De acordo com a norma, não é possível estabelecer, *a priori*, a prevalência de um método de valoração de danos ambientais em relação ao outro.

Esta norma técnica apresenta alguns conceitos e referências, estabelecendo que o valor econômico do recurso ambiental (VERA) é igual ao valor de uso (VU), mais o valor de existência (VE) → $VERA = VU + VE$.

O VERA pode ser entendido como o valor de uso direto (VUD), acrescido do valor de uso indireto (VUI), do valor de opção (VO) e do valor de existência (VE).

Dessa forma, o valor econômico de um recurso ambiental (VERA) compreende a soma dos valores de uso e de não uso, podendo ser expresso de acordo com a Equação 7:

$$VERA = VUD + VUI + VO + VE \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

VUD = Valor de Uso Direto

VUI = Valor de Uso Indireto

VO = Valor de Opção

VE = Valor de Existência ou Valor de Não Uso

Há diversos métodos de valoração que objetivam obter as parcelas (VUD, VUI, VO e VE) do valor econômico do recurso ambiental. Cada método apresenta limitação em

suas estimativas, as quais estarão quase sempre associadas ao grau de sofisticação metodológica, à necessidade e disponibilidade de dados e informação para o caso, às hipóteses sobre comportamento dos bens envolvidos, bem como dos indivíduos e da sociedade e ao uso que será dado aos resultados obtidos.

O Decreto Nº 4.339, de 22 de agosto de 2002, que institui princípios e diretrizes para a implantação da Política Nacional da Biodiversidade, também estabelece em seu Anexo (Inciso XIV) que o valor da biodiversidade inclui valor de uso direto e indireto, de opção de uso futuro e, ainda, valor intrínseco, incluindo os valores ecológico, genético, social, econômico, científico, educacional, cultural, recreativo e estético (BRASIL, 2002).

Salienta-se que os métodos diretos utilizam mercados de bens e serviços substitutos ou complementares ou mercados hipotéticos para mensurar as variações de bem-estar, enquanto os indiretos valoram os benefícios ambientais utilizando os custos evitados, as mudanças na qualidade ambiental, serviços ecológicos e funções ambientais e outros.

Atendem à ABNT-NBR 14.653-6:2008, em especial quanto aos componentes de valor comercial dos bens (8.5.1), custos de reposição (8.6.1.1), custos de realocação (8.6.1.2), e também em relação aos métodos de bens substitutos (8.6.1), quando os preços de mercado podem ser adotados com base nos bens substitutos para o produto ou o recurso natural (crédito de carbono, serviços ambientais, entre outros).

5.1.4 Valoração monetária dos serviços ecossistêmicos – Emergia

O bem-estar da sociedade é garantido por bens e serviços fornecidos pelos ecossistemas. Esses serviços estão relacionados com o equilíbrio ecológico, especificamente quanto a sua estrutura e funções, que são comprometidas pela entrada de poluentes no ecossistema. Dessa forma, os desequilíbrios ecológicos são diretamente relacionados às degradações dos serviços ecossistêmicos que, por sua vez, resultam em prejuízos para toda sociedade. São essas perdas que a sociedade tenta evitar ao estabelecer medidas de controle das emissões e ao monitorar a qualidade dos diferentes meios da biosfera (ULGIATI; BROWN, 2002; CHRISTÓFARO, 2012).

Assim, a avaliação dos efeitos adversos de poluentes nos serviços ecossistêmicos corresponde a uma avaliação do desequilíbrio ecológico, que pode ser expressa em termos biofísicos (unidades de energia ou massa) e/ou em termos monetários.

Na economia convencional, o preço de um produto corresponde aproximadamente ao somatório das despesas realizadas com insumos, mão-de-obra, transporte, outro tipo de serviços e a margem de lucro desejada. De certa forma, o preço econômico mede o trabalho humano agregado; porém, não considera a contribuição da natureza na formação dos insumos utilizados, nem o custo das externalidades negativas no sistema regional, pagas pela sociedade local.

A riqueza real dos recursos ambientais, na economia convencional, é inversamente proporcional aos custos monetários. Assim, quanto maior é o trabalho da natureza na produção de recursos, menor é seu preço devido a sua abundância.

Da mesma forma, quando os recursos do ecossistema tornam-se escassos, seus preços de mercado tendem a aumentar e, nesses casos, a pressão da demanda poderá por em risco a sustentabilidade do recurso.

A metodologia eMergética, apresentada pelo pesquisador Howard T. Odum, se propõe medir todas as contribuições (moeda, massa, energia) em termos equivalentes (ou seja a energia incorporada ou eMergia). Em outras palavras, isso significa que o trabalho da natureza deve ser reconhecido e corretamente valorizado no mercado (ODUM, 1996).

Destarte, os valores expressos em emergia ou eMDólares representam os verdadeiros valores dos recursos, sejam estes naturais ou antrópicos. A emergia pode ser definida da seguinte forma: “Emergia é a energia disponível (exergia) de um mesmo tipo, por exemplo, energia solar equivalente, que foi previamente requerida, em forma direta ou indireta, para produzir um certo produto ou serviço” (ODUM, 1996, p. 43).

A Emergia, segundo Odum (1996), corresponde à energia solar que foi previamente requerida, de forma direta ou indireta, para produzir um certo produto ou serviço. Esta metodologia consiste em um método de avaliação do fluxo de matéria e energia, permitindo analisar o nível biofísico de estresse ambiental a partir de vetores de produção e demanda por ativos e serviços ecossistêmicos (MOTA, 2010).

A contabilidade ambiental neste caso utiliza o Joule de energia solar (SeJ), que corresponde à unidade de medida da Emergia, permitindo, ao contrário do que ocorre na economia convencional, atribuir um valor real aos recursos naturais pelo bem-estar que eles proporcionam, em virtude de suas funções ecossistêmicas e serviços ambientais realizados (ODUM, 1996).

O método aplica a Teoria de Sistemas, da Termodinâmica, da Biologia e de novos princípios do funcionamento de sistemas abertos, convertendo os recursos usados em um

sistema produtivo em termos de Emergia e a forma de fazer a contabilidade em eMDólares ou dólares eMergéticos (ODUM, 1996; PILLET, 1997).

A emergia por unidade monetária mede a capacidade de compra de riqueza real, sendo um índice utilizado para converter os fluxos de emergia em fluxos de eMDólares, ou seja, a emergia associada ao dinheiro, ou seu valor econômico equivalente (ORTEGA, 2002).

5.2 Distorções dos Métodos de Valoração

Os métodos de valoração disponíveis não conseguem realizar avaliação precisa dos bens ambientais em virtude de suas limitações, conforme leciona Custódio (2017). Dessa forma, a professora menciona que a aplicação conjunta de vários desses métodos pode reduzir as distorções e resultar em valores mais reais.

Outro aspecto apontado por Custódio (2017) consiste no fato de que os métodos de valoração desconsideram valores religiosos, moral, afetivos e outros.

O Quadro 2 apresenta, sucintamente, as características dos métodos de valoração.

Quadro 2 – Características dos métodos de valoração.

