

VALORAÇÃO ECONÔMICA DE DANOS AMBIENTAIS

Coletânea da Central de Apoio Técnico
do Ministério Público de Minas Gerais



As fotografias utilizadas neste material são de uso livre, conforme créditos abaixo:

Photo by Claire Satera on Unsplash
Photo by Jan Huber on Unsplash
Photo by Boris Smokrovic on Unsplash
Photo by Joseph Anson on Unsplash
Photo by Oliver Paaske on Unsplash
Photo by Ben Guerin on Unsplash
Photo by Ramin Khatibi on Unsplash
Designed by Freepik

M 663v	Minas Gerais. Ministério Público. Procuradoria Geral de Justiça. Central de Apoio Técnico
	Valoração econômica de danos ambientais: coletânea da Central de Apoio Técnico do Ministério Público de Minas Gerais/ Editores: Alexandra Fátima Saraiva Soares, Paula Santana Diniz. - Belo Horizonte: CEAF, 2020.
	322p. : il.
	ISBN: 978-65-88261-03-3.
	1. Indenização ambiental. 2. Valoração ambiental. 3. Compensação ambiental. I. Título
	CDU 349.6

Capa, projeto gráfico e diagramação: João Paulo de Carvalho Gavidia

Essa obra foi produzida pelo Centro de Estudos e Aperfeiçoamento Funcional do Ministério Público do Estado de Minas Gerais entre outubro de 2020 e abril de 2021 com o uso da fonte Gontserratt, de distribuição gratuita.

As opiniões expressas nesta obra são de responsabilidade dos próprios autores.

VALORAÇÃO ECONÔMICA DE DANOS AMBIENTAIS

Coletânea da Central de Apoio Técnico
do Ministério Público de Minas Gerais

Editores:

Alexandra Fátima Saraiva Soares
Paula Santana Diniz

Autores:

Alexandra Fátima Saraiva Soares
Almir Lopes Loures
Antônio Olinto Vieira Machado
Bárbara Janine Reis Silva Araújo
Carlos Mercês de Oliveira
Cláudia Lage Michalaros
Fabiano Palhares Silva
Fernanda Cristina de Souza Paz
Fernando Augusto Eto Lages
Flávio Guimarães Lana
Guilherme Henrique Costa
Lucas Rogério Vieira Silva
Luís Fernando de Moraes Silva
Magno Cornélio Torres
Nadson Souza Carvalho
Nivaldo Caetano da Cunha
Paula Santana Diniz
Reinaldo Paulino Pimenta
Renato Cairo Faria Amaral
Thalles Henrique Rocha Claves
Wender Paulo Barbosa Ferreira

DOS EDITORES

Alexandra Fátima Saraiva Soares

Engenheira Civil e Sanitarista. Graduada em Direito. Pós-Doutorado em Direito Público pela Università degli Studi di Messina, Itália. Doutorado e Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (DESA/UFMG). Especialização em Direito Ambiental e Sustentabilidade (ESDHC); em Direito Sanitário (ESPMG) e em Gestão e Manejo Ambiental em Sistemas Agrícolas (UFLA). É Professora Universitária desde 2009, atualmente dos cursos de Pós-graduação em perícia ambiental da UNESP/Bauru e IEC PUC Minas, e Analista no MPMG, lotada na CEAT-MA, desde 2003. <https://orcid.org/0000-0002-9894-627X>

Paula Santana Diniz

Graduada em Engenharia Química, mestrado em Engenharia Nuclear e especialização em Meio Ambiente pela Universidade Federal de Minas Gerais. Tem experiência nas áreas de Meio Ambiente, com ênfase em poluição atmosférica, poluição de cursos de água por efluentes industriais e domésticos e contaminação do solo por diferentes resíduos e produtos químicos; Proteção Radiológica; Gerência de Rejeitos Radioativos, com ênfase em transporte, cimentação, armazenamento e disposição de rejeitos; Licenciamento de Transporte de Combustível Nuclear e Fontes Radioativas. Foi Supervisora de Proteção Radiológica das Usinas Nucleares Angra 1 e Angra 2 (2000-2003) e, desde 2003, Analista no Ministério Público - MG, onde realiza diversos trabalhos de apoio à proteção e preservação do meio ambiente.

DOS AUTORES

Almir Lopes Loures

Graduado em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Viçosa (UFV); Especialista em Gestão e Manejo Ambiental em Sistemas Agrícolas pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Analista do MPMG desde 2004. Lotado na Central de Apoio Técnico Setor de Meio Ambiente - CEAT/MA.

Antônio Olinto Vieira Machado

Graduado em Engenharia Agrônômica pelo Universidade Federal de Viçosa - UFV (1985); Graduado em Direito pelo Centro Universitário de Sete Lagoas - UNIFEMM (2008); Especialização em Gestão Ambiental, Faculdades Integradas de Jacarepaguá - FIJ (2009); Diretor de Limpeza Urbana e Destino Final de RSU do Município de Sete Lagoas/MG (2001/2004); Analista do Ministério Público do Estado de Minas Gerais - MPMG, lotado na Central de Apoio Técnico Setor de Meio Ambiente - CEAT/MA (desde 2005).

Bárbara Janine Reis Silva Araujo

Geógrafa pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), onde é pesquisadora, e Designer pela Escola de Design da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG). Possui experiência em geociências, com ênfase em geomorfologia, geografia de recursos hídricos e em análises espaciais, por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG/GIS). Atua principalmente nos seguintes temas: análise ambiental, paisagem e gestão da paisagem, geodiversidade, geoprocessamento e representação cartográfica digital. Foi estagiária da Central de Apoio Técnico (CEAT) - Meio Ambiente, na Procuradoria Geral de Justiça do MPMG, no período entre 2017 e 2019.

Carlos Mercês de Oliveira

Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa - UFV; Especialista em Gestão Ambiental e em Engenharia de Segurança do Trabalho; Engenheiro de Pesquisa e Desenvolvimento na Reflorestadora Água Azul, Tucuruí-Pa de 1991 a 1994. Engenheiro de Pesquisa na Bahia Sul Celulose de 1994 a 1997; Analista do Ministério Público do Estado de Minas Gerais - MPMG, lotado na Central de Apoio Técnico Setor de Meio Ambiente - CEAT/MA.

Cláudia Lage Michalaros

Graduada em Ciências Biológicas pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC Minas. Especialista em Ciências do Ambiente, Educação Ambiental e Gestão Ambiental. Analista do Ministério Público do Estado de Minas Gerais - MPMG, lotado na Central de Apoio Técnico Setor de Meio Ambiente - CEAT/MA.

Fabiano Palhares Silva

Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Analista do Ministério Público de Minas Gerais (desde 2008), lotado na Central de Apoio Técnico Setor de Meio Ambiente - CEAT/MA.

Fernanda Cristina de Souza Paz

Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (2003). Mestrado em Arquitetura e Urbanismo pela UFMG (2018). Analista no Setor de Meio Ambiente da Central de Apoio Técnico do Ministério Público do Estado de Minas Gerais, atuando, principalmente, na área de parcelamento do solo e patrimônio cultural desde o ano de 2005.

Fernando Augusto Eto Lages

Graduado em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Viçosa - UFV. Ex-Analista do Ministério Público do Estado de Minas Gerais - MPMG, lotado na Central de Apoio Técnico Setor de Meio Ambiente - CEAT/MA.

Flávio Guimarães Lana

Graduado em Engenharia Agrônômica e em Administração pela Universidade Federal de Viçosa - UFV. Analista do Ministério Público do Estado de Minas Gerais - MPMG, lotado na Central de Apoio Técnico Setor de Meio Ambiente - CEAT/MA.

Guilherme Henrique Costa

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Formação Técnica em Mecânica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG (2014). Estagiário do Ministério Público de Minas Gerais (2019), lotado na Central de Apoio Técnico Setor de Meio Ambiente - CEAT/MA.

Lucas Rogério Vieira Silva

Graduado em Geografia pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG no ano de 2018. Experiência em órgãos públicos de meio ambiente (Instituto Estadual de Florestas - SISEMA, Prefeitura de Belo Horizonte - Secretária de Regulação Urbana, Ministério Público de Minas Gerais - Central de Apoio técnico de Meio Ambiente). Atuante na área de Geoprocessamento.

Luís Fernando de Moraes Silva

Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG. Foi estagiário da Central de Apoio Técnico/Setor de Meio Ambiente (pós-graduação), entre 2017 e 2019.

Magno Cornélio Torres

Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa – UFV. Mestre em Ciências Florestais – UFV. Analista do Ministério Público do Estado de Minas Gerais - MPMG, lotado na Central de Apoio Técnico Setor de Meio Ambiente - CEAT/MA.

Nadson Souza Carvalho

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Analista do Ministério Público do Estado de Minas Gerais - MPMG, lotado na Central de Apoio Técnico Setor de Meio Ambiente - CEAT/MA.

Nivaldo Caetano da Cunha

Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa – UFV. Pós-Especialista em Ciências do Ambiente pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Especialista em Controle Externo pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Especialista em Botânica pela Universidade Federal de Lavras – MG. Mestre em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pela Escola Superior Dom Helder Câmara – MG. Analista do Ministério Público do Estado de Minas Gerais – MPMG, lotado na Central de Apoio Técnico Setor de Meio Ambiente - CEAT/MA

Reinaldo Paulino Pimenta

Graduado em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. Graduado em Matemática e Física pela UTRAMIG. Mestre em Engenharia de Minas – área de Mecânica de Rochas pela Universidade Federal de Minas Gerais. Especialista em Matemática e Estatística pela Universidade Federal de Lavras. Analista do MPMG desde 2003. Lotado na Central de Apoio Técnico Setor de Meio Ambiente - CEAT/MA.

Renato Cairo Faria Amaral

Graduado em Direito pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Pós-graduado em Direito Público pela Universidade Candido Mendes. Pós-graduado em Direito Ambiental pela Escola Superior Dom Helder Câmara. Especialista em Direito Sanitário pelo Escola de Saúde Público do Estado de Minas Gerais. Analista do Ministério Público do Estado de Minas Gerais, lotado da 12ª Promotoria de Saúde, Idoso, PcD e Consumidor de Ribeirão das Neves.

Thalles Henrique Rocha Claves

Graduado em Direito pelo Unileste/MG. Pós-graduado em Direito Processual Civil pela Universidade Cândido Mendes. Pós-graduado em Direito Ambiental e Sustentabilidade pela Escola Superior Dom Helder Câmara. Oficial do Ministério Público do Estado de Minas Gerais.

Wender Paulo Barbosa Ferreira

Graduado em Medicina Veterinária e em Direito pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Analista do MPMG, lotado na Central de Apoio Técnico Setor de Meio Ambiente - CEAT/MA.

“ 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)* ”

Agradecimentos

A elaboração de um livro como este somente é possível com a colaboração de muitas pessoas. Dessa forma, os autores agradecem ao Ministério Público do Estado de Minas Gerais, especialmente aos promotores de justiça que atuam na tutela ambiental e que nos trouxeram os desafios das demandas de casos concretos e, assim, nos fizeram dedicar aos estudos do tema “valoração econômica de danos ambientais”. Agradecemos também a todos os cidadãos que apresentaram os *cases* e buscaram a tutela ministerial para a solução ou mitigação dos danos ao meio ambiente, bem como a todos que, de alguma forma, contribuíram para que esta obra pudesse ser concretizada.

Prefácio

No início dos anos 2000, o artigo de Costanza e colaboradores (1997) havia colocado em foco a importância da valoração dos serviços ecossistêmicos para a sociedade humana em um artigo clássico, até hoje muito citado. Ao mesmo tempo, no Brasil, a atuação do Ministério Público em defesa do meio ambiente ganhava força, sendo a indenização dos danos um instrumento com potencial punitivo, preventivo e pedagógico para a defesa do meio ambiente. No entanto, a associação prática entre as teorias da valoração e a diversidade de temas na atuação prática do Ministério Público na área ambiental, bem como os prazos exíguos dos processos judiciais, gerava um enorme desafio para as equipes técnicas. Como valorar, na prática, os danos associados à retirada de espécies silvestres da fauna da natureza, ou os danos de lançamentos de esgotos em cursos d'água, o desmatamento em Área de Preservação Permanente? As respostas a esses enormes desafios, que fazem parte do dia-a-dia do corpo técnico multidisciplinar do Ministério Público do Estado de Minas Gerais, são apresentadas nessa importante publicação. Aqui o leitor irá encontrar, além de sólida base teórica, um verdadeiro manual prático de valoração, com exemplos que vão dos danos ao subsolo à poluição atmosférica, passando pelo solo, água, fauna, flora e patrimônio histórico, considerando diferentes intensidades e escalas espaciais dos danos. A diversidade de temas abordados nessa obra demonstra a importância da interdisciplinariedade para o sucesso da valoração, bem como da aplicabilidade de múltiplas abordagens metodológicas, individualmente ou em conjunto, de acordo com as especificidades da situação avaliada. A obra é fruto da dedicação e profissionalismo de uma equipe técnica altamente capacitada, com experiência em atender demandas judiciais e extra-judiciais relativas à atuação do Ministério Público do estado de Minas Gerais, sendo uma referência obrigatória para os profissionais que pretendam se dedicar à valoração de serviços ambientais.

Cristiano Christofaro Matosinhos

Biólogo. Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professor Associado da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus JK. Atuou como perito ambiental no Ministério Público do Estado de Minas Gerais de 1999 a 2010. <http://lattes.cnpq.br/1920874373761507>

Apresentação

Foi com alegria que recebi o convite para prefaciar a presente obra, “Valoração Econômica de Danos Ambientais”, que é resultado dos esforços de um time incomparavelmente qualificado, reunido na nossa Central de Apoio Técnico e coautores desta publicação.

De fato, desde que o assunto - Valoração Ambiental - começou a ser cogitado na literatura específica, os Analistas com especialidades voltadas ao meio ambiente no Ministério Público de Minas Gerais se debruçaram sobre as mais diferentes metodologias propostas e, dominando destemidamente o complexo tema, se tornaram referência em Minas e no Brasil.

A partir de então, a valoração de danos ambientais passou a integrar rotineiramente os pareceres técnicos do MPMG, testando, na prática, os conhecimentos teóricos. Hoje, são cerca de quinze anos de amadurecimento da técnica e das possibilidades de atingimento da tão almejada reparação integral dos danos ambientais.

“Só” esta vivência teórica e prática já seria suficiente para garantir a elevada qualidade desta obra, pois o seu conteúdo é um apanhado dos mais importantes trabalhos de valoração realizados ao longo deste exitoso percurso. Mas o fato é que a sua leitura detida proporciona ao leitor amplo espectro sobre o tema, pois aqui temos valorações que se valem de quase todas as metodologias presentes na literatura, como o VERA, a EMERGIA, o CATE, dentre outras.

Eu, na condição de Coordenador da Central de Apoio Técnico, tive o privilégio de ler cada um dos trabalhos, ao tempo de sua elaboração e antes mesmo de serem remetidos aos Promotores solicitantes, podendo garantir a excelência de cada um e, por via de consequência, o inestimável valor que esta obra assume.

Aos que com responsabilidade se ocupam do tema, na seara jurídica ou técnica, esta obra é leitura obrigatória, além de naturalmente prazerosa!

Edson de Resende Castro

Promotor de Justiça. Coordenador da Coordenadoria de Apoio Eleitoral e da Central de Apoio Técnico da Procuradoria-Geral de Justiça do Estado de Minas Gerais.

Esta obra é dedicada a todos os cidadãos interessados na questão da valoração econômica de danos ambientais, especialmente aos estudantes, professores e profissionais que trabalham ou tenham a pretensão de lidar com o tema.

SUMÁRIO

Introdução **24**

Dano ambiental, responsabilização civil e medidas de compensação **29**

Economia e meio ambiente **44**

Valoração ambiental **53**

Métodos de valoração econômica **54**

Métodos da função da produção **55**

Métodos da função da demanda **56**

Métodos normatizados **61**

Valoração monetária dos serviços ecossistêmicos – Emergia **63**

Distorções dos métodos de valoração **65**

Estudos de casos

Valoração de danos ambientais à fauna – meio biótico **71**

Introdução **71**

Metodologia **72**

Custo da manutenção dos espécimes da fauna silvestre comumente resgatados **73**

Estimativa média do tempo de monitoramento e cálculos de valoração **82**

Danos intercorrentes (DI) **85**

Conclusão **86**

Valoração de dano ambiental pela construção em Área de Preservação Permanente (APP) – margens de corpos hídricos **89**

Introdução **90**

Custos de demolição e limpeza da área - CD **90**

Compensação pelo não reflorestamento **92**

Valoração do dano **94**

Valoração de dano ambiental pela obtenção ilegal de um metro cúbico de madeira serrada originária de floresta estacional semidecidual **96**

Introdução **97**

Metodologia adotada e cálculos realizados **97**

Resultado e discussão **99**

Conclusão **100**

Valoração econômica de recurso ambiental referente ao abate ilegal de um exemplar de *Caryocar brasiliense* (pequizeiro) **101**

Introdução **102**

Metodologia **102**

Resultados e discussão **102**

Conclusão **105**

Valoração de dano ambiental ocasionado pela queimada de plantações de cana **106**

Introdução **106**

Valor de compensação em pecúnia **106**

Uso de tecnologia inadequada (CTI) **107**

Valor da palha queimada (VPQ) **108**

Perda dos serviços ambientais (PSA) **108**

Compensar, por hectare (C/ha) **109**

Compensação total, em pecúnia **109**

Valoração econômica de recurso ambiental referente a carga de carvão clandestino **111**

Introdução **111**

Carga de carvão clandestino **112**

Valoração dos danos ambientais **112**

Pressupostos das valorações **112**

Custos ambientais totais esperados (CATE) **113**

Valoração Econômica dos Recursos Ambientais (VERA) **116**

Energia - Valoração ecológica-econômica - serviços ambientais **118**

Transformidade do carvão **120**

Energia de uma carga de carvão (Ecc) **120**

Conversão da energia em valor monetário (reais) **120**

Valor de compensação ambiental - VCP **121**

Valoração econômica referente a demolição de bem cultural **125**

Introdução **125**

Dano ao bem cultural **126**

Reparação do dano ao patrimônio cultural **128**

Medidas compensatórias **129**

Cálculo da estimativa econômica do dano a bem cultural **129**

Método adotado pela CEAT **129**

Aplicação do método de cálculo da estimativa econômica do dano **133**

Valoração de dano ambiental referente à atividade de sondagem (pesquisa mineral) **141**

Metodologia **141**

Mapa da propriedade Tesoureiro – Reserva Legal, APP, topografia e pontos de sondagem geológica **142**

Valoração ambiental devido à supressão de vegetação em APP e intervenções em Área de Preservação Florestal **146**

O método VCP **146**

Adequação do VCP(DFIM) às etapas do desmatamento **148**

Valoração dos danos ambientais decorrentes da supressão de três indivíduos da espécie Xaxim (*Dicksonia sellowiana*) **151**

Conclusão **152**

Valoração de dano ambiental pela empresa técnica industrial Tiph S.A. **154**

Introdução **154**

Valoração econômica dos danos ambientais **155**

CATE I - Custo ambiental total esperado devido a dano intermitente **156**

Cálculo do valor comercial (Vc) **156**

Cálculo dos custos ambientais para fins de reparação dos danos ambientais diretos (Cd) **159**

Fator de Conversão de Custos Ambientais Diretos em Indiretos ($F_{i/d}$) **161**

Taxa de Juros Anual (j) **162**

Cálculo do CATE I **163**

Conclusão **163**

Valoração econômica de danos ambientais decorrentes da emissão de poluentes atmosféricos pelas indústrias de ferro-liga situadas na sub-bacia do Rio Verde Grande (MG) **165**

Introdução **166**

Valoração econômica dos serviços ambientais afetados pelas indústrias de ferro-liga **170**

Estimativa das emissões de material particulado dos fornos **175**

Determinação das massas de ar para a diluição dos poluentes **175**

Cálculo da energia cinética das massas de ar **175**

Determinação da energia das massas de ar **178**

Determinação do valor monetário dos serviços ambientais **179**

Resultados e discussão **180**

Conclusão **185**

Valoração de dano ocasionado pelo lançamento de esgotos sanitários *in natura* gerados em Divinópolis/MG no rio Itapecerica e correspondente medida de compensação ambiental **191**

Metodologia **192**

Caracterização da área de estudo **192**

Caracterização dos danos ambientais ocasionados aos recursos hídricos **194**

Valoração econômica dos danos ambientais **194**

Caracterização dos ecossistemas atingidos **194**

Definição da metodologia de valoração a ser aplicada **195**

Cálculo monetário dos serviços afetados **195**

Cálculo do VUD **196**

Cálculo do VUI **196**

Determinação da massa de água necessária à diluição das emissões **198**

Cálculo da energia potencial da massa de água **199**

Compensação ambiental **201**

Cálculo da área a ser recuperada **201**

Elaboração do mapa para identificação da mata ciliar a ser recuperada **202**

Valoração **203**

Quantificação da carga poluidora **203**

Valoração econômica dos danos ambientais **203**

Valor de Uso Direto – VUD **204**

Valor de Uso Indireto – VUI **204**

Cálculo da energia potencial da massa de água **205**

Cálculo da energia **206**

Compensação ambiental **207**

Custos totais **209**

Cálculo da área a ser compensada **209**

Conclusão **210**

APÊNDICE A **211**

APÊNDICE B **215**

Valoração de dano ambiental ocasionado por efluente de lavanderia industrial **218**

Metodologia **218**

Resultados e discussão **219**

Valoração **220**

Conclusão **221**

Valoração de dano ambiental ocasionado por condomínio residencial horizontal **222**

Introdução **222**

Quantificação e valoração do dano ambiental **224**

Custos totais **227**

Conclusão **228**

Valoração de dano ambiental causado por lançamento irregular de efluentes oriundos de frigorífico **230**

Introdução **230**

Valoração do dano ambiental **232**

Cálculo da carga poluidora de SS **232**

Cálculo do Equivalente Populacional (EP) **233**

Conclusão **234**

Valoração de dano ambiental ocasionado pelo lançamento irregular de efluentes de laticínio em curso de água **235**

Introdução **235**

Quantificação do dano **236**

Cálculo da área recuperada pela reparação sugerida **237**

Conclusão **238**

Valoração ambiental de dano ocasionado por lançamento irregular de lodo gerado em estação de tratamento de água **239**

Introdução **239**

Quantificação e valoração do dano ambiental **242**

Sugestão de medida de compensação **245**

Custos totais **250**

Cálculo da área a ser compensada **251**

Conclusão **251**

Compensação ambiental por poluição hídrica: metodologia da Central de Apoio Técnico para a atuação do Ministério Público **253**

Introdução **253**

Metodologia **254**

Área de estudo **254**

Valoração e estimativa da área a ser recuperada **255**

Elaboração dos mapas **258**

Resultados **258**

Medida de reparação **259**

Custos totais **259**

Cálculo da área a ser compensada **260**

Instrumentos jurídicos **262**

Conclusão **267**

Valoração dos danos aos recursos hídricos decorrentes dos resíduos da barragem de mineração em Brumadinho/MG **269**

Introdução **270**

Metodologia **274**

Valoração econômica dos danos **276**

Cálculo do VUD **277**

Cálculo do VUI **277**

Resultados **279**

Turbidez	279
Sólidos em suspensão total	280
Manganês	280
Chumbo total	281
Alumínio e ferro dissolvidos	281
Mercurio total	281
Valoração econômica – recursos hídricos	281
Valor de Uso Direto – VUD	281
Valor de Uso Indireto – VUI	283
Quantificação da carga de rejeitos (lama) que atingiu o Rio Paraopeba	284
Determinação da massa de água necessária à diluição dos rejeitos que atingiram o Rio Paraopeba	285
Cálculo da energia potencial da massa de água	286
Cálculo do Valor de Uso Indireto – VUI	286
Conclusão	287

Valoração ambiental por dano aos recursos hídricos ocasionado por falha na operação de estação elevatória de esgotos **289**

Introdução	289
Metodologia	293
Determinação da massa de água necessária à diluição das emissões	294
Cálculo da energia potencial da massa de água	295
Valoração monetária dos serviços ecossistêmicos	297
Resultados	299
Conclusão	300

Considerações finais **301**

Glossário **321**

Introdução

Superou-se o tempo no qual os recursos naturais, apesar de serem já entendidos como tais (recursos), não expressavam valores financeiros e não eram considerados na análise dos custos econômicos da exploração ambiental e incorporados em toda cadeia produtiva ou atividade utilizadora de bens ambientais.

O meio ambiente possui tanto valor intrínseco, na medida em que é um organismo vivo, cujos ciclos de vida e de realização ecossistêmicos se desenvolvem sem a intervenção humana, como extrínseco, relevância alcançada tanto na disponibilidade de insumos ambientais a serem explorados, como na realização de serviços ecossistêmicos, utilizados por toda coletividade.

Esses valores de transformação e exploração devem ser interpretados por instrumentos econômicos e precificados, especialmente quando da ocorrência de dano ambiental não reparado – ou cuja reparação se deu de modo deficiente. A ausência de tal compensação pelo responsável transforma a coletividade atual e futura em devedora insolvente, cujo débito não raro se prologa no tempo e se torna inversível (e impagável), ante as características próprias dos danos ambientais.

Diante disso, externalidades devem ser internalizadas no planejamento das atividades econômicas e delimitadas, calculadas e cobradas dos causadores e responsáveis em caso de danos ambientais constatados. Sem essas considerações, gera-se apropriação privada do capital natural, culminando na malfadada coletivização de custos e apropriação privatística dos lucros, numa verdadeira inversão de valores que transforma em exceção a tão conhecida regra do Direito Obrigacional: aquele que constitui a obrigação tem a responsabilidade de adimpli-la.

Reforça-se que atualmente não se pode considerar o desenvolvimento sustentável apenas como princípio de reforço argumentativo para legitimar práticas degradadoras do meio ambiente,

que não absorvem as externalidades negativas de suas atividades. Também não se pode tomá-lo como suporte sofista para viabilizar a omissão na diligência e no zelo que toda a coletividade intergeracional deve ter para com o meio ambiente.

Nesse contexto, constata-se aumento gradativo no número de gestores e de profissionais da área técnica e jurídica que se debruçam sobre a valoração econômica de danos ambientais, na multidisciplinaridade necessária entre os mais variados ramos do saber com as ciências econômicas. Dessa forma, algumas metodologias de valoração contemplam danos em diferentes compartimentos ambientais relacionados à flora, à fauna silvestre, à mineração, aos recursos hídricos, à qualidade do ar e ao patrimônio histórico e cultural.

Importante destacar que os métodos de valoração são incapazes de mensurar o valor concomitante de todos os fatores que envolvem os danos ambientais (valores dos insumos, custos de regeneração, serviços ecossistêmicos, etc) e/ou morais (v.g. prejuízos individuais, coletivos e extrapatrimoniais, lucros cessantes, dano intercorrente), notadamente, quando se analisa no contexto intergeracional, em face da perpetuação do dano ou de seus efeitos.

Ademais, a valoração pode auxiliar a sociedade, o Estado e as empresas a realizarem ações e a destinarem recursos para preservar a qualidade ambiental, já que, numa sociedade capitalista, o valor pecuniário, para além de apenas por preço nos bens, atribui valor às coisas. É essa tradução financeira que geralmente chama a atenção social, possibilita um compartilhamento das tomadas de decisões, atendo ao princípio da participação comunitária, e fomenta atitudes de preservação do meio ambiente e de adoção de medidas compensatórias em casos de danos ambientais.

A despeito da complexidade, deve-se selecionar a metodologia que mais se aproxime do valor ideal do recurso ambiental e que possibilite uma prevenção geral na conscientização coletiva sobre a importância de preservar os recursos naturais. Nesse sentido, a metodologia empregada poderá ser diversa para cada tipo de

dano ambiental, razão pela qual o conhecimento isolado de uma das ferramentas disponíveis pode ensejar em valorações inexatas, tanto sub, como sobreprecificadas.

Nesse diapasão, em alguns trabalhos realizados no âmbito da CEAT/MPMG se aplicou a formulação do Valor Econômico do Recurso Ambiental (VERA), incluída pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – NBR 14.653:2008 – Parte 6 (versão atualizada: 2009), que trata dos métodos e procedimentos para avaliação de recursos naturais.

A metodologia Emergética ou Ecoenergética também foi aplicada em alguns estudos de caso. Esse método considera a energia solar incorporada (emergia) aos recursos ambientais para expressar a contribuição da natureza na produção da massa de água ou de ar necessária à diluição dos efluentes/emissões até atingir os padrões estabelecidos na legislação pertinente.

Os trabalhos selecionados também contemplam a metodologia CATE - I (Custos Ambientais Totais Esperados - Dano Ambiental Intermitente), desenvolvida pelo engenheiro florestal Luiz César Ribas - professor assistente doutor da FCA/Unesp. Essa metodologia calcula os custos ambientais esperados em função de um dano ambiental intermitente.

O raciocínio matemático utilizado no modelo é análogo ao empregado no sistema financeiro, principalmente quando se considera o período de inadimplência. A cada período de atraso do pagamento das prestações, crescem-se os juros correspondentes ao mesmo período. No caso de danos ambientais, quanto maior a demora para a implantação das medidas ambientais, maior será o valor pecuniário dos danos ocasionados.

Registra-se que a valoração dos danos ambientais é complexa, depende de equipe multidisciplinar e não pode ser tratada como capital ou produto de compra e venda de varejo, tampouco pode ser alvo de decisões discricionárias de um único profissional ou de agentes incumbidos de apurar e viabilizar a responsabilização de quem deu causa ou responde pela degradação ambiental.

O exato valor a ser cobrado não é identificado na fase de aplicação da norma, mas na determinação do *quantum debeat* equivalente ao dano.

A obra não tem a pretensão de apresentar soluções ou conclusões definitivas para a complexa questão da valoração de danos ambientais, objetiva, porém, apresentar contribuição para o desenvolvimento da matéria. 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 eficientes.

Por fim, registra-se que não se desconsidera que o cenário ideal em qualquer dano ambiental é aquele em que é possível a restauração ao *status quo ante*, a recuperação, a compensação e, apenas em último caso, a indenização. Ocorre que, em qualquer desses cenários, o conhecimento preciso dos valores financeiros considerados na empreitada possibilita aos agentes envolvidos, especialmente, aqueles encarregados da responsabilização, um trabalho mais eficiente na tutela do meio ambiente degradado.



Dano ambiental, responsabilização civil e medidas de compensação

Alexandra Fátima Saraiva Soares

Renato Cairo Faria Amaral

Thalles Henrique Rocha Claves

A responsabilização civil, o dano ambiental e as medidas de compensação se relacionam com a questão humana e suas consequências. Para Kant, uma pessoa “é um sujeito cujas ações são suscetíveis de imputação” e coisa é “como o corpo não suscetível de imputação” (Kant, 2017). Segundo José de Aguiar Dias, toda manifestação humana traz em si o problema da responsabilidade, conforme o princípio segundo o qual a ninguém é dado causar prejuízo a outrem (DIAS, 2012).

A responsabilidade jurídica é uma transgressão de uma norma preexistente e impõe à pessoa causadora do dano a consequente obrigação de reparação. A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (CRFB/88), assegura a “inviolabilidade do direito à vida, à liberdade, à igualdade, à segurança e à propriedade”, assegurando “o direito de resposta, proporcional ao agravo, além da indenização por dano material, moral ou à imagem” (art.5, V, da CRFB/88).

Essa responsabilidade jurídica pode ser civil, administrativa e criminal, de acordo com sua natureza e esfera de consequência, diferenciando na carga sancionatória e efeitos, sendo independentes entre si.

Na seara civil, que acarreta a reparação e indenização, toda pessoa que, “por ação ou omissão voluntária, negligência ou im-

prudência violar direito e causar dano a outrem, ainda que exclusivamente moral, comete ato ilícito” (art. 186, CC). Também comente ao ilícito, quem exerce um direito além dos “limites impostos pelo seu fim econômico ou social, pela boa-fé ou pelos bons costumes” (art. 187, CC).

Uma vez cometido o ato, quem causar dano a alguém fica obrigado a repará-lo, em que haverá obrigação de reparação, independentemente de culpa, nos casos previstos em lei, ou quando a atividade normalmente desenvolvida pela pessoa implicar, por sua natureza, risco para os direitos das demais pessoas (art. 927, CC).

Dentro da responsabilidade civil, verifica-se as teorias subjetiva e objetiva. Na teoria subjetiva deve comprovar se o responsável pelo ato ilícito, que causou o dano, teve culpa, por meio de um nexo causal. Na teoria objetiva, a reparação do dano é independente de culpa e não se analisa se o ato é ilícito, bastando que exista previsão legal.

Comprovados o ato e o dano, deve-se mensurar a reparação ou indenização pela extensão danosa, analisando-se a gravidade do dano e a extensão da culpa, se aplicável essa hipótese.

No caso de dano ambiental, a Constituição de 1988, prescreve que os danos e ameaças ao patrimônio cultural serão punidos na forma da lei (art. 216, do CRFB/88) e, em especial, no art. 225, determina que “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”.

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.

A responsabilidade jurídica por danos ambientais tem fundamento 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”.

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 ou degradadora e de quem tenha sido seu direto causador. Menciona-se também a natureza *propter rem* do dano ambiental, conforme diversas decisões dos tribunais.

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, a supressão da vegetação constitui degradação ambiental e o lançamento de efluentes líquidos nos corpos de água, sem prévio tratamento, implica na ocorrência de poluição hídrica. Ainda, a emissão de poluentes atmosféricos em concentrações superiores às permitidas na legislação. Esses casos são, portanto, exemplos 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 “mortandade 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 efluentes 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 de substâncias presentes nos esgotos sanitários (IGAM, 2018; USE-PA, 2019; ANDRÃ et al., 2018; MONTAGNER et al., 2019; WILLIAMS, 2019; PEREIRA et. al., 2015).

Superou-se o tempo no qual os recursos naturais, apesar de serem já entendidos como tais (recursos), não expressavam valores financeiros e não eram considerados na análise dos custos econômicos da exploração ambiental e incorporados em toda cadeia produtiva ou atividade utilizadora de bens ambientais.

O meio ambiente possui tanto valor intrínseco, na medida em que é um organismo vivo, cujos ciclos de vida e de realização ecossistêmicos se desenvolvem sem a intervenção humana, como extrínseco, relevância alcançada tanto na disponibilidade de insumos ambientais a serem explorados, como na realização de serviços ecossistêmicos, utilizados por toda coletividade.

Esses valores de transformação e exploração devem ser interpretados por instrumentos econômicos e precificados, especialmente quando da ocorrência de dano ambiental não reparado – ou cuja reparação se deu de modo deficiente. A ausência de tal compensação pelo responsável transforma a coletividade atual e

futura em devedora insolvente, cujo débito não raro se prologa no tempo e se torna irreversível, ante as características próprias dos danos ambientais.

Diante disso, e considerando as infrações ao meio ambiente, destaca-se o argumento que o Superior Tribunal de Justiça tem invocado de que muitas dessas infrações ambientais, por se tratar de direito fundamental indisponível, 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, § 1º, 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, 12^a ed., 2004, p. 326-327.

Superior Tribunal de Justiça sumulou entendimentos na seara ambiental, em que: “A inversão do ônus da prova aplica-se às ações de degradação ambiental.” (Súmula 618); “As obrigações ambientais possuem natureza *propter rem*, sendo admissível cobrá-las do proprietário ou possuidor atual e/ou dos anteriores, à escolha do credor.” (Súmula 623); e “Quanto ao dano ambiental, é admitida a condenação do réu à obrigação de fazer ou a de não fazer cumulada com a de indenizar.” (Súmula 629).

Ainda, com relação à responsabilidade objetiva, a tese firmada de que “A responsabilidade por dano ambiental é objetiva, informada pela teoria do risco integral, sendo o nexo de causalidade

o fator aglutinante que permite que o risco se integre na unidade do ato, sendo descabida a invocação, pela empresa responsável pelo dano ambiental, de excludentes de responsabilidade civil para afastar a sua obrigação de indenizar. (Tema 681- REsp. 1.354.536-SE, j. 26.03.2014).

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).

O Órgão 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.

As Promotorias de Justiça possuem 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. Aprova-

da 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 11.445/2007, 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 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).

Por fim, registra-se que não se desconsidera que o cenário ideal em qualquer dano ambiental é aquele em que é possível a restauração ao *status quo ante*, a recuperação, a compensação e, apenas em último caso, a indenização. Ocorre que, em qualquer desses cenários, o conhecimento preciso dos valores financeiros envolvidos na empreitada possibilita aos agentes envolvidos, especialmente, aqueles encarregados da responsabilização, um trabalho mais eficiente na tutela do meio ambiente degradado.



Economia e meio ambiente

Alexandra Fátima Saraiva Soares

Economia e meio ambiente estão inter-relacionados, uma vez que o meio ambiente preservado é o provedor da matéria-prima e dos recursos que sustentam as atividades econômicas e os bens de consumo que suprem as demandas da sociedade.

Na transformação dos elementos do meio ambiente surgem externalidades negativas como a poluição e/ou degradação dos recursos naturais, tornando-os cada vez mais escassos, interferindo diretamente na relação de oferta e demanda que constitui a base da economia.

No entanto, 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 1960 é que passou a ser objeto das ciências econômicas. (CUSTÓDIO, 2017)

Esse reconhecimento tardio pode relacionar-se à equivocada impressão de abundância dos recursos naturais, aliada à 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, em 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 à promoção do desenvolvimento econômico. (OLIVEIRA, 2015)

Custódio (2017) ensina que economia e ecologia apresentam a mesma raiz etimológica “oikos”, que significa “casa”. Economia trata da administração da casa e ecologia, estudo da casa. Há estreita relação entre essas ciências, mas foi na década de 60 do século 20 que o meio ambiente começou a ser analisado sob a óptica econômica não apenas da valorização de seus elementos constituintes, matérias-primas dos processos industriais, mas também como um sistema ecológico e prestador de serviços, por si só, indispensáveis à nossa sobrevivência.

Foi nessa década de 60 que surgiram 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; os conservadores extremistas, adeptos do ecologismo radical, defendiam o “crescimento zero”.

Na década de 80 do século 20, quando surgiu o conceito atual de desenvolvimento sustentável, por meio do relatório *Brundtland* (Nosso Futuro Comum), a linha de pensamento das duas correntes se aproximou e, embora se tenha consciência da necessidade da exploração dos recursos naturais para provimento das necessidades humanas, sabe-se que as tecnologias de controle e mitigação das externalidades negativas inerentes à transformação dos recursos devem ser devidamente aplicadas. (CUSTÓDIO, 2017; ONU, 2019)

A expressão “desenvolvimento sustentável” estabeleceu vínculo sintonizado entre os aspectos ecológico, econômico e social, sempre sob a perspectiva cultural e histórica, para satisfazer de forma participativa os interesses materiais e imateriais da sociedade.

Sabe-se, no entanto, que se vivencia uma era de transição na qual o homem, devido a 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, a curto prazo, somente com interesses individuais e com a geração de riquezas, faz uso dos recursos naturais de forma irresponsável e inconsequente.

Especialmente no Brasil, a preservação dos recursos naturais fica muito a cargo do precário sistema de fiscalização do Estado, como se pode perceber, com muita clareza diante dos desastres ambientais da Samarco Mineração S.A. em Mariana-MG e da Vale S.A. em Brumadinho-MG, por exemplo.

Em países desenvolvidos, para que o sistema de fiscalização seja eficaz, a sociedade participa ativamente das decisões de concessão dos licenciamentos ambientais, um processo longo em que, muitas vezes, não se constata interesse da Administração Pública em tornar eficiente o controle dessas externalidades negativas.

Segundo Custódio (2017), parte considerável de profissionais da economia acredita no crescimento econômico infinito, baseando-se nas ideias do cientificismo de que 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, sem razões para se preservarem os recursos, a exploração pode dar-se de forma a favorecer o rápido enriquecimento de alguns.

Siqueira (2017, p. 8-9) aponta que “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), o que contraria o princípio do

poluidor-pagador, que está em consonância com a internalização das externalidades ambientais negativas, 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, como a de o empreendedor, usuário dos recursos naturais, oferecer garantias (caução) à sociedade pelos danos eventualmente provenientes de sua atividade.

O art. 9.º, inciso XIII da Lei 6.938/1981, apresenta o seguro ambiental como instrumento para efetivar a Política Nacional de Meio Ambiente, dispositivo sem previsão de implementação na prática.

O art. 4.º, VII, também da Lei 6.938/1981, estabelece imposição ao poluidor de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, a 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. 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 9.433/1997 define: i) reconhecer a água como bem econômico para 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 aqueles 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 de o ser humano

utilizar os bens comuns de forma a atender interesses individualizados e não de visar à tutela do bem de interesse público. E é esse uso exagerado e egoísta que culmina na escassez desses bens. (HARDIN, 1968)

A seguir, as principais teorias econômicas concernentes ao meio ambiente (Quadro 1).

Quadro 1. Principais teorias econômicas referentes 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. Aplicam-se políticas mais ambientais de forma a internalizar as externalidades negativas geradas pelas atividades econômicas em sintonia com as diretrizes do princípio ambiental do poluidor-pagador. Visam ao uso dos recursos naturais nos processos produtivos para promover o crescimento econômico

mediante a adoção de técnicas de controle dos danos gerados na transformação da matéria-prima.

Cabe 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, uma 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 potabilidade da água usualmente adotados. (GHISELLI; JARDIM, 2007; SARAIVA SOARES *et al.*, 2013; IUPAC, 2019; USEPA, 2019; ANDRĂ *et al.*, 2018; MONTAGNER *et al.*, 2019; WILLIAMS, 2019). Todos esses fatores justificam a preservação dos recursos naturais e a consideração desses recursos 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, além do princípio da dignidade da pessoa humana, certamente desrespeitado quando se introduzem poluentes nos rios, ar e solo, degradando suas qualidades.

De acordo com Custódio (2017), ao se considerar o valor de um bem, desconsidera-se o valor do substrato natural da água, do ar, dos serviços ecossistêmicos (energia) utilizado para a constituição do produto. Um dos maiores desafios é valorizar o invaloriável, já que o meio ambiente tem valor infinito e, equivocadamente, a tese é 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 argu-

mentação 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, ensina Carlos da Costa e Silva Filho *et al.* citado por Siqueira (2017), ignora as “falhas do Estado” que muitas vezes é o próprio poluidor ou se omite na sua responsabilidade de fiscalizar eficientemente.

Ronald Harry Coase, 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) pondera 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”.

De acordo com Carlos da Costa e Silva Filho *et al.* citado por Siqueira (2017), essa teoria tem seus pontos fracos, uma vez que enfrenta a dificuldade da pluralidade de interesses de conflito por elevar 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.

Apesar de o 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)

A solução consistiria na intervenção estatal para corrigir as falhas e se tornar 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 de uso comum do povo, o poder público tem legitimidade para avaliar as possíveis

intervenções e autorizar a captação de recursos naturais dos microbens ambientais.

Conforme Lyssandro Norton Siqueira,

[...] 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 empreendimento. 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 se incorpora ao desenvolvimento de métodos e técnicas de valoração monetária dos danos ambientais, o que exige dos pesquisadores e usuários conhecimentos multidisciplinares devido à complexa inter-relação dos compartimentos ambientais.

Os economistas Nogueira e Mello (2003) ressaltam a dificuldade do Judiciário brasileiro em estabelecer o *quantum debeat*, indenização pecuniária por danos 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, o que pode gerar mal-estar e resultado inseguro juridicamente.

Os valores filosóficos, sociais, naturais, econômicos, culturais, históricos, religiosos pressupõem um cálculo complexo dos fatores

que envolvem um dano ambiental. Deve-se, portanto, mediante análise criteriosa de especialistas na área específica, considerar o máximo das variáveis que vão propiciar um resultado justo e baseado em conhecimentos científicos.

Há de se ter 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 o descrédito da sociedade na valoração ambiental, que consiste em importante ferramenta para que os recursos ambientais sejam utilizados de forma consciente e, assim, promover a preservação para as atuais e futuras gerações.



Valoração ambiental

Alexandra Fátima Saraiva Soares

Valorar economicamente um recurso ambiental consiste em determinar quanto melhor ou pior estará o bem-estar das pessoas, em virtude de mudanças na qualidade 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 no Brasil e no mundo. Apesar dos vários métodos, cada qual com suas peculiaridades, nem sempre atendem a 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.

No entanto, muitas vezes, devido à restrição de dados disponíveis, opta-se por métodos mais simplificados, tornando-se insatisfatórios e inaplicáveis em algumas situações. (MAGLIANO, 2013)

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

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

Métodos de valoração econômica

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

Motta explica que um bem é homogêneo quando os seus atributos ou as suas características que geram satisfação de consumo não se alteram. Nos casos de parte de classes de bens ou serviços compostos, cada membro da classe apresenta atributos diferenciados como, por exemplo, imóveis, veículos, viagens de lazer, 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 1:

$$P_{xij} = P_{x_i}(a_{ij1}, a_{ij2}, \dots, a_{ijn}) \quad \text{Equação 1}$$

Os fluxos de bens e serviços são derivados do seu consumo, embora existam também atributos 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 desagregados em:

- 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. 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 indivíduo.(MOTTA, 1997, p. 11-12)

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

Métodos da função da produção

Os métodos de valoração utilizam técnicas mais simples para definição de insumo ou fator de produção tanto no método de produtividade marginal quanto no método de mercado de bens substitutos.

O método de produtividade marginal fundamenta-se no uso do preço de mercado para compor o valor econômico do recurso. De fácil mensuração, desconsidera, porém, os valores de opção e de existência.

Já o método de mercado de bens substitutos emprega a mesma técnica do método de produtividade marginal, a do preço de mercado, mas a base de cálculo dessa técnica consiste

na reposição dos gastos requeridos para repor um bem ambiental avariado pela poluição ou pelo uso inadequado.

Motta (1997, p. 18-19) subdivide esse método em:

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

Métodos da função da demanda

O método de mercado de bens complementares e o método de valoração contingente são métodos de função de demanda baseados na vontade dos indivíduos em pagar para ter um recurso ambiental ou aceitar compensação por o perder.

Esses métodos se baseiam, conforme Custódio (2017), em um ponto comum: o DAP (Disposição a Pagar) e o DAC (Disposição a Aceitar uma Compensação). O DAP, relacionado a quanto o indivíduo está disposto a pagar para que um bem ambiental não seja danificado, mensura preferências pessoais, que são expressas em curvas de demanda pessoal e se estabelece pela Equação 2:

$$DAP = VM + EC$$

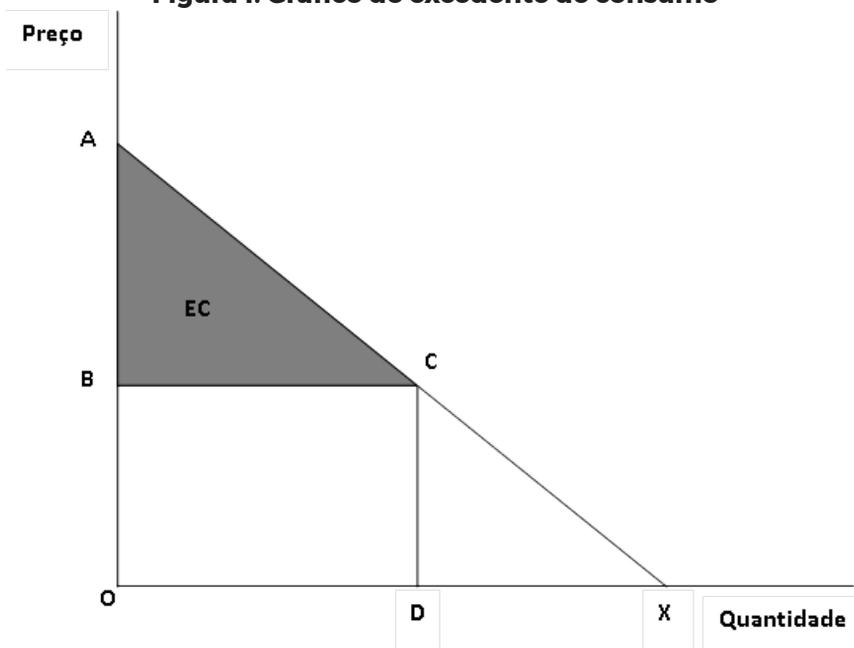
Equação 2

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 da Figura 1 demonstra o DAP e o EC em questão.

Figura 1. Gráfico do excedente de consumo



Fonte: LIMA, 2001, p. 159.

A reta AX da Figura 1 representa demanda do consumidor por determinado bem. A reta é decrescente (função negativa), já que quanto maior a quantidade produzida de determinado bem,

menor será o preço correspondente à 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 à 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 Métodos de Mercado e de Bens Complementares, o parâmetro de cálculo consiste na preferência dos indivíduos, revelada por meio de mercados reais da análise de valores de bens correlacionados ao bem ambiental que 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 possua preço observável, também mercados de bens e serviços privados complementares a bens e a 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.

Assim, se determinado bem é um complemento perfeito de outro, seu valor será desprezível se a demanda pelo outro bem também for. (MOTTA, 1997)

O preço hedônico utiliza um bem privado ou serviço ambiental cujo preço implícito é obtido pela identificação do valor do bem complementar.

Na área imobiliária, quando se levanta o valor de imóveis em diferentes locais com distintos níveis de atributos ambientais, constata-se que das diferenças de valor se obtém 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 em distintos conjuntos de atributos. A transformação possível de $f'(E)$ será dada pela regressão de PE (medida estimada da disposição a pagar) com o respectivo nível do atributo ambiental e outras variáveis socioeconômicas do indivíduo (renda, idade, escolaridade etc.).

Considerada essa variável, define-se uma função de demanda a 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 menciona também que esse método capta apenas os valores de uso direto, indireto e de opção, e é obtido por meio da Equação 3 (TOLMASQUIM; MAGRINI *et al.*, 2002, p. 41):

$$P_i = f(a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, \dots, R_i) \quad \text{Equação 3}$$

Onde,

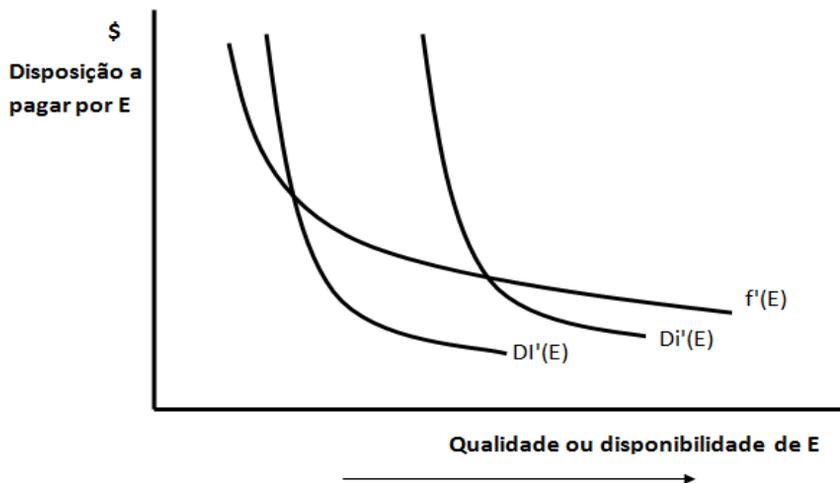
P_i = preço da propriedade

a_i = atributos da propriedade i

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

A Equação 3 pode ser representada por meio das curvas (Figura 2).

Figura 2. 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, cuja 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.

Consideram-se custos do indivíduo todas as variáveis pertinentes à viagem.

Utilizado para valoração de parques, sítios naturais, cavernas e outros, 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. De 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, além de estimar valores de uso e/ou de existência do

bem, situando-o em condições atuais e/ou futuras por meio de diferentes cenários – situações hipotéticas próximas da realidade.

As etapas para aplicação deste método contemplam:

- 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 et al., 2000 apud CUSTÓDIO, 2017 p. 90)

Essa 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 do bem.

Métodos normatizados

A NBR 14.653-6:2008 (versão corrigida) da ABNT trata de avaliação de 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, entre alguns conceitos e referências, estabelece 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 4:

$$VERA = VUD + VUI + VO + VE \quad \text{Equação 4}$$

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 quase sempre associada ao grau de sofisticação metodológica, à necessidade e disponibilidade de dados e informação para o caso, às hipóteses sobre o comportamento dos indivíduos e da sociedade ao uso que será dado aos resultados obtidos.

O Decreto 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 oferece uso direto e indireto, opção de uso futuro e, ainda, valor intrínseco, que inclui os valores ecológico, genético, social, econômico, científico, educacional, cultural, recreativo e estético. (BRASIL, 2002)

Saliente-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, funções ambientais.

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).

Valoração monetária dos serviços ecossistêmicos - Energia

O bem-estar da sociedade é garantido por bens e serviços relacionados ao equilíbrio ecológico, especificamente na estrutura e funções comprometidas pela entrada de poluentes no ecossistema, que resultam em prejuízos que a sociedade busca 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 com insumos, mão de obra, transporte, outros serviços e margem de lucro desejada. De certa forma, o preço agrega o trabalho humano, porém desconsidera a contribuição da natureza na formação dos

insumos utilizados e 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, a abundância torna menor o preço quanto maior é o trabalho da natureza na produção de recursos.

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

A metodologia eMergética, do pesquisador Howard T. Odum, propõe-se a medir todas as contribuições (moeda, massa, energia) em termos equivalentes, ou seja, a energia incorporada (eMergia). Em outras palavras, 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 naturais ou antrópicos. A emergia pode ser definida como 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)

Essa metodologia, que consiste em técnica de avaliação do fluxo de matéria e energia, permite 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, nesse caso, utiliza o Joule de energia solar (SeJ), que corresponde à unidade de medida da emergia. Ao contrário do que ocorre na economia convencional, atribui-se 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 princípios do funcionamento de sistemas abertos, convertendo os recursos usados em um sistema produtivo em termos de energia e forma de fazer a contabilidade em eMDólares ou dólares eMergéticos. (ODUM, 1996; PILLET, 1997)

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

Os cálculos da energia incorporada ou energia permitem avaliar recursos e benefícios visando a subsidiar procedimentos para planejar a tomada de decisões.

Nos ecossistemas naturais, todos os processos de uso, transferência, transformação e armazenagem de energia, desde os produtores até os consumidores, podem ser visualizados como fluxos energéticos e quantificados em energia (Joules de energia solar), convertendo cada fluxo e estoque em energia solar incorporada à medida que passa de um estado a outro. Pesquisadores desenvolveram tabelas de “transformidade” que têm como referencial a própria energia solar. (ODUM, 1989; COMAR, 2017)

Distorções dos métodos de valoração

Os métodos de valoração disponíveis não conseguem realizar avaliação precisa dos bens ambientais em virtude de suas limitações. (CUSTÓDIO, 2017)

Dessa forma, a aplicação conjunta de vários desses métodos pode reduzir as distorções e resultar em valores mais reais, ainda que se desconsiderem valores religioso, moral, afetivo e outros.

O Quadro 2, a seguir, apresenta 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 com a população para captar disposição direta de pagamento 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.
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, 2017.

Há ainda que ressaltar o “valor econômico de referência para o dano ambiental” (VERD), apresentado pelo químico sanitário Artur R. Albeche Cardoso (2003), que buscava um *quantum debetur* para indenização. Esse método, segundo Steigleder (2012), foi base para cálculo de compensação ambiental estabelecido pelo Decreto 6.848/2009, que se refere à 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:

$CA = VR \times GI$, 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)

Como os métodos de valoração são limitados e abarcam a multidisciplinaridade das áreas de conhecimento para compreensão dos fenômenos que ultrapassam as fronteiras da economia convencional, o emprego da metodologia mais adequada ao caso deve contribuir no processo de conscientização do valor dos recursos naturais, indispensáveis à vida humana com dignidade.

IV

Estudos de casos

Este capítulo apresenta estudos de casos de valoração econômica de danos ambientais realizados pela equipe técnica da CEAT/Setor de Meio Ambiente do MPMG, com aplicação de diferentes métodos, contemplam danos aos recursos hídricos, solo, fauna silvestre, flora, qualidade do ar e ao patrimônio histórico e cultural, provenientes do processo de urbanização, atividades industriais e minerárias.

**Dano à
fauna
silvestre**

Valoração de danos ambientais à fauna – meio biótico

Cláudia Lage Michalaros
Wender Paulo Barbosa Ferreira

RESUMO: Visando a valorar a quantificação do dano ambiental decorrente das atividades de abate, captura e maus-tratos a animais silvestres, o presente artigo propõe uma forma de determinar os custos com a reintrodução das espécies em *habitats* que se apoia em duas vertentes. A primeira, nos custos da manutenção dos espécimes da fauna silvestre comumente entregues ou resgatados por órgãos responsáveis e encaminhados ao CETAS/Ibama de Belo Horizonte/MG. A segunda, na estimativa média do tempo de monitoramento dos programas que visem à reintrodução, para fins conservacionistas.

PALAVRAS-CHAVE: dano à fauna, valoração ambiental, animais silvestres.

Introdução

A partir da Lei 9.605/1998 e do Decreto 3.179/1999 que a regulamenta, os danos causados ao meio ambiente foram enquadrados como crimes.

Para determinar o crime ambiental, é necessário perícia por meio da qual se obtêm as provas materiais do dano usando-se metodologias que podem ser diretas ou indiretas para estimar o valor econômico.

Os métodos diretos, segundo a ABNT¹, utilizam mercados de bens e serviços substitutos e complementares ou mercados hipotéticos.

¹ https://www.galaxcms.com.br/up_arquivos/1149/5-20170124191546.pdf

téticos para medir as variações de bem-estar. Estima-se a demanda dos indivíduos pela qualidade em relação a um recurso ambiental em função do bem-estar que ele proporciona por seu uso direto na atividade de produção ou no consumo como, por exemplo, no caso da extração e da visitação.

Já os métodos indiretos valoram os benefícios ambientais pelos custos evitados com as mudanças na qualidade ambiental, sem estarem diretamente relacionados a uma alteração de bem-estar. O valor é atribuído a partir da disposição a pagar ou a receber dos indivíduos. É mais usado quando há falta de dados para os métodos diretos de valoração ambiental.

A mensuração dos danos praticados contra os seres vivos envolve fatores éticos, científicos e até mesmo afetivos. Como atribuir valores a espécimes compostos por complexa organização cujas funções nos ecossistemas muitas vezes ainda são desconhecidas, apesar da exigência legal de fazê-lo?

Nessa última década, a Central de Apoio Técnico Setor de Meio Ambiente procurou testar diversas metodologias claramente compreensíveis. No grupo dos peixes, optou-se pelo método direto de valoração. Para os vertebrados terrestres, aplicou-se, quando possível, o método indireto, ao qual se procurou associar o custo de manutenção dos animais em situações em que são recolhidos por órgãos como o Ibama/MG, acrescentando a esses valores um fator que reflete o tempo médio de manutenção de programas de reintrodução de animais na natureza.

Metodologia

A compensação por danos à fauna pode-se dar por meio do financiamento de programas de translocação conservacionista², o

2 Translocação conservacionista é o movimento intencional de organismos de um local para soltá-los em outra área de distribuição nativa da espécie. Fonte: IUCN. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2013-009-Pt.pdf>. Acesso em: 1.º de julho de 2019.

que exige equipe técnica especializada; despesas com manutenção dos animais em um abrigo enquanto se decide pela soltura ou não; escolha do local adequado e monitoramento dos espécimes a serem reintroduzidos.

É necessário avaliar os custos e os riscos ao planejar tais programas. Os custos variam de acordo com o número de animais e os aspectos técnico-científicos de reintrodução por espécie.

A CEAT propõe estimar o dano ambiental aos animais sob dois vieses:

- ▶ O custo da manutenção dos espécimes da fauna silvestre comumente entregues ou resgatados por órgãos responsáveis e encaminhados ao CETAS/Ibama de Belo Horizonte/MG;
- ▶ A estimativa média do tempo de monitoramento dos programas que visem à reintrodução, para fins conservacionistas.

Custo da manutenção dos espécimes da fauna silvestre comumente resgatados

As tabelas a seguir demonstram o custo de manutenção, no CETAS/Ibama, por ordem e espécies mais frequentemente apreendidas pela Polícia Ambiental nas comarcas de Minas Gerais. Os valores calculados em agosto de 2017 se referem a alimentação, energia elétrica, água, exames laboratoriais, material de consumo, medicamentos, equipamentos, transporte, diárias, tratadores, marcação de animais, reabilitação e soltura.

Tabela 1 - Custo de manutenção ao longo do seu tempo de permanência de 2017.

CUSTO DE MANUTENÇÃO DOS ANIMAIS DO C					
Classe	Ordem	Animais Recebidos/ Ano	Animais Recebidos/ Mês	Custo Total*	Custo Total em %
Aves					
	Passeriformes	6958 (73%)	580	R\$ 762.600,00	0,62
	Psittaciformes				
	Grandes e médios	784 (8,2%)	65	R\$ 172.200,00	0,14
	Pequenos	646 (6,7%)	54	R\$ 123.000,00	0,1
	Strigiformes, Falconiformes	210 (2,2%)	17	R\$ 20.787,00	0,0169
	Outros	295 (3,1%)	25	R\$ 49.200,00	0,04

no CETAS-IBAMA por espécime da fauna silvestre, com base em agosto

CETAS DO IBAMA EM BELO HORIZONTE (08/2017)				
Custo Mensal	Custo Mensal/ Animal	Tempo médio de permanência (meses)	Custo total final	Principais espécies recebidas
R\$ 63.550,00	R\$ 109,59	3	R\$ 328,78	Canário-da-terra, trinca-ferro, coleiro, pretinho, azulão, sabiá, tico-tico, pássaro-preto.
R\$ 14.350,00	R\$ 219,64	12	R\$ 2.635,71	Papagaios e araras.
R\$ 10.250,00	R\$ 190,40	6	R\$ 1.142,41	Maitacas, maracanãs e periquitos.
R\$ 1.732,25	R\$ 99,13	2	R\$ 198,25	Corujas, urubus e gaviões
R\$ 4.100,00	R\$ 166,50	1	R\$ 166,50	Mutum, perdiz, garças, etc.

Reptilia					
	Testudinata (Cágados)	57 (0,6%)	5	R\$ 7.011,00	0,0057
	Testudinata (Aquático)	57 (0,6%)	5	R\$ 6.888,00	0,0056
	Testudinata (Terrestre)	172 (1,8%)	14	R\$ 30.012,00	0,0244
	Squamatta (Serpentes)	19 (0,2%)	2	R\$ 2.706,00	0,0022
Reptilia					
	Squamatta (Sauria)	10 (0,1%)	1	R\$ 1.845,00	0,0015
	Outros	10 (0,1%)	1	R\$ 1.599,00	0,0013
Mammalia					
	Carnivora	10 (0,1%)	1	R\$ 7.257,00	0,0059
	Primates	76 (0,8%)	6	R\$ 16.236,00	0,0132
	Outros	238 (2,5%)	20	R\$ 28.659,00	0,0233
Total		9532 (100%)	489	R\$ 1.230.000,00	
*Os custos referem-se à alimentação, exames laboratoriais, material de cons					

Fonte: Superintendência do IBAMA em Belo Horizonte/MG, 2017.

R\$ 584,25	R\$ 122,59	2	R\$ 245,17	Cágado-de-barbicha.
R\$ 574,00	R\$ 120,44	12	R\$ 1.445,24	Tigre-d'água.
R\$ 2.501,00	R\$ 174,92	10	R\$ 1.749,20	Jabuti-piranga e jabuti-tinga.
R\$ 225,50	R\$ 141,94	3	R\$ 425,83	Jiboia e salamanta.
R\$ 153,75	R\$ 193,56	6	R\$ 1.161,35	Iguana
R\$ 133,25	R\$ 167,75	2	R\$ 335,50	Jacaré, teiú
R\$ 604,75	R\$ 761,33	3	R\$ 2.283,99	Onças, lobos, raposas.
R\$ 1.353,00	R\$ 212,91	10	R\$ 2.129,14	Macacos, saguis.
R\$ 2.388,25	R\$ 120,26	2	R\$ 240,53	Gambá, veado, tatu, etc.
R\$ 102.500,00				
sumo, medicamentos, equipamentos, transporte, diárias, tratadores, marcação.				

Tabela 2 – Avifauna (aves)

Espécie (AVES)	Habitat	Die ta	Risco Extin ção	Ordem	Valor
Araponga, Ferreiro (<i>Procnias nudicollis</i>)	Ma	FR	E (VU)	Passeriformes	R\$ 328,78
Arara, Canindé, Arara-canindé (<i>Arara ararauna</i>)	Ce/Ma	FR	E (VU)	Psittaciformes	R\$ 2.635,71
Azulão (<i>Passerina brissoni</i>)	Ce/Ma	GR	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Bico de Pimenta (<i>Saltator atricollis</i>)	Ce/Ca/Ma /Cr	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Bico de veludo (<i>Schistochlamys ruficapillus</i>)	Ce/Ca/Cr	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Bico-de-lacre (<i>Estrilda astrild</i>)	Ce/Ca/Ma /Cr	GR	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Bicudo, bicudo-verdadeiro (<i>Oryzoborus maximiliani</i> ; <i>Sporophila maximiliani</i>)	Ma/Ce	GR	E (CR) F (CR)	Passeriformes	R\$ 328,78
Boiadeiro, Patativa Verdadeira (<i>Sporophila plumbea</i>)	Ma/Ce	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Brejal, Golinho (<i>Sporophila albogularis</i>)	Ca	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Canário-da-terra/chapinha (<i>Sicalis flaveola</i>)	Ce/Ca/Ma /Cr	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Canário do Amazonas (<i>Sicalis columbiana</i>)	Ce/Am	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Canário-rasteiro (<i>Sicalis citrina</i>)	Ce	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Capacettino-do-oco-do-pau (<i>Poospiza cinerea</i>)	Ce	ON	E (VU)	Passeriformes	R\$ 328,78
Cardeal (<i>Paroaria coronata</i>)	Pa	GR	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Chanchão, pixoxó (<i>Sporophila frontalis</i>)	Ma	ON	E (EN) F (VU)	Passeriformes	R\$ 328,78
Chopim/Gaudério/Godelo/Vira Bosta/Maria Preta (<i>Molothrus bonariensis</i>)	Ce	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Cravina/Galinho da Serra (<i>Coryphospingus pileatus</i>)	Ca/Re	CA	-	Passeriformes	R\$ 328,78

Valoração econômica de danos ambientais: coletânea da CEAT/MPMG

Curio, Avinhado (<i>Oryzoborus angolensis</i> ; <i>Sporophila angolensis</i>)	Ma/Ce	ON	E (EN)	Passeriformes	R\$ 328,78
Doremi/Garibaldi (<i>Agelaius ruficapillus</i>)	Ma/Ce	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Estrelinha/Cigarinha (<i>Sporophila collaris</i>)	Ce	GR	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Fifi-Verdadeiro (<i>Euphonia chlorotica</i>)	-	-	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Fradinho (<i>Sporophila bouvreuil</i>)	-	-	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Galo-de-campina (<i>Paroaria dominicana</i>)	Ce/Ca	GR	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Garrinchão (<i>Thryothorus sp</i>)	Ce/Ca/Ma /Cr	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Gralha (<i>Cyanocorax sp</i>)	-	GR	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Inhapim (<i>Icterus cayanensis tibialis</i>)	-	-	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Irataú grande (<i>Gymnomystax mexicanus</i>)	-	-	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Maritaca (<i>Aratinga leucophthalmus</i>)	-	ON	-	Psitaciformes	R\$ 1.142,41
Papa-capim/Coleirinha (<i>Sporophila caeruleusceus</i>)	Ce/Ca/Ma /Cr	GR	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Papagaio Campeiro (<i>Amazona ochrocephala</i>)	Ce	ON	-	Psitaciformes	R\$ 2.635,71
Papagaio verdadeiro (<i>Amazona aestiva</i>)	Ce	FR	-	Psitaciformes	R\$ 2.635,71
Pássaro Preto (<i>Gnorimopsar chopi</i>)	Ce	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Patativa (<i>Sporophila sp.</i>)	Ce	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Periquito (<i>Brotogeris versicolurus</i>)	Ce/MA	ON	-	Psitaciformes	R\$ 1.142,41
Pintassilgo (<i>Carduelis magellanicus</i>)	Ce/Ma	FR	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Pomba-Trocal (<i>Columba speciosa</i>)	-	ON	-	Columbiformes	R\$ 83,53
Pretinho (<i>Sporophila nigricollis</i>)	-	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Rolinha (<i>Columbina talpacoti</i>)	Re/Ca/Ce	ON	-	Columbiformes	R\$ 83,53
Sabiá-branco (<i>Turdus leucomelas</i>)	Ce/Ma	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Sabiá-poca (<i>Turdus amaurochalinus</i>)	Ce/Ma	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Sabiá/Sabiá-laranjeira (<i>Turdus rufiventris</i>)	Cr/Ce/Ma	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Saira-da-Mata (<i>Hemithraupis ruficapilla</i>)	Ce/Ma	FR	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Sanhaço (<i>Thraupis sp</i>)	Ce/Ma	FR	-	Passeriformes	R\$ 328,78

Sofrê (<i>Icterus icterus</i>)	Ca/Ce/Cr	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Tangará (<i>Chriroxipteria caudata</i>)	-	-	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Tico-tico (<i>Zonotrichia capensis</i>)	Ce/Cr	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Tico-Tico Rei (<i>Coryphospingus cucullatus</i>)	Ce/Cr	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Tiê Bico de Prata (<i>Cissops leveriana</i>)	-	FR	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Tiê Sangue (<i>Ramphocelus bresilus</i>)	Re/Ma	FR	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Tiziu (<i>Volatinia jacarina</i>)	Ce	GR	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Trinca-ferro (<i>Saltator similis</i>)	Ce/Ca/ Ma/ Cr	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78
Tucano (<i>Ramphastos toco</i>)	Ce/Ma	ON	-	Piciformes	R\$ 166,50
Tuim (<i>Forpus xanthopterygius</i>)	Ca/Ce/Cr	ON	-	Psitaciformes	R\$ 2.635,71
Xexeu (<i>Cacicus cela</i>)	Ce/Ma	ON	-	Passeriformes	R\$ 328,78

Tabela 3 – Herpetofauna (répteis)

Espécie (Répteis)	Habitat	Die- ta	Risco Extinçã o	Ordem	Valor
Cágado, cágado-pescoço-de-cobra (<i>Hydromedusa maximiliani</i>) Cágado, cágado-de-Hoge, cágado de Hoge (<i>Phrynops hoguei</i> ; <i>Mesoclemmys hoguei</i>)	Ce, Ma	On	E (CR) E (CR) F (CR)	Testudine	R\$ 245,17
Iguana (<i>Iguana iguana</i>)	Ce, Ma	On	-	Squamata	R\$ 1.161,35
Jabuti (<i>Geochelone sp</i>)	Ce, Ma	On	-	Testudine	R\$ 1.749,20
Tartaruga Tigre d' água (<i>Trachemys dorbigni</i>)	Pn	On	-	Testudine	R\$ 1.445,24
Jibóia (<i>Boa constrictor</i>)	Ce, Ma, Ca	Ca	-	Squamata	R\$ 425,83

Tabela 4 – Mastofauna (mamíferos)

Espécie (Mamíferos)	Habitat	Dieta	Risco Extinção	Grupo conforme IBAMA	Valor
Capivara (<i>Hydrochoerus hydrochoeris</i>)	Ma, Pn	On	-	Outros	R\$ 240,53
Esquilo/Caxinguelê (<i>Sciurus aestuans</i>)	Ma,	He,Gr	-	Outros	R\$ 240,53
Gambá (<i>Didelphis albiventris</i>)	Ma, Ce	On	-	Outros	R\$ 240,53
Gato-maracajá (<i>Leopardus wiedii</i>)	Ce, Ma, Ca	Ca	F (VU)	Carnívora	R\$ 2.283,99
Jaguatirica (<i>Leopardus pardalis</i> ; <i>Leopardus pardalis mitis</i>)	Ce, Ma, Ca	Ca	E (CR)	Carnívora	R\$ 2.283,99
Macaco-prego (<i>Sapajus sp.</i>)	Ma,	On	E/F (EN)	Primates	R\$ 2.129,14
Mico-estrela/sagui (<i>Callithrix penicillata</i>)	Ce, Ma	On		Primates	R\$ 2.129,14
Mico-leão (<i>Leontopithecus sp.</i>)	Ce, Ma	On	F (EN)	Primates	R\$ 2.129,14
Onça-parda, onça-vermelha, suçuarana, leão-baio, puma (<i>Puma concolor</i> ; <i>Puma concolor capricornensis</i> e <i>Puma concolor greeni</i>)	Ce, Ma, Ca, Pa	Ca	E (CR) F (VU)	Carnívora	R\$ 2.283,99
Onça-Pintada (<i>Panthera onca</i>)	Ce, Ma	Ca	E (CR) F (VU)	Carnívora	R\$ 2.283,99
Paca (<i>Agouti paca</i>)	Ma,	On	-	Outros	R\$ 240,53
Quati (<i>Nasua nasua</i>)	Ma, Ce	On	-	Outros	R\$ 240,53
Tamanduá-bandeira (<i>Myrmecophaga tridactyla</i>)	Ma, Ce	In	E (EN) F (VU)	Outros	R\$ 240,53
Tatu-canastra (<i>Priodontes maximus</i>)	Ca, Ce, Ma	On	E (CR) F (VU)	Outros	R\$ 240,53
Tatu Peludo (<i>Euphractus villosus</i>)	Ma,	On	-	Outros	R\$ 240,53
Veado-campeiro (<i>Ozotoceros bezoarticus</i>)	Ce, Ma	He	E (CR) F (VU)	Outros	R\$ 240,53

OBS:

Ma = Mata Atlântica; Ce = Cerrado; Ca = Caatinga; Cr = Campo Rupestre;

Pa = Pantanal.

IN = Insetívoro; ON = Onívoro; FG = Frugívoro; CA = Carnívoro; He= herbívoro; GR = Granívoro.