Método	Tipo de valor	Características
Avaliação contingente	Uso direto e indireto Opção Existência	Realiza pesquisas à população para captar disposição direta da população a pagar por um bem ou serviço ambiental.
Preços hedônicos	Uso direto e indireto Opção	Estabelece relação entre os atributos de um produto e seu preço no mercado.
Custo de viagem	Uso direto e indireto Opção	Obtém a disposição adicional da população a pagar pelas visitas a um patrimônio natural a partir de uma função que relaciona a taxa de visitação ao custo de viagem (função demanda).
Dose resposta	Uso direto e indireto	Obtém o preço de um recurso a partir de uma função, relacionando o nível de provisão do recurso ambiental (dose) e o nível de provisão de um produto no mercado (resposta).
Custos evitados	Uso direto e indireto	Gastos para manter um produto constante após variação do bem ou serviço ambiental.

Método	Tipo de valor	Características
Custos de reposição	Uso direto e indireto	Gastos com substituto para repor perdas ambientais.
Custos de oportunidade	Uso direto e indireto	Renda sacrificada para manter bem ou serviço ambiental no seu estado atual.

Fonte: VÉLEZ, 2015; CUSTÓDIO, 2018.

Há, ainda, que ressaltar o “valor econômico de referência para o dano ambiental” (VERD), apresentado pelo químico sanitário Artur R. Albeche Cardoso (Cardoso, 2003), que buscava um *quantum debeatur* para indenização. Esse método segundo Steigleder (2012) foi base para cálculo de compensação ambiental estabelecido pelo Decreto nº 6.848/2009 que se refere a compensação por significativa degradação ambiental (BRASIL, 2009).

Art. 31-A. O Valor da Compensação Ambiental - CA será calculado pelo produto do Grau de Impacto - GI com o Valor de Referência - VR, de acordo com a fórmula a seguir:

CA = VR x GI, onde:

CA = Valor da Compensação Ambiental;

VR = somatório dos investimentos necessários para implantação do empreendimento, não incluídos os investimentos referentes aos planos, projetos e programas exigidos no procedimento de licenciamento ambiental para mitigação de impactos causados pelo empreendimento, bem como os encargos e custos incidentes sobre o financiamento do empreendimento, inclusive os relativos às garantias, e os custos com apólices e prêmios de seguros pessoais e reais; e

GI = Grau de Impacto nos ecossistemas, podendo atingir valores de 0 a 0,5% (BRASIL, 2009).

Conforme exposto neste capítulo, os métodos de valoração existentes são limitados e abarcam a multidisciplinariedade das áreas de conhecimento para compreensão dos fenômenos, ultrapassando as fronteiras da economia convencional. Contudo, o emprego da metodologia mais adequada ao caso em análise deve ser realizado, visando a contribuir no processo de conscientização do valor dos recursos naturais, indispensáveis à vida humana com dignidade.

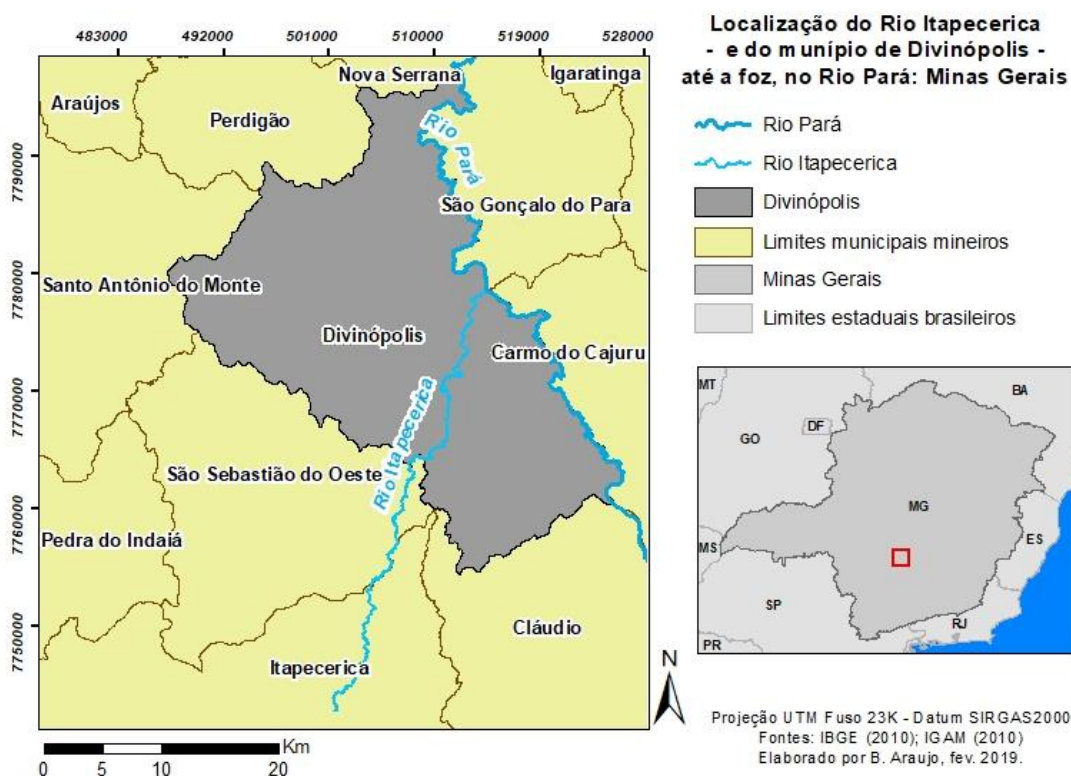
6 METODOLOGIA

Trata-se de pesquisa quantitativa e aplicada, com adoção do procedimento de estudo de caso para demonstrar o procedimento da metodologia sugerida.

6.1 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. Localiza-se próximo à região metropolitana de Belo Horizonte e está a cerca de 120 quilômetros de Belo Horizonte. Divinópolis é cortada por dois rios: Rio Itapecerica e Rio Pará (NOGUEIRA, 2016; IBGE, 2019). A Figura 4 demonstra a localização do município.

Figura 4: Mapa de localização de Divinópolis em Minas Gerais. Fonte: Elaborado a partir de (MINAS GERAIS, 2018)



Segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população estimada de Divinópolis, para 2018, foi de 235.977 habitantes, sendo o mais populoso município da Mesorregião do Oeste de Minas e o 12º mais populoso do estado de Minas Gerais. A área do município é de pouco mais de 708 quilômetro quadrados. A cidade é reconhecida como pólo 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 atualmente 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 e sua área é de 12.233,06 km², correspondendo a 5,22% do território da bacia do Rio São Francisco. O Rio Itapecerica está entre os seus principais contribuintes, com uma velocidade média de 0,2 m/s e vazão (Q_{7,10}) de 11,18 m³/s. A altitude média é de aproximados 808 m, com altitude mínima de 588 m, para seu exutório e máxima de 1.008 m (CBHSF, 2019; SOUSA, 2016; SIAM, 2007).

A montante da confluência com o Rio Itapecerica, na sub-bacia do Rio Pará, estão os municípios: MARGEM ESQUERDA: Desterro de Entre Rios, Passa Tempo, Carmópolis de Minas e 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.