E = Risco de extinção Estadual (Delib. COPAM n.º 147, de 30 de abril de 2010); F = Risco de extinção Federal (Portaria MMA n.º 444, de 17 de dezembro de 2014).

EW= Extinta na Natureza; CR= Criticamente em Perigo; EN= Em Perigo; VU= Vulnerável.

Estimativa média do tempo de monitoramento e cálculos de valoração

Segundo a IUCN³, um período mínimo de três a cinco anos de monitoramento é necessário para obter resultados confiáveis na translocação de algumas espécies vegetais.

A Sociedade para a Conservação das Aves do Brasil (Save Brasil) propugna que a partir de testes preliminares é que serão obtidas as informações mínimas necessárias para estipular o tempo ideal de acompanhamento a cada espécie.

A princípio, o monitoramento deve ser executado por um período de três a cinco anos pós-solturas⁴. A partir dessa estimativa mínima, decidiu-se, para fins da valoração, um tempo médio de quatro anos de monitoramento para cada espécie, caso sejam incluídas em um programa de translocação conservacionista.

3 Disponível em: <<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2018-006-En.pdf>>

4 Disponível em: <http://www.savebrasil.org.br/wp-content/uploads/2017/10/LIVROProtocoloSolturaAves.pdf>. Acesso em: 1.º jul. 2019.

A Tabela 5, a seguir, traz uma Estimativa Econômica do Dano Ambiental (EEDA).

Tabela 5: Custo estimado de monitoramento pós-soltura por Ordem da fauna silvestre, com base em agosto de 2017.

Classe	Ordem	Custo Mensal/ Animal (M)	Tempo médio de monitoramento pós-soltura (meses)	Custo estimado do monitoramento pós-soltura de um indivíduo	Principais espécies recebidas
Aves					
	Passeriformes	R\$ 109,59	48	R\$ 5.260,32	Canário-da-terra, trinca-ferro, coleiro, pretinho, azulão, sabiás, tico-tico, pássaro-preto.
	Psittaciformes				
	Grandes e médios	R\$ 219,64	48	R\$ 10.542,72	Papagaios e araras.
	Pequenos	R\$ 190,40	48	R\$ 9.139,20	Maitacas, maracanãs e periquitos.
	Strigiformes, Falconiformes	R\$ 99,13	48	R\$ 4.758,24	Corujas, urubus e gaviões
	Outros	R\$ 166,50	48	R\$ 7.992,00	Mutum, perdiz, garças, etc.

Reptilia

	Testudinata (Cágados)	R\$ 122,59	48	R\$ 5.884,32	Cágado-de-barbicha.
	Testudinata (Aquático)	R\$ 120,44	48	R\$ 5.781,12	Tigre-dágua.
	Testudinata (Terrestre)	R\$ 174,92	48	R\$ 8.396,16	Jabuti-piranga e jabuti-tinga.
	Squamatta (Serpentes)	R\$ 141,94	48	R\$ 6.813,12	Jiboia e salamanta.
	Squamatta (Sauria)	R\$ 193,56	48	R\$ 9.290,88	Iguana
	Outros	R\$ 167,75	48	R\$ 8.052,00	Jacaré, teiú

Mammalia

	Carnivora	R\$ 761,33	48	R\$ 36.543,84	Onças, lobos, raposas.
	Primates	R\$ 212,91	48	R\$ 10.219,68	Macacos, saguis.
	Outros	R\$ 120,26	48	R\$ 5.772,48	Gambá, veado, tatu, etc.

Logo:

$$\text{EEDA por espécie} = N \times 48M$$

Onde:

N = número de indivíduos da mesma espécie.

M = custo de manutenção mensal por espécime/indivíduo.

48 meses = (4x12 meses) referem-se aos quatro anos previstos para a média de um período mínimo de monitoramento de três a cinco anos, no contexto de um programa de translocação conservacionista.

Essa forma de atribuir valores aos danos cometidos aos animais silvestres deve ser utilizada para casos de abate, captura e maus-tratos.

É importante estimular o uso dos recursos do Fundo de Meio Ambiente em projetos que intensifiquem a criação de abrigos temporários bem estruturados para representantes da fauna silvestre retirados das mãos de infratores e de programas que objetivem a reintrodução, quando for o caso. Também os recursos auferidos nas valorações devem retornar às localidades onde o dano foi cometido, em projetos que venham a melhorar a qualidade do ecossistema local para suporte da fauna.

Danos intercorrentes (DI)

Trata-se de compensação relativa ao lapso de tempo de que o ecossistema necessita para se recompor integralmente depois ter sido afetado por dano ambiental, gerando à coletividade um direito subjetivo de ser compensada pelo período entre a ocorrência do dano e a integral reposição da situação anterior.

Diante da complexidade em estimar os danos da ausência do espécime no ambiente natural no exercício das funções ecossistêmicas, sugere-se multiplicar o valor do custo de manutenção do espécime (M) pelo número de meses (T) em que ocorreu o lapso temporal e somar à fórmula anterior.

Como lapso temporal, entende-se o período compreendido entre a captura ou aquisição irregular do animal até a sua apreensão pelo órgão responsável (Ibama, IEF e Polícia Ambiental), que deve providenciar os encaminhamentos técnico-científicos necessários à manutenção ou ao retorno do espécime ao ambiente natural, caso seja indicado.

$$\mathbf{DI = M \times T}$$

Onde:

M= custo de manutenção mensal por espécime

T= lapso temporal (meses)

Conclusão

Nos casos da valoração calculada pelo paradigma econômico, é possível considerar os custos associados à recuperação dos danos causados, especificamente os custos relacionados à reintrodução do espécime ao seu *habitat* natural.

Ressalte-se que os números referentes aos valores da manutenção dos animais apresentados nas tabelas correspondem àqueles elaborados pela Superintendência do Ibama Belo Horizonte, em agosto de 2017.

**Dano
à flora**

Valoração de dano ambiental pela construção em Área de Preservação Permanente (APP) – margens de corpos hídricos

Almir Lopes Loures
Antônio Olinto Vieira Machado
Carlos Mercês de Oliveira
Fabiano Palhares Silva
Fernando Augusto Eto Lages
Flávio Guimarães Lana
Magno Cornélio Torres
Nadson Souza Carvalho
Nivaldo Caetano da Cunha

RESUMO: Este artigo apresenta metodologia aplicável à valoração de danos ambientais oriundos de construções irregulares em Áreas de Preservação Permanente (APP) às margens de corpos hídricos. A valoração, baseada nos custos de demolição e limpeza da área, leva em consideração o transporte e a disposição adequada dos resíduos gerados no processo, além dos custos pelo não reflorestamento. O valor de compensação em pecúnia (VCP) foi proposto pelo Ibama em substituição ao reflorestamento de 1 hectare em APP às margens do Rio São Francisco.

PALAVRAS-CHAVE: Construções em APP. Valoração ambiental.

Introdução

Em 28 de agosto de 2009, elaborou-se um trabalho visando a estimar os valores dos danos ambientais decorrentes das construções irregulares localizadas em áreas protegidas, às margens de corpos hídricos. Os parâmetros servem à composição civil dos danos ambientais relativos às construções irregulares em APP erigidas antes do advento da Lei 14.309/2002.

A recuperação de uma área degradada por construções civis de forma a lograr equilíbrio ambiental e restabelecer as funções ambientais inerentes às APPs pressupõe a demolição da obra, a limpeza ou retirada do entulho e o reflorestamento equivalente em extensão à área objeto da construção irregular pelo tempo necessário à formação da floresta plantada.

Custos de demolição e limpeza da área - CD

O cálculo dos custos inclui as etapas de demolição da edificação, transporte e disposição adequada dos resíduos gerados no processo da área do empreendimento eventualmente inserida em APP.

Pinto (1999) considera resíduos de construção e demolição (RCD) qualquer resíduo oriundo de construção ou de reforma dos mais diversos tipos de obra.

No Brasil, ele estimou um índice de produção de RCD de 0,9 tonelada por metro quadrado construído, enquanto o manual de orientação relativo ao manejo de gestão de resíduos da construção civil recomenda índice ⁵ de massa específica de 1,2 t/m³.

5 Índice para a conversão de toneladas em metros cúbicos indicados no volume 1 - Manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios. Em: Manejo e gestão de resíduos da construção civil. Parceria técnica entre o Ministério Público das Cidades, o Ministério do Meio Ambiente e a Caixa Econômica Federal.

Além desses indicadores, adotaram-se valores dos serviços de limpeza urbana contemplados em Tabela 1 preço mensal unitário utilizada pela Superintendência de Desenvolvimento da Prefeitura de Belo Horizonte referentes a agosto de 2007.

Tabela 1 – Custos mensais unitários com a limpeza urbana de Belo Horizonte

Atividade	Custo (R\$/m ³)
Demolição da edificação ⁶	31,03
Carregamento (volume demolido)	6,45
Transporte (volume demolido)	2,27
Disposição adequada (volume demolido) ⁷	3,60
Total	43,35

Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte

Verifica-se que os custos de demolição (CD) da construção, os quais incluem carregamento, transporte e disposição adequada do volume de entulhos de uma dada edificação, por metro quadrado, podem ser obtidos graças à equação:

$$Cd/m^2 = (1m^2 \times 0,9t/m^2 \times R\$43,35/m^3) \div 1,2t/m^3$$

$$Cd/m^2 = R\$32,51, \text{ adotando } Cd = R\$32,50/m^2.$$

Feita a correção monetária de agosto de 2007 para agosto de 2009, conforme índice de atualização do Ministério Público de Minas Gerais, tem-se:

$$Cd = R\$36,56/m^2 \text{ de área construída.}$$

6 Demolição de alvenaria, inclusive afastamento de tijolos e de blocos, conforme tabela Sudecap referente a agosto de 2007.

7 Memória de cálculo: R\$3/ton. x 1,2 t/m³.

Compensação pelo não reflorestamento

Nos casos em que não houver o reflorestamento da área objeto da construção ou de área degradada cuja extensão seja, no mínimo, igual à da área construída, o proprietário ou o responsável pela edificação deve pagar valor equivalente à compensação em pecúnia proposta pelo Ibama, em substituição ao reflorestamento de 1 (um) hectare (ha), em APP, às margens do Rio São Francisco⁸.

$VCP = p1 + p2 + p3 + p4 + p5$, sendo:

VCP = Valor de compensação em pecúnia pelo não reflorestamento;

p1 = Valor da muda;

p2 = Abertura das covas;

p3 = Correção e adubação de solo durante três anos;

p4 = Tratos culturais durante dois anos;

p5 = Impacto ecossistêmico - perda permanente e temporária de funções ambientais em área de preservação permanente.

p1 = R\$1.250 (mil duzentos e cinquenta reais).

Plantio de espécies arbóreas nativas da região, com espaçamento de 4 metros por 4 metros, totaliza 625 mudas em 1 ha. Valor unitário da muda: R\$2 (dois reais).

p2 = R\$400 (quatrocentos reais).

Abertura de 32 (trinta e duas) covas/homem/dia, o que perfaz 20 (vinte) dias/homem, considerando R\$20 (vinte reais) o valor do dia/homem.

8 Proposta elaborada em junho de 2006 por técnicos do Ibama do Escritório Regional de Lavras, baseada em estudo realizado por técnicos do Ibama nas Flonas de Ipanema/SP e Passa Quatro/MG, com índices utilizados pela Emater/MG e pela carteira agrícola do Banco do Brasil S.A.

p3 = R\$1.823 (mil oitocentos e vinte e três reais).

Aplicação de quatro toneladas de calcáreo e adubação de 625 (seiscentas e vinte e cinco) covas, sendo 300 (trezentos) gramas por cova, se superfosfato simples, 300 (trezentos) gramas de fosfato de araxá, 20 (vinte) litros de esterco de curral curtido, e 100 (cem) gramas de sulfato de amônio por cova pós-plantio – adubação em cobertura. Duas aplicações anuais de 150 (cento e cinquenta) gramas de sulfato de amônio e 200 (duzentos) gramas por cova da fórmula 20-05-20.

p4 = R\$2.000 (dois mil reais).

Capina, adubação de cobertura e combate a formiga, durante dois anos, considerados 50 (cinquenta) dias homem/ano por hectare, totalizando 100 (cem) dias/homem.

Os valores de p1, p2, p3 e p4 referem-se ao custo estimado de reflorestamento da área degradada, objeto da construção eventualmente demolida, o que totaliza R\$5.473 por hectare, ou seja, R\$0,55 o metro quadrado.

Feita a aplicação do fator de correção monetária de junho de 2006, época da elaboração da proposta do Ibama, para agosto de 2009, tem-se:

$$p1 + p2 + p3 + p4 = R\$0,64/m^2 \text{ de área construída.}$$

$$p5 = R\$1/m^2/ano \times fa \times Ata \times 5, \text{ onde:}$$

p5 = Impacto ecossistêmico: perda de funções ambientais como proteção do solo e da biodiversidade, fluxo gênico, entre outras.

R\$1/m²/ano = Valor das funções ambientais, por metro quadrado, no ano (IBAMA, 2002).

Ata = Área total construída, em metros quadrados (m²);

fa = 1,59. Fator de atualização monetária de setembro/2002 para outubro/2009.

5 = Tempo, em anos, estimado para consolidação de área reflorestada.

$$p5 = (\text{R}\$1/\text{m}^2/\text{ano} \times 1,59 \times 1\text{m}^2) \times 5 \text{ anos};$$

$$p5 = \text{R}\$7,95/\text{m}^2$$

Logo, o valor de compensação, em pecúnia, pelo não reflorestamento da área objeto da construção é dado por:

$$\text{VCP} = (p1 + p2 + p3 + p4) + p5;$$

$$\text{VCP} = \text{R}\$0,64/\text{m}^2 + \text{R}\$7,95/\text{m}^2;$$

$$\text{VCP} = \text{R}\$8,59/\text{m}^2 \text{ de área construída}$$

Valoração do dano

Diante do custo de demolição e do valor de compensação em pecúnia apresentados, o dano ambiental foi valorado para construção em margens de corpos hídricos, dentro de APP, com reflorestamento de área cuja extensão seja igual à da área construída.

$$\text{Vd} = \text{R}\$36,56/\text{m}^2 + \text{reflorestamento}$$

$$\text{Vd} = \text{R}\$36,56/\text{m}^2 \text{ de área construída} + \text{reflorestamento.}$$

Construção em margens de corpos hídricos, dentro de APP, **sem reflorestamento.**

$$\text{Vd} = \text{Cd} + \text{VCP}$$

$$\text{Vd} = \text{R}\$36,56/\text{m}^2 + \text{R}\$8,59/\text{m}^2$$

$$\text{Vd} = \text{R}\$45,15/\text{m}^2 \text{ de área construída.}$$

Considerada a impossibilidade de se determinar o tempo a que a área e seu entorno serão submetidos aos impactos da construção erigida, sugeriu-se que o valor de compensação ambiental, base agosto de 2009, fosse de R\$36,55 por metro quadrado construído, mais o reflorestamento com espécies nativas equivalente à área construída, com anuência/acompanhamento do IEF ou de perito da Promotoria.

Caso tenha sido impossível o reflorestamento de área equivalente nos termos do parágrafo anterior, o valor de compensação ambiental, base agosto de 2009, é de R\$45,15 por metro quadrado de área construída.

Valoração de dano ambiental pela obtenção ilegal de um metro cúbico de madeira serrada originária de floresta estacional semidecidual

Fabiano Palhares Silva

RESUMO: Este artigo apresenta metodologia de valoração de dano ambiental decorrente da obtenção de madeira serrada, originária de floresta estacional semidecidual, cuja exploração tenha sido realizada de forma não sustentável e sem autorização do órgão ambiental competente. A caracterização, quantificação e valoração dos danos advindos da atividade irregular foi aplicada a formulação do valor econômico ambiental de uso direto, indireto, de opção e de existência dos recursos afetados. Para o cálculo de uso direto, utilizou-se o valor de mercado de um metro cúbico de madeira serrada de essências florestais nativas e de lenha referente a 2020. Para o de uso indireto de opção e existência, baseou-se nos valores estimados por COSTANZA *et al.*, 1997; e SANTOS *et al.*, 2000 (citados em Ibama, 2002). O método de valoração resultou em um *quantum debeatur* de R\$ 3.859,42 (três mil oitocentos e cinquenta e nove reais e quarenta e dois centavos) por metro cúbico de madeira serrada obtida de maneira ilegal.

PALAVRAS-CHAVE: Dano ambiental. Madeira serrada. Supressão florestal. Valoração ambiental.

Introdução

A valoração realizada buscou estimar o valor quantitativo referente à obtenção de 1m^3 (um metro cúbico) de madeira nativa serrada, sem as devidas licenças ambientais. Para tanto, adotou-se o método VERA (Valoração Econômica dos Recursos Ambientais) indicado para o caso, de acordo com a NBR 14653-6, que visa detalhar os procedimentos gerais da norma de avaliação de bens no que diz respeito a recursos naturais e ambientais.

Para cada metro cúbico de madeira serrada tem-se a produção de 1,2 metro de lenha originário dos resíduos gerados na serraria, da madeira da copa da qual se extraiu a tora e dos indivíduos abatidos indiretamente no momento da derrubada da árvore desejada. (DE PAULA, J.E., et al, 1993)

Outro fato que merece menção é que o preço médio de mercado da madeira serrada à época do estudo era de R\$1.840 o m^3 , enquanto o valor da lenha era de R\$90 o metro cúbico⁹.

Metodologia adotada e cálculos realizados

O método estipula quatro formas de atribuição de valor: $VERA = VUD + VUI + VO + VE$. No caso, o VUD equivale ao preço de mercado de 1m^3 de madeira nativa serrada (R\$1.840 + R\$108 relativos ao valor de mercado de $1,2\text{m}^3$ de lenha). Ou seja, $VUD = R\$1.948$.

Quanto ao valor de uso indireto, refere-se a bens e a serviços ambientais apropriados e consumidos no presente. Na ocasião, correspondia ao valor das funções ambientais descritas como regulação de clima, regulação de perturbação, regulação das águas, suprimentos de água, controle de erosão, formação de solo, reci-

9 Valor médio no estado de Minas Gerais do m^3 de lenha e de madeira serrada de espécies nativas em 2020.

Fonte: MarketPlace MFRURAL: Disponível em: <https://www.mfrural.com.br/busca/lenha/estado/minas-gerais> <https://www.mfrural.com.br/busca/madeira-serrada>

clagem de nutrientes, tratamento de rejeitos, controle biológico, recreação e cultural.

O valor de opção se refere ao uso futuro do patrimônio genético como, por exemplo, para a descoberta de fármacos. O valor de existência é intrínseco a espécies não humanas. Estima-se valor total de R\$ 0,6642/m²/ano. (MOTTA, 2006 e COSTANZA et al, 1997).

Para 1m³ de madeira serrada é necessário o abate de 2,50m³ de árvore, devido às perdas, e esse abate acarreta derrubada indireta de outros indivíduos arbóreos no volume de 2,50m³, o que implica 5m³ de mata nativa danificada para cada m³ de madeira serrada obtida. Por esse dado, a produção de 1m³ de madeira serrada gera a degradação de 344,07m² de floresta estacional semidecidual, cujo estoque de madeira é de 145,32m³/ha.

Assim, **VUI + VO + VE**: R\$0,6642,00/m²/ano X 344m² = **R\$ 228,49/ano**.

Os R\$228,49 correspondem à quitação de uma parcela anual, de uma série de pagamentos. Considerando-se 20 anos o tempo médio necessário para que a floresta de onde se extraiu a madeira se recupere e volte a prestar os serviços ambientais de maneira semelhante ao período anterior à intervenção sofrida e que o ressarcimento se dará em momento presente, tem-se a seguinte fórmula da matemática financeira para o cálculo de pagamentos antecipados:

$$VUI + VO + VE = PMT \times \left[\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \times i} \right] \times (1 + i),$$

sendo:

VUI+VO+VE = Montante (capital + juros);

PMT = Valor das prestações iguais de uma série uniforme;

n = Prazo ou número de prestações correspondente ao tempo necessário à recuperação dos serviços ambientais, em anos;

i = Taxa de juros (taxa de desconto) usualmente utilizada para fins de implantação de programas de reflorestamento, na forma decimal;

$$VUI + VO + VE$$

$$= R\$228,49 \times \left[\frac{(1,12)^{20} - 1}{1,12^{20} \times 0,12} \right] \times (1,12);$$

$$VUI + VO + VE = R\$1.911,42.$$

$$VERA = VUD + (VUI + VO + VE) = R\$1.948 + R\$1.911,42$$

VERA = R\$ 3.859,42 por m³ (três mil oitocentos e cinquenta e nove reais e quarenta e dois centavos por metro cúbico).

Resultado e discussão

Infere-se que o valor de indenização decorrente da obtenção de um metro cúbico de madeira serrada, originária de floresta estacional semidecidual, cuja exploração tenha sido de forma não sustentável e sem autorização do órgão ambiental competente, é de R\$ 3.859,42 (três mil oitocentos e cinquenta e nove reais e quarenta e dois centavos).

Saliente-se que em ocasiões nas quais se saiba qual espécie florestal foi suprimida, tal valoração pode ser adaptada para melhor precisão do cálculo. Para isso, basta substituir o Valor de Uso Direto (VUD), cujo valor médio é de R\$1.840 o m³, pelo valor do metro cúbico de madeira serrada da espécie florestal suprimida.

Outra adaptação cabível é quanto à fisionomia florestal atingida. Caso a madeira obtida de maneira ilegal seja originária de floresta ombrófila, floresta estacional decidual ou qualquer outra formação **florestal**, a substituição do estoque de madeira apresentado no cál-

culo do VUI + VO + VE pelo estoque da formação florestal desejada e utilização deste na elaboração da estimativa da área suprimida apresentará valores coerentes dos danos gerados.

Conclusão

Pela natureza do próprio trabalho, longe de pretender apresentar soluções ou conclusões definitivas, essa breve valoração econômica ambiental teve como foco puro e simples os prejuízos gerados com a supressão vegetal, sem levar em consideração a eliminação de habitats, captação de carbono, impactos na paisagem, utilização futura do solo sob interferência, entre outros.

Isso indica que, mesmo aparentemente alto, o valor de R\$1.840 o m³ de madeira serrada ilegalmente não contempla todos os prejuízos gerados ao meio ambiente e à sociedade.

Valoração econômica de recurso ambiental referente ao abate ilegal de um exemplar de *Caryocar brasiliense* (pequizeiro)

Fabiano Palhares Silva

RESUMO: Este artigo apresenta a metodologia de valoração de dano ambiental decorrente do corte de indivíduo adulto da espécie *Caryocar brasiliense*, protegida em Minas Gerais pela Lei Estadual 20.308, de 27/07/2012, que a declara de preservação permanente, interesse comum e imune a corte. A caracterização, quantificação e valoração dos danos advindos da atividade irregular tanto ao meio ambiente quanto às comunidades que utilizam os frutos dessa espécie nativa como fonte de renda se aplica à formulação do Valor Econômico do Recurso Ambiental de uso direto, indireto, de opção e de existência dos recursos afetados. Para cálculo do de uso direto, utilizou-se como referência o valor de mercado de um metro cúbico de lenha e de torete relativo a 2020. Além disso, levou-se em consideração a produtividade de polpa. Para o de uso indireto, de opção e existência, baseou-se nos valores estimados por Costanza et al., 1997, e Santos et al., 2000 (citados em Ibama, 2002). O método de valoração resultou em um *quantum debeatur* de R\$4.910,29 (quatro mil novecentos e dez reais e vinte e nove centavos), por indivíduo abatido de maneira ilegal.

PALAVRAS-CHAVE: Dano ambiental. Pequizeiro. Supressão florestal. Valoração ambiental.

Introdução

A estimativa do valor dos danos ambientais decorrentes da supressão de um pequiheiro (*Caryocar brasiliense*), sem as devidas licenças ambientais, adotou o método VERA (Valoração Econômica dos Recursos Ambientais), de acordo com a NBR 14653-6. Indivíduo adulto da espécie estudada possui a capacidade de gerar 0,67703m³ de lenha proveniente dos galhos e fuste,¹⁰ e a produtividade de polpa de um exemplar arbóreo da espécie *Caryocar brasiliense* implica retorno financeiro correspondente a R\$160,20/ indivíduo/ano.¹¹ O preço médio de mercado da lenha é de R\$90 o metro cúbico¹² e a vida produtiva de um indivíduo da espécie *Caryocar brasiliense* é de 30 anos.

Metodologia

Valor Econômico dos Recursos Ambientais (VERA), método desenvolvido pela Economia Ambiental. (MOTTA, 2006)

Resultados e discussão

Correspondem às quatro formas de atribuição de valor do método VERA = VUD + VUI + VO + VE.

10 Dados obtidos em volume de madeira de um hectare de cerrado sensu stricto em Planaltina de Goiás Disponível em: <http://www.cpac.embrapa.br/download/454/t>. Acesso em: 22 set.2011.

11 Dados obtidos em produtividade dos pequiheiros (*caryocar brasiliense cambess*) no município de Damianópolis, Goiás. Disponível em: http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/oleaginosas_potenciais/publicacoes-1/00451-trab1-ap.pdf. Acesso em: 22set. 2011.

12 Valor médio do m³ de lenha e de madeira serrada de espécies nativas no estado de Minas Gerais em 2020. Fonte: MarketPlace MFRURAL: Disponível em <https://www.mfrural.com.br/busca/lenha/estado/minas-gerais> <https://www.mfrural.com.br/busca/madeira-serrada>

VUD: Valor de uso direto referente a bens e serviços ambientais apropriados diretamente da exploração do recurso e consumido no presente. Equivale ao preço de mercado da madeira obtida com a supressão, somado à produção de frutos interrompida pela ação degradatória. (0,67703m³ de lenha + o valor de produção de frutos durante os 30 anos produtivos do indivíduo):

VUD = (R\$ 90/m³ * 0,67703m³) + (30* R\$160,20) = R\$60,93 + R\$4.806. **VUD** = R\$ 4.866,93

VUI: O valor de uso indireto é referente a bens e serviços ambientais, apropriados e consumidos no presente. Corresponde ao valor das funções ambientais descritas como regulação de clima, regulação de perturbação, regulação das águas, suprimentos de água, controle de erosão, formação de solo, reciclagem de nutrientes, tratamento de rejeitos, controle biológico, recreação e cultural.

Costanza et al., 1997, e Santos et al., 2000 (citados em Ibama, 2002) estimaram US\$0,0307/m²/ano para o cerrado. A cotação do dólar na época de elaboração do trabalho era de R\$5,29, o que representa para o cerrado R\$ 0,1624/m²/ano;

Como a copa de um indivíduo arbóreo de pequiizeiro ocupa a área média de 38,50 m² do cerrado, VUI a R\$0,1624/m²/ano X 38,50m² = R\$ 6,25/ano.

O valor de R\$ 6,25 corresponde à parcela anual de uma série de pagamentos. Doze anos é o tempo médio considerado necessário para que a floresta de onde se extraiu a madeira se recupere e volte a prestar os serviços ambientais de maneira semelhante à do período anterior à intervenção sofrida.

Caso o ressarcimento se dê neste momento, tem-se a seguinte fórmula da matemática financeira para o cálculo de pagamentos antecipados:

$$VUI + VO + VE = PMT \times \left[\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \times i} \right] \times (1 + i),$$

$$VUI + VO + VE = PMT \times \left[\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \times i} \right] \times (1 + i),$$

sendo:

VUI+VO+VE = Montante (capital + juros);

PMT = Valor das prestações iguais de uma série uniforme;

n = Prazo ou número de prestações, correspondente ao tempo necessário à recuperação dos serviços ambientais, em anos;

i = Taxa de juros (taxa de desconto) usualmente utilizada para fins de implantação de programas de reflorestamento, na forma decimal;

$$VUI + VO + VE$$

$$= R\$6,25 \times \left[\frac{(1,12)^{12} - 1}{1,12^{12} \times 0,12} \right] \times (1,12);$$

$$VUI = R\$43,36.$$

VO: O valor de opção se refere ao uso futuro do patrimônio genético como, por exemplo, para a descoberta de fármacos.

VE: O valor de existência é intrínseco a espécies não humanas.

Sem estimativa para o **VO** e **VE** do cerrado, VERA = VUD + (VUI+VO+VE) = R\$ 4.866,93 + R\$ 43,36.

VERA=R\$4.910,29/pequizeiro (quatro mil novecentos e dez reais e vinte e nove centavos por pequizeiro).

Conclusão

O valor de indenização decorrente do abate de um indivíduo da espécie *Caryocar brasiliense* ocorrido de forma não sustentável e sem autorização do órgão ambiental competente é de R\$4.910,29 (quatro mil novecentos e dez reais e vinte e nove centavos) por pequizeiro.

Desse montante, 98% referem-se à produção de frutos interrompida pela intervenção irregular na colheita de um produto que tem grande impacto na valoração ambiental.

Registre-se que, pela natureza do próprio trabalho, essa breve valoração econômica ambiental focou simplesmente nos prejuízos gerados com o abate de um exemplar da espécie *Caryocar brasiliense*, sem levar em consideração questões como eliminação de habitats, captação de carbono, impactos na paisagem, utilização futura do solo sob interferência, entre outros.

Valoração de dano ambiental ocasionado pela queimada de plantações de cana

Carlos Mercês de Oliveira

RESUMO: Este trabalho apresenta valoração ambiental decorrente de queimadas em plantações de cana, sem autorização do órgão ambiental competente, por meio da quantificação do dano ambiental gerado e sua conversão em valor de compensação em pecúnia.

PALAVRAS-CHAVE: Dano ambiental. Queima de plantações de cana. Valoração ambiental.

Introdução

Trata-se de estimativa do valor dos danos ambientais decorrentes de queimadas em plantações de cana-de-açúcar, sem autorização do órgão ambiental competente, em atendimento à solicitação formulada pela 1.^a Promotoria de Justiça de São Sebastião do Paraíso.

A valoração baseia-se nos custos adicionais pela adoção de tecnologia de colheita da cana agressiva ao meio ambiente, no valor dos produtos desperdiçados e no valor dos serviços ambientais que seriam prestados pela palha da cana, objeto da queima, na área de 1 hectare.

Valor de compensação em pecúnia

Avaliação técnico-econômica da colheita manual e mecanizada de cana na região de Bandeirantes/PR mostra valores de 3,06

US\$.t⁻¹ para custo da colheita mecanizada da cana sem queima e de 4,14 US\$.t⁻¹ para colheita manual da cana queimada.¹³

Sobre o Proálcool a produtividade média da cana-de-açúcar brasileira aumentou de 50t a 60t/ha em 1975 para 75t a 85t/ha em 1996¹⁴, enquanto estudos técnico-científicos mais recentes relacionados ao uso da cana-de-açúcar para fins não energéticos apresenta produtividade da cana de 82,4t/ha e disponibilidade da palha 11,5t/ha, base seca, para as variedades plantadas no Brasil e cana de ano e meio (média de 5 cortes).¹⁵

O custo de produção – operacional efetivo, inclusive encargos sociais – dos fornecedores de cana-de-açúcar varia entre R\$32,08 e R\$45,42 por tonelada, de acordo com o sistema de produção na região do Estado de São Paulo¹⁶.

Uso de tecnologia inadequada (CTI)

Adota-se nesta valoração a diferença de 1,08 US\$.t⁻¹ em desfavor da colheita manual da cana queimada em relação à colheita mecanizada, apresentada na avaliação técnico-econômica retro como valor de referência para compensação pelo uso de tecnologia agressiva ao meio ambiente.

13 Avaliação técnico-econômica da colheita manual e mecanizada da cana-de-açúcar (*saccharum spp*) na região de Bandeirantes-PR. Euripedes Bomfim Rodrigues, Otavio Jorge Grigoli Abi Saab. Disponível em: www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/2889/0

14 Proálcool - aspectos econômicos. Custos de produção do álcool. Disponível em <http://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool/programa-aspectos-economicos.htm> 26/9/2013.

15 Uso da palha da cana-de-açúcar para fins não energéticos. José Abílio Silveira Cosentino & José Luiz Guimarães de Souza. Disponível em http://dspace.universia.net/bitstream/2024/84/2/PROJETO_+PALHA+da+CANA_18+abril2007.doc;

16 Custo de produção dos fornecedores de cana varia entre R\$ 32,08 e R\$ 45,42 a tonelada. Produtividade no campo. <http://www.gestaonocampo.com.br/biblioteca/custo-de-producao-dos-fornecedores-de-cana-varia-entre-r-3208-e-r-4542-a-tonelada/>

Para converter a compensação por tonelada para compensação por hectare, utiliza-se a produtividade da cana de 82,4t/ha. Assim:

$$Cti = 1,08\text{US}\$/\text{t} \times 82,4 \text{ t/ha} \times \text{R}\$2,236/\text{US}\$, \text{ sendo:}$$

US\$ - dólar americano; t - tonelada; ha - hectare; R\$2,236 - Cotação do dólar (26/9/2013).

$$Cti = \text{R}\$198,99$$

Valor da palha queimada (VPQ)

A estimativa do valor da palha queimada baseia-se na produção de cana de 82,4t/ha, com 14% (quatorze por cento) de palha, ou seja, 11,5t/ha, de material queimado e custo de produção, conservador, de R\$32,08 por tonelada. Pressupõe-se que o uso múltiplo dos produtos da cana, em especial a palha, seja fundamental para a sustentabilidade ambiental da atividade. Logo:

$$Vpq = 82,4 \text{ t/ha} \times 14/100 \times \text{R}\$32,08/\text{t},$$

$$Vpq = \text{R}\$370,07/\text{ha}$$

Perda dos serviços ambientais (PSA)

A palha da cana, objeto da queima, presta importante serviço ambiental na medida em que promove a regulação de água, controla a erosão, contribui para a formação e composição do solo, auxilia na retenção, depuração de resíduos e produção alimentar de forma equivalente aos serviços prestados pelo bioma “cerrado”.¹⁷ (Tabela 4)

17 ROMANCHELI, Regina de Amorim; SPÍNDOLA, Conrado Martignoni. *Quanto vale o cerrado goiano? Uma proposta de valoração econômica para a fitofisionomia do cerrado típico*. II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/VI-007.pdf>. Acesso em: 27/9/2013.

Tabela 4 - Serviços de regulação prestados pelo bioma “Cerrado”

SERVIÇO DE REGULAÇÃO PRESTADO PELO BIOMA CERRADO	VALOR ESTIMADO DO BENEFÍCIO GERADO (US\$/ha/por ano)
Regulação de gás	7
Regulação da água	3
Controle da erosão	29
Formação do solo	1
Depuração de resíduos	87
Polinização	25
Controle biológico	23
Produção alimentar	67
Recreação	2
TOTAL	232

Fonte: elaborado pelos autores.

Excluídos os serviços relativos à polinização, controle biológico e recreação aplicáveis ao cerrado, mas inaplicáveis à palha da cana, verifica-se que o valor estimado do benefício da cobertura morta, exercida pela palha da cana, é da ordem de US\$192/ha/ano. Ou seja, a perda dos serviços ambientais (PSA) que seriam prestados pela palha da cana, objeto da queima no período de um ano, é de R\$429,31 o hectare.

Compensar, por hectare (C/ha)

Portanto, a compensação pelos danos ambientais decorrentes da colheita de cana, por hectare, é dada por:

$$C/ha = Cti + v_{pq} + Psa = R\$198,99 + R\$370,31 + R\$429,31$$

$$C/ha = R\$999,37 \text{ (novecentos e noventa e nove reais e trinta e sete centavos).}$$

Compensação total, em pecúnia

O valor de compensação pelos danos ambientais decorrentes das queimadas de cana-de-açúcar, sem autorização do órgão ambiental, descrito em cada um dos seis boletins de ocorrência encaminhados à CEAT, atribui total em pecúnia estimado em R\$143.869,31 (cento e quarenta e três mil oitocentos e sessenta e nove reais e trinta e um centavos).

Quadro 1 - Boletins de ocorrência, área de cana queimada e valor de compensação, em pecúnia

<i>Boletim de ocorrência (fls.)</i>	<i>Área queimada (ha)</i>	<i>VCP (R\$)</i>
<i>M2854-2013-0831041 (3 e 4)</i>	<i>12,31</i>	<i>12.302,24</i>
<i>M2854-2013-0831034 (14 a 16)</i>	<i>26,72</i>	<i>26.703,17</i>
<i>M2854-2013-0831035 (25 e 26)</i>	<i>5,38</i>	<i>5.376,61</i>
<i>M2854-2013- 0831040 (36 e 37)</i>	<i>35,20</i>	<i>35.177,82</i>
<i>M2854-2013- 0831046 (47 e 48)</i>	<i>52,55</i>	<i>52.516,89</i>
<i>M2854-2013- 0831047 (60 e 61)</i>	<i>11,80</i>	<i>11.792,57</i>
<i>Total</i>	<i>143,96</i>	<i>143.869,31</i>

Observação: partículas poluentes na atmosfera, entre as quais fuligem, monóxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂), amônia (NH₃) e dióxido de carbono (CO₂), e aquelas diretamente relacionadas a doenças respiratórias e circulatórias, como asma, hipertensão, câncer de pulmão e até mesmo o raro câncer peniano, não foram incluídas no valor dos danos ambientais¹⁸.

18 CHIODI, Jaqueline Ferreira; SIQUEIRA, Silvana da Silva; BERGONSO, Verônica Rodrigues. *Impactos causados pela fuligem da cana-de-açúcar*. Prof. orientador: Olayr Modesto Junior Lins - SP, 2009. Disponível em: www.unisalesiano.edu.br/encontro2009/trabalho/aceitos/CC29554518862A.pdf. Acesso em: 26/9/2013.

Valoração econômica de recurso ambiental referente a carga de carvão clandestino

Carlos Mercês de Oliveira
Almir Lopes Loures

RESUMO: Este artigo destaca a apreensão de carga de carvão vegetal nativo, normalmente por BO-PMMA, sem que se saiba a origem do desmate irregular. Aliás, os promotores ambientais deparam com autos que não conseguem informações quanto ao local e só têm pista de que uma carga completa possui 70 MdC (metros cúbicos de carvão) porque a literatura especializada afirma ser necessário o desmate de 2,62 hectares para produzi-la. Comumente, o carvão tem origem nas regiões norte, noroeste e nordeste de Minas Gerais, recobertas predominantemente por campo cerrado, cerrado *stricto sensu* ou mata seca/floresta estacional decidual. A valoração dos danos ambientais decorrentes da produção clandestina é estimada por meio de quatro metodologias: Custos Ambientais Totais Esperados (CATE), Valoração Econômica dos Recursos Ambientais (VERA), Emergência e Valor de Compensação Ambiental (VCP), cujos pressupostos e fórmulas de cálculos estão suficientemente demonstrados no trabalho. Nada impede, porém, que sejam apresentadas duas ou apenas uma única metodologia de valoração.

PALAVRAS-CHAVE: Dano ambiental. Produção clandestina. Carga de carvão. Valoração ambiental.

Introdução

O trabalho objetiva disponibilizar valores que sirvam de parâmetro para composição civil de dano à flora silvestre decorrente das perdas irreversíveis dos serviços ambientais que seriam

prestados pela floresta nativa objeto do desmate irregular para **produção clandestina de uma carga de carvão** equivalente a **70 Mdc** (metros de carvão).

Carga de carvão clandestino

É a valoração dos danos ambientais relacionados à produção clandestina de carvão procedente das regiões norte, noroeste e nordeste de Minas, em tese, de áreas recobertas predominantemente por campo cerrado, cerrado *sensu stricto* ou de mata seca (floresta estacional decidual).

Valoração dos danos ambientais

A valoração dos danos ambientais decorrentes da produção clandestina de carvão dispõe de quatro metodologias distintas: Custos Ambientais Totais Esperados (**CATE**); Valoração Econômica dos Recursos Ambientais (**VERA**), **Emergia** e Valor de Compensação Ambiental (**VCP**).

Pressupostos das valorações

O tempo médio necessário para o restabelecimento dos serviços ambientais prestados pelo cerrado, campo cerrado ou mata seca¹⁹, depois do corte para fins de produção de carvão, é de doze anos. Estudos técnico-científicos fundamentam que parte dos serviços, como a proteção do solo contra a erosão, regulação das águas e o controle biológico, tende a ser restabelecida em lapso temporal inferior a dez anos depois do corte, enquanto o do número de indivíduos por hectare, a área basal/ha, entre outros parâmetros relativos à fitossociologia, podem atingir vinte ou trinta anos, conforme ensaio realizado no Distrito Federal intitulado Efeito do desmatamento no estabelecimento de espécies lenhosas

¹⁹ Floresta estacional decidual.

em um cerrado sensu stricto. (REZENDE, SANQUETTA & FIGUEIREDO FILHO, 2005)

Em onze anos e quatro meses, áreas submetidas ao corte com motosserra e à retirada da lenha ou ao corte com motosserra, retirada da lenha e fogo apresentaram densidade de 600 e 653 ind. ha⁻¹, respectivamente, ou seja, 86,7% e 94,4% em relação a 692 ind. ha⁻¹ apresentado pelo cerrado original. A área basal foi aproximadamente 58% menor em relação à área basal do cerrado original, no mesmo período.

Pressupõe-se que o carvão clandestino procedente das regiões norte, noroeste e nordeste de Minas Gerais origine-se do desmate de uma área cujo volume sólido de madeira é de 53,50m³/hectare, correspondente à média ponderada do estoque de madeira do campo cerrado, cerrado sensu stricto e da floresta estacional decidual, constante no Mapeamento e Inventário da Flora Nativa e dos Reflorestamentos de Minas. (SCOLFORO & CARVALHO 2006)

Custos ambientais totais esperados (CATE)

A metodologia dos Custos Ambientais Totais Esperados (CATE) poderia ser, inicialmente, entendida como sendo a renda perpétua que a sociedade estaria disposta a receber em decorrência da indenização, pecuniária ou não, de determinado tipo de degradação ambiental. (RIBAS, 1996)

Já o carvão nativo clandestino, via de regra desmatamento irregular cujo dano ambiental enquadra-se como intermitente, é originário de uma ação degradadora, não repetitiva, única e não periódica.

Ante o exposto, torna-se justificável a valoração dos danos ambientais decorrentes do desmatamento irregular necessário para produzir uma carga de carvão nativo, com 70 MdC, por meio da equação:

$CATE = \frac{(Vc + Cd \cdot Fi/d) \cdot (1+j)^n}{(1+j)^n - 1}$, onde:

CATE = Custos ambientais totais esperados decorrentes da produção clandestina de carvão nativo do campo cerrado, cerrado sensu stricto ou da mata seca (floresta estacional decidual);

Vc = Valor comercial de 70 MdC de carvão = 70MdC x US\$74,76/MdC²⁰ x R\$2,357²¹ = **R\$12.319,80**;

Cd = Custos de proteção à regeneração do cerrado, numa área equivalente a 2,62ha, necessária para produzir 70m³ de carvão, onde a cobertura vegetal possui estoque médio de madeira de 53,50m³ por hectare.

Adotam-se neste trabalho custos de proteção à regeneração do cerrado igual a R\$1.000 (mil reais) por hectare, incluindo adubação de cobertura, construção de cerca e combate a formiga por um período de dois anos. Ou seja: Cd = 2,62ha x R\$1.000/ha = R\$2.620

Fi/d = Fator de conversão estabelece uma relação entre os danos ambientais diretos e indiretos que varia numa escala numérica de 1 a 9, sendo o fator 1 associado às intervenções sem qualquer impacto indireto e o fator 9 associado às intervenções ou danos cujos impactos indiretos são muito relevantes.

A determinação do fator Fi/d leva em consideração os seguintes aspectos:

- ▶ Os desmatamentos irregulares representam danos diretos à flora e danos diretos e indiretos à fauna, ao solo, aos cursos d'água e à paisagem.

20 Associação Mineira de Silvicultura. Preço médio do carvão vegetal em Minas Gerais em 2008.

21 Cotação do dólar em 17/2/2009.

- ▶ Predominam nas regiões norte e noroeste o campo cerrado e o cerrado *sensu stricto*, enquanto a floresta estacional decidual só aparece na região noroeste.
- ▶ A riqueza biológica que restou, no Estado de Minas Gerais, permanece isolada em ilhas de vegetação nativa remanescente, que devem ser preservadas a partir do delineamento de um plano de ação consistente para a conservação (DRUMOND et. al., 2005).
- ▶ A perda de habitats foi apontada principal responsável pelo declínio de 82% da fauna ameaçada de Minas Gerais (DRUMOND et. al., 2005).
- ▶ Enquanto as florestas em suas diversas tipologias enriquecem o solo graças à ciclagem de nutrientes e incorporação de matéria orgânica, as áreas desmatadas perdem a camada mais fértil do solo devido aos processos erosivos, reduzindo a recarga hídrica dos mananciais.
- ▶ O fator “Fi/d”, na escala variável de 1 a 9 proposta na metodologia adotada, tende, por um lado, ao valor máximo “9”, quando do desmatamento de uma floresta estacional semidecidual em estágio clímax. Por um lado, essa floresta abriga elevada diversidade de flora e fauna, além de prestar serviços ambientais relativos à proteção do solo e dos recursos hídricos, à regulação climática e à manutenção do equilíbrio ecológico de áreas agrícolas e pastoris. Por outro lado, o referido fator tende ao valor mínimo “1”, no caso de roçada de uma pastagem, em razão da baixa biodiversidade e da precária proteção ao solo.
- ▶ Áreas recobertas por tipologias florestais que apresentam menores índices de diversidade associados a menores estoques de madeira tendem a sofrer impactos indiretos menos relevantes em relação àquelas com maiores índices de diversidade e maiores estoques de madeira, para uma mesma extensão territorial desmatada.

Ante os aspectos descritos, adota-se o fator de conversão dos danos ambientais diretos em indiretos, **Fi/d = 4**;

J – Taxa de juros (taxa de desconto) usualmente para fins de implantação de programas de reflorestamento, na forma decimal, igual a **0,06**;

n = período médio de recuperação dos serviços ambientais prestados pelo campo cerrado, mata seca ou cerrado *sensu stricto* desmatado, igual a **12** anos.

Variáveis da equação:

$$\text{CATE} = \frac{(\text{R}\$12.319,80 + \text{R}\$2.620 \times 4) (1 + 0,06)^{12}}{(1 + 0,06)^{12} - 1}$$

$$\text{CATE} = \text{R}\$45.419,01$$

Valoração Econômica dos Recursos Ambientais (VERA)

A estimativa de indenização pelo método VERA inclui os valores de uso direto, indireto, opção e de existência. **VERA = VUD + VUI + VO + VE**, onde:

VUD: Valor de uso direto referente a bens e serviços ambientais apropriados diretamente da exploração do recurso e consumido no presente. Equivale ao preço de mercado de 70 MdC, ou seja, **R\$12.319,80** (ver pág. 3/11);

VUI:

Valor de uso indireto referente a bens e a serviços ambientais gerados de funções ecossistêmicas, apropriados e consumidos no presente. Corresponde ao valor das funções ambientais descritas como regulação de clima, regulação de perturbação, regulação das águas, suprimentos de água, controle de erosão, formação de solo, reciclagem de nutrientes, tratamento de rejeitos, controle biológico, recreação e cultural, estimados por Costanza, 1997 (citado

em Ibama, 2002), cujo total é de R\$0,0921/m2/ano, equivalente a R\$921/ha/ano;

Sabendo-se que nas regiões onde predominam o campo cerrado, cerrado sensu stricto e a floresta estacional decidual desmatam-se, em média, 2,62 ha para produzir uma carga de carvão com 70 MdC, tem-se:

VUI= R\$921/ha/ano x 2,62ha;

VUI= R\$2.431,02/ano.

O valor de R\$2.431,02 corresponde a parcela anual, de uma série de pagamentos por 12 anos, período necessário para que o cerrado desmatado se recupere e volte a prestar os serviços ambientais afetados. Aplicada a equação básica da matemática financeira para se determinar o montante (capital + juros), tem-se respondente ao valor de uso indireto, à taxa de juros de 6% a.a. (seis por cento ao ano) por um período de doze anos:

$$VUI = PMT \times \left[\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \times i} \right] \times (1+i),$$

Sendo:

VUI = Montante (capital + juros) = valor de uso indireto;

PMT = Valor das prestações iguais de uma série uniforme;

n = Prazo ou número de prestações correspondente ao tempo necessário à recuperação dos serviços ambientais, em anos;

i = Taxa de juros (taxa de desconto) usualmente utilizada para fins de implantação de programas de reflorestamento, na forma decimal;

$$VUI = R\$2.431,02 \times \left[\frac{(1,06)^{12} - 1}{1,06^{12} \times 0,06} \right] \times (1,06);$$

VUI = R\$21.688,75

VO: Valor de opção se refere a bens e serviços ambientais de usos diretos e indiretos (VUD e VUI) a serem apropriados e consumidos no futuro;

VE: Valor de existência ou não uso presente ou futuro, relacionado a questões morais, culturais, éticas ou altruísticas;

Sem estudos que apresentassem os valores de opção e de existência relativos ao bioma cerrado, adotou-se $VO = 0$ e $VE = 0$

Ante o exposto:

$$VERA = R\$12.319,80 + R\$21.688,75;$$

VERA = R\$34.612,55 (sem considerar os valores de opção e de existência)

Energia - Valoração ecológica-econômica - serviços ambientais

A metodologia emergética (escreve-se com m), do pesquisador Howard T. Odum, propõe-se a medir todas as contribuições (moeda, massa, energia, informação) em termos equivalentes, ou seja, a energia incorporada ou emergia. Em outras palavras, significa que o trabalho da natureza deve ser reconhecido e corretamente valorizado no mercado. Assim, os valores expressos em emergia ou em Dólares representam os verdadeiros valores dos recursos, sejam estes naturais ou antrópicos (Odum 1996):

Energia 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.

Para isso, a teoria da termodinâmica, da biologia e de novos princípios do funcionamento de sistemas abertos converte os recursos usados em um sistema produtivo em termos de energia e a forma de fazer a contabilidade em eMDólares ou dólares emergéticos. A energia por unidade monetária mede a capacidade de compra de riqueza real, sendo um índice utilizado para converter os fluxos de energia em fluxos de eMDólares, ou seja, a energia associada ao dinheiro ou a seu valor econômico equivalente. Essa medida, expressa em eMDólares, consegue indicar a verdadeira contribuição da natureza e da economia humana no recurso. (ORTEGA, 2000)

Sob o pressuposto de que as perdas ambientais do ecossistema afetado guarda relação com o volume de madeira (lenha) explorado para fins da produção do carvão vegetal, estima-se a energia contida no carvão vegetal, e seu respectivo valor monetário, por meio dos seguintes passos:

Energia = Exergia x Transformidade,

onde

Exergia = capacidade de produzir trabalho, em Joules.

Transformidade = índice que avalia a qualidade do fluxo de energia associada a determinado recurso natural ou antrópico. Calculado por pesquisadores em todo o mundo, é amplamente divulgado em periódicos científicos e/ou em páginas da internet especializados. (ORTEGA, 2000)

Exergia de uma carga de carvão, com 70 MdC (E_{cv})

$$E_{cv} = 7,365 \text{ E}^6 \text{ cal/kg} \times 4,18\text{J/cal} \times 70 \text{ m}^3 \times 270 \text{ kg/m}^3$$

$$E_{cv} = 5,8184973E^{11}J$$

Transformidade do carvão

Transformidade do carvão preparado de madeira = 107.000 seJ/J (ORTEGA, 2000).

Energia de uma carga de carvão (Ecc)

$$E_{cc} = 5,8184973E^{11}J \times 107000seJ/J$$

$$E_{cc} = 6,23E16seJ.$$

Conversão da energia em valor monetário (reais)

$E_{cc} = \text{Energia} \times C_d$, sendo:

$T_{ed} = \text{transformidade da energia/dólar} = 3,0 \times 10^{12}seJ/U\$$
(Ortega, 2000);

$C_d = \text{cotação do dólar americano} = R\$2,357$

Logo:

$$E_{cc} = \underline{6,23E16seJ} \times R\$2,357/U\$;$$

$$3,0 \times 10^{12}seJ/U\$$$

$$E_{cc} = R\$48.947,03$$

Valor de compensação ambiental - VCP

O Valor de Compensação Ambiental (VCP) baseia-se na proposta elaborada por técnicos do Ibama (IBAMA, junho/2006), sintetizada a seguir:

$$\text{VCP} = (p1 + p2 + p3 + p4 + \text{IE})$$

VCP = Valor de compensação ambiental devido à produção clandestina de uma carga de carvão nativo, equivalente a 70 MdC, procedente das regiões onde predominam o campo cerrado, cerrado *sensu stricto* ou mata seca;

$p1 + p2 + p3 + p4$ = custo do reflorestamento da área degradada;

$p1$ = Valor da muda;

$p2$ = Abertura das covas;

$p3$ = Correção e adubação de solo durante três anos;

$p4$ = Tratos culturais durante dois anos;

IE = Impacto ecossistêmico - Perdas permanente e temporária das funções ambientais em área de preservação permanente.

$$p1 + p2 + p3 = 0$$

Pressupõe-se que a área desmatada para fins de produção do carvão clandestino não tenha sido objeto de destoca e apresenta banco de sementes que favorecem a regeneração natural. Dispensa, portanto, o reflorestamento.

$$p4 = \text{R}\$1.000/\text{ha.}$$

Adubação de reposição, construção de cerca e combate a formiga durante dois anos com 20 homens/ano por hectare, totalizando 40/dias homem.

IE = Conforme a área efetivamente ocupada,

IE = R\$921/ha.ano x ATA x 12, sendo:

IE = Índice de impacto ecossistêmico;

R\$921/ha.ano = valor da compensação ambiental.

Corresponde ao valor dos serviços ambientais descritos como regulação de clima, regulação de perturbação, regulação das águas, suprimentos de água, controle de erosão, formação de solo, reciclagem de nutrientes, tratamento de rejeitos, controle biológico, recreação e cultural, citado em Ibama (2002), cujo total é de R\$0,0921/m²/ano, equivalente a R\$921/ha ano. (COSTANZA, 1997)

ATA = Área total atingida, em hectare,

T2 = Tempo em anos estimado para consolidação de área reflorestada. Assim:

IE = R\$921/ha./ano x 1ha x 12 anos

IE = R\$11.052/ha

Descritas as variáveis da equação, tem-se o valor de compensação ambiental (VCP) para o desmate de 1 hectare na região norte, nordeste e noroeste de Minas.

VCP = R\$1.000/ha + R\$11.052/ha.

VCP = R\$12.052/ha.

Considerando que a área recoberta por campo cerrado, cerrado *sensu stricto* ou floresta estacional decidual para produção de 70m³ de carvão ou 140m³ de lenha é, em média, de 2,62 hectares e que o fator de atualização monetária da época em que a metodologia do Ibama foi proposta (dez.2006) é de 1,1266554 em fevereiro de 2009, tem-se:

$$\text{VCP} = \text{R}\$12.052/\text{ha} \times 2,62 \text{ ha} \times 1,1266554;$$

$$\text{VCP} = \text{R}\$35.575,54$$

Conclusão

Verifica-se que o valor dos danos ambientais decorrentes da produção de uma carga de carvão nativo, clandestina, equivalente a 70 MdC, procedente de regiões onde predominam campo cerrado, cerrado *sensu stricto* e mata seca (floresta estacional decidual), foi estimado em **R\$45.419,01 pelo método CATE; R\$34.612,55, pelo VERA; R\$48.947,03, pela emergia e R\$35.575,54 pelo VCP.**

Patrimônio histórico e cultural

Valoração econômica referente a demolição de bem cultural

Fernanda Cristina de Souza Paz

RESUMO: Trata-se de estimativa econômica decorrente do dano a bem cultural oriundo do processo de demolição integral de edificação protegida pelo instrumento *inventário*, sem autorização prévia do Conselho Municipal do Patrimônio Cultural e da Secretaria de Regulação Urbana. O critério metodológico utilizado foi desenvolvido por equipe multidisciplinar de profissionais do patrimônio cultural e ambiental, representando a Administração Pública direta, indireta e autárquica, o Ministério Público e segmento da sociedade civil organizada do Estado de São Paulo.

PALAVRAS-CHAVE: Bem cultural. Inventário. Demolição. Estimativa econômica de danos. Metodologia. Condephaat

Introdução

O presente trabalho tem por objetivo atender à solicitação da Promotoria de Justiça no que se refere a estimativa econômica de dano ambiental oriundo do processo de demolição com a perda física do bem cultural protegido pelo instrumento *inventário*. Como recomendação de prosseguimento da política de preservação do referido bem, a *ficha de inventário* sugere a proteção por *tombamento*.

Para a execução deste trabalho, os dados concernentes ao imóvel e a Comarca solicitante foram extraídos a fim de resguardar a identidade do infrator. Foram adotados os seguintes procedimentos e orientações:

1) Consulta à Tabela do *Custo Unitário Básico de Construção* [CUB/m²] do Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais [SINDUSCON-MG].

2) Consulta ao *critério metodológico para a valoração monetária de danos causados a bens culturais* desenvolvida por equipe multidisciplinar de profissionais do patrimônio cultural e

ambiental: Instituto Brasileiro do Patrimônio Cultural (IBPC) – 9.^a Coordenadoria Regional; Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico do Estado de São Paulo (Condephaat); Departamento do Patrimônio Histórico (DPH) da Secretaria Municipal de Cultura, órgão de apoio técnico ao Conselho Municipal de Preservação do Patrimônio Histórico, Cultural e Ambiental da Cidade de São Paulo (Conpresp); Departamento de Avaliação de Impactos Ambientais (SMA); Conselho de Entidades Preservacionistas do Estado de São Paulo (Cepesp) e Ministério Público do Estado de São Paulo, por intermédio da Promotoria de Justiça de Meio Ambiente da Capital.

3) Consulta ao registro da edificação disponibilizado pelo Cartório de Registros de Imóveis da Comarca.

Dano ao bem cultural

Consta na documentação encaminhada à CEAT pela Promotoria de Justiça que a edificação é integrante do **Inventário de Proteção do Patrimônio Cultural – IPAC Estruturas Arquitetônicas e Urbanísticas** e foi demolida integralmente **sem autorização/anuência prévia** do Conselho Municipal do Patrimônio Cultural e da Secretaria de Regulação Urbana. Em análise a *ficha de inventário*, verifica-se a recomendação proteção por *tombamento* como prosseguimento da política de preservação do referido bem.



Figura 1 - Bem cultural. Cópia de fotografia da edificação na ficha de Inventário IPAC Exercício 2020, constante nos autos do IC/MPMG.



Figura 2 - Cópia de fotografia apresentando demolição integral do bem cultural constante do Relatório Fotográfico.

O artigo 216, § 1.º, da Constituição Federal cita, alguns dos instrumentos de proteção do patrimônio cultural brasileiro deixando explícito no texto que, **dentre outras formas de acatamento e de preservação do patrimônio cultural, tem-se o inventário**. Este cadastro visa à identificação dos bens culturais adotando-se, para sua execução, critérios técnicos de natureza histórica, artística, arquitetônica, sociológica, antropológica, entre outras, que possibilita fornecer suporte primário às ações protetivas de competência do poder público.

Ao ser individuado por meio do instrumento do *inventário*, o bem ganha *status* de **cultural** e é modificada em profundidade sua essência jurídica, razão pela qual não só o conceito de bem cultural como o processo de sua constituição têm relevância jurídica.

De acordo com Miranda (2006), o ato de individualização e o reconhecimento do bem cultural podem ter natureza administrativa (inventário, tombamento, registro etc.), legal (lei de zoneamento, tombamento legislativo etc.) ou judicial (ação civil pública declaratória de valor cultural, v.g): “como efeito direto do ato de reconhecimento surge a certeza jurídica da natureza do bem de valor cultural e como efeito reflexo o ato se impõe a submissão da coisa ao particular regime jurídico acima referido.”²²

22 MIRANDA, Marcos Paulo de Souza (2006): *Tutela do patrimônio cultural brasileiro: doutrina, jurisprudência, legislação*. Belo Horizonte: Del Rey, 2006, p. 55.

Dessa forma, os predcados arquitetônicos e históricos foram reconhecidos quando o imóvel foi individualizado pelo instrumento do **inventário**, o que significa que a arquitetura registra uma determinada época e um modo de vida que justificaram o reconhecimento do seu valor cultural pela proteção realizada pelo município.

A partir do *inventário*, a Administração Municipal e o Conselho de Patrimônio têm a obrigação de estabelecer normas de procedimentos e definição de diretrizes para a conservação e manutenção da integridade física do bem, e os proprietários devem ser notificados da proteção e os efeitos dela advindos.

Contudo, o bem cultural analisado foi demolido sem prévia autorização dos órgãos competentes e em direção contrária à recomendação de preservação por meio do instrumento *tombamento*. Assim, a Promotoria de Justiça solicita à CEAT o cálculo de estimativa econômica pelo dano causado pela demolição integral do bem cultural.

Reparação do dano ao patrimônio cultural

Quando ocorre prejuízo a um bem reconhecido como de interesse à preservação, faz-se necessário a sua reparação, já que a Constituição Federal dispõe que “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” (art. 225, §3º, CF/1988).

A adoção de medidas de restauração e recuperação é o principal fundamento para a reparação do dano ambiental. No entanto, na impossibilidade de adotá-las, medidas compensatórias devem ser associadas à indenização pecuniária a ser aplicada no local do dano ocorrido.

No caso em análise, a restauração ou recuperação não são formas possíveis de reparação, uma vez que se trata de demolição total de bem edificado. **Recomenda-se, portanto, a adoção de me-**

Medida de compensação associada à indenização pecuniária para a reparação do dano causado ao patrimônio histórico.

Medidas compensatórias

A fim de se estabelecer uma medida compensatória pela demolição total de edificação protegida pelo instrumento *inventário* sem prévia autorização dos órgãos competentes sugere-se que seja restringida a altimetria e área de construção no terreno para futuras edificações. Tal recomendação tem o intuito de evitar que o proprietário do terreno seja beneficiado economicamente com a demolição, servindo, também, como medida educativa para outros proprietários de bens de valor histórico.

Cálculo da estimativa econômica do dano a bem cultural

A escolha de uma metodologia depende da disponibilidade de dados e conhecimento do objeto que será avaliado. A subjetividade é inerente a qualquer metodologia, visto que a própria natureza dos valores culturais é subjetiva. Assim, não existe uma metodologia pronta e final. Sempre são necessárias adequações a fim de reduzir o viés estimativo (MOTTA, 1998)²³.

Método adotado pela CEAT

O dano causado é oriundo do processo de demolição com a perda física do bem cultural. Essa ação está na contramão das ações voltadas para a proteção e divulgação do patrimônio cultural brasileiro. Neste sentido, a Promotoria de Justiça solicita o cálculo da estimativa econômica do dano ao *bem cultural*.

23 MOTTA, Seroa da. R. *Manual para valoração econômica de recursos ambientais*. IPEA/MMA/ PNUD/CNPq, 1998.

Para a realização do cálculo, utilizou-se a *Proposta de Critério Metodológico de VALORAÇÃO MONETÁRIA DE DANOS CAUSADOS A BENS DE VALOR CULTURAL*, datado do ano de 1993, desenvolvida por equipe multidisciplinar de profissionais do patrimônio cultural e ambiental, representando a Administração Pública direta, indireta e autárquica, o Ministério Público e segmento da sociedade civil organizada do Estado de São Paulo, sendo os representantes dos seguintes órgãos: Instituto Brasileiro do Patrimônio Cultural (IBPC) - 9a. Coordenadoria Regional; Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico do Estado de São Paulo (Condephaat); Departamento do Patrimônio Histórico (DPH) da Secretaria Municipal de Cultura, órgão de apoio técnico ao Conselho Municipal de Preservação do Patrimônio Histórico, Cultural e Ambiental da Cidade de São Paulo (Conpresp); Departamento de Avaliação de Impactos Ambientais (SMA); Conselho de Entidades Preservacionistas do Estado de São Paulo (CEPESP) e Ministério Público do Estado de São Paulo, através de sua Promotoria de Justiça de Meio Ambiente da Capital. Para a composição da metodologia, adotou-se situação fática específica de uma lesão verificada em um bem de valor cultural protegido administrativa ou jurisdicionalmente.

Para a identificação do dano causado ao bem analisado, foram utilizados os conceitos definidos pelo método aplicado que buscam caracterizar o dano e o suporte físico em que o mesmo foi causado. Assim, foram delimitadas variáveis pré-estabelecidas que permitam a configuração do bem cultural e a avaliação da extensão, natureza e origem do dano. São eles:

- a) quanto à caracterização (tipo de proteção do bem cultural);
- b) quanto ao dano causado ao bem (grau de alteração; causa; potencial de recuperação; efeitos adversos decorrentes).

Essas variáveis estão apresentadas em um QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO DE PONTOS cujos componentes ajudam a configurar o bem cultural e o dano. Para cada componente, o método estabeleceu um peso que se soma a uma pontuação final a ser aplicada em uma fórmula matemática que visa à indenização pecuniária pelo dano ocorrido.

Tabela 1 - Quadro para atribuição de pontos do método elaborado pelo CONDEPHAAT

A - QUANTO À CARACTERIZAÇÃO DO BEM	ASPECTOS	PONTUAÇÃO	CONCEITO
	I - TIPO DE PROTEÇÃO		
	a) tombados	1,0	
	b) em processo de tombamento	0,8	refere-se ao tipo de proteção administrativa sob o qual o bem se encontra atualmente
	c) por meio de lei de uso e ocupação do solo	0,6	tutelado ou poderá se encontrar depois do reconhecimento de seu respectivo valor cultural
	d) integrante de área envoltória de bem tombado	0,4	
	e) inventariado, cadastrado, passível de preservação	0,2	
	II - GRAU DE ORIGINALIDADE		
	a) único	0,8	refere-se às características do bem e da frequência com que elas podem ser verificadas. Este conceito só se aplica a bens naturais tombados e respectivas áreas envoltórias
	b) raro	0,6	
c) recorrente	0,4		
III - GRAU DE CONSERVAÇÃO			
a) bom	0,8	Refere-se ao estado de conservação em que a área se encontrava antes do dano ocasionado, considerando os critérios de degradação e de recomposição da área afetada. Somente será aplicado às áreas naturais tombadas, estando delas excluídos os bens arquitetônicos	
b) regular	0,4		
c) precário	0,2		

B - QUANTO AO DANO CAUSADO AO BEM	IV - GRAU DE ALTERAÇÃO - para bens arquitetônicos		
	OBS: para áreas naturais foram atribuídas tabelas específicas.		
	a) severo	2,0	Demolição integral do bem.
	b) grande	1,5	Alteração da área ocupada/ construída ou da volumetria
	c) médio	1,0	Alteração de esquadrias externas (portas e janelas) no que se refere a materiais e vãos; alteração da cobertura relativa a materiais ou à forma; alteração dos espaços internos mediante construção e/ou supressão de elementos divisórios fixos;
	d) pequeno	0,5	alteração das folhas das portas internas sem alterar os vãos correspondentes; alteração do material de revestimento interno ou externo (pisos, paredes, forros, etc.); alteração do aspecto cromático dos diversos elementos que compõem a construção.
	V - CAUSA DO DANO		
	a) por ação	1,0	Este item busca identificar o motivo do dano pelo seu efeito e características.
	b) por omissão	0,5	
	VI - POTENCIAL DE RECUPERAÇÃO		
	a) nulo	1,0	Possibilidade técnica de recuperar o bem lesado, de forma a resgatar as características que determinaram sua preservação.
	b) parcial	0,6	
	c) integral	0,2	
	VII - EFEITOS ADVERSOS DECORRENTES		
	a) alteração de atividades de lazer	0,5	Registro dos reflexos negativos nas atividades e processos considerados, decorrentes da lesão verificada. A pontuação pode ser cumulativa, computando-se, no mínimo, o valor atribuído ao subitem "e", pois sempre estará presente o prejuízo à pesquisa
	b) alteração de atividades econômicas	0,5	
	c) alteração de atividades culturais	0,5	
	d) alteração de processos naturais	0,5	
	e) prejuízo para pesquisa (atual e/ou futura)	0,5	

Estipulam-se como condições preliminares, sempre que possível, aplicar o valor venal do imóvel como referência monetária e penalizar com rigor a reincidência por meio de um fator multiplicador a ser acrescido na fórmula assim composta:

$$I = R \cdot V \cdot (10)^{1/5 (P + 1,4)}$$

Sendo:

I = valor da indenização

R = coeficiente de reincidência

onde R, para o primeiro evento, é igual a $\frac{1}{4}$

para a primeira reincidência é igual a $\frac{1}{2}$

para a segunda reincidência é igual a 1

para a terceira reincidência é igual a 2

V = valor venal (ou outro valor de referência)

P = total de pontos obtidos pela aplicação do **quadro para atribuição de pontos**

Aplicação do método de cálculo da estimativa econômica do dano

Para o cálculo da estimativa econômica do dano ao bem cultural inventariado, tendo em vista a demolição total, preencheu-se no QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO DE PONTOS as variáveis adotadas no método conforme sua aplicabilidade ao caso em análise. Em seguida, inserem-se a pontuação e as demais variáveis na fórmula acima expressa:

QUADRO PARA ATRIBUIÇÃO DE PONTOS PARÂMETROS DA METODOLOGIA				PARÂMETROS UTILIZADOS PELA CEAT E PONTOS
ASPECTOS	PONTOS	CONCEITOS GERAIS	OBSERVAÇÕES	
CARACTERIZAÇÃO DO BEM				
TIPO DE PROTEÇÃO				
a) tombados	1,0	refere-se ao tipo de proteção sobre o qual o bem se encontra ou poderá se encontrar.		INVENTARIADO 0,2
b) em processo de tombamento	0,8			
c) através de lei de uso e ocupação do solo	0,6			
d) integrante de área envoltória de bem tombado	0,4			
e) inventariado, cadastrado, passível de preservação	0,2			
GRAU DE ORIGINALIDADE				
a) único;	0,8	refere-se à frequência ou repetição com que o bem é encontrado, devendo prevalecer o nível de restrição mais rígido que sobre ele incidir.	válido apenas para áreas naturais tombadas e suas respectivas áreas envoltórias.	NÃO SE APLICA
b) raro;	0,6			
c) recorrente	0,4			
GRAU DE CONSERVAÇÃO				
a) bom	0,8	refere-se ao estado de conservação em que o bem se encontrava anteriormente ao dano ocasionado, considerando os critérios de degradação ou recomposição.	válido apenas para áreas naturais tombadas e suas respectivas áreas envoltórias.	NÃO SE APLICA
b) regular	0,4			
c) precário	0,2			

DANO CAUSADO AO BEM				
GRAU DE ALTERAÇÃO		<p>refere-se à identificação do dano sofrido pelo bem e sua extensão, fatores fundamentais para avaliação.</p>	<p>Em relação aos bens arquitetônicos, o referencial para esta obtenção é o conjunto de características determinado pelo tombamento.</p>	
a) severo	2,0			<p>SEVERO Para bens arquitetônicos, demolição integral do bem. 2.0</p>
b) grande	1,5			
c) médio	1,0			
d) pequeno	0,5			
CAUSA DO DANO		<p>refere-se especificamente aos motivos que levaram ao dano ocasionado, buscando identificar as causas e responsabilidades.</p>	<p>POR AÇÃO Demolição integral do bem cultural 1.0</p>	
a) por ação;	1,0			
b) por omissão	0,5			
POTENCIAL DE RECUPERAÇÃO		<p>refere-se ao potencial técnico de recuperação do bem danificado, considerando as características e valores avaliados na decisão sobre a sua preservação.</p>	<p>NULO Para bens arquitetônicos, quando inexistir a possibilidade de recuperação do bem lesado. 1.0</p>	
a) nulo	1,0			
b) parcial	0,6			
c) integral	0,2			
EFEITOS ADVERSOS DECORRENTES		<p>refere-se ao prejuízo que o dano representará à coletividade, tanto no que diz respeito ao momento imediatamente posterior quanto a médio e longo prazo, uma vez que gerações futuras serão privadas de se apropriar daquele objeto difuso do saber.</p>	<p>item cuja atribuição de pontos pode ser cumulativa, caso os danos ocasionados repercutam em mais de um dos itens considerados.</p>	
a) alteração de atividades de lazer	0,5			<p>ALTERAÇÃO DE ATIVIDADES CULTURAIS perda, limitação ou impedimento das atividades da cultura PREJUÍZO PARA PESQUISA [ATUAL E FUTURA] efeitos negativos às atividades de conhecimento e pesquisa, individual ou coletivamente 1.0</p>
b) alteração de atividades econômicas	0,5			
c) alteração de atividades culturais	0,5			
d) alteração de processos naturais	0,5			
e) prejuízo para pesquisa (atual e/ou futura)	0,5			

Outro fator considerado pelo método é a variável relativa à *reincidência*, de modo a agravar a situação, eleva o montante indenizatório por conta de recorrência de ato lesivo pelo mesmo infrator sobre um mesmo bem. Para a edificação analisada, adotou-se o valor determinado para o primeiro evento, correspondendo a $R= \frac{1}{4}$ na fórmula da metodologia.

Para a aplicação da fórmula, necessita-se informar a variável definida pelo valor monetário. No caso, o município não possui cadastro de imóveis urbanos de forma a disponibilizar o valor venal atualizado do imóvel. Enquanto isso, a certidão fornecida pelo Cartório de Registro de Imóveis apresenta a última transação com data de 1972, ou seja, mostra um valor de imóvel desatualizado.

Assim, optou-se pela identificação do **custo de reprodução** do imóvel utilizando-se como parâmetro a área construída descrita na Certidão de Registro de Imóveis na medida de 125m² e a finalidade para *uso residencial*.

Para esse cálculo, considerou-se a área construída da edificação multiplicada pelo valor do *custo unitário básico da construção civil* (CUB) de R\$1.360,63 fornecido pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais (Sinduscon-MG) para setembro de 2017²⁴ no padrão R1 (projetos residenciais unifamiliares de padrão baixo). Após esta multiplicação, devem ser somadas outras despesas não computadas no indicador, como as fundações (10% do valor da obra) e projetos (6% relacionados ao arquitetônico, estrutural, fundações, elétrico, hidrossanitário etc.) acrescidos de 30% de BDI²⁵.