6.2 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 realizada mediante levantamento de dados da literatura técnica pertinente, bem como dados históricos de monitoramento realizados, desde 1997, pelo Projeto Águas de Minas (IGAM, 2018).

Os dados apresentados no Apêndice – obtidos nas fontes: SIAM, 2017; IGAM, 2018; SOUSA *et al.*, 2016; COPASA, 2017; ANA, 2018; VON SPERLING, 2014 – foram utilizados nos cálculos para determinação da carga poluidora lançada nos corpos de água.

6.3 Valoração Econômica dos Danos Ambientais

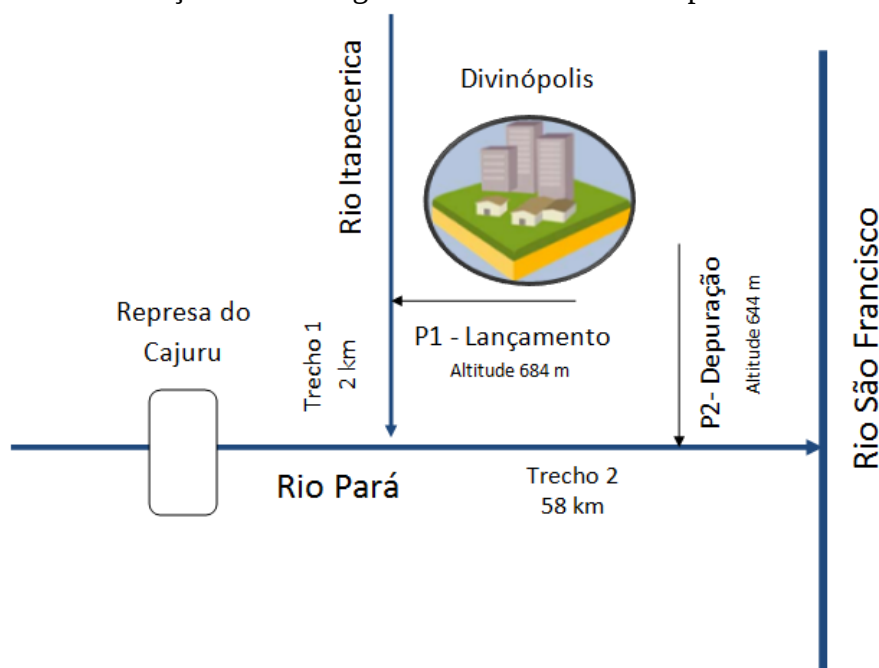
Para valorar os danos e alcançar os objetivos propostos foram seguidas as etapas:

- i.caracterização dos ecossistemas atingidos,
- ii.definição da metodologia de valoração a ser aplicada,
- iii.cálculo monetário dos serviços afetados.

6.3.1 Caracterização dos ecossistemas atingidos

O lançamento dos esgotos afetou trecho do Rio Itapecerica e posteriormente do Rio Pará. A Figura 5 apresenta, de forma esquematizada, os trechos dos corpos de água que foram atingidos pelo lançamento considerado neste trabalho.

Figura 5 – Esquema para localização espacial dos trechos dos corpos de água afetados pelo lançamento de esgotos sanitários de Divinópolis.



6.3.2 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.

6.3.3 Cálculo monetário dos serviços afetados

Neste trabalho, foram utilizados no cálculo da 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 esgotos sanitários do município de Divinópolis, foram utilizados os seguintes dados: i) população do município em 2018: 235.977 habitantes (IBGE, 2018), ii) carga *per capita* de DBO: 0,054 kg 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 8:

$$\text{Carga de DBO} = \text{População} \times \text{Carga per capita} \times \% \text{ de esgoto não tratado} \quad \text{Equação 8}$$

Para fins de cálculo, considerou-se que o ponto de lançamento desses esgotos está situado ao final da mancha urbana de Divinópolis, no Rio Itapecerica, a 2 km da confluência com o Rio Pará, conforme Figura 5.

6.3.3.1 Cálculo do VUD

O VUD foi estimado com base 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 que o recurso hídrico constitui importante insumo econômico, 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 nº 24/2013 para lançamento de efluentes (PPU_{DBO} – R\$/Kg) e cálculo da carga poluidora (DBO) proveniente do esgoto lançado nos cursos dos rios Itapecerica e Pará (CBHRP, 2013). Assim, VDU é calculado pela Equação 9:

$$\text{VDU} = \text{PPU}_{\text{DBO}} \frac{\text{R\$}}{\text{kg}} \times \text{carga de DBO kg} \quad \text{Equação 9}$$

6.3.3.2 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 para diluição dos efluentes.

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

A emergia 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 para a diluição do parâmetro DBO até os padrões de referência, estabelecidos para as classes dos Rios Itapecerica e Rio Pará, na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 05 de maio de 2008 e Resolução CONAMA nº 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 emergia (energia solar incorporada), denominado Transformidade Solar ou Índice de Transformidade, expresso em emergia 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 emergia do serviço ambiental associado à massa de água foi obtida, em termos monetários (dólar), utilizando o índice de equivalência emergia/dólar ($3,0 \times 10^{12}$ SeJ/U\$), determinado para o Brasil por Ortega (2000). Esse índice permite comparar a emergia do serviço afetado à emergia do dinheiro que circula no país em determinado ano, possibilitando a conversão dos valores de energia solar em dinheiro. Posteriormente, para a determinação dos valores em Reais (R\$), foi utilizado o câmbio atual (ECONOMIA, UOL, 2019).

Considerando 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).

Dessa forma, no que concerne às interferências sobre os recursos hídricos, os serviços ecossistêmicos afetados podem ser quantificados em termos da energia necessária para a 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 dos serviços ecossistêmicos afetados foi realizada seguindo os seguintes passos:

1. quantificação da carga de DBO introduzida no meio aquático,
2. determinação da massa de água necessária para diluição das emissões calculadas até as concentrações máximas admissíveis na legislação em vigor,
3. cálculo da energia associada à massa de água necessária para diluição do parâmetro crítico até os padrões estabelecidos na legislação,
4. 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 Águas Limpas.

Determinação da massa de água necessária para 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 10:

$$M = d \frac{W_{DBO}}{c} \quad \text{Equação 10}$$

Onde,

M = massa de água, em kg;

d = densidade da água (1 kg/L);

W_{DBO} = 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 11:

$$E_p = M g_i \quad \text{Equação 11}$$

Onde,

M = massa de água para diluir a DBO até os níveis permitidos, em kg (Equação 10),

g = aceleração da gravidade, (9,8 m/s²),

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

Para cálculo da diferença de altitude (h) utilizou-se o Google Earth Pro[®] para verificar a as cotas do ponto de lançamento e do ponto de depuração – estimado por meio do modelo de Streeter-Phelps. Para utilização do modelo, estimou-se a vazão de esgotos pela Equação 12:

$$\text{Vazão} = \text{consumo per capita água} \times \text{Popul.} \times R \times \% \text{ de esgoto não tratado} \quad \text{Equação 12}$$

Em que 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 Rio Pará. Para quantificação da carga de DBO proveniente do lançamento de esgotos sanitários do município de Divinópolis, foram utilizados dados apresentados pela literatura técnica pertinente (carga *per capita* de DBO) e sites governamentais: 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, Sistema 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 Limpas (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 5 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 início da Zona de Águas Limpas foi obtida por meio da equação de Streeter-Phelps e o ponto identificado utilizando o Google Earth Pro[®].