24 Data constante no Boletim de Ocorrência como dia da demolição do imóvel.

25 BDI - Bonificação e despesas indiretas. Percentual acrescido sobre o custo dos serviços referentes a lucro, tributos e despesas administrativas da empresa executora da obra.

Custo de reprodução do imóvel

Área construída (m ²)	125,00
CUB	R\$1.360,63
Área x CUB	R\$170.078,75
Fundações	R\$17.007,87
Projetos	R\$ 10.204,72
Subtotal	R\$ 197.291,34
BDI (30%)	R\$ 59.187,40
Subtotal + BDI	R\$ 256.478,74

Desta forma, tem-se que a referência para o valor monetário a ser adotada para aplicação na fórmula será **R\$256.478,74** (duzentos e cinquenta e seis mil quatrocentos e setenta e oito reais e setenta e quatro centavos).

Após a análise dos aspectos estabelecidos e o lançamento do custo de reprodução da edificação na fórmula prevista pelo método adotado, tem-se:

a estimativa econômica do dano causado ao bem cultural corresponde a **R\$ 1.339.650,10**

(um milhão, trezentos e trinta e nove mil seiscentos e cinquenta reais e dez centavos)

Tendo em vista a solicitação da Promotoria de Justiça de considerar o **cálculo da** estimativa econômica do dano causado pela **demolição total de bem cultural inventariado**, conclui-se:

- a. A edificação analisada está listada no INVENTÁRIO DE PROTEÇÃO DO ACERVO CULTURAL DO MUNICÍPIO datado de 2001 exercício 2002. Portanto, possui VALOR CULTURAL.
- b. Após o exame de documentos expedidos pelo Conselho Municipal de Patrimônio Cultural e pelo relatório da

Secretaria de Regulação Urbana constatou que o **bem cultural foi demolido sem as devidas anuências/aprovações dos órgãos de regulação urbana e patrimônio**.

- c. A demolição de um bem cultural sem a anuência dos órgãos competentes vai na contramão de um conjunto de ações de proteção e divulgação do patrimônio cultural brasileiro. **Um bem cultural deve ser respeitado**, e as ações que sobre ele incidirem precisam ser definidas pelo Conselho de Patrimônio Cultural [sociedade civil organizada] e sua assessoria técnica e não efetuadas ações à revelia do interesse coletivo reconhecido no instrumento do *Inventário*.
- d. Para o caso em foco, a restauração ou recuperação não são formas possíveis de reparação, uma vez que se trata de demolição total de bem edificado. Assim, recomenda-se a adoção de medida de compensação associada à indenização pecuniária. Para tanto, sugere-se que seja restringida a altimetria e área de construção no terreno para futuras edificações com o intuito de evitar que o proprietário do terreno seja beneficiado economicamente com a demolição e sirva, também, como medida educativa para outros proprietários de bens de valor histórico.
- e. Para cálculo da **estimativa econômica do dano causado ao bem cultural** utilizou-se *critério metodológico para a valoração monetária de danos causados a bens culturais* desenvolvida por equipe multidisciplinar de profissionais do patrimônio cultural e ambiental, representando a administração pública direta, indireta e autárquica, o Ministério Público e segmento da sociedade civil organizada do Estado de São Paulo. Após o preenchimento das variáveis adotadas pelo método proposto e utilização do custo de reprodução do imóvel como referência monetária, a estimativa econômica **do dano causado ao bem cultural corresponde a R\$ 1.339.650,10** (um milhão,

trezentos e trinta e nove mil seiscientos e cinquenta reais e dez centavos).

- f. A estimativa econômica deve ser aplicada em serviços e obras de manutenção, conservação e restauração, palestras etc. do município e deve-se dar publicidade à aplicação do valor em prol do patrimônio cultural.
- g. O município deve dar prosseguimento a política de proteção do patrimônio cultural inclusive no sentido de atuação em conjunto das secretarias municipais [regulação urbana, meio ambiente, patrimônio cultural, planejamento, obras etc.] e instituições [cartório de registros de imóveis, câmara etc.]. Os municípios devem manter registro atualizado e público de todos os bens culturais inventariados existentes em seu território.

Pesquisa mineral

Valoração de dano ambiental referente à atividade de sondagem (pesquisa mineral)

Reinaldo Paulino Pimenta

RESUMO: Este artigo apresenta valoração do dano ambiental decorrente de sondagem com a finalidade de pesquisa mineral que ocasionou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente (APP), intervenção em Área de Preservação Florestal e supressão de três indivíduos da espécie Xaxim, ameaçada de extinção (*Dicksonia sellowiana*). Pela proposta de medida compensatória em pecúnia foi valorado o dano ambiental para cada uma das situações mencionadas.

PALAVRAS-CHAVE: Valoração de dano ambiental. Sondagem. Pesquisa mineral. Área de preservação permanente. Supressão de vegetação.

Metodologia

Devido aos impactos de pesquisa mineral, a valoração do dano ambiental foi realizada na Fazenda Tesoureiro no Distrito de Lavras Novas, município de Ouro Preto/MG.

As informações para a condução dos trabalhos foram obtidas do “Relatório de fiscalização realizado por analistas **ambientais da Diretoria de Fiscalização de Recursos Florestais**”.

As áreas avaliadas correspondem principalmente às definidas como pontos de sondagem geológica para fins de pesquisa mineral, sendo 13 considerados locais onde houve intervenções sem a devida autorização ou em desacordo com a legislação pertinente:

1. Supressão de vegetação em área de preservação permanente de curso d'água, mensurada em 0,0300ha, e sem nenhuma referência ou autorização para tal atividade.

2. Supressão de três indivíduos da espécie Xaxim (*Dicksonia sellowiana*), incluída na lista Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção, conforme Instrução Normativa 006/2008 do Ministério do Meio Ambiente, sem referência ou autorização de supressão no DAIA.

3. Intervenções nos pontos de sondagem:

a) RC007PG para supressão da cobertura vegetal plantada e nativa por meio do corte raso sem destoca, em área comum mensurada em 0,1473 (quatorze ares e setenta e três centiares) dentro dos limites da área averbada;

b) RC006PG para supressão da cobertura vegetal plantada e nativa por meio do corte raso sem destoca, em área comum mensurada em 0,0147 (um are e quarenta e sete centiares) que adentrou os limites de área averbada.

Mapa da propriedade Tesoureiro – Reserva Legal, APP, topografia e pontos de sondagem geológica

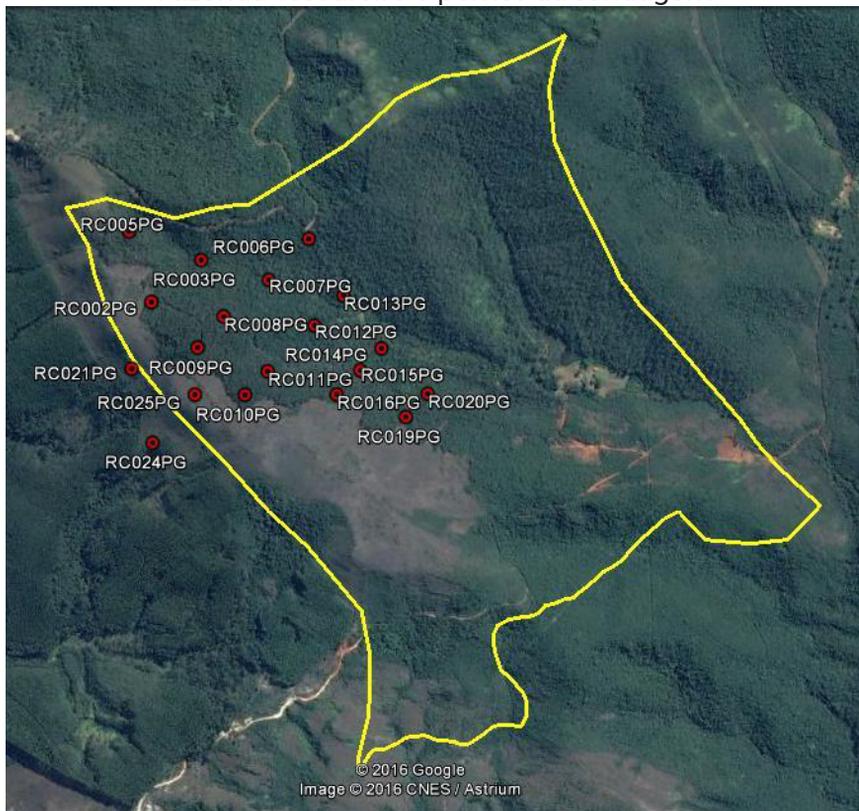
Neste mapa, as coordenadas planas dos pontos da sondagem geológica realizada na Fazenda Tesoureiro mostram a localização dos pontos. (Quadro 1)

Quadro 1 - Coordenadas planas dos pontos de sondagem

Ponto da sondagem	Coordenadas planas	
	X	Y
RC003PG	653247	7739750
RC005PG	653032	7739832
RC006PG	653580	7739817
RC007PG	653454	7739691
RC008PG	653319	7739575
RC011PG	653454	7739408
RC012PG	653596	7739550
RC013PG	653687	7739643
RC014PG	653805	7739479
RC015PG	653739	7739411
RC020PG	653949	7739338
RC021PG	653032	7739420
RC024PG	653089	7739196

A partir das coordenadas (Quadro 1), obteve-se a Figura 1 com a vista aérea dos referidos pontos de sondagem e dos limites da Fazenda Tesoureiro.

Figura 1 - Imagem aérea dos limites da Fazenda Tesoureiro e pontos da sondagem



Fonte: Mapa da propriedade Tesoureiro - Reserva Legal, APP, topografia e pontos de sondagem geológica; Google Earth - Imagem de 26/jul./2016 - Acesso em: 7/nov./2016

De acordo com o Relatório Técnico de Fiscalização, são locados os pontos considerados de intervenção não autorizada (Figura 2).

Figura 2 - Imagem aérea dos limites da Fazenda Tesoureiro e pontos da intervenção não autorizada



Fonte: Mapa da propriedade Tesoureiro – Reserva Legal, APP, topografia e pontos de sondagem geológica; Google Earth – Imagem de 26 jul. 2016 – Acesso em: 8 nov.2016.

Efetuada a valoração dos danos ambientais decorrentes das intervenções em área de preservação florestal averbada, conforme acordo firmado entre o empreendedor e o Instituto Estadual de Florestas, houve supressão de vegetação em área de preservação permanente e, devido à supressão, de três indivíduos da espécie Xaxim (*Dicksonia sellowiana*), espécie incluída na lista das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção.

Valoração ambiental devido à supressão de vegetação em APP e intervenções em Área de Preservação Florestal

Para cálculo da valoração do dano ambiental ocorrido foi utilizada a proposta de Medida Compensatória em Pecúnia, em substituição ao reflorestamento de 1 hectare em APP às margens do Rio São Francisco, sintetizada como Valor de Compensação Ambiental (VCP).

O método VCP

O método VCP mostra-se adequado à valoração ambiental decorrente de desmate irregular, uma vez que as margens do Rio São Francisco, assim como as áreas objeto de desmates irregulares, representam, originariamente, áreas ocupadas por florestas. Assim, tanto as matas ciliares das margens dos cursos d'água quanto as florestas existentes nas demais modalidades de APP e na RL devem estar sujeitas aos mesmos valores de compensação ambiental.

Adota-se, pois, o Valor de Compensação Ambiental (VCP) originariamente proposto pelo Ibama como alternativa para valoração dos danos ambientais decorrentes de desmatamentos seguidos da alteração de uso do solo, mediante a equação **VCP-Di-Fi/m = p1 + p2 + p3 + p4 + p5**.

VCP-Di-Fi/m = Valor de compensação ambiental devido ao desmatamento irregular de um hectare de floresta em estágio inicial ou em transição do estágio inicial para o médio de regeneração, localizada em APP ou RL, em área de domínio de mata atlântica, cerrado ou mata seca.

- ▶ $p1 + p2 + p3 + p4$ = custo do reflorestamento da área degradada;
- ▶ $p1$ = valor da muda;

- ▶ p2 = abertura das covas;
- ▶ p3 = correção e adubação de solo durante três anos;
- ▶ p4 = tratos culturais durante dois anos;
- ▶ p5 = impacto ecossistêmico - perda permanente e temporária de funções ambientais em área de preservação permanente.

p1 = R\$1.250 (mil duzentos e cinquenta reais). Plantio de espécies arbóreas nativas da região, com espaçamento de 4 metros por 4 metros, totalizando 625 mudas em 1ha. Valor unitário da muda R\$2 (dois reais).

p2 = R\$400 (quatrocentos reais). Abertura de 32 (trinta e duas) covas/homem/dia, perfazendo 20 dias/homem, considerando R\$20 (vinte reais) o valor do dia/homem.

p3 = R\$1.823 (mil oitocentos e vinte e três reais). Aplicação de quatro toneladas de calcário e adubação de 625 (seiscentas e vinte e cinco) covas por cova de 300 (trezentos) gramas, se superfosfato simples, 300 (trezentos) gramas de fosfato de Araxá, 20 litros de esterco de curral curtido e 100 (cem) gramas de sulfato de amônio por cova em cobertura pós-plantio. Duas aplicações anuais de 150 gramas de sulfato de amônio e 200 (duzentos) gramas por cova da fórmula 20-05-20.

p4 = R\$2.000 (dois mil reais). Capina, adubação de cobertura e combate a formiga, durante dois anos, considerando 50 dias homem/ano por hectare, totalizando 100 (cem) dias/homem.

p5 = Conforme a área efetivamente ocupada.

- ▶ Índice de impacto ecossistêmico = $R\$1 \times ATA \times 3$
- ▶ R\$1 = valor fixo de compensação ambiental por metro quadrado;
- ▶ ATA = Área total atingida em metros quadrados,

- ▶ 3 = Tempo, em anos, estimado para consolidação de área reflorestada.

Assim:

$$p5 = R\$1m^2 \times 10.000 m^2 \times 3 = R\$30.000$$

Descritas as variáveis da equação do VCP, tem-se:

$$VCP-Di-Fi/m = R\$1.250 + R\$400 + R\$1.823 + R\$2.000 + R\$30.000$$

$$VCP-Di-Fi/m = R\$35.473$$

Portanto, o valor de compensação ambiental, em pecúnia, relativo aos danos ambientais causados pelo desmatamento, no seu mais elevado nível de degradação (corte raso com destoca, revolvimento do solo e implantação de culturas ou formação de pastagens), de floresta em estágio inicial ou em transição do estágio inicial para o médio de regeneração, localizada em APP ou RL, é estimado em **R\$35.473 (trinta e cinco mil quatrocentos e setenta e três reais) por hectare.**

Adequação do VCP(DFIM) às etapas do desmatamento

O valor de compensação ambiental, em pecúnia, devido à perda dos serviços ambientais que seriam prestados por floresta **submetida ao mais elevado nível de degradação** equivale à valoração dos danos ambientais de áreas que cumpriram todas as etapas do desmate: corte raso com destoca, revolvimento do solo e implantação de culturas ou formação de pastagens, pelo método proposto por técnicos do Ibama.

Os VCPs associados a cada uma das etapas do desmatamento foram ajustados conforme os níveis de degradação e capacidade de regeneração da área degradada mediante a multiplicação do VCP (DFIM) por fatores de correção iguais a **0,4** (corte raso), **0,6** (corte raso com destoca), **0,8** (corte raso com destoca e revolimen-

to do solo) e **1,0** (corte raso com destoca, revolvimento do solo e implantação de cultura e formação de pastagem) [**Quadro 2**].

Quadro 2 - Valores de Compensações Ambientais (VCPs) decorrentes do desmate irregular de um hectare de floresta em estágio inicial ou em transição do estágio inicial para o médio de regeneração, localizada em APP ou RL, de acordo com as etapas do desmatamento

Etapas do desmate	Descrição	Fator de correção		VCP
1	Corte raso	0,4		R\$14.189,20
2	Corte raso com destoca	0,6		R\$21.283,80
3	Corte raso com destoca e revolvimento do solo	0,8		R\$28.378,40
4	Corte raso com destoca e revolvimento do solo e implantação de cultura ou formação de pastagem	1,0		R\$35.473,00

As intervenções na APP e na área de preservação florestal averbada possuem características semelhantes:

- ▶ supressão da cobertura vegetal plantada e nativa por meio do corte raso sem destoca;
- ▶ supressão da vegetação nativa e exótica composta na sua quase totalidade por fragmentos florestais formados por culturas de eucalipto abandonadas (rebrotas) com vegetação nativa característica do bioma Mata-Atlântica que se encontrava em processo inicial de regeneração.

Com isso, o **VCP** referente à etapa de desmate corte raso é de **R\$14.189,20 o hectare**. A este valor será relacionada a superfície to-

tal efetivamente impactada, conforme dados do Relatório Técnico de Fiscalização.

A medida superficial da área degradada (AT) é igual à soma das áreas onde ocorreram as intervenções:

- ▶ A1 - Área supressão de vegetação APP: 0,0300ha;
- ▶ A2 - Área de supressão da cobertura vegetal plantada e nativa por meio do corte raso sem destoca (RC007PG): 0,1473ha;
- ▶ A3 - Área de supressão da cobertura vegetal plantada e nativa por meio do corte raso sem destoca (RC006PG): 0,0147ha.

A superfície degradada corresponde a:

$$AT = A1 + A2 + A3 = 0,0300 + 0,1473 + 0,0147 = 0,192 \text{ ha}$$

Com isso, a estimativa de valoração dos danos ambientais referentes à supressão de vegetação em área de preservação permanente sem autorização e às intervenções em área de preservação florestal realizadas é igual ao produto do VCP pela superfície total degradada:

$$\text{Valor do dano} = \text{R\$ } 14.189,20 \times 0,192 = \text{R\$ } 2.724,33$$

O valor dos danos ambientais devido à supressão de vegetação em área de preservação permanente e das intervenções em área de preservação florestal realizadas na execução de sondagens geológicas foi estimado em **R\$ 2.724,33 (dois mil setecentos e vinte e quatro reais e trinta e três centavos)**.

Valoração dos danos ambientais decorrentes da supressão de três indivíduos da espécie Xaxim (*Dicksonia sellowiana*)

Na valoração da supressão dos três indivíduos da espécie Xaxim (*Dicksonia sellowiana*) foi utilizado o valor atualizado da multa aplicada pelo Decreto Estadual 4.844, de 25 de junho de 2008.

Com efeito, a Infração 312 Anexo III do Decreto 44.844, de 25 de junho de 2008, cuja descrição é “realizar o corte de árvores nativas constantes na lista oficial de espécimes da flora brasileira ameaçadas de extinção em Minas Gerais”, classificada como **infração gravíssima**, estabelece a pena de aplicação de multa de R\$500 a R\$1.500 por árvore suprimida.

De acordo com o Relatório Técnico de Fiscalização, foram suprimidos três indivíduos da espécie denominada Xaxim (*Dicksonia sellowiana*), espécie incluída na lista das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção. Logo, conforme Instrução Normativa 006/2008 do Ministério do Meio Ambiente, a multa a aplicar poderia alcançar valores na faixa entre R\$1.500 e R\$4.500.²⁶

Diante disso, o valor médio da multa na época da emissão do Relatório Técnico de Fiscalização (17 de outubro de 2014) é de R\$3.000 (três mil reais).

Cabe atualizar o valor médio da multa em 17/10/2014 para a data de elaboração do documento e, para isso, utilizar-se o fator de atualização monetária do Tribunal de Justiça de Minas Gerais (TJMG), obtido em consulta ao sítio eletrônico do TJMG.

26 Número de indivíduos suprimidos x valor mínimo ou valor máximo da multa.

Fator de Atualização²⁷: F atualização (out/2014 - out/2016) = 1,1996533

Valor Atualizado do Dano: Valor Médio da Multa x Fator de Atualização;

Valor Atualizado do Dano = R\$3.000 x 1,1996533 = R\$ 3.598,96

Ao se estimar o valor do dano ambiental, devido à supressão de três indivíduos da espécie Xaxim (*Dicksonia Sellowiana*), espécie incluída na lista das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção, conforme Instrução Normativa 006/2008 do Ministério do Meio Ambiente, obteve-se o valor de R\$3.598,96 (três mil quinhentos e noventa e oito reais e noventa e seis centavos).

Conclusão

Do cálculo da estimativa de valoração dos danos ambientais decorrentes das irregularidades listadas foram obtidos:

a) Valor devido à supressão de vegetação em área de preservação permanente e das intervenções em área de preservação florestal igual a R\$2.724,33 (dois mil setecentos e vinte e quatro reais e trinta e três centavos);

b) Valor devido à supressão de três indivíduos da espécie Xaxim (*Dicksonia sellowiana*), espécie incluída na lista das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção correspondente a R\$3.598,96 (três mil quinhentos e noventa e oito reais e noventa e seis centavos);

Total do dano ambiental: R\$6.323,29 (seis mil trezentos e vinte e três reais e vinte e nove centavos).

27 Fator de Atualização - Disponível em: http://www.tjmg.jus.br/data/files/26/81/AD/75/B35B75105CEEFA75DD4E08A8/Fatores_Atualiz_Monet_1016%20_10_.pdf - Acesso em: 9 nov. 2016.

Contaminação do solo e das águas subterrâneas

Valoração de dano ambiental pela empresa técnica industrial Tiph S.A.

Paula Santana Diniz

RESUMO: Foi realizada a valoração dos danos ambientais decorrentes da disposição irregular de resíduos sólidos (areia de fundição), ocasionados por empresa do setor automotivo. Utilizou-se para o cálculo da indenização a metodologia CATE - I (Custos Ambientais Totais Esperados - Dano Ambiental Intermitente), desenvolvida pelo Engenheiro Florestal, Luiz César Ribas.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos industriais. Valoração. Areia de fundição.

Introdução

Trata-se de pedido de apoio técnico formulado pela 1.^a Promotoria de Justiça da Comarca de Alfenas quanto à liquidação por arbitramento da ACP 0016.13.008.003-5 referente à contaminação do solo e das águas subterrâneas em decorrência da disposição irregular de resíduos sólidos industriais (areia de fundição) por empresa do segmento automotivo.

O empreendimento fabrica, desde 1996, peças e acessórios fundidos em ferro para sistemas de marcha e transmissão de veículos automotores.

Para a elaboração deste trabalho, foram utilizados os seguintes documentos dos autos:

a) Laudo Técnico Pericial elaborado pelo engenheiro civil e de Segurança do Trabalho, Cezar Alexandre Ferreira.

b) Parecer Único - Supram/Sul de Minas - Protocolo 0029151/2012.

c) Certificados emitidos pelo Laboratório Merieux NutriSciences, com os resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras de solo e de águas subterrâneas.

Valoração econômica dos danos ambientais

Os ecossistemas fornecem bens e serviços que, pela estrutura e funções, garantem o bem-estar de toda a sociedade. Da mesma forma, os desequilíbrios ecológicos são diretamente relacionados às degradações dos serviços ecossistêmicos que resultam em prejuízos.

São essas perdas que a sociedade tenta evitar ao estabelecer medidas de controle das emissões de efluentes/resíduos e ao monitorar a qualidade dos diferentes meios da biosfera (ULGIATI & BROWN, 2002).²⁸

Assim, os efeitos de poluentes nos serviços ecossistêmicos correspondem a uma avaliação do desequilíbrio ecológico, que pode ser expressa em termos monetários.

Conforme o Laudo Técnico Pericial elaborado pelo engenheiro civil e de segurança do trabalho, Cezar Alexandre Ferreira, em vistoria realizada em 15/5/2015 na empresa, foi constatada a disposição irregular de aproximadamente 25 mil toneladas de resíduos sólidos industriais (areia de fundição), os quais eram armazenados diretamente no solo desde 2000 em uma área de 3.375 m², segundo o Parecer Único – Supram Sul de Minas – Protocolo 0029151/2012.

Ressalta-se que a geração de areia de fundição constitui um dos principais aspectos ambientais da atividade exercida no em-

28 ULGIATI, S. & BROWN, M.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.

preendimento, tendo em vista o grande volume produzido e o fato de que este resíduo é classificado como IIA – Não Inerte.²⁹

Embora não seja perigoso, o seu conteúdo, sob intempéries, pode ao longo do tempo comprometer a qualidade ambiental da área do depósito e do seu entorno.

Destaca-se que, de acordo com os resultados das análises físico-químicas realizadas pelo Laboratório Merieux NutriSciences, foi identificada a presença dos metais ferro e alumínio nas águas subterrâneas em concentrações acima dos valores de investigação (VI), definidos na Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH-MG 02, de 8 de setembro de 2010, cujo anexo foi alterado pela Deliberação Normativa Copam 166/2011.

Os valores de investigação (VI) são utilizados para desencadear e definir ações de investigação e controle, indicando a necessidade de ações para resguardar os receptores de risco. Assim, concentrações de uma determinada substância no solo ou na água subterrânea acima do VI indicam a existência de riscos potenciais, diretos ou indiretos à saúde humana.

Cabe salientar que o ferro e o alumínio são utilizados como matéria-prima na linha de produção da fábrica e, portanto, a presença desses elementos nas águas subterrâneas em concentrações elevadas nos poços de monitoramento instalados no depósito e a jusante da área industrial evidencia que o resíduo é portador desses metais, os quais estão sendo carregados para as águas que percolam o corpo disposto de areia de fundição.

Por conseguinte, as águas subterrâneas contaminadas podem migrar naturalmente para o córrego, corpo hídrico superficial localizado a 300 metros da área do depósito, utilizado em algumas propriedades adjacentes para o cultivo agrícola. Ademais, na região há diversos usuários que captam água subterrânea para

29 Conforme a Norma ABNT/NBR 10004:2004, os resíduos Classe II A Não Inertes não constituem perigo e podem ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

consumo e, portanto, a questão se torna não apenas um problema de impacto ambiental, mas também de saúde pública.

Nesse contexto, é necessário esclarecer que o alumínio é fitotóxico (tóxico para as plantas), e resíduos contendo elevadas concentrações deste metal precisam ser dispostos em aterros específicos. Além disso, o alumínio pode prejudicar, a longo prazo, a saúde das pessoas, sendo que o seu acúmulo no organismo, em função da ingestão de alimentos e água contaminados, tem sido associado ao aumento de casos de demência senil do tipo Alzheimer (Brown, 2009).³⁰

Outro aspecto da química do alumínio é que, na forma de íon livre, ele se precipita como hidróxido, na forma de gel, quando em contato com as brânquias dos peixes, o que impede a absorção natural do oxigênio dissolvido na água e, conseqüentemente, provoca a morte, por asfixia, desses animais. (BAIRD, 2002)³¹

Em face do exposto, para a valoração dos danos ambientais decorrentes da disposição irregular de areia de fundição foi adotada a metodologia CATE - I (Custos Ambientais Totais Esperados - Dano Ambiental Intermitente). Desenvolvida pelo engenheiro florestal Luiz César Ribas, professor assistente e doutor pela FCA/Unesp³², essa metodologia calcula o valor presente dos custos ambientais esperados em função de um determinado dano ambiental intermitente.

O raciocínio matemático utilizado no modelo é análogo ao empregado no sistema financeiro, principalmente quando se considera inadimplência: a cada período de atraso do pagamento das prestações, crescem-se os juros correspondentes ao mesmo período. Assim, no caso de danos ambientais, quanto maior a de-

30 BROWN, L. S. *Química geral: aplicada à engenharia*. São Paulo: Cengage Learning, 2009. p. 505-508.

31 BAIRD, C. *Química ambiental - 2 ed.* Porto Alegre: Bookman Companhia Editora Ltda; 2002. 622p.

32 RIBAS, L. C. *Proposta metodológica para avaliação de danos ambientais - o caso florestal*. 1996. 242 p. Tese de doutorado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo.

mora para a implantação das medidas ambientais, maior o valor pecuniário dos danos ocasionados. A formulação matemática do método é mostrada a seguir.

CATE I - Custo ambiental total esperado devido a dano intermitente

$$\text{CATE I} = \frac{V_c + C_d \times F_{i/d} \times (1 + j)^n}{(1 + j)^n - 1}$$

- ▶ **CATE I** (Custos Ambientais Totais Esperados): valor presente dos custos ambientais esperados em função de determinado dano ambiental intermitente;
- ▶ **V_c**: valor comercial da área afetada, em termos de uma série periódica anual, benefício direto a ser auferido por motivo econômico, etc. (em unidade monetária);
- ▶ **C_d**: custos ambientais (valor presente) para fins de reparação dos danos ambientais diretos (em unidade monetária);
- ▶ **F_{i/d}**: fator de conversão de custos ambientais diretos em indiretos, para efeito da consideração dos valores ambientais indiretos, numa escala de 1 a 9;
- ▶ **j**: taxa de juros (% ao ano);
- ▶ **n**: período de rotação, horizonte de ocorrência dos efeitos ambientais no tempo.

Cálculo do valor comercial (Vc)

O valor comercial médio do terreno onde se encontra o depósito de areia de fundição foi desprezado nos cálculos.

Cálculo dos custos ambientais para fins de reparação dos danos ambientais diretos (Cd)

Conforme consta nos autos, a disposição irregular do resíduo industrial gerado pela empresa ocasionou a contaminação das águas subterrâneas por meio do carreamento de concentrações elevadas dos metais ferro e alumínio e, portanto, torna-se necessária a remoção da fonte, ou seja, a disposição da areia de fundição em aterro específico (Aterro Classe IIA), bem como a recomposição da área degradada.

Dessa forma, para o cálculo dos custos ambientais envolvidos na reparação da área contaminada (Cd), estimou-se:

a) custo da remoção da areia de fundição (Cr): R\$ 3,96 por metro cúbico³³. Entretanto, este custo teve como referência o ano de 2008. Atualizando, então, o valor conforme o aplicativo elaborado pelo setor de contabilidade da CEAT, disponibilizado no endereço eletrônico, <https://aplicacao.mpmg.mp.br/siscat/paginas>, tem-se que: Cr = R\$ 7,59/m³. Considerando que a areia de fundição possui uma densidade mínima de 2,2 g/cm³ (ou 2,2 t/m³) e que durante a vistoria realizada em 2015 foi constatado o armazenamento irregular de 25.000 t de resíduos, será necessária, então, a remoção de 11.363,6 m³ de areia de fundição. Logo, **Cr = R\$ 86.249,72**.

b) custo mínimo para a disposição de resíduos em aterros Classe IIA (Ca): R\$ 30,00/tonelada³⁴. Entretanto, este custo teve como referência o ano de 2004. Atualizando, então, o valor conforme o aplicativo elaborado pelo setor de contabilidade da CEAT, disponibilizado no endereço eletrônico, <https://aplicacao.mpmg.mp.br/siscat/paginas>, tem-se que: Ca = R\$ 69,31/tonelada. Logo: **Ca = R\$ 1.732.750,00**.

c) custo da recomposição da área (Cp): R\$ 0,38/m² (considerou-se as atividades normalmente empregadas na recuperação de uma área degradada e seus respectivos custos relativos, conforme

33 Valor informado, para escavadeira, na revista Informador das Construções - IC, ano 51, edição 1573, janeiro de 2008.

34 Valor médio informado, em janeiro de 2004, por Carlos Eduardo Komatsu (CETESB) - Federación Interamericana del Cemento - Ficem. *Coprocessamento de resíduos industriais em fornos de clínquer*. 2004 (www.ficem.org/normas/Brasil, acesso em: 4 dez. 2019).

mostrado na Tabela 1). De acordo com os autos, os resíduos foram dispostos em uma área de 3.375 m². Logo, **C_p = R\$ 1.282,50**.

Tabela 1 – Estimativa de custos para a recuperação de uma área degradada

OPERAÇÃO		CUSTO/m²
1	PREPARO DO SOLO	
	Subsolagem	R\$ 0,020
	Calagem	R\$ 0,005
	Gradagem leve	R\$ 0,005
2	RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL	
	Combate à formiga	R\$ 0,004
	Marcação de covas	R\$ 0,001
	Coveamento	R\$ 0,021
	Adubação	R\$ 0,002
	Distribuição de mudas - homem.hora	R\$ 0,004
	Distribuição de mudas - trator.carreta	R\$ 0,005
	Plantio	R\$ 0,011
	Replantio	R\$ 0,004
	Roçada	R\$ 0,003
	Capina na linha	R\$ 0,014
	Adubação de cobertura	R\$ 0,002
3	INSUMOS	
	Calcário	R\$ 0,007
	Fertilizante	R\$ 0,022
	Formicida	R\$ 0,001
	Mudas	R\$ 0,142
	Mudas (replantio)	R\$ 0,014

4	ISOLAMENTO DA ÁREA	
	Moirão cerca	R\$ 0,035
	Arame farpado	R\$ 0,027
	Arame queimado	R\$ 0,001
	Grampo	R\$ 0,001
	Mão de obra	R\$ 0,026
TOTAL		R\$ 0,376

Fonte: <https://intranet.mpmg.mp.br/intranetmpmg/institucional/central-de-apoio-tecnico/meio-ambiente/>

Portanto, tem-se que:

$$C_d = C_r + C_a + C_p$$

Logo, $C_d = \mathbf{R\$ 1.820.282,22}$

Assim, os custos ambientais para fins de reparação dos danos ambientais diretos (C_d) equivalem a um milhão, oitocentos e vinte mil duzentos e oitenta e dois reais e vinte e dois centavos.

Fator de Conversão de Custos Ambientais Diretos em Indiretos ($F_{i/d}$)

Essa variável expressa a relação entre os custos/danos ambientais indiretos e diretos para um ecossistema estável. De acordo com Ribas³⁵ (1996), $F_{i/d}$ constitui expressão da relação de predominância entre os danos ambientais indiretos (i) e os danos ambientais diretos (d), conforme Tabela 2.

35 RIBAS, L. C. Proposta metodológica para avaliação de danos ambientais - o caso florestal. 1996. 242 p. Tese de doutorado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo.

Tabela 2 - Escala comparativa - Relação danos ambientais indiretos (i) e diretos (d)

Valor de $F_{i/d}$	Significado
1	Relação de predominância inexistente de (i) sobre (d)
3	Pequena predominância de (i) sobre (d)
5	Significativa predominância de (i) sobre (d)
7	Predominância muito forte de (i) sobre (d)
9	Predominância absoluta de (i) sobre (d)
2,4,6,8	Valores intermediários

Adotou-se o valor 2 para o fator de conversão dos custos dos danos ambientais diretos em indiretos, tendo em vista que a disposição irregular da areia de fundição ocasionou a contaminação das águas subterrâneas. Então: $F_{i/d} = 2$

Taxa de Juros Anual (j)

Essa variável é utilizada na atualização monetária temporal dos custos envolvidos nos cálculos de reparação dos danos ambientais. Para o caso específico, utilizou-se o valor de 12,0% ao ano, que corresponde à taxa empregada pelo Tribunal de Justiça de Minas Gerais como índice compensatório sobre indenização fixada.

Então, $j = 12\% \text{ ao ano}$

Período de rotação (n)

Conforme consta nos autos, a disposição irregular da areia de fundição era realizada desde 2000. Portanto, o período de ocorrência dos danos corresponde a 19 anos.

Logo: $n = 19 \text{ anos}$

Cálculo do CATE I

É obtido por meio da equação:

$$\text{CATE I} = \frac{V_c + C_d \times F_{i/d} \times (1 + j)^n}{(1 + j)^n - 1}$$

Considerando:

$$V_c = 0$$

$$C_d = \text{R\$ } 1.820.282,22;$$

$$F_{i/d} = 2;$$

$$j = 12\% = 0,12;$$

$$n = 19 \text{ anos};$$

Então, **CATE I = R\$ 4.118.783,07**

O CATE I (Custo Ambiental Total Esperado devido a Dano Intermitente), que corresponde ao valor da indenização pelos danos causados ao meio ambiente, equivale a R\$4.118.783,07 (quatro milhões, cento e dezoito mil setecentos e oitenta e três reais e sete centavos).

Conclusão

Conforme o Parecer Técnico, os danos ambientais decorrentes da disposição irregular de resíduos sólidos industriais (areia de fundição) correspondem, monetariamente, a R\$ 4.118.783,07 (quatro milhões, cento e dezoito mil setecentos e oitenta e três reais e sete centavos).

**Qualidade
do ar**

Valoração econômica de danos ambientais decorrentes da emissão de poluentes atmosféricos pelas indústrias de ferro-liga situadas na sub-bacia do Rio Verde Grande (MG)

Paula Santana Diniz

RESUMO: Foi realizada a valoração econômica dos serviços ambientais afetados pela poluição atmosférica das indústrias de ferro-ligas situadas na sub-bacia do Rio Verde Grande (MG), bem como calculada a indenização a ser paga pelas empresas até a instalação dos filtros, conforme determinado pelas autoridades públicas do Estado de Minas Gerais. Os serviços ambientais foram quantificados em termos de energia solar incorporada (emergia) e, posteriormente, convertidos em uma unidade monetária que utiliza o índice de equivalência emergia/dólar estabelecido para o Brasil. Verificou-se que os valores monetários obtidos permitiram a distribuição do ônus pelo dano ambiental de forma proporcional à carga de poluentes emitida pelas indústrias.