Destaca-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 km 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 nº 357/2005 e DN COPAM/CERH nº 01/2008 (DBO₅ igual a 5 mg/L – Classe 2 (Rio Pará) e DBO₅ igual a 10 mg/L – Classe 3 (Rio Itapecerica)⁵ (CONAMA, 2005; MINAS GERAIS, 1998; MINAS GERAIS, 2008). O *software* Excel® foi utilizado para realizar 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 são calculados por pesquisadores em todo o mundo, sendo 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 calculado para o Brasil. Tal índice permite comparar a energia do serviço afetado à energia do dinheiro que circula no país em determinado ano, possibilitando a conversão dos valores de energia em dinheiro e iii) conversão do valor em dólar para Real, utilizando o câmbio atual.

⁵ Deliberação Normativa COPAM nº 28, de 9 de setembro de 1998 (Trecho 2 – Rio Pará e Trecho 18 – Rio Itapecerica). Destaca-se que, normalmente, as águas dos afluentes destinam-se a usos mais nobres do que os cursos de água onde deságuam. Dessa forma, não é comum, como ocorreu neste caso, a classificação das águas (enquadramento) do afluente (Rio Itapecerica) ser destinada para uso menos exigente (Classe 3) do que a classificação do trecho do curso de água onde deságua (Rio Pará, após confluência com Rio Itapecerica – Classe 2).

6.4. Compensação ambiental

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

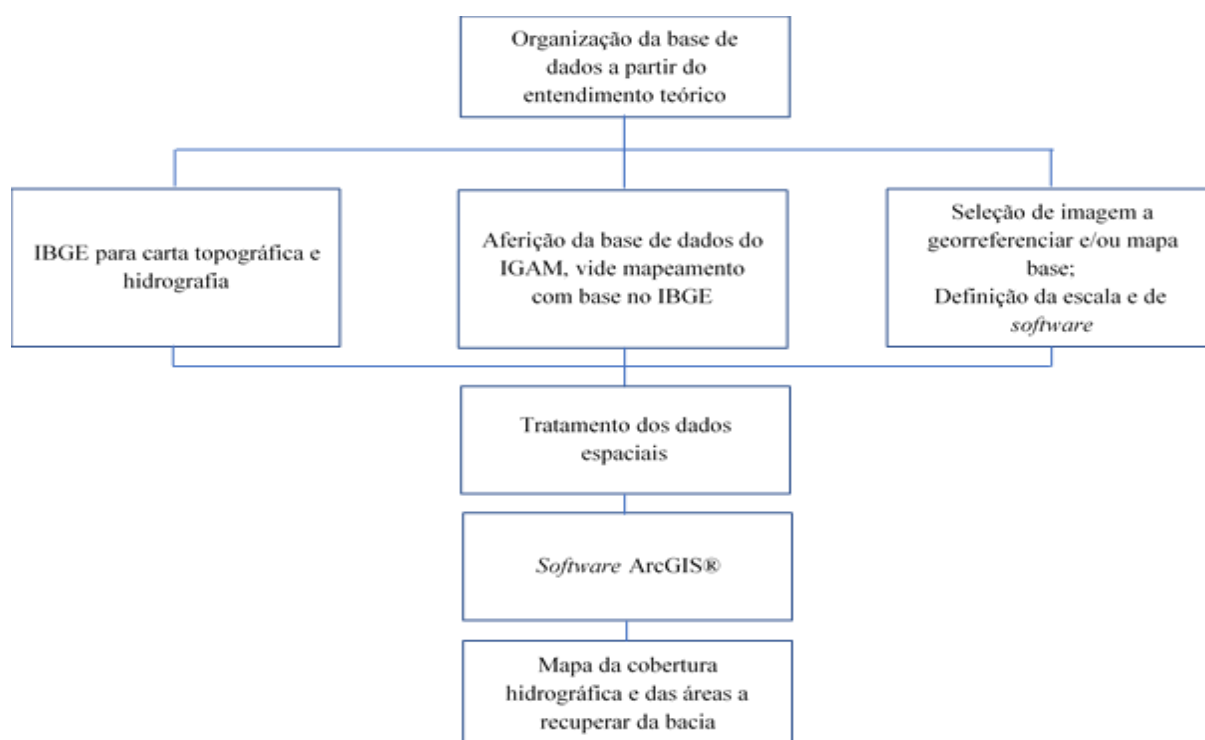
6.4.1 Cálculo da área a ser recuperada

mesma bacia hidrográfica onde ocorreu a poluição hídrica, foi obtida por meio da divisão do Em seguida procedeu-se ao levantamento dos valores de custos para recuperação de área degradada conforme diretrizes apresentadas pelo IBAMA (2002). A área a ser recuperada, inserida na valor da valoração pelo custo de recuperação de 1 hectare do bioma.

6.4.2 Elaboração do mapa para identificação da área (mata ciliar) a ser recuperada

O fluxograma apresentado na Figura 7 apresenta os procedimentos metodológicos para elaboração do mapa de identificação das áreas a serem recuperadas, como medida de compensação ambiental.

Figura 7 – Fluxograma para elaboração do mapa da hidrografia e das áreas a recuperar.



Este trabalho baseou-se na delimitação da 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 ao entorno das nascentes dos tributários do Rio Itapecerica. Nesse sentido, 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).

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

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados 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 o caso em questão.

7.1 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:

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

7.2 Valoração econômica dos danos ambientais

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

7.2.1 Valor de Uso Direto – VUD

De acordo com as informações apresentadas na Tabela I – Valores dos preços públicos unitários (PPU) apresentada no Anexo II da Deliberação Normativa do Comitê do Rio Pará nº 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 a carga de 10.665,69 kg/dia de DBO foi de R\$ 1.269,22 por dia. Por ano, esse valor corresponde a **R\$ 463.264,25**.

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

7.2.2 Valor de Uso Indireto – VUI

Determinação da massa de água necessária para 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 10.

De acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 28, de 9 de setembro de 1998 (Trecho 18), o rio Itapecerica – da captação de água para abastecimento de 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 (0,000010 kg/L). Logo:

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

$$M = 2.133.137.689,20 \frac{kg}{dia}$$

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, e obtida pela Equação 9.

Assim, a vazão de esgotos lançada no ambiente foi estimada em 365,76 L/s.

As Figuras 8 e 9 apresentam o resultado da simulação do modelo de Streeter-Phelps, indicando que a distância de depuração é de 60 km (2 km no rio Itapecerica e 58 km no rio Pará).

Figura 8 - Decaimento da DBO no rio Itapecerica a partir do ponto de lançamento de esgotos até a confluência com o rio Pará. Fonte: autora.

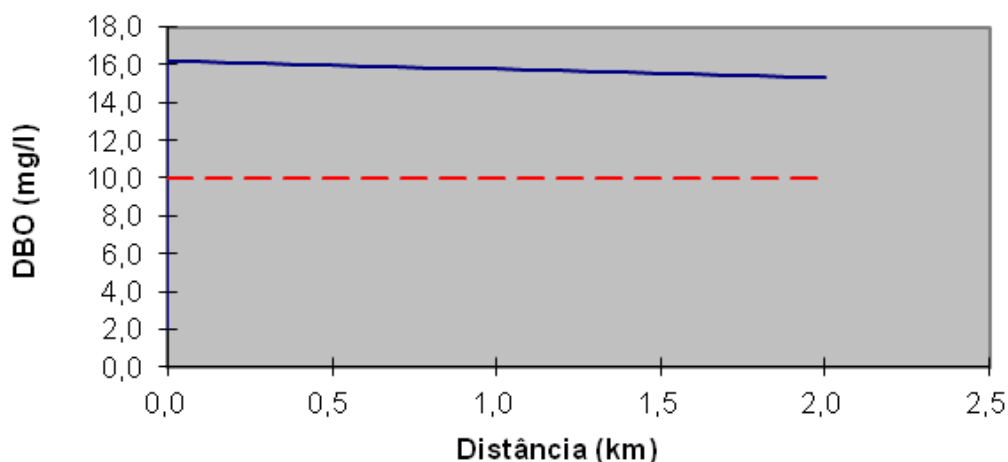
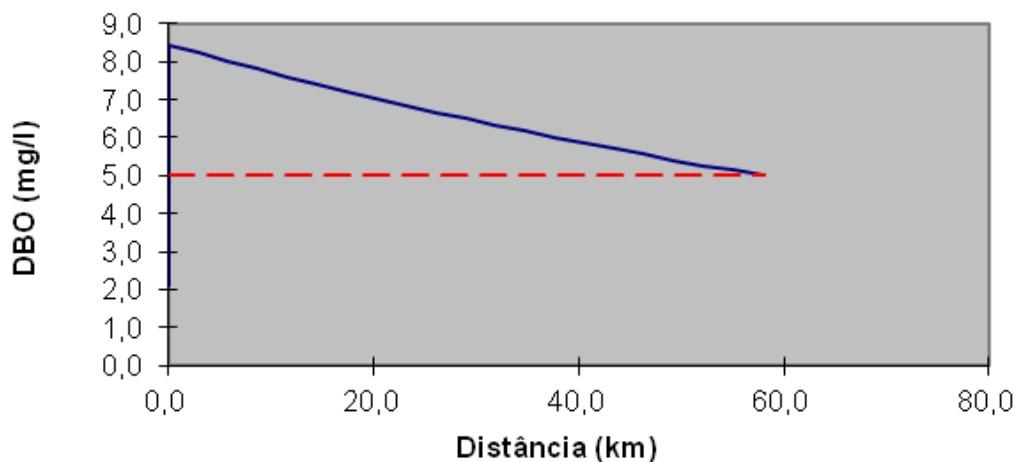


Figura 9 - Decaimento da DBO no rio Pará a partir da confluência do rio Itapecerica até o ponto de depuração. Fonte: autora.



Assim:

Altitude do ponto de lançamento: 684 m;

Altitude do ponto de depuração: 644 m;

Logo, $h = 40$ 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 acima 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 = $3,0 \text{ E}+12$ sej/US\$, logo:

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

Conversão Dólar-Real

Cotação do Dólar em 04/02/2019: R\$ 3,67 (ECONOMIA, 2019).

Logo:

Custo ambiental do lançamento irregular de esgoto no rio Itapecerica = **R\$ 28.513,40 por dia de violação**, conforme apresentado na Tabela 1.

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

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 para diluição (DBO)	10.665,69	2,13E+09	8,36E+11	2,8E+04	2,33E+16	7.769,32	28.513,40

Portanto, o valor de VUI corresponde a R\$ 10.407.391,00 por ano⁶. Dessa forma, somando o VUD com o VUI obtido por meio da Tabela 1, resulta no valor anual dos danos ocasionados aos rios Itapecerica e Pará.

$$VERA = R\$ 463.264,25 + R\$ 10.407,391,00$$

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

Logo, por ano, 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.

7.3 Compensação Ambiental

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

⁶ Considerando o ano com 365 dias.

atividades do projeto; nas fases de implantação, manutenção e monitoramento, encontram-se no Quadro 3.

Quadro 3 – 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 60 cm (largura x comprimento x profundidade).
Plantio de mudas	O plantio deve ser realizado preferencialmente na época chuvosa, com espaçamento de 3x2 m. 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 150 g de adubo químico N.P.K 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 realizada após o plantio no início do ciclo das chuvas de 30 a 90 dias após 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, tratamentos 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: $R\$19,24/m \times 300m = R\$ 5.772,00/ha$
- ii. Sinalização da área: $R\$ 316,31 /m^2 \times 2 = R\$ 632,62/ha$
- 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): $R\$ 12.765,00/ha$
- 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: $R\$190,00/ha$

Assim o custo total da recomposição da flora nativa é de:

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ custos (implantação, manutenção e monitoramento)}/ha &= R\$ 5.772,00/ha + R\$ 632,62/ha + \\ &R\$ 84,21/ha + R\$ 3.230/ha + R\$ 12.765,00/ha + R\$5.871,50/ha + R\$ 3.015,20 + \\ &R\$190,00/ha = \mathbf{R\$ 31.560,53/ha} \end{aligned}$$

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

7.3.1 Cálculo da área a ser compensada

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

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

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

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).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na exploração dos recursos naturais e transformação dos mesmos, como o consumo de água nas cidades e geração de esgotos sanitários, são produzidas externalidades negativas (dano ambiental). A ocorrência de dano ambiental e sua não reparação por quem o ocasionou, resulta em externalidade no sistema econômico, ou seja, custos que afetam terceiros sem a devida compensação. No caso em tela, compromete os usos múltiplos dos recursos hídricos a jusante do lançamento, bem como apresenta potencial para prejudicar a saúde pública, o bem-estar das pessoas e o ecossistema aquático.

Diante disso, essas externalidades devem ser internalizadas no planejamento das atividades econômicas, como custos ambientais, vez que sem essa consideração, gera-se a apropriação privada do capital natural, culminando em uma massa de excluídos e outra que enriquece indevidamente à custa do bem-estar dos primeiros, tanto no presente, quanto nas futuras gerações. No caso em questão, o principal responsável pela geração do dano ambiental é o ente público municipal. Dessa forma, a imputação de obrigação de fazer pode surtir melhor efeito em relação à obrigação de pagar a indenização.

Sabe-se que os métodos de valoração não são capazes de mensurar o valor, concomitante, de todos os fatores (serviços ecossistêmicos, prejuízos individuais, coletivos e extrapatrimoniais, danos morais, lucros cessantes ambientais ou dano intercorrente, dentre outros) que envolvem os danos ambientais.

A valoração dos recursos ambientais é complexa e, por isso mesmo, dependente de equipe multidisciplinar e não pode ser tratada como capital ou produto de compra e venda como qualquer mercadoria, tampouco pode ser alvo de decisões de um único profissional do direito, que deverá ser demandado na fase de aplicação da norma e não na determinação do *quantum debeatur*.