PALAVRAS-CHAVE: Valoração econômica. Poluição atmosférica. Emergia.

Introdução

Ferro-ligas são ligas de ferro combinadas a um ou mais elementos químicos, tais como o silício, o manganês, o magnésio, o cálcio, o cromo e o níquel, entre outros, utilizadas principalmente na fabricação de aço e de produtos fundidos com características específicas. O estado de Minas Gerais é o principal produtor de ferro-ligas do Brasil, sendo responsável por 50% da produção nacional (M.M.E., 2010).

Como na maioria dos processos industriais, a fabricação dessas ligas ocasiona diversos impactos ambientais, sendo que as emissões atmosféricas oriundas dos fornos de fundição constituem o aspecto ambiental mais importante de uma indústria dessa tipologia. Por esse motivo e, considerando a relevância do setor para a economia do Estado, foi realizado em 2005, pela Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM, um diagnóstico para a adequação ambiental das indústrias de ferro-ligas em Minas Gerais (FEAM, 2005). Na época do estudo, foi constatado que seis indústrias distribuídas na sub-bacia do Rio Verde Grande (MG) estavam operando sem os dispositivos de despoeiramento (filtros) para tratar os efluentes atmosféricos.

A sub-bacia do Rio Verde Grande, afluente do Rio São Francisco, localiza-se entre os paralelos 14°30' e 17°30' de latitude Sul e meridianos 42°30' e 44°30' de longitude Oeste e corresponde, conforme a Deliberação Normativa CERH-MG 06, de 4 de outubro de 2002, à Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH SF10), abrangendo vinte e sete municípios mineiros, entre os quais

Montes Claros, Bocaiuva, Capitão Eneias e Varzelândia, onde estão instaladas as empresas de ferro-ligas identificadas pela FEAM.

Segundo o diagnóstico do órgão ambiental, os empreendimentos de ferro-ligas estavam emitindo pelas chaminés de seus fornos uma concentração de material particulado correspondente a dez vezes o limite permitido pela legislação vigente, comprometendo a qualidade do ar na região. (FEAM, 2005)

Dessa forma, a Unidade Regional Colegiada Norte de Minas do Conselho de Política Ambiental (URCNM/Copam) firmou em 2006 o Acordo Setorial Ferro-Ligas, termo de compromisso, por meio do qual foi concedido às indústrias de ferro-ligas situadas na sub-bacia do Rio Verde Grande um prazo até dezembro de 2011 para a instalação dos filtros de despoejamento. (COPAM, 2006)

Contudo, em março de 2011 foi protocolado na URCNM/Copam pelos empreendedores um pedido de prorrogação do prazo até 2014. Conforme decisão dos conselheiros do Copam e do Ministério Público de Minas Gerais (MPMG), o adiamento ficou condicionado ao pagamento de uma indenização durante todo o período extra em que as empresas continuariam a operar sem os filtros, ou seja, sem o devido tratamento dos efluentes atmosféricos. (COPAM, 2011)

Além disso, o valor a ser pago pelos empreendedores seria repassado, por meio do Fundo Estadual de Defesa de Direitos Difusos (Fundif), aos municípios integrantes das áreas afetadas. O Fundif foi criado pela Lei Estadual 14.086, de 6 de dezembro de 2001, com o objetivo de beneficiar, prioritariamente, a região onde houve o dano ambiental.

A prorrogação do Acordo Setorial Ferro-Ligas mediante o pagamento de uma indenização está respaldada pela Constituição Federal de 1988, que estabelece em seu artigo 225, § 3.º, a responsabilização civil, penal e administrativa pelo dano ambiental, e

pela Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, que impõe ao poluidor e ao predador, independentemente da existência de culpa, a obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros afetados por sua atividade. A Lei 6.938/1981 consagra, portanto, o princípio do poluidor-pagador.

Embora no direito brasileiro exista uma hierarquia de formas de reparação de danos ambientais em que há sempre uma preferência pela restauração integral dos meios físicos e bióticos lesados, com a conseqüente reconstituição completa do equilíbrio ecológico, nem sempre o bem ambiental possui condições de voltar ao *status quo ante*. (LEITE e AYALA, 2002)

A natureza é um ente complexo quanto à sua formação, capacidade de suporte e resiliência, sendo impossível, em virtude da inexorabilidade do segundo princípio da termodinâmica, a plena recuperação dos recursos ambientais degradados. O segundo princípio da termodinâmica, a lei natural mais forte já descoberta pelos cientistas, estabelece que a energia desorganizada de um sistema, a entropia, jamais poderá decrescer (LIMA-E-SILVA et al., 2002). Na prática, essa lei revela que, durante a transferência de energia entre dois sistemas, ocorrerá sempre a perda de parte dessa energia, que será acrescida à entropia, ou seja, à energia desorganizada e irre recuperável do sistema.

Portanto, a poluição ocasionada pelas indústrias de ferro-ligas constitui um dano ambiental irreversível, uma vez que a matéria e a energia lançadas na atmosfera são irre recuperáveis. Todavia, a impossibilidade factual da plena recuperação do meio ambiente lesado não significa que a poluição atmosférica seja, juridicamente, tolerável. Dessa forma, a compensação financeira estabelecida pelo Copam e pelo MPMG, como condicionante à prorrogação do prazo previsto no Acordo Setorial Ferro-Ligas, foi uma decisão acertada.

Segundo Serôa da Motta (1998), autor da principal obra de referência sobre valoração ambiental, o valor econômico de um

recurso ambiental (VERA) compreende a soma dos valores de uso (direto, indireto e de opção) e do valor de existência do recurso. Entretanto, a atribuição de um valor monetário a um recurso ambiental, como o ar atmosférico, ainda constitui um desafio em nossa sociedade, pois ele não faz parte de transações mercantis. As pessoas não pagam, por exemplo, uma taxa para respirar ar limpo da mesma forma que pagam para receber água tratada em suas residências. Ademais, inexistem critérios uniformes para a quantificação do valor de existência, que representa a satisfação pessoal de um indivíduo em manter um recurso, mesmo que este não represente uso atual ou futuro.

Porém, é necessário reconhecer a importância dos serviços ambientais associados aos recursos naturais. O ar possui várias formas de uso, como o uso metabólico natural pelos seres humanos, animais e vegetais, atuando também como receptor e meio de transporte dos resíduos e poluentes gerados pelas atividades antrópicas (DERÍSIO, 2000). Portanto, a poluição atmosférica inicia-se no momento em que a disponibilidade do ar é utilizada de forma abusiva e descontrolada, principalmente em áreas geográficas limitadas ou confinadas.

Em face do exposto, como quantificar monetariamente o recurso ambiental (ar) afetado pelas emissões atmosféricas das indústrias de ferro-ligas situadas na sub-bacia do Rio Verde Grande?

Embora o ar seja um bem comum a toda a sociedade e não tenha preço estabelecido em mercado, partiu-se da premissa de que é possível realizar a valoração econômica da sua degradação utilizando o conceito de emergia.

Segundo Odum (1996), a emergia é definida como a energia solar previamente requerida em forma direta ou indireta para produzir um produto ou serviço. Assim, os serviços ambientais associados às massas de ar utilizadas para o transporte e diluição dos poluentes atmosféricos emitidos pelos fornos das empresas

de ferro-ligas foram quantificados, inicialmente, em termos da energia solar incorporada (emergia). Posteriormente, os fluxos de emergia na sub-bacia do Rio Verde Grande foram convertidos em valores monetários por meio do índice de equivalência emergia/dólar, calculado por Ortega (2000) para o Brasil.

Dessa forma, foi possível quantificar o serviço ambiental prestado pela atmosfera e determinar o valor da indenização a ser pago pelas indústrias de ferro-ligas até a instalação dos filtros, em virtude da poluição atmosférica ocasionada na sub-bacia do Rio Verde Grande. Ressalte-se que este valor será convertido, por meio do Fundif, em benfeitorias para a região onde houve o dano.

Portanto, fixar a indenização até a instalação dos filtros pelas indústrias de ferro-ligas, além de reparar, por meio de uma compensação financeira, a privação imposta à coletividade do equilíbrio ecológico, do bem-estar e da qualidade de vida que o ar proporciona, pode incentivar futuramente o desenvolvimento tecnológico mais limpo na sub-bacia do Rio Verde Grande. Afinal, o ar, bem de interesse comum e elemento indispensável à vida de todos, não está à disposição dos empreendimentos para a diluição de seus poluentes. As fontes poluidoras devem, dentro da melhor tecnologia prática disponível, reduzir a quantidade de poluentes lançada na atmosfera e adequá-la aos padrões de emissão estabelecidos pela legislação ambiental.

Valoração econômica dos serviços ambientais afetados pelas indústrias de ferro-liga

Avaloração econômica ambiental, cuja finalidade é atribuir um valor monetário aos serviços proporcionados pela natureza, desponta como uma alternativa para delinear os contornos da compensação financeira, a qual, até recentemente, era arbitrada pelo próprio juiz. (STEIGLEDER, 2008)

A valoração econômica de recursos naturais não é um tema inexplorado. Cientistas e economistas vêm se dedicando ao estudo de metodologias de valoração como ferramentas de gestão ambiental. (RIBAS, 1996; CONSTANZA, 1997; SERÔA DA MOTTA, 1998; MOTA, 2010)

Segundo Serôa da Motta (1998), a tarefa de valorar economicamente um recurso ambiental consiste em determinar quanto melhor ou pior estará o bem-estar das pessoas devido a mudanças na quantidade de bens e serviços ambientais na apropriação por uso ou não. Assim, o valor econômico de um recurso ambiental (VERA) compreende a soma dos valores de uso e de não uso, os quais se subdividem da seguinte forma:

Valor de uso direto (VUD), que consiste no valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental em função do bem-estar que ele proporciona, por exemplo, na forma de extração, de visitação ou outra atividade de produção ou consumo direto.

Valor de uso indireto (VUI), definido como o valor atribuído a um recurso ambiental em virtude de suas funções ecossistêmicas, como, por exemplo, conservação de florestas de mangue e reprodução de espécies marinhas.

Valor de opção (VO), que corresponde ao valor que os indivíduos estão dispostos a pagar para manterem a opção de um dia fazer uso, de forma direta ou indireta, do recurso ambiental. Por exemplo, o benefício advindo da preservação de um aquífero ainda não explorado para o consumo de águas subterrâneas.

Valor de não uso ou valor de existência (VE), valor que está dissociado do uso e deriva de uma posição moral, cultural, ética ou altruística em relação aos direitos de existência de espécies ou de preservação de outras riquezas naturais, mesmo que estas não representem uso atual ou futuro para o indivíduo. Um exemplo claro deste valor é a grande mobilização da opinião pública para o salvamento das baleias.

É importante ressaltar que a formulação do VERA (VERA = VUD + VUI + VO + VE) foi incluída pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na Norma Brasileira Parte 6 – NBR 14653, que versa sobre métodos e procedimentos para avaliação de recursos naturais, os quais são baseados em metodologias para a aferição da disposição de consumidores a pagar por serviços ecológicos e funções ambientais.

Contudo, a opção por uma ou outra metodologia para quantificar a indenização a ser paga pelo dano ambiental irreversível é um tema que permanece em aberto, pois, como a própria NBR 14653-6 da ABNT reconhece, depende das informações disponíveis no caso concreto, da capacitação dos peritos, da disponibilidade de recursos econômicos para a coleta de dados, da existência ou não de um mercado consumidor para o bem a valorar, entre outros aspectos.

Por outro lado, é preciso reconhecer que os ecossistemas fornecem bens e serviços que garantem o bem-estar de toda a sociedade. No entanto, alguns serviços ambientais, como aqueles proporcionados pela absorção, transporte e diluição de poluentes, os quais são de extrema importância para a sustentabilidade dos processos produtivos, são ainda pouco contabilizados (ULGIATI e BROWN, 2002). Ademais, cabe salientar que os desequilíbrios ecológicos levam à degradação dos serviços ambientais, resultando em prejuízos a toda sociedade.

Assim, o material particulado proveniente dos fornos das empresas integrantes do Acordo Setorial Ferro--Ligas, em níveis superiores ao padrão de emissão estabelecido pela legislação vigente, ocasiona o uso abusivo do recurso natural ar atmosférico bem como a sua degradação, comprometendo o direito da população local de respirar um ar mais saudável. (Figura 1)

Figura 1 – Emissões atmosféricas provenientes de uma das indústrias de ferro-ligas.



Fonte: FEAM (2005).

Considerando, então, o princípio do poluidor-pagador, consagrado pela Lei no 6938/81, e tendo em vista a necessidade de quantificar, monetariamente, o recurso ambiental afetado pelas emissões atmosféricas das indústrias de ferro-ligas e calcular o valor da compensação financeira, conforme determinado pelo COPAM e pelo MPMG, foi utilizado, no presente trabalho, o conceito de Emergia. A Emergia corresponde à energia solar que foi previamente requerida, de forma direta ou indireta, para produzir um certo produto ou serviço (ODUM, 1996).

Dessa forma, o valor monetário dos serviços ambientais afetados pelas indústrias integrantes do Acordo Setorial Ferro-Ligas foi quantificado pela metodologia, denominada no meio científico como metodologia emergética ou ecoenergética. (ODUM, 1996; PILLET, 1997)

A metodologia utiliza a energia solar incorporada (emergia) aos recursos ambientais para expressar a contribuição da natureza na produção de insumos, matérias-primas, produtos e serviços.

Dessa forma, a contabilidade ambiental é realizada utilizando o Joule de energia solar (SeJ), que corresponde à unidade de medida da Emergia (ODUM, 1996), 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.

Neste trabalho, a valoração econômica dos danos ambientais enfatiza e analisa o serviço ambiental associado ao ar, recurso natural afetado pela emissão, sem o devido tratamento, de efluentes atmosféricos, contendo material particulado, provenientes dos fornos dos empreendimentos do setor de ferro-ligas instalados na sub-bacia do Rio Verde Grande.

A emergia do serviço ambiental e seu respectivo valor monetário foram quantificados, inicialmente, por meio das emissões do poluente material particulado, em kg/h e kg/ano, oriundas dos fornos de cada empresa. Em seguida, foram determinadas as massas de ar, em kg/ano, utilizadas para a diluição das emissões de material particulado até o padrão de qualidade do ar estabelecido pela legislação vigente (Deliberação Normativa do Copam n.º 01, de 26 de maio de 1981). Calculou-se, então, a energia cinética (serviço ecossistêmico), em Joule (J)/ano, das massas de ar durante a diluição dos poluentes, a qual foi convertida, posteriormente, em uma medida emergética equivalente (SeJ/ano), 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, 2000). Finalmente, a emergia do serviço ambiental associado às massas de ar, em termos monetários (dólar), utilizou

o índice de equivalência energia/dólar ($3,0 \times 10^{12}$ SeJ/U\$), determinado para o Brasil por Ortega (2000).

Esse índice permite comparar a energia do serviço afetado à energia do dinheiro que circula no país em determinado ano e possibilita a conversão dos valores de energia solar em dinheiro. Para a determinação dos valores em reais (R\$), foi utilizado o câmbio de 8/4/2011, data da assinatura da prorrogação do prazo do Acordo Setorial Ferro-Ligas.

A seguir, serão detalhadas as etapas da metodologia emergética para a quantificação dos serviços ecossistêmicos afetados pelas emissões de poluentes (material particulado) provenientes das indústrias de ferro-liga situadas na sub-bacia do Rio Verde Grande.

Estimativa das emissões de material particulado dos fornos

A taxa de emissão ou carga de material particulado, em kg/h, foi calculada por meio da Equação (1) para os fornos de cada empresa, que de agora em diante serão denominadas empresas L, M, N, O, P e Q:

$$W = C \times V \quad (1)$$

Onde:

W = taxa de emissão ou carga de material particulado, em kg/h

C = concentração de material particulado emitida pela chaminé, em kg/Nm³

V = vazão de lançamento de efluentes pela chaminé, em Nm³/h

Foram atribuídos às variáveis C e V da Equação (1) os valores de concentração de material particulado e vazão, respectivamente, que constam no estudo realizado pelo FEAM em 2005. (Quadro 1)

Além disso, a estimativa da taxa de emissão anual de material particulado considerou o período efetivo de produção de cada forno, correspondente a 7.980 horas em 12 meses, exceto os fornos F1, F2 e F3 da empresa L, para os quais foi considerado um período de produção de 780 horas por ano.

Quadro 1 – Dados das empresas integrantes do Acordo Setorial Ferro-Ligas

Empresa	Município	Número de fornos sem filtros	Vazão dos efluentes em cada forno (V)	Concentração de material particulado na saída das chaminés (C)
L	Montes Claros	4 (F1, F2, F3 e F4)	F1 - 225.464 Nm ³ /h F2 - 512.420 Nm ³ /h F3 - 392.854 Nm ³ /h F4 - 392.854 Nm ³ /h	F1 - 1400 mg/Nm ³ F2 - 1800 mg/Nm ³ F3 - 1600 mg/Nm ³ F4 - 1650 mg/Nm ³
M	Montes Claros	1 (F1)	F1 - 31.695,3 Nm ³ /h	F1 - 2.428,98 mg/Nm ³
N	Bocaiuva	1 (F1)	F1 - 280.000 Nm ³ /h	F1 - 2.000 mg/Nm ³
O	Varzelândia	6 (F1, F2, F3, F4, F5 e F6)	F1 - 60.450 Nm ³ /h F2 - 114.000 Nm ³ /h F3 - 114.000 Nm ³ /h F4 - 281.800 Nm ³ /h F5 - 281.800 Nm ³ /h F6 - 281.800 Nm ³ /h	F1 - 1.800 mg/Nm ³ F2 - 1.800 mg/Nm ³ F3 - 1.800 mg/Nm ³ F4 - 1.800 mg/Nm ³ F5 - 1.800 mg/Nm ³ F6 - 1.800 mg/Nm ³
P	Capitão Eneias	2 (F1 e F2)	F1 - 280.000 Nm ³ /h F2 - 280.000 Nm ³ /h	F1 - 1.800 mg/Nm ³ F2 - 1.800 mg/Nm ³
Q	Capitão Eneias	3 (F1, F2 e F3)	F1 - 150.000 Nm ³ /h F2 - 150.000 Nm ³ /h F3 - 150.000 Nm ³ /h	F1 - 1.700 mg/Nm ³ F2 - 1.700 mg/Nm ³ F3 - 1.700 mg/Nm ³

Fonte: FEAM (2005)

Determinação das massas de ar para a diluição dos poluentes

A inexistência dos filtros na saída da chaminé dos fornos ocasionou a degradação do ar devido à emissão de poluentes, como o material particulado, acima dos limites estabelecidos pela legislação em vigor. Consequentemente, uma massa de ar foi comprometida para a realização do trabalho de diluição do poluente até o padrão de qualidade do ar definido na Deliberação Normativa Copam de 26 de maio de 1981 (DN Copam n.º 01/1981). Dessa forma, o cálculo das massas de ar para a diluição das emissões atmosféricas de cada forno foi estimado por meio da Equação (2):

$$m = d \frac{W}{c} \quad (2)$$

Onde:

m = massa de ar para a diluição, em kg/ano

d = densidade do ar = 1,23 kg/m³ (ULGIATI e BROWN, 2002)

W = carga de material particulado emitida anualmente, em kg/ano

c = concentração máxima permitida de material particulado na atmosfera =

80 µg/m³ = 8 x 10⁻⁸ kg/m³ (D.N.COPAM 01/1981)

Cálculo da energia cinética das massas de ar

A energia cinética das massas de ar necessárias à diluição do material particulado foi calculada em Joules por meio da Equação (3):

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3)$$

Onde:

E_c = energia cinética das massas de ar, em J/ano

m = massa de ar para a diluição, em kg/ano

v = velocidade média do vento na região = 1,67 m/s (FEAM, 2005)

Determinação da energia das massas de ar

A energia das massas de ar necessárias à diluição do material particulado foi obtida, em termos de energia solar incorporada (SeJ), por meio da Equação (4):

$$E = E_c \times T \quad (4)$$

Onde:

E = energia das massas de ar, em SeJ/ano

E_c = energia cinética das massas de ar, em J/ano

T = índice de transformidade para o ar = $1,5 \times 10^3$ Se-J/J (ODUM, 1996)

Determinação do valor monetário dos serviços ambientais

A emergência do serviço ambiental associada às massas de ar foi obtida em dólares (U\$) por meio da Equação (5) e, posteriormente, convertida em reais (R\$) na Equação (6):

$$D = E \times I \quad (5)$$

$$R = D \times A \quad (6)$$

Onde:

D = serviço ambiental associado às massas de ar, em dólares (U\$)/ano

R = serviço ambiental associado às massas de ar, em reais (R\$)/ano

E = emergência das massas de ar, em SeJ/ano

I = índice de equivalência = $3,0 \times 10^{12}$ SeJ/U\$ (ORTEGA, 2000)

A = cotação do dólar em 8/4/2011 = R\$ 1,62/U\$ (Banco Central do Brasil) www.bcb.gov.br

Resultados e discussão

A taxa de emissão ou carga de material particulado, em kg/h e kg/ano, calculada para os fornos de cada empreendimento é feita a seguir (Tabela 1).

Tabela 1 – Taxa de emissão de material particulado dos fornos das empresas

Empresa	Fornos	Taxa de Emissão (kg/h)	Taxa de Emissão (kg/ano)
L	F1	315,65	2,46 x 10 ⁵
	F2	922,36	7,19 x 10 ⁵
	F3	628,57	4,90 x 10 ⁵
	F4	648,21	5,17 x 10 ⁶
Subtotal		2514,79	6,63 x 10 ⁶
M	F1	76,99	6,14 x 10 ⁵
N	F1	560,00	4,47 x 10 ⁶
	F1	108,81	8,68 x 10 ⁵
O	F2	205,20	1,64 x 10 ⁶
	F3	205,20	1,64 x 10 ⁶
	F4	507,24	4,05 x 10 ⁶
	F5	507,24	4,05 x 10 ⁶
	F6	507,24	4,05 x 10 ⁶
Subtotal		2.040,93	1,63 x 10 ⁷
P	F1	504,00	4,02 x 10 ⁶
	F2	504,00	4,02 x 10 ⁶
Subtotal		1.008,00	8,04 x 10 ⁶
Q	F1	255,00	2,03 x 10 ⁶
	F2	255,00	2,03 x 10 ⁶
	F3	255,00	2,03 x 10 ⁶
Subtotal		765,00	6,09 x 10 ⁶
Total		6.965,71	4,21 x 10 ⁷

Os valores das massas de ar, em kg, utilizadas anualmente para a diluição do material particulado emitido pelos fornos de cada empresa vêm na sequência (Tabela 2).

Tabela 2 – Massas de ar utilizadas anualmente para a diluição do material particulado emitido pelos fornos das empresas

Empresa	Fornos	Massa de ar (kg/ano)
L	F1	$3,79 \times 10^{12}$
	F2	$1,11 \times 10^{13}$
	F3	$7,54 \times 10^{12}$
	F4	$7,95 \times 10^{13}$
Subtotal		$1,02 \times 10^{14}$
M	F1	$9,45 \times 10^{12}$
N	F1	$6,87 \times 10^{13}$
O	F1	$1,34 \times 10^{13}$
	F2	$2,52 \times 10^{13}$
	F3	$2,52 \times 10^{13}$
	F4	$6,22 \times 10^{13}$
	F5	$6,22 \times 10^{13}$
	F6	$6,22 \times 10^{13}$
Subtotal		$2,50 \times 10^{16}$
P	F1	$6,18 \times 10^{13}$
	F2	$6,18 \times 10^{13}$
Subtotal		$1,24 \times 10^{14}$
Q	F1	$3,13 \times 10^{13}$
	F2	$3,13 \times 10^{13}$
	F3	$3,13 \times 10^{13}$
Subtotal		$9,39 \times 10^{13}$
Total		$6,48 \times 10^{14}$

Na Tabela 3, é apresentada a energia cinética calculada para as massas de ar utilizadas anualmente na diluição do material particulado emitido pelos fornos das indústrias de ferro-liga.

Tabela 3 – Energia cinética das massas de ar utilizadas anualmente para a diluição do material particulado emitido pelos fornos das indústrias de ferro-liga

Empresa	Fornos	Energia cinética (J/ano)
L	F1	5,28 x10 ¹²
	F2	1,54 x 10 ¹³
	F3	1,05 x 10 ¹³
	F4	1,11 x 10 ¹⁴
Subtotal		1,42 x 10 ¹⁴
M	F1	1,32 x 10 ¹³
N	F1	9,58 x 10 ¹³
	F1	1,86 x 10 ¹³
O	F2	3,51 x 10 ¹³
	F3	3,51 x 10 ¹³
	F4	8,68 x 10 ¹³
	F5	8,68 x 10 ¹³
	F6	8,68 x 10 ¹³
	Subtotal	
P	F1	8,62 x 10 ¹³
	F2	8,62 x 10 ¹³
Subtotal		1,72 x 10 ¹⁴
Q	F1	4,36 x 10 ¹³
	F2	4,36 x 10 ¹³
	F3	4,36 x 10 ¹³
Subtotal		1,31 x 10 ¹⁴
Total		9,04 x 10¹⁴

Os valores energéticos, emergéticos e monetários dos serviços ecossistêmicos realizados pelo ar, em virtude da poluição atmosférica ocasionada pelas empresas integrantes do Acordo Setorial Ferro-Ligas, podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4 – Quantificação energética, emergética e monetária dos serviços ecossistêmicos realizados pelo ar para a diluição dos poluentes emitidos pelas indústrias de ferro-liga

Empresa	Energia Cinética (J/ano)	Energia (SeJ/ano)	Valoração Emergética (U\$/ano)	Valoração Emergética (R\$/ano)
L	$1,42 \times 10^{14}$	$2,13 \times 10^{17}$	71.057,87	115.113,74
M	$1,32 \times 10^{15}$	$1,98 \times 10^{16}$	6.585,82	10.669,03
N	$9,58 \times 10^{13}$	$1,44 \times 10^{17}$	47.904,80	77.605,77
O	$3,49 \times 10^{14}$	$5,24 \times 10^{17}$	174.589,88	282.835,61
P	$1,72 \times 10^{16}$	$2,59 \times 10^{17}$	86.228,63	139.690,38
Q	$1,31 \times 10^{14}$	$1,96 \times 10^{17}$	65.441,37	106.015,02
Total	$9,04 \times 10^{14}$	$1,36 \times 10^{18}$	451.808,37	731.929,56

Conforme a Tabela 4, o meio ambiente depende anualmente $1,36 \times 10^{18}$ Joules de energia solar (SeJ) para a diluição natural dos poluentes lançados na atmosfera pelas indústrias L, M, N, O, P e Q instaladas na sub-bacia do Rio Verde Grande.

Assim, os serviços ambientais associados ao recurso natural, ar atmosférico, devido ao lançamento de material particulado em desacordo com a legislação por esses empreendimentos, correspondem monetariamente aos seguintes valores:

Empresa L: R\$ 115.113,74 por ano;

Empresa M: R\$ 10.669,03 por ano;

Empresa N: R\$ 77.605,77 por ano;

Empresa O: R\$ 282.835,61 por ano;

Empresa P: R\$ 139.690,38 por ano;

Empresa Q: R\$ 106.015,02 por ano.

Obtidos por meio da metodologia emergética, esses valores representam a indenização a ser paga pelas indústrias integrantes do Acordo Setorial Ferro-Ligas durante todo o período extra em que continuarem a operar sem os filtros.

Ressalte-se que os cálculos consideraram somente o serviço ambiental analisado. No caso em questão, consistiu na diluição natural das emissões atmosféricas até o padrão de qualidade do ar.

Assim, os custos monetários relativos à poluição atmosférica associados aos danos à saúde humana não foram quantificados.

Comparando os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2 com os valores mostrados na Tabela 4, observa-se que, quanto maior a carga de material particulado emitida por uma empresa, maior será a massa de ar utilizada na diluição dos poluentes e, conseqüentemente, maior a indenização a ser paga. Portanto, os valores monetários obtidos são diretamente proporcionais aos serviços ambientais quantificados em termos de energia solar incorporada (emergia).

Com base nos resultados da Tabela 4, e considerando que o prazo previsto no Acordo Setorial Ferro-Ligas para a instalação dos dispositivos de despoejamento expirou em 2011, o qual foi prorrogado pelo COPAM, a pedido das empresas, por mais três anos, a indenização, calculada por meio da metodologia emergética, totaliza R\$ 2.195.788,65, que deverá ser paga pelos empreendimentos, durante os anos de 2012 a 2014, na seguinte proporção:

Empresa L: R\$ 345.341,22;

Empresa M: R\$ 32.007,09;

Empresa N: R\$ 232.817,31;

Empresa O: R\$ 848.506,83;

Empresa P: R\$ 419.071,14;

Empresa Q: R\$ 318.045,06.

Conforme decisão do Copam, os valores supracitados começaram a ser depositados no Fundif em seis parcelas semestrais, a partir de janeiro de 2012, e repassados aos municípios afetados pela poluição para o financiamento da estruturação de quarenta e seis Conselhos Municipais de Meio Ambiente (Codemas) na sub-bacia do Rio Verde Grande. (COPAM, 2011)

Conclusão

Tendo em vista o artigo 225 da Constituição Federal de 1988, não resta dúvida de que a opção prioritária da ordem constitucional brasileira é a recuperação total do meio ambiente lesado. Entretanto, quando a restauração natural ou a compensação ecológica for tecnicamente inviável, torna-se necessário determinar um valor de indenização pelo dano ambiental irreversível (Lei 6938/1981, artigo 4.º, VII).

Todavia, a valoração monetária dos recursos e danos ambientais envolve conhecimentos multidisciplinares e requer a participação de equipes de profissionais especializados, como ressalta a Norma ABNT/NBR 14653 – Parte 6, que versa sobre métodos e procedimentos para avaliação de recursos naturais.

A dificuldade de conceituar ou de desenvolver métodos para estimar o valor econômico do meio ambiente surge do fato incontestável de que a maioria dos bens e serviços ambientais não é transacionada pelo mercado. Nesse contexto, a metodologia

emergética ou ecoenergética, que se propõe a quantificar os serviços ambientais em termos de energia solar incorporada (emergia), desponta como uma alternativa para valorar os recursos naturais e suas funções ecossistêmicas. (ODUM, 1996; PILLET, 1997)

Neste trabalho, a metodologia quantificou monetariamente o recurso ambiental afetado pelas emissões de material particulado acima dos níveis permitidos pela legislação, bem como calculou o valor da compensação financeira a ser pago pelas indústrias integrantes do Acordo Setorial Ferro-Ligas, localizadas na sub-bacia do Rio Verde Grande, até a instalação dos filtros de despoeiramento, conforme determinado pelo Copam e pelo MPMG.

A indenização calculada por meio da metodologia emergética no período de 2012 a 2014 (período extra em que as empresas continuariam a operar sem os filtros) correspondeu a R\$2.195.788,65 (dois milhões, cento e noventa e cinco mil setecentos e oitenta e oito reais e sessenta e cinco centavos). Esse valor deverá ser pago pelos seis empreendedores integrantes do acordo, de modo que, quanto maior a carga de material particulado emitida pela empresa, maior será a massa de ar utilizada na diluição dos poluentes e, conseqüentemente, da parcela a ser paga. Portanto, os valores monetários obtidos permitiram a distribuição do ônus pelo dano ambiental de forma proporcional entre as indústrias, uma vez que a sanção pecuniária aplicada é diretamente proporcional aos serviços ambientais realizados pela atmosfera para a diluição da carga de poluentes de cada empreendimento.

Dessa forma, a aplicação da metodologia emergética na valoração dos serviços ecossistêmicos apresenta vantagens em relação aos métodos econômicos, pois, ao contrário da economia convencional, contabiliza, em termos de energia solar incorporada (emergia), a contribuição da natureza no controle da poluição.

Ressalte-se que os valores obtidos serão revertidos em benefícios para os municípios integrantes da sub-bacia do Rio Verde

Grande, e dizem respeito, exclusivamente, ao serviço ambiental analisado. No caso em questão, consistiu na diluição natural das emissões atmosféricas até o padrão de qualidade do ar. Assim, os custos monetários relativos à poluição atmosférica associados aos danos à saúde humana não foram quantificados.

**Dano às
águas
superficiais**

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

Alexandra Fátima Saraiva Soares

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

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

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

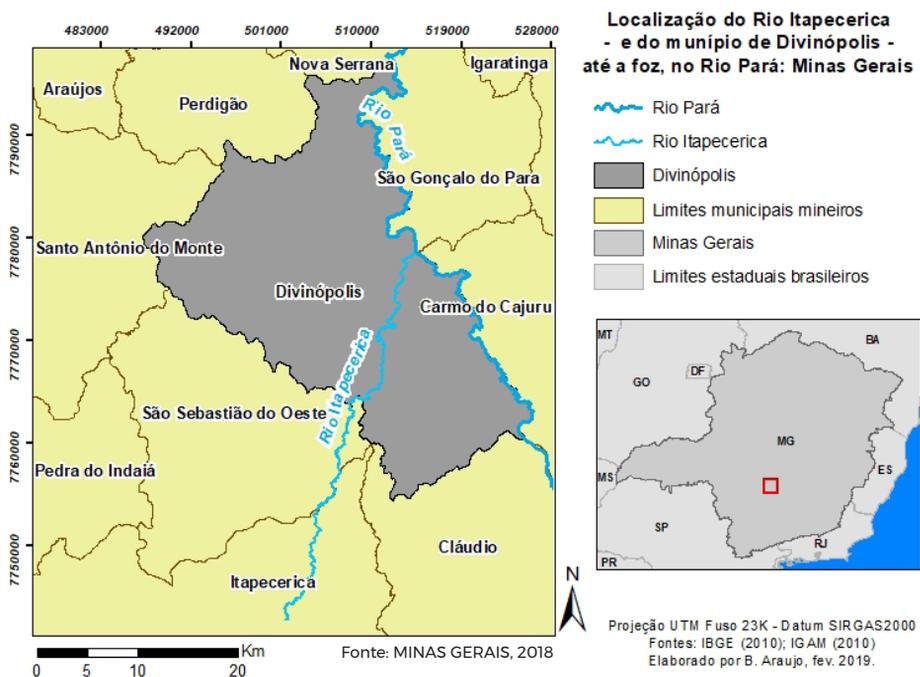
Metodologia

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

Caracterização da área de estudo

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

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



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

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

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

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

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

Caracterização dos danos ambientais ocasionados aos recursos hídricos

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

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

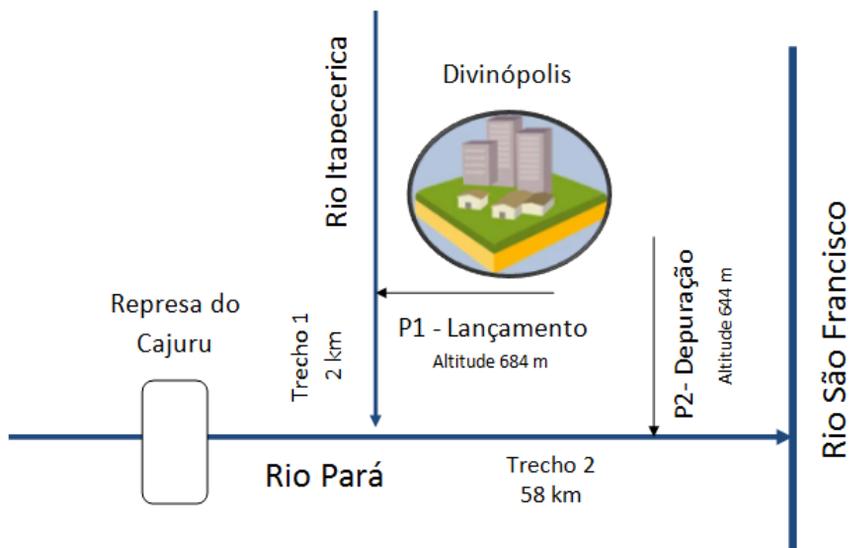
Valoração econômica dos danos ambientais

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

Caracterização dos ecossistemas atingidos

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

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



Definição da metodologia de valoração a ser aplicada

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

Cálculo monetário dos serviços afetados

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

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

Equação 1

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

Cálculo do VUD

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

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

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

Cálculo do VUI

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

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

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

Calculou-se, então, a energia potencial (serviço ecossistêmico) em Joule (J)/dia, associada ao escoamento gravitacional da massa de água durante a diluição do poluente (DBO), a qual foi convertida, posteriormente, em uma medida emergética equivalente (SeJ/dia), por meio do fator de conversão de energia em energia (energia solar incorporada), denominado Transformidade Solar ou Índice de Transformidade, expresso em energia 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 energia do serviço ambiental associado à massa de água foi obtida, em termos monetários (dólar), utilizando o índice de equivalência energia/dólar ($3,0 \times 10^{12}$ SeJ/US\$), determinado para o Brasil por Ortega (2000). Esse índice permite comparar a energia do serviço afetado à energia do dinheiro que circula no país em determinado ano a fim de possibilitar a conversão dos valores de energia solar em dinheiro. Para a determinação dos valores em reais (R\$), foi utilizado o câmbio atual. (ECONOMIA, UOL, 2019)

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

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

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

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

Determinação da massa de água necessária à diluição das emissões

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

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

M = massa de água, em kg;

d = densidade da água (1 kg/L);

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

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

Cálculo da energia potencial da massa de água

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

$$E_p = Mgh \quad \text{Equação 4}$$

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

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

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

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

Vazão = consumo *per capita* água x População x R x % de esgoto não tratado
Equação 5

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Compensação ambiental

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

Cálculo da área a ser recuperada

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

Elaboração do mapa para identificação da mata ciliar a ser recuperada

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

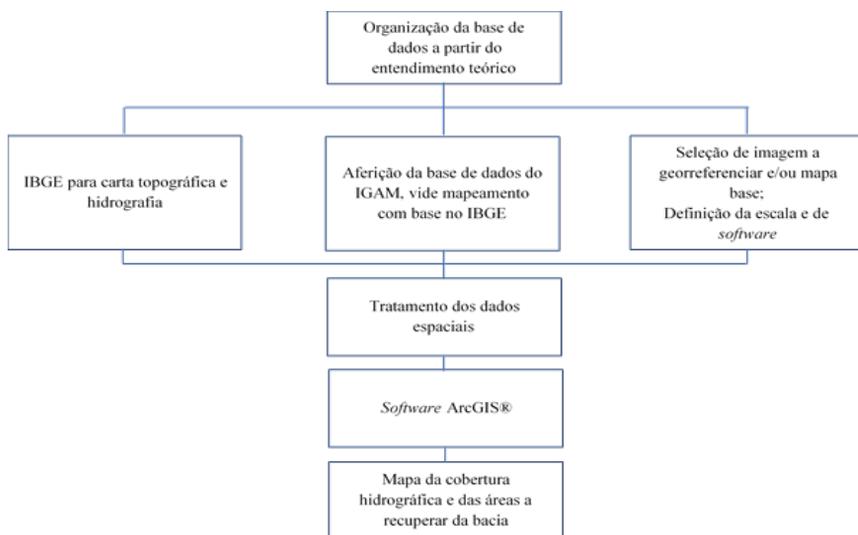


Figura 3 – Fluxograma para elaboração do mapa da hidrografia e das áreas a recuperar.

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

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

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

Valoração

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

Quantificação da carga poluidora

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

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

Valoração econômica dos danos ambientais

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

Valor de Uso Direto - VUD

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

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

Valor de Uso Indireto - VUI

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

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

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

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

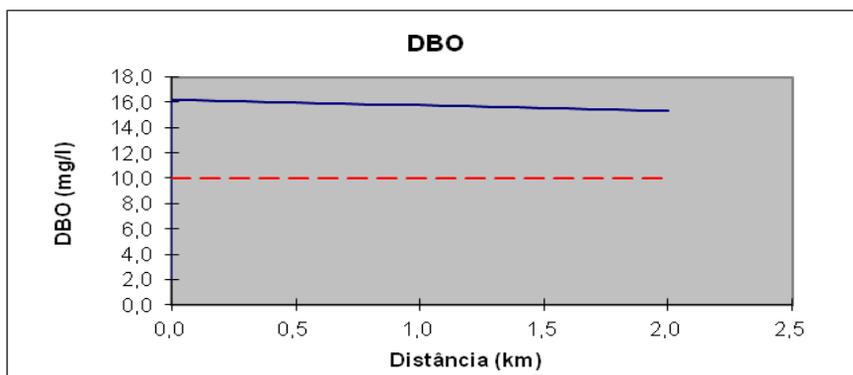
$$M = 2.133.137.689,20 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

Cálculo da energia potencial da massa de água

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

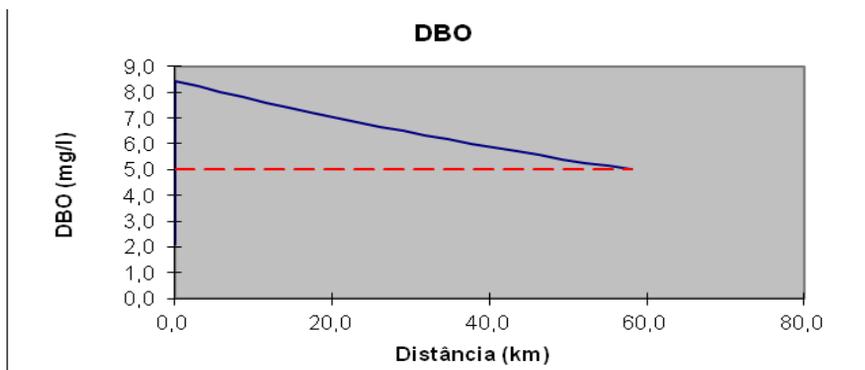
A simulação do modelo de Streeter-Phelps indica que a distância de depuração é de 60 quilômetros, 2km no Rio Itapecerica e 58km no Rio Pará. (Figuras 4 e 5)

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



Fonte: autora.

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



Fonte: autora.

Assim:

Altitude do ponto de lançamento: 684m;

Altitude do ponto de depuração: 644m;

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

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

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

Cálculo da energia

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

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

Conversão energia-dólar

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

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

Conversão dólar-real

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

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

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

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

Fonte: autora.

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

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

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

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

Compensação ambiental

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

³⁸ Considera-se ano com 365 dias.

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

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

Fonte: RODRIGUES, 2016.

Custos totais

- i. Cercamento: R\$19,24/m * 300m = R\$ 5.772/ha
- ii. Sinalização da área: R\$ 316,31 /m² * 2 = R\$ 632,62/ha
- iii. Manejo de pragas: R\$ 84,21/ha
- iv. Preparo do solo: R\$ 3.230/ha
- v. Insumos para preparo do solo e para o plantio das mudas (calagem, adubação e mudas): R\$: 12.765/ha
- vi. Plantio das mudas, coroamento, adubação e tutoramento: R\$5.871,50/ha
- vii. Manutenção (adubação de cobertura, combate de pragas e replantio das mudas mortas): R\$ 3.015,20.
- viii. Prevenção de incêndios: R\$190/ha

O custo total da recomposição da flora nativa é de:

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

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

Cálculo da área a ser compensada

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

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

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

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

Conclusão

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

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

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

APÊNDICE A

RIO ITAPECERICA

DADOS DE ENTRADA

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

Coefficientes (na temperatura do líquido)

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

Dados adicionais

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

Legislação (Resolução Conama)

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

DADOS DE SAIDA

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

Dados do trecho

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

DADOS DE ENTRADA - RIO PARÁ

**PERFIS DE OD
E DBO**

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

RIO PARÁ

DADOS DE ENTRADA

Variáveis

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

Coefficientes (na temperatura do líquido)

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

Dados adicionais

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

Legislação (Resolução Conama)

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

DADOS DE SAÍDA

Dados da mistura

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

Dados do trecho

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

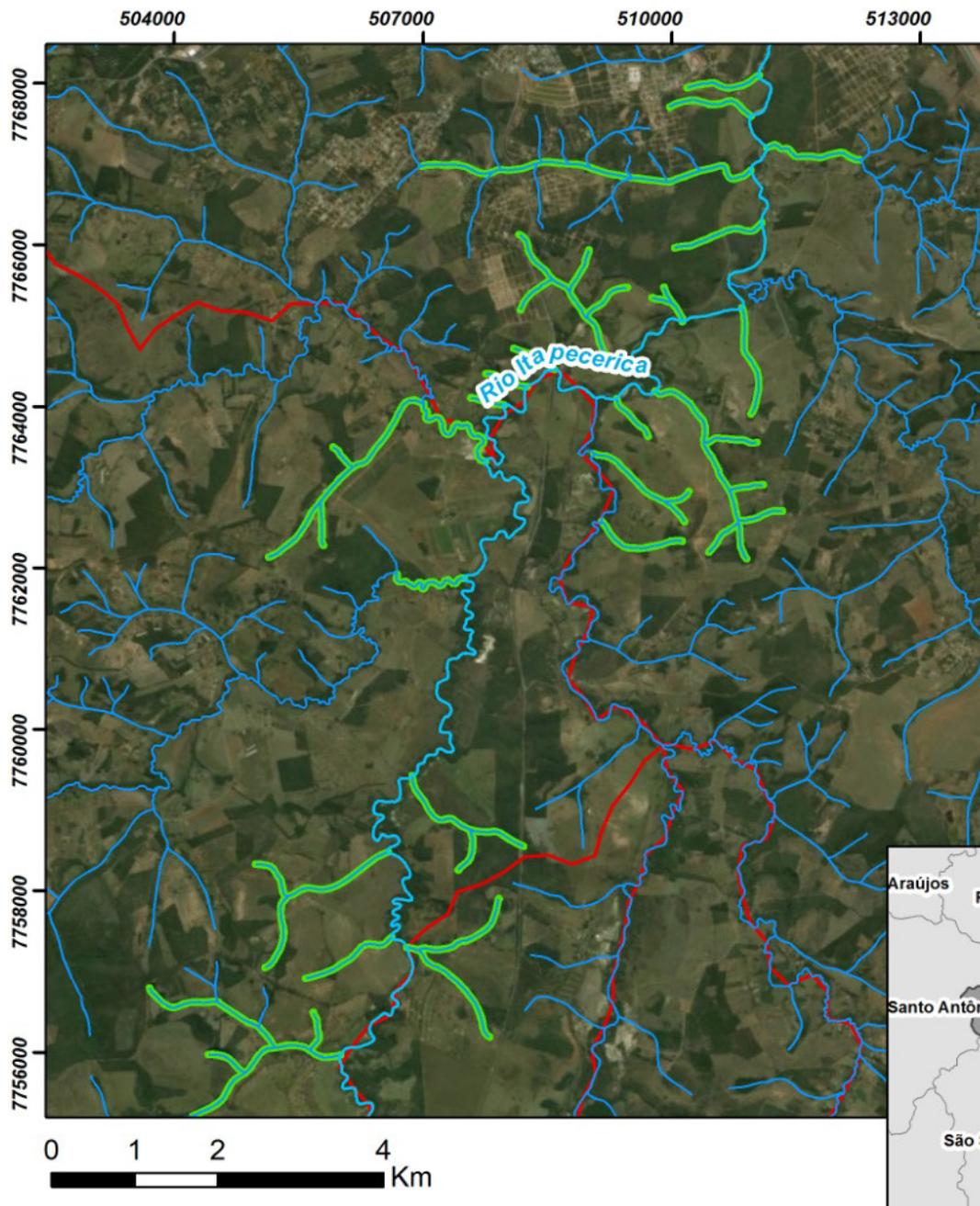
**PERFIS DE OD
E DBO**

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

APÊNDICE B

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

Áreas a recuperar na Bacia do Rio Itapeçerica: Minas Gerais





— Hidrografia seleção

~ Rio Itapecerica

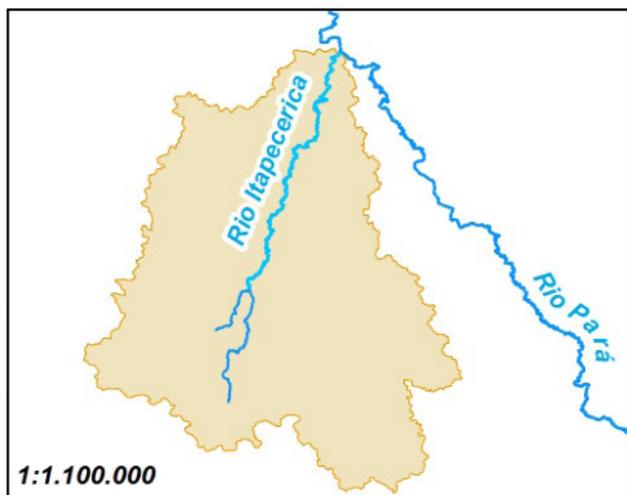
~ Hidrografia

■ Áreas a recuperar¹: 344,5 Ha

□ Limite da bacia do Rio Itapecerica

□ Limite entre municípios

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



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



Projeção UTM Fuso 23K - Datum SIRGAS2000

Fontes: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community; IBGE (2010); IGAM (2010); SARAIVA (2018-19)

Elaborado por Bárbara Araujo, fev. 2019

Valoração de dano ambiental ocasionado por efluente de lavanderia industrial

Alexandra Fátima Saraiva Soares
Luís Fernando de Moraes Silva

RESUMO: Trata-se de valoração de dano ambiental referente ao lançamento de efluentes líquidos provenientes de lavanderia, sem tratamento prévio, em curso de água. Utilizou-se a metodologia Custos de Controle Evitados, considerando os custos com tratamentos de efluentes para evitar a poluição.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente de lavanderia. Valoração ambiental.

Metodologia

Foi utilizada a norma ABNT NBR 14653-6/2008 - Avaliação de bens - Parte 6: Recursos naturais e ambientais, no item “8.6.1.4 - Custos de controle evitados”. Esse método é aplicado para valorar danos ambientais, por meio da estimativa dos gastos necessários que foram evitados para controlar ou minimizar as atividades ofensivas ao meio ambiente. O método não mede diretamente a perda econômica revelada pelos indivíduos, pois assume que estes custos seriam uma estimativa mínima da perda de bem-estar associado ao dano. É o caso do tratamento de esgoto para evitar a poluição dos rios e um sistema de controle de emissão de poluentes de uma indústria para evitar a contaminação da atmosfera⁴⁰.

Para a quantificação do dano foram avaliados os resultados das análises laboratoriais coletadas na fiscalização realizada em 12/07/2018 e constantes nos autos do Inquérito Civil correspondente a este caso.

40 DA MOTTA, R. S. *Manual para valoração econômica de recursos ambientais*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônica Legal, 1998. 218 p. Disponível em: <http://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/pdf/manual-para-valoracao-economica-de-recursos-ambientais.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2018.

Resultados e discussão

Quantificação do dano

O resultado das análises laboratoriais das amostras coletadas na fiscalização de 12/7/2018 traz em destaque os parâmetros que violaram os limites preconizados na legislação vigente. (Tabela 1)

Tabela 1 - Parâmetros do efluente da ETE do empreendimento na época da fiscalização

Parâmetro	Unidade	Entrada da ETE	Saída da ETE	Limite (DN COPAM/CERH n° 01/2008)
Agentes Tensoativos	mg/L	1,6	0,38	2
DBO	mg/L O2	176	104	60mg/L ou 75% de remoção
Remoção de DBO	%	-	40,90	
DQO	mg/L O2	398	301	180mg/L ou 70% de remoção
Remoção de DQO	%	-	24,37	
Fenóis	mg/L	< 0,05	1,2	0,5
Nitrogênio Amoniacal	mg/L N-NH3	0,51	0,42	20
Óleos minerais	mg/L	< 10	<10	20
Óleos vegetais / Gorduras animais	mg/L	< 1,0	< 1,0	50
pH	-	7,10	8,08	6 a 9
Sólidos em suspensão	mg/L	300	21	100
Sólidos sedimentáveis	mL/L	6,0	25	1
Sulfetos	mg/L	5,8	< 0,1	1
Temperatura da amostra	°C	21,8	27	< 40

Consta nos autos do Inquérito Civil correspondente resultados de monitoramento dos efluentes no período entre 4/10/2009

e 6/12/2018, considerados os meses em que foram constatadas violações de padrões de lançamento (art. 29 DN COPAM/CERH 01/2008): 10/2019 (31 dias), 2/2011 (28 dias), 11/2011 (30 dias), 4/2013 (30 dias), 5/2014 (31 dias), 9/2014 (30 dias), 2/2015 (28 dias), 7/2015 (31 dias), 9/2015 (30 dias), 10/2016 (31 dias) e 12/2017 (31 dias). Foram **331 dias de violação**.

Valoração

Na valoração do dano ambiental, utilizou-se metodologia que considera os custos médios de operação de sistemas de tratamento de efluentes têxteis. (Tabela 2)

Tabela 2 - Custo de tratamento de efluentes têxteis

Processo	Custo de tratamento (U\$/m ³)	Custo atualizado ⁴¹ (R\$/m ³)	Referência
Remoção de cor por processo de fenton seguido por lodo ativado	0,40	1,64	VANDEVIVERE et al., 1998 apud HOLKAR et al (2016)
Oxidação com fenton para remoção de cor e pré-tratamento por método biológico	0,59	2,76	SOLMAZ et al., 2006 apud HOLKAR et al (2016)
Fenton para cor e pré-tratamento por método biológico	0,57	2,66	SOLMAZ et al., 2006 apud HOLKAR et al (2016)
Tratamento biológico por sistema de lodos ativados seguido de tratamento por precipitação química.	0,30 a 0,50	1,81 a 3,02	KAO et al. (2001) apud PORTO (2002)
Média	-	2,37	-

41 Correção realizada conforme fator de atualização monetária do TJMG por meio do mecanismo interno da CEAT/MPMG. Disponível em: <https://aplicacao.mpmg.mp.br/siscat/calcularAtualizacaoMonetaria.do>. Acesso em: 18 dez. 2018.

Consideraram-se:

1) Vazão média de efluentes gerada pelo empreendimento – $8,75\text{m}^3/\text{h}$ e regime de trabalho de 8 horas por dia, que corresponde a 70.000 L/dia (conforme Processo Feam 01808/2003/003/2016);

2) Custo médio de operação – R\$ 2,37/ m^3 (Tabela 2).

Conclusão

O *quantum debeat* em questão foi de **R\$ 54.912,90 (cinquenta e quatro mil novecentos e doze reais e noventa centavos)**.

Valoração de dano ambiental ocasionado por condomínio residencial horizontal

Alexandra Fátima Saraiva Soares
Guilherme Henrique Costa

RESUMO: Trata-se de valoração de dano ambiental por poluição hídrica ocasionada por esgoto sanitário sem tratamento proveniente de condomínio residencial horizontal situado em Betim/MG. A metodologia de valoração utilizada considera os custos de tratamento apresentados por von Sperling (2014) para um sistema composto por reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), seguido por filtro percolador. O valor de custo para fins de cálculo adotou como referência os valores médios de implantação e operação/manutenção do sistema de tratamento considerado. Os custos estimados limitaram-se à implantação de sistema de controle da poluição para adequação aos padrões da legislação, metodologia apresentada na ABNT NBR 14653-6/2008 no item 8.6.1.4 - Custos de controle evitados.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição hídrica. Valoração ambiental. Esgotos sanitários.

Introdução

Os esgotos sanitários caracterizam-se pela presença de cor, odor, turbidez, sólidos, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, alcalinidade, cloretos, óleos e graxas, além de microrganismos patogênicos – bactéria: cólera, vírus: hepatite, protozoários: ameba e helmintos: filaria e tênia – DACACH (1990). Dessa forma, o lançamento desses esgotos, sem tratamento prévio, nas coleções hídricas pode criar condições adversas ao meio ambiente, às atividades sociais e econômicas e prejudicar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Consequências ambientais de alguns poluentes dos esgotos sanitários

Poluentes	Parâmetros de caracterização	Algumas possíveis consequências
Sólidos	Sólidos em suspensão total Sólidos dissolvidos	Elevação da turbidez e da cor; problemas estéticos; depósito de lodo; proteção de patogênicos.
Sólidos flutuantes	Óleos e graxas	Problemas estéticos.
Matéria orgânica	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	Consumo de oxigênio; mortandade de peixes; condições sépticas.
	Demanda química de oxigênio (DQO)	A fração inorgânica pode estar associada à toxicidade
Patogênicos	Coliformes	Doenças de veiculação hídrica.
Nutrientes	Nitrogênio e fósforo	Crescimento excessivo de algas (eutrofização); toxicidade aos peixes.

Fonte: Adaptado de von Sperling (2014)

Ao se considerar que houve lançamento de efluentes líquidos sem prévio tratamento no Córrego Estiva, em desacordo com os padrões estabelecidos no art. 3.º, III, alíneas “e” da LPNMA, depreende-se a ocorrência de poluição e, portanto, dano ambiental. Ademais, em virtude da constatação de que o lançamento estaria a causar *forte odor*, caracteriza-se também infração ao art. 3.º, III, alíneas “a” e “d” da LPNMA. (BRASIL, 1981)

Diante desse dano ambiental ocasionado pelo lançamento de esgoto no Córrego Estiva, procedeu-se à valoração e apresentou-se sugestão de medida de compensação correspondente.

Quantificação e valoração do dano ambiental

Existem diversas metodologias para se valorar um dano ambiental. A escolha depende do objetivo da valoração, das hipóteses assumidas, da disponibilidade de dados e do conhecimento da dinâmica ecológica do bem a valorar, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 14653-6 / 2008) – Avaliação de bens – Parte 6: Recursos naturais e ambientais.

Ainda de acordo com essa norma técnica, cada método apresenta limitações (metodológicas e de informação disponíveis) associadas ao objetivo e à fundamentação da valoração, às hipóteses sobre o comportamento do consumidor e aos efeitos do uso do recurso ambiental em outros setores da economia, o que leva à necessidade de apontar os fatores limitantes e os pressupostos assumidos na valoração. A *priori*, não é possível estabelecer a prevalência de um método em relação a outro. A seleção a ser adotada se dá mediante a disponibilidade de dados e aplicabilidade do método para o caso concreto.

A metodologia de valoração utilizada considera os custos de tratamento apresentados por von Sperling (2014) para um sistema composto por reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), seguido por filtro percolador. O valor de custo para fins de cálculo adotou como referência os valores médios de implantação e operação/manutenção do sistema de tratamento considerado. Os custos estimados limitaram-se à implantação de sistema de controle da poluição para adequação aos padrões da legislação, metodologia apresentada na ABNT NBR 14653-6/2008 no item 8.6.1.4 - custos de controle evitados.

Na quantificação foram considerados:

- ▶ matéria orgânica biodegradável, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{Bruta}): 300 mg/L;
- ▶ período de violação: 19/10/2017 a 14/8/2018, que corresponde a 299 dias ou a 0,82 ano (autos do IC);
- ▶ volume de esgoto no período considerado: 9.192m³ (autos do IC);
- ▶ carga *per capita*: 0,054Kg/hab.dia (von Sperling, 2014);
- ▶ custo médio de implantação referente ao sistema UASB + filtro biológico percolador, segundo Von Sperling (2014) - R\$200/hab.;
- ▶ custo médio de operação/manutenção referente ao sistema UASB + filtro biológico percolador, segundo von Sperling (2014) - R\$15/hab./ano.

Os resultados obtidos para a valoração dos danos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valoração ambiental dos danos ambientais.

Período (dias) ^a	Período (ano) ^b	Carga poluidora DBO (kg/dia) ^c	EP (hab) ^d	Custo médio implantação (R\$) ^e	Custo médio operação/manutenção total (R\$) ^f	Custo total (R\$) ^g	Custo total ajustado (R\$) ^h
299	0,82	9,22	171	34.200	2.103,30	36.303,30	50.448,91

a) Período entre 19/10/2017 e 14/8/2018.

b) Período considerando 365 dias por ano.

c) Carga poluidora = concentração x vazão. Carga poluidora = [300 mg/L x (9.192.000 L / 299 dia) x 10⁻⁶] kg/dia .

d) Equivalente Populacional (EP) = carga poluidora / carga *per capita* = (9,22 kg/dia) / (0,054 kg/hab.dia).

e) Custo médio de implantação total = R\$200/hab x 171 hab. (von Sperling, 2014)² x EP.

f) Custo médio de operação/manutenção total = Custo médio de operação manutenção por hab.ano (R\$15/hab.ano, segundo von Sperling, 2014)² x Período (ano) x EP = 15,00 x 0,82 x 171.

g) Custo total = Custo médio de implantação + Custo médio de operação/manutenção.

h) Correção conforme fator de atualização monetária do TJMG por meio do mecanismo interno da CEAT/MPMG. Disponível em: <https://aplicacao.mpmg.mp.br/siscat/calculadorAtualizacaoMonetaria.do>. Acesso em: 11 fev. 2020. Data do valor histórico: janeiro/2014; mês/ano de referência para atualização: janeiro/2020.

Sugestão de medida de compensação

Como medida de compensação aos danos ocasionados pelo lançamento irregular de esgotos no ambiente, calculou-se o custo de revegetação de áreas tendo como referência estudo de recuperação de área degradada do Parque Sucupira realizado pela Faculdade UnB de Planaltina – FUP (RODRIGUES, 2016) – Tabela 3.

Tabela 3 - Atividades do programa de recuperação de áreas degradadas

IMPLANTAÇÃO	
Cercamento da área	Isolamento da extensão revegetada com estacas de madeira e fio de arame farpado.
Sinalização da área	Confeção e alocação de placas de aviso 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 segundo as normas vigentes.
Preparo do solo	Coveamento para plantio, propondo covas para todas as mudas com as dimensões de 45 x 45 x 60cm (largura x comprimento x profundidade).
Plantio de mudas	O plantio, preferencialmente na época chuvosa, espaçamento de 3x2m, utiliza 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 subarbusciva exótica, focando mais na redução da densidade da vegetação ao longo da linha de plantio das mudas.

IMPLANTAÇÃO	
Tutoramento	Fixação de tutores de bambu para suporte às mudas que também servirão para a localização, facilitando o monitoramento.
Calagem	Distribuição de 100g de calcário dolomítico por cova para corrigir a acidez do solo.
Adubação	Aplicação de 150g 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 no início do ciclo das chuvas de 30 a 90 dias pós-plantio.
Replântio de mudas	Avaliação da sobrevivência e reposição de mudas mortas 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 prevenção de incêndios	Controle de incêndios por meio de aceiramento; e vigilância da área durante o período de seca.
MONITORAMENTO	
Plano de Monitoramento	Atividades de Adubação de cobertura, tratos silviculturais, e prevenção de incêndios com supervisão de profissional habilitado.
Supervisão técnica	Acompanhamento por profissional habilitado.

Custos totais

Cercamento: R\$19,24/m* 300m = R\$ 5.772/ha; Sinalização da área: R\$ 316,31/m² * 2 = R\$ 632,62/ha; Manejo de pragas: R\$ 84,21/ha; Preparo do solo: R\$ 3.230/ha; Insumos para preparo do solo e para o plantio das mudas (calagem, adubação e mudas): R\$12.765/ha; Plantio das mudas, coroamento, adubação e tutoramento: R\$5.871,50/ha; Manutenção (adubação de cobertura, combate de pragas e replântio das mudas mortas): R\$ 3.015,20; Prevenção de Incêndios: R\$190/ha.

O custo total da recomposição da flora nativa é de R\$ 5.772/ha + R\$ 632,62/ha + R\$ 84,21/ha + R\$ 3.230/ha + R\$: 12.765/ha + R\$5.871,50/ha + R\$ 3.015,20 + R\$190/ha = R\$ 31.560,53/ha.

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

Cálculo da área a ser compensada

Considera-se o total da valoração dos danos ocasionados pelo lançamento irregular de esgotos brutos no ambiente e o custo estimado para recuperar um hectare. Logo:

$$\text{Área a ser recuperada} = \frac{R\$50.448,91}{R\$31.560,53/ha} = 1,6ha$$

Conclusão

O *quantum debeat* correspondente ao dano ambiental ocasionado pelo lançamento de esgotos domésticos sem prévio tratamento em curso de água, no período considerado, foi de R\$50.448,91. Esse valor corresponde ao custo estimado para recuperar uma área de 1,6ha (16.000 m²)⁴².

Sugere-se que a área a ser recuperada seja definida junto com a Secretaria de Meio Ambiente do Município e/ou Instituto Estadual de Florestas e preferencialmente na mesma bacia hidrográfica onde tenha ocorrido o dano, conforme art. 1.º, V, da Lei 9.433/1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos).

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

Valoração de dano ambiental causado por lançamento irregular de efluentes oriundos de frigorífico

Alexandra Fátima Saraiva Soares
Luís Fernando de Moraes Silva

RESUMO: A metodologia aplicada à valoração do dano ambiental referente ao lançamento dos efluentes líquidos não tratados em curso de água foi a de Custos de Controle Evitados por meio do cálculo do equivalente populacional do efluente de um frigorífico.

PALAVRAS-CHAVE: Valoração ambiental. Poluição hídrica. Frigorífico.

Introdução

Para instrução de inquérito civil que investiga dano ambiental ocorrido em virtude da ineficiência de operação da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de frigorífico, procedeu-se à valoração de dano para requerer compensação ambiental pelo empreendedor.

Entende-se por dano toda lesão a um bem jurídico tutelado. Embora a legislação pátria não tenha conceituado o dano ambiental, conceitua degradação da qualidade ambiental e poluição no contexto da Lei 6.938/1981 que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) como:

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

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.

Ao se considerar que houve lançamento de efluentes líquidos em desacordo com os padrões estabelecidos na legislação pertinente: sólidos em suspensão, óleos e graxas e matéria orgânica – vazamento de efluentes da linha vermelha/verde⁴³ e demanda química de oxigênio em níveis que violaram os padrões ambientais estabelecidos (art. 3.º, III, alíneas “e” da PNMA), depreende-se poluição e, portanto, dano ambiental. Ademais, em virtude da constatação de que o lançamento “*estaria causando forte odor e que o mau cheiro estaria prejudicando os moradores próximos e transeuntes*” (BO CIAD/P-2014-12763765/REDS 2014-015279245-001), caracteriza também infração ao art. 3.º, III, alíneas “a” e “d” da PNMA.

Diante do dano ambiental ocasionado, e para fins de valoração, utilizou-se a metodologia que considera custos de tratamento apresentados por von Sperling (2005) para um sistema composto por lagoa anaeróbia seguida de lagoas facultativa e de maturação. Cabe salientar que, nesses cálculos, foram consideradas as violações do parâmetro sólidos em suspensão (SS).

De acordo com von Sperling (2005), o sistema de tratamento, se bem operado, possui eficiência de até 83% de remoção de SS e capacidade de produzir efluentes com até 90mg/L desse parâmetro, valor que atende aos padrões preconizados pela legislação (DN CERH/COPAM 01/2008).

43 Em 9/5/2014, por meio de denúncia CAD 26984, “a empresa estaria lançando sangue e fezes no Riacho das Areias causando forte odor, e que o mau cheiro estaria prejudicando os moradores próximos e transeuntes”. Em 17/7/2014, constatou-se lançamento de efluentes líquidos com coloração avermelhada em uma rede de drenagem que verte no Riacho das Pedras.

Realizou-se cálculo do Equivalente Populacional (EP)⁴⁴ da carga poluidora do empreendimento em questão considerando apenas o parâmetro SS.

Valoração do dano ambiental

Na quantificação do dano foram considerados:

- ▶ Lançamento de forma irregular em 31 dias (Anexo 1);
- ▶ carga *per capita* típica de 0,060kg de Sólidos em Suspensão (SS)/hab.dia, conforme literatura técnica pertinente⁴⁵ e concentração média de SS dos efluentes brutos considerados para fins de cálculos de 204,09mg/L (resultados de análises apresentados nos autos do IC e Anexo 1);
- ▶ vazão média de geração de efluentes líquidos do empreendimento: 1.224 m³/dia (autos do IC).

Cálculo da carga poluidora de SS

Carga = concentração média x vazão

Carga = 204,09mg/L x 1.224.000 L/dia

Carga = 249,80kg/dia

⁴⁴ O Equivalente Populacional traduz a equivalência entre o potencial poluidor de uma indústria (comumente em termos de matéria orgânica) e uma determinada população, a qual produz essa mesma carga poluidora.

Cálculo do Equivalente Populacional (EP)

EP = Carga de SS da indústria (kg/dia) / carga *per capita* de SS (kg/hab.dia)

EP = 249,80 kg/dia / 0,054 kg/hab./dia

EP = 4.626 habitantes

Na quantificação, foram considerados – para fins da valoração – os custos de tratamento de um sistema biológico composto por lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação. (Tabela 1)

Tabela 1 - Valoração ambiental dos danos ambientais

Período (dias)	Ano	EP (hab.)	Carga poluidora (kg/dia)	Custo médio de implantação (R\$/hab)	Custo médio de operação e manutenção (R\$/hab.ano)	Custo médio de tratamento no período (R\$)*	Custo total ajustado (R\$)**
31	0,0849 ^a	4.626 ^b	249,80	70,00	3,75 ^c	325.287,6 ^d	399.852,46 ^e

OBS.: *Valores apresentados para 2.º semestre de 2004: US\$ 1 = R\$ 2,70.

a) Consideraram-se 365 dias por ano: 31 dias : (365 dias/ano) = 0,0849 ano.
 b) Cálculo obtido pelo Equivalente Populacional da carga de sólidos suspensos do frigorífico; c) von Sperling (2005, p.340); d) R\$ 3,75 x 4.626 hab. x 0,0849 ano + 4.163 hab. x R\$ 70 = R\$ 325287,6; e) ** Correção conforme fator de atualização monetária do TJMG por meio do mecanismo interno da CEAT/MPMG. Disponível em: <https://aplicacao.mpmg.mp.br/siscat/calculadorAtualizacaoMonetaria.do>. Acesso em 14/09/2017. Data do valor histórico: julho/2014; mês/ano para atualização: setembro/2017.

Conclusão

Os danos ambientais pelo lançamento irregular de efluentes no período considerado foram valorados em R\$399.852,46 (trezentos e noventa e nove mil oitocentos e cinquenta e dois reais e quarenta e seis centavos).

Valoração de dano ambiental ocasionado pelo lançamento irregular de efluentes de laticínio em curso de água

Alexandra Fátima Saraiva Soares
Luís Fernando de Morais Silva

RESUMO: Na valoração do dano ambiental referente ao lançamento dos efluentes não tratados no processamento de leite, aplicou-se a metodologia apresentada na ABNT NBR 14653-6/2008 item 8.6.1.4 - custos de controle evitados. O dano resultou em um *quantum debeatur* equivalente a R\$ 414.774,42, valor que se sugere seja revertido na recomposição de 13 hectares de matas ciliares de cursos de água situados na mesma bacia hidrográfica onde ocorreu o dano.

PALAVRAS-CHAVE: Laticínio. Efluentes líquidos. Poluição hídrica. Valoração ambiental.

Introdução

Em 19 de dezembro de 2018 foi realizada vistoria nas instalações do Laticínio M, localizado no município de Bom Despacho/MG. Na ocasião, foi constatado lançamento irregular de efluentes líquidos em corpo de água enquadrado na classe 2. Esses efluentes apresentavam concentrações superiores aos limites estabelecidos na DN CERH/COPAM 01/2008 para os parâmetros “substâncias tensoativas”, “sólidos suspensos” e “DBO”.

Na valoração do dano ambiental, foram considerados os custos de operação e de manutenção apresentados por von Sperling (2014), para um sistema de tratamento que utiliza Lodos Ativados.

Trata-se de metodologia de valoração apresentada na ABNT NBR 14653-6/2008 no item 8.6.1.4 - custos de controle evitados.

Quantificação do dano

Na quantificação do dano gerado foram considerados valores de carga específica de DBO dos efluentes líquidos do processo produtivo, de acordo com a média adotada pela Cetesb⁴⁶ para operação de laticínios.

A capacidade de 20 mil L/dia na produção de queijos e iogurte corresponde a laticínios em geral valores de 5,8kg de DBO/m³ de leite processado. Logo, a carga total = 116kg DBO/dia. Para os postos de recepção e refrigeração, a capacidade é de 10 mil L/dia, sendo atribuídos a laticínios em geral valores de 0,8325kg de DBO/m³ de leite processado, carga total = 8,325 kg DBO/ dia.

A carga *per capita* de DBO adotada foi de 0,054kg DBO/hab./dia, de acordo com a literatura técnica pertinente. O período de violação considerado foi de 12 junho de 2014 a 19 de dezembro 2018, totalizando 1.651 dias.

Quanto ao custo médio de operação/manutenção referente ao sistema lodos ativados, segundo von Sperling (2014), o valor adotado é de R\$30,00/hab.ano.

Tabela 1 - Valoração ambiental dos danos ambientais Laticínio M

Período (dias)	Ano	Pop. (hab.)	Custo médio de operação e manutenção R\$/hab.ano	Valor total (R\$)	Valor total atualizado (R\$)
1.651	4,52	2.303 ^a	30,00 ^b	312.286,80 ^c	414.774,42 ^d

a) Equivalente populacional = carga total de DBO gerada pela empresa / Carga per capita $\rightarrow E.P. = (116 + 8,35) / 0,054 = 2.303$ habitantes b) Von Sperling (2014); 46 Média dos valores apresentados pela Cetesb *apud* MACHADO et. al. (2002) - p. 58.

c) Valor total = População x Custo médio de operação e manutenção => R\$ 30 x 2.303 hab. x 4,52 anos = R\$ 312.286,80; d) Correção conforme fator de atualização monetária do TJMG por meio do mecanismo interno da CEAT/MPMG. Disponível em: <https://aplicacao.mpmg.mp.br/siscat/calcularAtualizacaoMonetaria.do>. Acesso em: 19 dez. 2018. Data do valor histórico janeiro/2014; mês/ano de referência para atualização: dezembro/2018.