Embora alguns componentes e o uso do recurso natural possam apresentar preço de mercado reconhecido, seu valor econômico, para fins de valoração ambiental, existe na medida que seu uso interfere no nível de produção e de bem-estar da sociedade.

A ciência tem a função de tornar os métodos de valoração sistemáticos e reproduzíveis e a matéria requer estudo por profissionais de diversas áreas do conhecimento, de forma a estabelecer critérios técnicos e procedimentos de análises.

Mesmo que complexa a tarefa de valorar o bem ambiental, deve-se selecionar a metodologia mais vantajosa para o caso em análise, de forma a contribuir para o

desenvolvimento de técnicas cada vez mais abrangentes das variáveis envolvidas no processo, visando a valores mais reais e, assim, contribuir para a conscientização da importância dos recursos preservados. Ademais, a valoração pode auxiliar os envolvidos (sociedade, Estado e empresas) a realizar ações e destinar recursos para preservar a qualidade ambiental.

Destaca-se, ainda, que a valoração e adoção das medidas compensatórias deverão contar com a participação da sociedade, principal interessada, atendendo ao princípio da participação comunitária na tomada de decisões sobre o uso ou não uso do bem.

Cabe enfatizar que, embora se observe demanda crescente e preferencial pela valoração dos danos por parte dos profissionais de direito, a reparação em pecúnia é forma subsidiária de ressarcir o dano, vez que o ideal é que se restaure o bem *in situ*, isto é, repare o ambiente em seu *status quo ante*. Não sendo possível a restauração, que se promova a recuperação, que pode ocorrer em muitos casos, por meio da compensação em prol do ambiente degradado.

A metodologia sugerida neste trabalho demonstrou-se aplicável e se baseou em conhecimentos técnicos. Trata-se de método passível de ser utilizado, especialmente pelo fato de a obrigação de fazer, em face do município, surtir melhor efeito prático em benefício da sociedade e da preservação ambiental.

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. Esse valor correspondeu a medida de compensação para recuperar área de 344,44 ha (482 gramados de campos de futebol – padrão internacional de 105 x 68 m) de matas ciliares na sub-bacia hidrográfica impactada negativamente.

Por fim, cabe salientar que paralelamente à aplicação da valoração ambiental e recomendação de compensação apresentadas, faz-se importante a adoção de medidas que visem a cessar o dano ambiental por meio da adequada coleta e tratamento dos esgotos sanitários gerados no município. Assim, cabe ao Poder Público (por meio do Ministério Público) exigir o cumprimento da legislação de forma a preservar o meio ambiente e a saúde pública.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14.653-6:2008** Versão corrigida: 2009. Avaliação de bens: parte 6: recursos naturais e ambientais. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14.724: 2011**. Informação e documentação — Trabalhos acadêmicos — Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023:2002**. Informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ANDRÄ, Jörg *et al.* Pharm Cycle: a holistic approach to reduce the contamination of the aquatic environment with antibiotics by developing sustainable antibiotics, improving the environmental risk assessment of antibiotics, and reducing the discharges of antibiotics in the wastewater outlet. **Environmental Science Europe**. 2018. 30:24.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas Esgotos** 2013. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/atlas-esgotos>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Hidroweb**. 2018. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso em: 20 dez. 2018.

ARAGÃO, Maria Alexandra de Sousa. **A natureza não tem preço...mas devia: o dever de valorar e pagar os serviços dos ecossistemas**. In Estudos em homenagem ao Professor Doutor Jorge Miranda. Vol. IV. Coimbra: Coimbra Editora S.A. 2012.

BRAGA, Benedito. *et al.* **Introdução à engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2002. 318 p.

BRASIL. Constituição (1998). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 31 jul. 2018.

BRASIL. **Código de Processo Civil (2015)**. Lei nº 13.105, de 16 de março de 2015. Disponível em <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 25 de agosto de 2018.

BRASIL. **Decreto nº 24.643**, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643.htm. Acesso em 21 de janeiro de 2019.

BRASIL. **Lei nº 4.717**, de 29 de junho de 1965. Regula a ação popular. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/LEIS/L4717.htm. Acesso em 25 de novembro de 2018.

BRASIL. **Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em 2 de

dezembro de 2018.

BRASIL. **Lei nº 8.078**, de 11 de setembro de 1990. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8078.htm. Acesso em: 31 jul. 2018.

BRASIL. **Lei nº 9.605**, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm. Acesso em 12 fev. 2019.

BRASIL. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm. Acesso em: 31 jul. 2018.

BRASIL. **Lei nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, altera a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, a Lei nº 8.036, de 11 de maio de 1990, a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e a Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978 (Redação dada pela Medida Provisória nº 868, de 2018). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm. Acesso em: 11 jan.2018.

BRASIL. **Lei nº 7.347**, de 24 de julho de 1985. Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico e dá outras providências Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7347orig.htm. Acesso em 20 jul. 2018.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/Ccivil_03/Leis/L9433.htm. Acesso em: 31 jul. 2018.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. **Recurso Especial nº 1.120.117 AC** (2009/0074033-7). Relatora Min. Eliana Calmon, 10 de novembro de 2009. 2009a. Disponível em <https://stj.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/5706626/recurso-especial-resp-1120117-ac-2009-0074033-7/inteiro-teor-11866112?ref=juris-tabs>. Acesso em 12 de setembro de 2018.

BRASIL. **Decreto nº 6.848**, de 14 de maio de 2009. 2009b. Altera e acrescenta dispositivos ao Decreto no 4.340, de 22 de agosto de 2002, para regulamentar a compensação ambiental. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6848.htm. Acesso em: 22 de janeiro de 2019.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. **Recurso Extraordinário nº 573872/RS**. Relator: Ministro Edson Fachin, 24 de maio de 2017. Disponível em <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 25 de novembro de 2018.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. Medida cautelar na Ação Direta de Inconstitucionalidade 3.547 Paraná. **ADI 3547 MC/PR**. Relator Min. Alexandre de Moraes. Paraná, 12 de junho de 2018. 2018a.

BRASIL. Superior Tribunal de Justiça. **Súmula-613**. S1 – Primeira Sessão, 09 de maio de

2018. Disponível em <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 27 de agosto de 2018. 2018b.

BRASIL. Superior Tribunal de Justiça. **Agravo Interno no Recurso Especial nº 1714303/SP**. Relatora: Ministra Assusete Magalhães, 15 de maio de 2018. Disponível em <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 25 de agosto de 2018. 2018c.

BRASIL. **Decreto nº 4.339**, de 22 de agosto de 2002. Institui princípios e diretrizes para implementação da Política Nacional da Biodiversidade. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4339.htm. Acesso em 15 de dezembro de 2018.

CARDOSO, A. R. A. **A degradação ambiental e seus valores econômicos associados**. Porto Alegre-RS. Sergio Fabris Editor, 2003.

CARVALHO FILHO, José dos Santos. **Manual de Direito Administrativo**. 12ª ed. Rio de Janeiro: Editora Lumen Juris, 2005.

CATALÁ, Lucía Gomis. **Responsabilidad por daños al medio ambiente**. Elcano (Navarro): Arazandi, 1998.

COASE, Ronald Harry. O problema do custo social. The Latin American and Caribbean **Journal of Legal Studies**: Vol. 3: No. 1, Article 9. Tradução Francisco Kümmel F. Alves e Renato Vieira Caovilha (PUC/RS), 2008. Disponível em: <http://services.bepress.com/lacjls/vol3/iss1/art9>. Acesso em 23 janeiro 2019.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARÁ (CBHRP). **Deliberação Normativa Comitê do Rio Pará nº 24**, de 27 de fevereiro de 2013. Divinópolis, 27 de fevereiro de 2013.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO (CBHSF). **CBH do Rio Pará (SF2)** – Minas Gerais. Disponível em: <http://cbhsaofrancisco.org.br/2017/comites-de-afluentes/cbh-do-rio-para-minas-gerais/>. Acesso em 21/01/2019.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 357**, 17 de março de 2005. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamentos de efluentes nos corpos receptores e dá outras providências

CONSELHO NACIONAL DO MINISTÉRIO PÚBLICO (CNMP). **Resolução nº 179**, de 26 de julho de 2017. Regulamenta o §6º do art. 5º da Lei nº 7.347/1985, disciplinando, no âmbito do Ministério Público, a tomada do compromisso de ajustamento de conduta. Disponível em <http://www.cnmp.mp.br/portal/images/Resolucoes/Resolu%C3%A7%C3%A3o-179.pdf>. Acesso em 25 de agosto de 2018.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPASA). **Estudo dos impactos na qualidade da água provocados pela implantação do tratamento de esgotos na bacia do Rio Pará**. 2017. Disponível em: <http://eventos.abrh.org.br/xisrhn/download/28-11/manha-02_-_ana_maria_alvim_-_apresentacaoabrh.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2019.

COSTA, Beatriz Souza. **Meio ambiente como direito à vida: Brasil, Portugal e Espanha**. 3 ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2016. 191 p.

CHRISTÓFARO, Cristiano. Valoração de serviços ecossistêmicos afetados pelo lançamento de esgotos domésticos não tratados em cursos d'água na bacia do Rio Verde Grande-MG. In: **Revista do Ministério Público de Minas Gerais**. Edição especial Meio Ambiente, 2012, p. 56-62. Jurídico Especial.

CUSTÓDIO, Maria Maraluce. **A importância da valoração econômica na proteção jurídica do meio ambiente**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2017. 232 p.

DROSTE, Ronald L. **Theory and practice of water and wastewater treatment**. Canadá. 1997. 800 p.

ECONOMIA, UOL. **Câmbio dólar comercial**. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/>>. Acesso em: 04 fev. 2019.

GHISELLI, Gislaine; JARDIM, Wilson F. Interferentes endócrinos no ambiente. **Química Nova**, v. 30, p. 695-706, 2007.

HARDIN, Garrett. The tragedy of the commons. In *Science*. New Series, vol. 162, n. 3859. Dez. 1968.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Modelo de valoração econômica dos impactos ambientais em unidades de conservação**. 2002. Disponível em: http://www.biodiversidade.rs.gov.br/arquivos/1161519935Modelo_de_valoracao_economica_dos_impactos_ambientais_em_unidades_de_conservacao.pdf. Acesso em: 31 set. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Biblioteca Digital do IBGE**. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 31 jul. 2018.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Qualidade das Águas Superficiais do Estado de Minas Gerais**. Relatório de Monitoramento das Águas Superficiais na Bacia do Rio São Francisco Norte em 2004.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Projeto Águas de Minas**. Dados de Monitoramento das Águas Superficiais na Bacia do Rio Pará. 2018.

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY (IUPAC) **Pesticide properties database (PPDB)**. Disponível em: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/>. Acesso em: 18 jan. 2019.

LEITE, José Rubens Morato. **Dano ambiental: do individual ao coletivo extrapatrimonial**. São Paulo: RT, 2000, p. 100.

LEITE, José Rubens Morato; AYALA, Patryck de Araújo. **Direito ambiental na sociedade de risco**. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2004. 368 p.

LIMA, Luiz Henrique. **Controle do patrimônio ambiental brasileiro: a contabilidade**

como condição para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Ed. UERJ. 2001.

LOPES, Leonardo Barcellos. A função preventiva do EIA (“Estudo de Impacto Ambiental”) e o Ministério Público In: **Temas Avançados do Ministério Público**. Organizadores: Marcus Paulo Queiroz Macêdo & Wagner Marteleto Filho. Editora Juspodivm. 2015. 619 p

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito Ambiental Brasileiro**, Malheiros Editores, 12ª ed., 2004.

MAGLIANO, Mauro Mendonça. **Valoração econômica em laudos periciais de crimes contra o meio ambiente**. 2013. 115 p. Dissertação (Mestrado Profissional)–Programa de Pós-Graduação em Perícias Criminais Ambientais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

METCALF AND EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3rd ed., G. Tchobanoglous and F.L. Burton, eds, McGraw-Hill, Toronto.

MILARÉ, Édís. **Direito do ambiente**. 10 ed. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2015. 1707 p.

MINAS GERAIS. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema)**, instituída pela Resolução Conjunta SEMAD/FEAM/IEF/IGAM nº 2.466/2017. 2018. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/#>. Acesso em dez. 2018.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa conjunta COPAM/CERH nº 01**, de 5 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicação – Diário do Executivo – “Minas Gerais” – 13/05/2008.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM nº 28**, de 9 de setembro de 1998. Publicação – Diário do Executivo, “Minas Gerais” de 17/09/1998.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta do Brasil**. Passos, escala 1:50 000, Folha SF-23-V-A-VI-2, 1971.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO MATO GROSSO DO SUL (MPMS). **Nota técnica: orientações para valoração de dano ambiental em procedimentos do Ministério Público de Mato Grosso do Sul**. Centro de Apoio Operacional das Promotorias de Justiça do Meio Ambiente (CAOMA). Núcleo Ambiental. Março, 2018.

MIRRA, Álvaro Luiz Valery. **Responsabilidade civil pelo dano ambiental e o princípio da reparação integral do dano**. In: BENJAMIN, Antônio Herman (ed.). Direito, água e vida, v. 1. São Paulo: Imprensa Oficial, 2003.

MONTAGNER, Cassiana C. *et al.* Ten Years-Snapshot of the Occurrence of Emerging Contaminants in Drinking, Surface and Ground Waters and Wastewaters from São Paulo State, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 30, n. 3, 614-632, 2019.

MOTA, José Aroudo. **A valoração da biodiversidade: conceitos e concepções**

metodológicas. In: MAY, Peter H. *Economia do Meio Ambiente: teoria e prática*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MOTTA, Ronald Seroa da. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. Rio de Janeiro: IPEA/MMA/PNUD/CNPq, setembro. 1997. 242p. Disponível em: <http://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/pdf/manual-para-valoracao-economica-de-recursos-ambientais.pdf>. Acesso em: out. 2018.

NOGUEIRA, Maria de Lourdes Couto. **Sustentabilidade e a questão urbana ambiental: o setor confeccionista de Divinópolis**. 2016. 321 f. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) - Programa de Estudos Pós-Graduados em Ciências Sociais, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2016.

NOGUEIRA, Jorge Madeira; ARAÚJO, Romana Coelho de. Evaluación de impactos ambientales como componentes de una política ambiental. In: Césat Gamboa Balbín; J. Francisco Rivasplata Cabrera; Israel Gordaliza Carrillo. (Org.). **Revista Latinoamericana de Derecho y Políticas Ambientales**. 1ªed.Lima, Peru: DAR, 2013, v. 3, p. 15-39.

NOGUEIRA, Jorge Madeira; MELLO, Mirian Bezerra. **Economia e direito: interfaces no tratamento da problemática ambiental**. In: II CONGRESSO NACIONAL DE DIREITO AMBIENTAL DA OAB, Belo Horizonte, 05-07 novembro de 2003.

ODUM, Howard T. **Environmental accounting, emergy and decision making**. New York: Wiley, 1996. 370 p.

OLIVEIRA, Donizetti Ramos de. **Gestão e economia de danos ambientais: competências, procedimentos e instrumentos em sua apuração**. Dissertação (Mestrado Profissional em Economia) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de Brasília. Brasília. 2015. Disponível em: http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/18786/1/2015_DonizettiRamosdeOliveira.pdf. Acesso em 13 de dezembro de 2018.

Organização das Nações Unidas (ONU). **A ONU e o meio ambiente**. Disponível em: <http://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>. Acesso em 21 de janeiro de 2019.

ORTEGA, Enrique. 2000. **Tabela de transformidades** – (emergia / Joule, emergia / kg, emergia / US\$) de recursos naturais, insumos industriais e produtos de ecossistemas. Disponível em <http://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm>. Acesso em 10 jan.2019.

ORTEGA, Enrique. **Contabilidade e diagnóstico de sistemas usando os valores dos recursos expressos em emergia**. Campinas: UNICAMP/DEA, 2000a. 38 p.

ORTEGA, Enrique. 2002. **Contabilidade e diagnóstico de sistemas usando os valores dos recursos expressos em emergia**. Departamento de Engenharia de Alimentos UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas. SP, Brasil.

PEREIRA, LÍlian Cristina *et al.* A perspective on the potential risks of emerging contaminants to human and environmental health. **Environmental science and pollution research**, v. 22, n. 18, p.13800-13823, 24 jul. 2015.

PILLET, G. **Economia ecológica: introdução à economia do ambiente e dos recursos naturais**. Lisboa: Instituto Piaget, 1997.

ROCHA, Anacélia Santos *et al.* **O dom da produção acadêmica: manual de normalização e metodologia de pesquisa**. Belo Horizonte: Dom Helder, 2017. 120 p. Disponível em <http://domhelder.edu.br/uploads/pesquisa/domdaproducaoacademica.pdf>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2019.

RODRIGUES, Nikolas Gebrim. **Custo para recuperar uma área degradada: um projeto para a cascalheira do Parque Sucupira**. 2016. Monografia (Graduação) – Bacharelado em Gestão Ambiental. Universidade de Brasília, Planaltina-DF, 2016.

SAMPAIO, Rômulo Silveira da Rocha *et al.* **Resolução Consensual de Conflitos Ambientais: um estudo de casos da experiência pioneira do Ministério Público do Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2016.

SÁNCHEZ, Luís Henrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos; 2008. 495p.

SARAIVA SOARES, Alexandra Fátima *et al.* Efficiency of conventional drinking water treatment process in the removal of endosulfan, ethylenethiourea, and 1,2,4-triazole. *Aqua* (London. Print) (Cessou em 1999. Cont. ISSN 1606-9935 **Journal of Water Supply: Research and Technology, AQUA** (Print)), v. 62, p. 367-376, 2013.

SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÃO AMBIENTAL (SIAM). **FCEI da estação de tratamento de água de Divinópolis**. Governo do Estado de Minas Gerais - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. 2007.

SIQUEIRA, Lyssandro Norton. **Qual o valor do meio ambiente?** Previsão normativa de parâmetros para a valoração econômica do bem natural impactado pela atividade minerária. 1ª ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2017. 288 p.

SOARES, Alexandra Fátima Saraiva *et al.* Compensação ambiental por poluição hídrica: metodologia da central de apoio técnico para a atuação do Ministério Público. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2018, São Bernardo do Campo. **CONGEA**. São Bernardo do Campo: Universidade Metodista de São Paulo Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2018/V-024.pdf>. Acesso em: dez. 2018.

SOARES, Alexandra Fátima Saraiva; SALVADOR, Wanderlei. **A responsabilidade civil do estado pela contaminação de mananciais por micropoluentes emergentes**. 1ª. ed. Xanxerê - SC: News Print Gráfica e Editora Ltda, 2015. 94p

SOUSA, Wilson Magela de *et al.* **Estudo de autodepuração do Rio Itapecerica no município de Divinópolis - MG**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 5, 2016, Bento Gonçalves. Disponível em: https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=607&ano=_quinto. Acesso em: 02 jan. 2019.

STEIGLEDER, Annelise Monteiro. Valoração de danos ambientais irreversíveis. In: **Revista do Ministério Público de Minas Gerais**. Edição especial Meio Ambiente, 2012, p. 24-30.

Jurídico Especial.

STEIGLEDER, Annelise Monteiro. **Responsabilidade civil ambiental. As dimensões do dano ambiental no direito brasileiro**. 2. ed. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2011, p. 211.

STREETER, Harold Warner; PHELPS, Earle Bernard. **A study of the pollution and natural purification of the Ohio River**. **Public Health Bulletin**, 146, Washington.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno *et al.* **Metodologias de valoração de danos ambientais causados pelo setor elétrico**. Rio de Janeiro: UFRJ: COOPE. Programa de Planejamento Energético..

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno; MAGRINI, Alessandra *et al.* **Valoração de danos ambientais causados pelo vazamento de óleo da REDUC: Relatório Final**. Rio de Janeiro: COPPETEC Fundação, março de 2002. In: BRASIL. Inquérito Civil Público/MPF/RJ/Rio de Janeiro. Processos Administrativos nºs. MPF Nº 0810.000175/98-11 (partes: MPF e DTSE); MPF Nº 1.30.012.000001/2000-39 (Inquérito Civil); MPF Nº 08120.000976/97-51 (Partes: MPF e REDUC); MPF Nº 08120.000174/98-41 (Partes: MPF e E&P) 15 volumes. 2002.

ULGIATI, Sérgio; BROWN, Mark T. 2002. Quantifying the environmental support for dilution and abatement of process emissions – The Case of Electricity Production. **Journal of Cleaner Production** 10 (2002). 335-348.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Why control sanitary sewer overflow?** Disponível em: https://www3.epa.gov/npdes/pubs/sso_casestudy_control.pdf. Acesso em 20 jan. 2019.

VÉLEZ, Dainy Flores Vásquez de. Valoração econômica perante o derramamento de petróleo bruto no ambiente marinho. In: Revista Eletrônica de Economia da Universidade Estadual de Goiás, **Revista de Economia**, Anápolis-GO, vol. 11, nº 01, p. 174-197 jan/ago. 2015.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. 2014.

WILLIAMS, Mike *et al.* Emerging contaminants in a river receiving untreated wastewater from an Indian urban centre. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 647, p.1256-1265, jan. 2019.