Cálculo da área recuperada pela reparação sugerida

Para cálculo do custo de revegetação de áreas degradadas, adotou-se como referência o estudo de recuperação de área degradada do Parque Sucupira realizado pela Faculdade UnB de Planaltina – FUP. (RODRIGUES, 2016)

O reflorestamento de um hectare de área degradada atinge o custo de R\$ 31.560,53 (trinta e um mil quinhentos e sessenta reais e cinquenta e três centavos).

$$\text{Área a ser recuperada} = \frac{\text{R\$ 414.774,42}}{\text{R\$ 31.560,53 / ha}} = 13,14 \text{ ha}$$

Portanto, a área total a ser compensada foi de 13,14 hectares.⁴⁷

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

Conclusão

O dano ambiental ocasionado pelo lançamento irregular de efluentes líquidos, sem prévio tratamento, no curso de água - no período considerado - resultou em um *quantum debeat* equivalente a R\$ 414.774,42 (quatrocentos e quatorze mil setecentos e setenta e quatro reais e quarenta e dois centavos), valor que se sugere que seja revertido na recomposição/recuperação de matas ciliares de cursos de água situados na mesma bacia hidrográfica do Córrego Machadinho (Bacia do Alto São Francisco), área correspondente a 13 hectares.

Valoração ambiental de dano ocasionado por lançamento irregular de lodo gerado em estação de tratamento de água

Alexandra Fátima Saraiva Soares
Paula Santana Diniz

RESUMO: O lodo gerado no processo de potabilização da água em estação de tratamento é enquadrado como resíduo sólido classe II A - não perigoso e não inerte, de acordo com a NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004). A disposição inadequada desse resíduo pode provocar a degradação do meio ambiente, a contaminação de mananciais e do solo. Dessa forma, os danos ocasionados pelo lançamento irregular de duas estações que abastecem a cidade mineira de Ubá, pelo período de um ano, foram valorados em R\$1.299.481,30 (um milhão duzentos e noventa e nove mil quatrocentos e oitenta e um reais e trinta centavos). Como medida de compensação, sugere-se recuperação de área equivalente a 41,17 hectares de mata ciliar na mesma bacia hidrográfica em que ocorreu o dano ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de ETA. Estação de tratamento de água. Poluição hídrica, Valoração de dano ambiental.

Introdução

As estações de tratamento de água devem ser consideradas indústrias que têm a “água potável” como produto e o “lodo” como subproduto, de forma que a operação dessas ETAs não deve oferecer risco ou dano ambiental para atender à legislação pertinente quanto aos padrões ambientais.

Os resíduos gerados em ETAs vêm de água e de sólidos suspensos originalmente contidos na fonte de abastecimento (água bruta), acrescidos de produtos resultantes dos reagentes aplicados à água bem como suas impurezas durante o processo de tratamento. (RICHTER, 2001)

O lodo das ETAs é proveniente dos processos de floculação, decantação e filtração, além da água de lavagem dos filtros. Estudos de caracterização do lodo de ETAs apontam que, em geral, os valores dos parâmetros nos resíduos brutos ultrapassam os limites estabelecidos na legislação para lançamentos em cursos de água. (DN COPAM/CERH 01/2008 e Resolução Conama 430/2011)

Para lançar resíduos nos corpos d'água, faz-se necessário tratamento prévio a fim de adequar as características desses efluentes aos limites preconizados na legislação, de forma a não ocasionar poluição ou dano ambiental. Daí a importância de estudos para a disposição final correta do lodo, já que cada ETA gera lodo com características diferentes, dependendo do tratamento aplicado à água. Portanto, é preciso ter o conhecimento dessas características para se definirem os destinos adequados.

Destaque-se que, além da obrigação de atendimento aos padrões legais, os efluentes devem atender também ao enquadramento estabelecido para o respectivo trecho. Portanto, antes do lançamento no ambiente, deve-se proceder à remoção dos poluentes de forma a se adequar ao disposto na legislação vigente, que apresenta limites máximos toleráveis para diversos parâmetros tanto para os efluentes do processo de tratamento quanto para a classificação do corpo de água receptor, se for o caso.

Ademais, conforme o art. 3.º, III, "e" da Lei Federal 6.938/1981, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente, lançar matérias ou energia nos corpos de água em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos constitui poluição. (BRASIL, 1981)

Em geral, o conteúdo de sólidos totais no lodo de tanques de decantação varia entre 1.000 e 40.000mg/L (0,1% a 4%) e entre

40mg/L e 1.000mg/L (0,004% a 0,1%) na água de lavagem de filtros. (RICHTER, 2001)

Ainda segundo esse autor, 75-90% desses valores representam sólidos suspensos, 20-35% compostos voláteis, apresentando também uma pequena proporção de substâncias biodegradáveis e valores de pH próximos ao neutro.

Além dos sólidos, o lodo das ETAs caracteriza-se por conter resíduos como algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, coloides, areias, argilas, siltes, cálcio, metais (alumínio, ferro, magnésio, manganês, etc.) - Portella *et al.* (2003). Alguns desses metais são potencialmente tóxicos a organismos aquáticos.

O potencial tóxico de resíduos depende de características físico-químicas do curso d'água, mas principalmente do teor de metais dissolvidos, adsorvidos à fase sólida, complexados, etc., da qualidade/tipo/dosagem dos coagulantes e de outros produtos químicos, pH de coagulação e o tipo de tecnologia de tratamento (operações e processos). Muitas vezes, as concentrações dos metais presentes nesses resíduos extrapolam os padrões estabelecidos na legislação.

Os metais mais concentrados nos lodos das ETAs são alumínio e ferro. A presença desses metais pode ser atribuída ao uso de sulfato de alumínio e do cloreto férrico como coagulantes no processo de tratamento de água. Também o chumbo, cobre, manganês e níquel podem estar presentes em concentrações acima dos limites legais nos resíduos amostrados. (SARAIVA SOARES *et al.*, 2009)

Os contaminantes dos lodos de ETAs - principalmente os metais - podem ter suas concentrações reduzidas por meio de ações simples de controle de uso e dosagem. Adoção de medidas operacionais como, por exemplo, "jar-test" para determinar dosagens mais econômicas de coagulantes, objetivando adequar as concentrações de alumínio nos lodos, também devem ser consideradas. Outro fator é a escolha de maior grau de pureza conforme critérios da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) dos produtos químicos utilizados no tratamento de água, o que contribui para a

adequação das concentrações de metais nos lodos. Adotadas essas medidas de “tecnologias limpas”, deve-se proceder ao tratamento do resíduo final antes de seu lançamento no ambiente.

Quantificação e valoração do dano ambiental

As ETAs de Ubá operam na modalidade de tratamento de ciclo completo ou convencional e não dispõem de tratamento dos resíduos gerados no processo de potabilização da água. (Tabela 1)

Tabela 1 - Informações acerca das ETAs de Ubá

ETA	Manancial	Tipo de Tratamento	Coagulante	Tratamento Lodo
Peixoto Filho	Córrego Ubá Pequeno	Convencional	Sulfato de alumínio líquido	Não há
Miragaia	Ribeirão Ubá ⁴⁸	Convencional	Cloreto férrico	Não há

Fonte: Parecer Técnico de Meio Ambiente. IC 0699.17.001115-8; SGDP 2976047; SISCEAT 34603045, 2019.

De acordo com Mark Hammer e Andreoli (2006), o volume de lodo removido das unidades da etapa de clarificação da água não deve exceder a 5%. Destaque-se que cada ETA gera resíduos com características diferentes, em função da água bruta e do tratamento aplicado.

Em média, nas ETAs de Ubá a geração de resíduos corresponde a 1,5% da produção de água informada pela concessionária de saneamento por meio da CE 020/2015 - DPSE/DTAR (COPASA, 2020), bem como a densidade média do lodo gerado nas ETAs⁴⁹ e

48 Esse ponto de captação que se localizava na região de Pires da Luz foi alterado devido à contaminação por esgoto sanitário proveniente do bairro Santa Rosa. Atualmente, o ponto de captação situa-se a montante do ponto anterior.

49 Foi considerada a densidade de 1,236kg/m³ (valor médio para o lodo extraído da ETE, o qual, desidratado, possui uma concentração de sólidos de 30%) apresentada

o período de funcionamento das estações apresentado pela Arsae (2013)⁵⁰, estimados o volume e a massa anual de lodo. (Tabela 2)

Tabela 2 - Quantificação da massa de lodo gerada por ano nas ETAs de Ubá

ETA	Vazão de água tratada (m ³ /h) ⁵¹	Período de funcionamento ETA (h/dia) ⁵²	Volume de lodo líquido a ser tratado (m ³ /ano) ⁵³	Massa de lodo - base úmida (ton/ano) ⁵⁴	Massa seca de lodo - a ser disposto (ton/ano) ⁸
Miragaia	450	21	51.738,75	63,95	19,19
Peixoto Filho	663,6	23	83.563,83	103,28	30,98
Total	1.113,6		135.302,58	167,23	50,17

Para proceder à valoração, a metodologia considera os custos de operação/manutenção para tratamento (desidratação) e disposição final de lodo de ETA. Como referência, utilizou-se a memória de cálculo apresentada por Odebrecht Ambiental (valores-base 2015).

por RITCHER, Carlos A. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

50 ARSAE. Relatório de Fiscalização do Sistema de Abastecimento de Água da sede do município de Ubá. Disponível em: <http://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/rf_tec_op_saa_uba.pdf>.

51 COPASA Comunicação Externa 020/2015 - DPSE/DTAR, de 27/05/2015 (fls. 51/52 do IC).

52 ARSAE (2013) *apud* Parecer Técnico de Meio Ambiente - IC 0699.17.001115-8; SGDP 2976047; SISCEAT 34603045, de 22/5/2019.

53 Consideraram-se para fins de cálculo 365 dias por ano. Volume [m³/a] = vazão [m³/h] x percentual geração de lodo [1,5%] x 365 [d/a] x período de funcionamento ETA [h/d].

54 Massa [kg/a] = Densidade [kg/m³] x Volume [m³/a]. Foi considerada a densidade de 1,236 kg/m³ (ver nota 8).

Na composição dos custos operacionais foram considerados mão de obra, energia elétrica, produtos químicos e materiais (geobag) e manutenção, conforme documento em anexo e Tabela 3.

A metodologia de valoração utilizada neste Parecer Técnico consta na ABNT NBR 14653-6/2008 no item 8.6.1.4 - custos de controle evitados.

Tabela 3 - Custos de operação para o tratamento (desidratação) e disposição final de lodo de ETA

Tratamento (desidratação)	Ref.	Valores (R\$/ano)	Valores ajustados ⁵⁵ (R\$/ano)
Geobag com polímero	Odebrecht Ambiental (2015)	R\$979.443,3756	R\$ 1.291.542,51
Disposição final			
Aterro sanitário	Odebrecht Ambiental (2015)	R\$ 6.020,4057	R\$ 7.938,79
TOTAL			R\$1.299.481,30

A valoração dos danos pelo método de custos evitados resultou em um *quantum debeatur* de R\$1.299.481,30, que correspondem ao que o empreendedor deixou de gastar no controle (tratamento e disposição) dos resíduos gerados no processo de potabilização da água fornecida em Ubá e que foram indevidamente lançados nos cursos de água no período de um ano. Esse valor corresponde a R\$1,11/mês por habitante da área urbana.⁵⁸

55 Correção conforme fator de atualização monetária do TJMG por meio do mecanismo interno da CEAT/MPMG. Disponível em: <https://aplicacao.mpmg.mp.br/siscat/calcularAtualizacaoMonetaria.do>. Acesso em: 1.º set. 2020. Data do valor histórico: 1.º/1/2015; mês/ano de referência para atualização: agosto de 2020.

56 Valor obtido pela memória de cálculo da Odebrecht Ambiental, excluindo transporte e disposição de lodo, que corresponde a R\$ 718.100 para o tratamento de 99.200m³/ano de lodo de ETA.

57 Considerando R\$120/ton./ano de lodo desidratado – transporte e disposição final do lodo desidratado. Fonte: Odebrecht. Valores na base 2015.

58 Considerado a população urbana de Ubá (censo 2010, IBGE) de 97.636 habitantes.

Embora as ETAs de Miragaia e Peixoto Filho estejam operando há 29 anos e 41 anos, respectivamente⁵⁹, para fins de cálculos da valoração considerou-se o período de um ano.

Sugere-se que esse valor seja revertido na recomposição/recuperação de matas ciliares de cursos de água situados nas mesmas bacias hidrográficas em que o dano foi ocasionado.

Sugestão de medida de compensação

Resultados dos trabalhos apresentados pela Fundação SOS Mata Atlântica (2015)⁶⁰ e pela ANA (2013)⁶¹ refletem a influência da inadequada gestão das bacias hidrográficas, especialmente em áreas urbanizadas, sobre a deterioração da qualidade das águas superficiais, indicando a relevância de se preservarem os mananciais.

Em vistoria realizada pela CEAT em 12/4/2019 nas ETAs Miragaia e Peixoto Filho⁶² foram constatados processos erosivos e precária vegetação ciliar nas margens do Córrego Ubá Pequeno e Ribeirão Ubá, mananciais e receptores dos resíduos (lodo), sem prévio tratamento, gerados nos processos de potabilidade da água – Figuras 1 a 4.

A vegetação ciliar dos corpos de água desempenha função ambiental de extrema importância na manutenção da qualidade da água porque reduz processos erosivos (solapamento das

59 COPASA Comunicação Externa n.º 020/2015 - DPSE/DTAR. Miragaia: instalada em 1991 (2020 -1991 = 29 anos) e Peixoto Filho: instalada em 1979 (2020-1979 = 41 anos).

60 A Fundação SOS Mata Atlântica (2015) realizou um levantamento com a análise da qualidade da água em 301 pontos de coleta situados em 111 rios, córregos e 6 lagos de cinco estados brasileiros e o Distrito Federal. FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. Análise da qualidade da água 2015. São Paulo. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/projeto/rededasaguas/analisedaquilidadeaagua2015/>. Acesso em: 12 jun. 2015.

61 ANA (2013) apresentou relatório sobre a qualidade das águas no Brasil, baseado em dados coletados em 2011. ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013. Agência Nacional de Águas, 432 p., Brasília, DF, 2013.

62 Parecer Técnico de Meio Ambiente CEAT/MPMG - IC 0699.17.001115-8; SGDP 2976047; SISCEAT 34603045.

margens) e o assoreamento, estabilidade dos solos, regularização dos ciclos hidrológicos e conservação da biodiversidade. Também contribui para reduzir a velocidade das águas que chegam aos corpos de água, o que mantém a qualidade do recurso hídrico ao impedir a entrada de poluentes para o meio aquático. (SARAIVA SOARES et al., 2018)

Figura 1 - Canalização do córrego Ubá Pequeno a jusante da captação na área da ETA Peixoto Filho.



Fonte: dos autores.

Figura 2 - Detalhe da figura anterior. Nota-se o processo erosivo e ausência de mata ciliar.



Fonte: dos autores.

Figura 3 - Processo erosivo de área de preservação permanente do córrego Ubá Pequeno.



Fonte: dos autores.

Figura 4 - Outra vista da figura anterior.
Ao fundo, vista das instalações da ETA Peixoto Filho.



Fonte: dos autores.

Calculou-se, como medida de reparação pelos danos ocasionados pelo lançamento irregular dos resíduos gerados nas ETAs de Ubá, o custo de revegetação de áreas degradadas, tendo como referência estudo de recuperação de área degradada do Parque Sucupira realizado pela Faculdade UnB de Planaltina – FUP (RODRIGUES, 2016)

Tabela 4 - 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 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 segundo as normas vigentes.
Preparo do solo	Coveamento para plantio, propondo covas para todas as mudas com as dimensões de 45 x 45 x 60cm (largura x comprimento x profundidade).
Plantio de mudas	O plantio, preferencialmente na época chuvosa, com espaçamento de 3x2m, utiliza 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 subarborescente exótica, focando mais na redução da densidade da vegetação ao longo da linha de plantio das mudas.
Tutoramento	Fixação de tutores de bambu para suporte às mudas que também servirão para a fácil localização e monitoramento.
Calagem	Distribuição de 100g de calcário dolomítico por cova para corrigir a acidez do solo.
Adubação	Aplicação de 150g de adubo químico NPK 4:14:8 (4 partes de nitrogênio, 14 partes de fósforo e 8 partes de potássio), mais vinte litros de adubo orgânico (esterco de curral).
MANUTENÇÃO	
Adubação de cobertura	Adubação realizada no início do ciclo das chuvas de 30 a 90 dias pós-plantio.

IMPLANTAÇÃO	
Replanteio de mudas	Avaliação da sobrevivência e reposição e replanteio de mudas mortas 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 das atividades de implantação, manutenção e monitoramento por profissional técnico habilitado.

Custos totais

Cercamento: R\$19,24/m* 300m = R\$ 5.772/ha

Sinalização da área: R\$ 316,31/m² * 2 = R\$ 632,62/ha

Manejo de pragas: R\$ 84,21/ha

Preparo do solo: R\$ 3.230/ha

Insumos para preparo do solo e para o plantio das mudas (calagem, adubação, mudas): R\$ 12.765/ha

Plantio das mudas, coroamento, adubação e tutoramento: R\$ 5.871,50/ha

Manutenção (adubação de cobertura, combate a pragas e replanteio das mudas mortas): R\$ 3.015,20

Prevenção de incêndios: R\$190/ha

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

R\$ 5.772/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/ha =
R\$ 31.560,53/ha

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

Cálculo da área a ser compensada

A área a ser compensada considera o valor total da valoração dos danos ocasionados pelo lançamento irregular de resíduos das ETAs no ambiente e o custo estimado para recuperar um hectare. Logo, a área sugerida para ser recuperada é:

$$\text{Área} = \frac{\text{R\$1.299.481,30}}{\text{R\$31.560,35}} = 41,17 \text{ ha}$$

Sugere-se que a área a ser recuperada seja definida junto com a Secretaria de Meio Ambiente do município e Instituto Estadual de Florestas, preferencialmente na mesma bacia hidrográfica onde ocorreu o dano, conforme art. 1.º, V, da Lei 9.433/1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos).

Conclusão

O método utilizado pela concessionária de saneamento em Ubá para a potabilização da água gera resíduos (lodos) que podem causar poluição e, portanto, Dessa forma, esses resíduos (lodo) gerados no tratamento de água devem ser devidamente tratados e dispostos.

Os danos ocasionados pelo lançamento irregular de lodo das ETAs Miragaia e Peixoto Filho em cursos de água, pelo perí-

odo de um ano, foram valorados em R\$1.299.481,30 (um milhão duzentos e noventa e nove mil quatrocentos e oitenta e um reais e trinta centavos).

Como medida de compensação, sugere-se recuperação de área equivalente a 41,17 hectares de mata ciliar⁶³ na mesma bacia hidrográfica em que ocorreu o dano ambiental.

⁶³ área que pode variar em função dos custos envolvidos no caso concreto, como contenção de taludes/margens de cursos de água e outros.

Compensação ambiental por poluição hídrica: metodologia da Central de Apoio Técnico para a atuação do Ministério Público

Alexandra Fátima Saraiva Soares
Fabiano Palhares Silva
Luís Fernando de Morais Silva
Bárbara Janine Reis Silva Araujo
Thalles Henrique Rocha Claves

RESUMO: Muitos danos ambientais são irreversíveis, como é o caso daqueles ocasionados pelo lançamento irregular de esgotos sanitários nas águas, para os quais se impõe reparação, que pode e deve ser realizada via responsabilização civil pelo Ministério Público de forma conglobada, em face de todos os responsáveis pelo ocorrido, inclusive daqueles que se omitiram ante o dever de vigília que lhes era outorgado, considerando os fatores da singularidade dos bens ambientais atingidos. Diante disso, este trabalho apresenta uma metodologia, por meio de estudo de caso, para compensação dos danos ocasionados nos recursos hídricos, por lançamento de esgotos sanitários. Esse método vem sendo adotado pela Central de Apoio Técnico do Ministério Público mineiro e pode ser empregado pelos demais órgãos que cuidam da proteção ambiental.

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

Introdução

O Ministério Público é responsável pela fiscalização e até mesmo pela inauguração do litígio, quando se trata de normas protetoras ao meio ambiente, explica Lopes (2015).

A instituição traz consigo enorme responsabilidade na tutela ambiental devido às atribuições conferidas pela Lei 7.347/1985, que disciplina a Ação Civil Pública de responsabilidade por danos causados, entre outros, ao meio ambiente (art. 5.º, I). O Ministério Público tem a incumbência institucional 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. 6.º, §4.º, da Lei 4.717/1965; art. 5.º, § 1.º, da Lei 7.347/1985 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. 5.º, incisos I a V, da Lei 7347/1985). Ressalte-se que essa atribuição foi elevada ao nível constitucional por meio dos artigos 127 e 129, III, da CRFB/1988 (BRASIL,1985; BRASIL, 1988; BRASIL, 2015).

A missão constitucional é, portanto, tutela ambiental com grande relevância quando realizada sob a óptica preventiva, ainda que também seja possível sob a perspectiva repressiva. Há que se destacar que muitos danos ambientais são irreversíveis, como aqueles ocasionados pelo lançamento irregular de efluentes nos corpos de água.

Nesses casos concretos, não há como reverter a situação fática ao *status quo ante*. Impõe-se a reparação a mais abrangente possível pelo poluidor, que pode ser realizada via responsabilização civil pelo Ministério Público considerando os fatores da singularidade dos bens ambientais atingidos.

A reparação *in situ* é para a reabilitação dos bens naturais do local originalmente degradado na forma ideal e completa de reparação. A recuperação *in natura*, realizada mediante imposição de obrigações de fazer, busca recuperar a capacidade funcional do ambiente degradado a fim de 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. (UEM, 2008)

Para Catalá (1998), a recuperação *in natura* deve ser a opção prioritária. Enfatize-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.

A compensação constitui forma de restauração natural do dano ambiental a áreas, objetos, bens diferentes daqueles degradados, mas com a maior proximidade possível de equivalência ecológica. O objetivo não é a restauração ou a reabilitação dos bens naturais afetados, mas sim a substituição por bens equivalentes ou que contribuam para a manutenção do ecossistema afetado.

A compensação apresenta evidentes vantagens em relação à indenização e deve ser priorizada por causa da preservação ambiental e por permitir que a sociedade usufrua do bem de uso comum. (MPMS, 2018)

A adoção de medidas compensatórias constitui alternativa plausível à prévia quantificação para posterior valoração dos danos.

A Lei 9.433/1997, art. 1.º, V, estabelece 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 (BRASIL,1997).

Nesse aspecto, a mata ciliar desempenha importante função ambiental: reduz o assoreamento e a força das águas que chegam aos rios, lagos e represas, impede a entrada de poluentes no meio aquático, promove a estabilidade dos solos, regulariza os ciclos hidrológicos e conserva a biodiversidade.

A metodologia para compensação dos danos ocasionados nos recursos hídricos por lançamento de esgoto sanitário que vem sendo adotada pela Central de Apoio Técnico do Ministério Público de Minas Gerais (CEAT/MPMG) se alinha, pois, ao fundamento

da Política Nacional de Recursos Hídricos que estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial para implantação dessa política de tutela.

Neste contexto, este trabalho se propõe a recuperação da cobertura vegetal das áreas de preservação ambiental, especificamente das matas ciliares degradadas da sub-bacia hidrográfica do ribeirão da Bocaina, situada no município de Passos, e da bacia do Rio Grande.

Metodologia

Trata-se de pesquisa quantitativa e aplicada, com procedimento de estudo de caso (UFRGS, 2009).

Área de estudo

A sub-bacia do ribeirão da Bocaina, situada no município mineiro de Passos, inserida na porção centro-nordeste, conforme aferição e delimitação da bacia com base na carta topográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, MPCG; IBGE (1971), para as coordenadas planas, *Datum* SIRGAS2000, assim como o quadrante representado no encarte do mapa da Figura 2 – coordenadas do canto superior esquerdo $X=332000$; $Y=7712000$ e canto inferior direito para $X= 339200$; $Y= 7706000$.

O ribeirão da Bocaina e sua rede de drenagem, cujo perímetro da bacia é de 126 quilômetros, compõe a bacia hidrográfica do médio Rio Grande. A altitude média é de aproximados 800m, com altitude mínima de 665m, para seu exutório e máxima de 1.119m.

O município dispõe de estação de tratamento de esgoto (ETE) que teve operação ineficiente por um determinado período, o que implicou a ocorrência do dano ambiental valorado neste estudo.

Valoração e estimativa da área a ser recuperada

Na valoração do dano ambiental, a metodologia considera os custos de operação e manutenção apresentados por von Sperling (2014) para um sistema de tratamento que utiliza reator UASB, mesma técnica adotada no sistema de tratamento de Passos. Intitulado na ABNT NBR 14653-6/2009 como 8.6.1.4 - custos de controle evitados, esse método consiste em “valorar danos ambientais por meio da estimativa dos gastos necessários que foram evitados para controlar ou minimizar as atividades ofensivas ao meio ambiente” (ABNT, 2009).

Para fins de quantificação e de valoração do dano, foram considerados:

- ▶ As violações referentes à matéria orgânica biodegradável expressa em Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).
- ▶ Período (ineficiência do sistema de tratamento) de 315 dias ou 0,863 ano de violação.
- ▶ Custo mínimo de operação/manutenção referente ao sistema UASB, segundo von Sperling (2014).
- ▶ População atendida pela ETE: 123.995 hab.

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 mesma bacia hidrográfica onde ocorreu a poluição hídrica, foi obtida por meio da divisão da valoração pelo custo de recuperação de 1 hectare do bioma.

Elaboração dos mapas

A delimitação das áreas de preservação permanente ao longo do ribeirão da Bocaina, a montante da estação de tratamento, bem como ao entorno das nascentes dos tributários do ribeirão. Por meio do *software ArcGIS 10.2 para desktop* e de seu aplicativo *ArcMap* na versão 10.2.0.3348, foram definidos o sistema de projeção e *datum*, respectivamente, *Universal Transverso de Mercator* (UTM) e SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). Procedeu-se à localização da estação de tratamento, referenciando *shapefile* no formato ponto e, depois da aferição da hidrografia e das adaptações necessárias ao desenho dos meandros do ribeirão da Bocaina (vide a representação em carta topográfica do IBGE), foram delimitadas as extensões das áreas de preservação permanente com base tanto nas faixas marginais do curso d'água principal, em pontos de onde se observa a degradação da vegetação, quanto nas 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 (30m) e raio de 50m para o caso das nascentes, conforme Brasil (2012).

Resultados:

A valoração dos danos está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Valoração ambiental dos danos

Período (dias)	Período (Ano)	Pop. (hab.)	Custo médio de operação e manutenção R\$/hab.ano*	Valor Total (R\$)*	Valor Total Atualizado (R\$)*
315	0,863	123.995	6,00 ^a	642.046,11 ^b	834.884,15 ^c

OBS.: *Valores apresentados para 2014. a) von Sperling (2014); b) R\$ 6 x123.995 hab. x (315/365) ano; c) Correção conforme fator de atualização monetária do TJMG por meio do mecanismo interno da CEAT/MPMG. Disponível em: <https://aplicacao.mpmg.mp.br/siscat/calcularAtualizacaoMonetaria.do>. Acesso em: 21 jun. 2018. Data do valor histórico janeiro/2014; mês/ano de referência para atualização: junho/2018.

Medida de reparação

Como medida de reparação aos danos ocasionados pelo lançamento irregular de esgotos sanitários no ambiente, 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).

Custos totais

Cercamento: R\$19,24/m* 300m = R\$ 5.772/ha

Sinalização da área: R\$ 316,31/m² * 2 = R\$ 632,62/ha

Manejo de pragas: R\$ 84,21/ha

Preparo do Solo: R\$ 3.230/ha

Insumos para preparo do solo e para o plantio das mudas (calagem, adubação e mudas):

R\$: 12.765/ha

Plantio das mudas, coroamento, adubação e tutoramento: R\$5.871,50/ha

Manutenção (adubação de cobertura, combate de pragas e replantio das mudas mortas): R\$ 3.015,20.

Prevenção de incêndios: R\$190/ha

O custo total da recomposição da flora nativa é de:

R\$ 5.772/ha + R\$ 632,62/ha + R\$ 84,21/ha + R\$ 3.230/ha + R\$: 12.765/ha + R\$5.871,50/ha + R\$ 3.015,20 + R\$190/ha = **R\$ 31.560,53/ha.**

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

Cálculo da área a ser compensada

A área a ser compensada considera o total da valoração dos danos ocasionados pelo lançamento irregular de esgotos no ambiente e o custo estimado para recuperar um hectare. Logo:

$$\text{Área a ser recuperada} = \frac{R\$834.884,15}{R\$ 31.560,53/ha} \cong 26,45ha$$

A Figura 2 apresenta sugestão de áreas de mata ciliar a serem recuperadas.

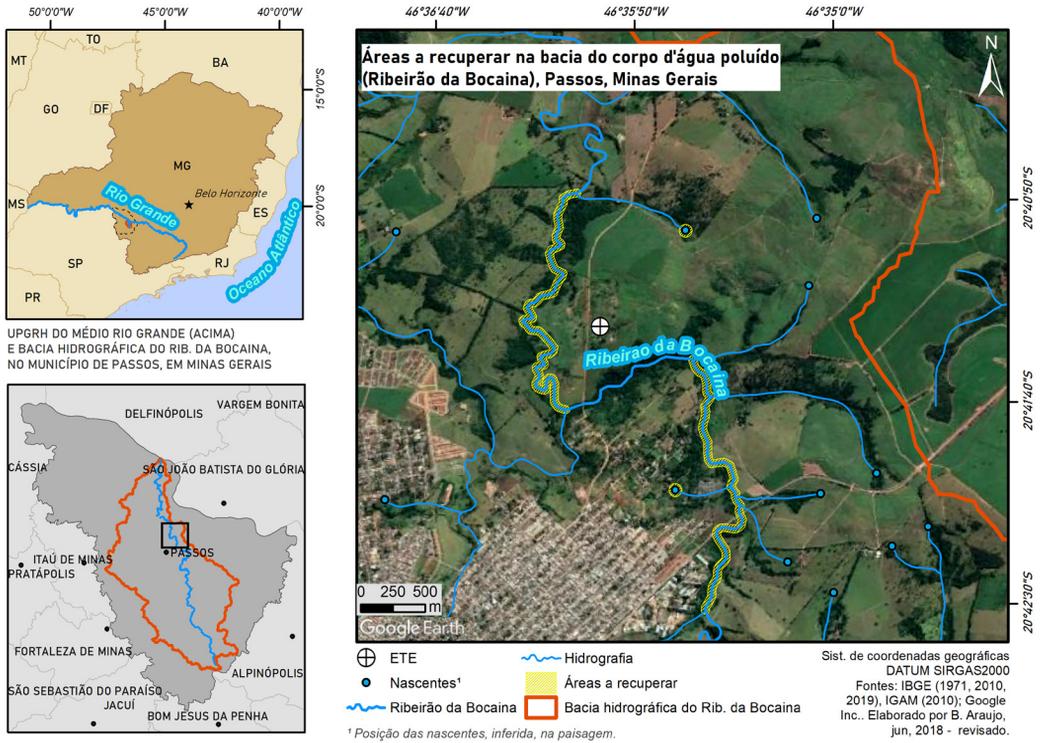


Figura 2 - Sugestão de áreas a recuperar na bacia hidrográfica do corpo de água poluído.

Instrumentos jurídicos

Estimada a quantificação do dano, cujo custo de recuperação para a área a ser compensada é fixado por um indexador (no caso, 1 hectare), passa-se às tratativas para efetivar a obrigação reparatória.

O Ministério Público tem buscado os meios consensuais de resolução de conflitos ambientais para que se evitem a demora do combate processual e os altos custos envolvidos em uma lide judicial.

Ressalte-se que, dada a característica atemporal do meio ambiente, o que demanda compromisso inarredável do poder público e da sociedade na preservação dos bens ambientais, o Superior Tribunal de Justiça editou a Súmula 613, segundo a qual “não se admite a aplicação da teoria do fato consumado em tema de Direito Ambiental”. (STJ, 1.^a Seção, aprovada em 9/5/2018, DJe 14/5/2018)

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, não se convalidará pelo decurso do tempo, porquanto no sopesar entre segurança jurídica e preservação do meio ambiente, este deve vigorar. É a materialização do princípio da responsabilidade intergeracional previsto no *caput* do art. 225 da CF/1988 (BRASIL, 1985).

De toda sorte, a celeridade nas providências de tutela do meio ambiente é crucial para evitar sequelas negativas da conduta combatida bem como para se garantir que, mesmo que não seja possível uma recuperação integral, a composição dos danos ocorra a tempo e modo satisfatórios, especialmente pelo seu caráter educativo e inibidor de ulteriores práticas degradadoras.

Nesse sentido, a resolução consensual parte de uma premissa diversa do litígio judicial. Em vez de uma disputa em que o interesse de um anula o do outro, há uma afluência que possibilita tomada de decisão conjunta para recuperação do dano ambiental. Para Sampaio *et al.* (2016):

Os meios denominados ADR [*Alternative Dispute Resolution*, movimento social ocorrido nos EUA na década de 1960] seguiam como orientação para a superação da antiga perspectiva focada na visão “vencer ou perder” preconizada nas ações judiciais, para uma perspectiva de “equilíbrio de interesses”. (2016, p. 41)

Em se tratando de meio ambiente, pode-se pensar que, dada a singular natureza difusa, sendo bem de uso comum, a cuja obrigação de tutela responde tanto o poder público como a coletividade, não haveria de fato litígio, já que o interesse assiste a todos os envolvidos.

Ocorre que essa não é a realidade vivenciada no ordenamento jurídico pátrio. Tanto o particular como o público normalmente não são receptivos em reconhecer sua responsabilidade ambiental. Isso se dá porque há dispêndio de recursos financeiros para a proteção e/ou recuperação do meio ambiente, o que leva os responsáveis, por desconhecer o inestimável valor dos bens ambientais e do ganho de qualidade de vida envolvido, a serem refratários a assumir espontaneamente a obrigação.

Em pesquisa realizada com membros do Ministério Público de Minas Gerais, Sampaio *et al.* (2016 p. 140) informa que 57,1% dos selecionados consideraram que a solução extrajudicial não é a mais efetiva porque “as empresas e os órgãos do Poder Executivo são relutantes em negociar com o Ministério Público.”

Ainda assim, 78,3% dos entrevistados consideraram “a solução extrajudicial mais rápida/eficiente”. De fato, é importante evidenciar aos envolvidos os benefícios econômicos e sociais que máxime se protraem no tempo quando se trata de proteção ambiental. Nessa toada, Ana Dantas Mendez de Matos, ao citar Ortiz e Seroa da Motta, explica que:

[...] do ponto de vista econômico, o valor relevante de um determinado recurso ambiental é aquele importante para sua tomada de decisão, ou seja, é a contribuição do recurso para o bem-estar social (ORTIZ, 2003). Para Seroa da Motta (1988), o valor econômico de um recurso ambiental existe na medida em que seu uso altera o nível de produção e consumo da sociedade.

[...] Ortiz (2003) propõe que os valores de uso direto de um recurso ambiental estejam associados à utilização e ao consumo direto do recurso no presente. Os valores de uso indireto são relacionados com os bens e serviços ambientais gerados por funções ecossistêmicas do recurso ambiental apropriadas e consumidas indiretamente no presente. Já os valores de opção correspondem ao uso direto e indireto do recurso ambiental no futuro, isto é, garantir que esse recurso exista caso se opte por usá-lo no futuro. O valor de não uso, ou valor de existência, não está relacionado com o valor de uso atual, nem futuro do recurso ambiental, mas com a satisfação pessoal de saber que o recurso simplesmente existe e está lá. Ele reflete questões morais, culturais, éticas e altruísticas. (2006, p. 21 e 22)

Em se tratando de compensação por dano ambiental ocasionado por estação de tratamento de esgoto que teve operação ineficiente por um determinado período, é possível pleitear a responsabilização do poder público por ação direta, quando for ele o responsável pela ETE, ou por omissão, quando ausente em seu dever fiscalizatório e de tutela do meio ambiente. Este é, inclusive, o entendimento do STJ:

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, § 4.º, 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 1.º 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, § 4.º, 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 15/5/2018, DJe 21/5/2018)

Ensina Carvalho Filho (2005) que o Estado é responsável quando há o dever legal de impedir a ocorrência do dano. O administrativista em questão defende a responsabilidade omissiva do Estado substanciada em elementos de culpa quando da responsabilidade administrativa, isto é, negligência em cumprir o dever legal 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 respon-

sabilização decorre do texto constitucional (art. 225), bem como de disposições legais (art. 2.º inciso I e 3.º, inciso IV, da Lei 6.938/1981), 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. 3.º, inciso IV, da Lei 6.938/1981), seja pela via subjetiva, ante a negligência em cumprir o dever legal de guarda do meio ambiente (art. 225 da CRFB/1988).

Por conseguinte, estabelecidos os benefícios econômicos e sociais em se efetivar a compensação e, no caso, fixar a responsabilidade do poder público para, consensualmente, revegetar a área degradada, é possível adotar o compromisso de ajustamento de conduta como instrumento apto à concretização dessa finalidade.

Tal instituto, previsto no art. 5.º, § 6.º, da Lei 7.347/1985, disciplinado na Resolução 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, evitando-se a judicialização.

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, caso tenha sido homologado previamente em juízo (art. 515, inciso III, do CPC).

A natureza de tal 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/1988, entendimento adotado pelo Supremo Tribunal Federal:

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 24/5/2017, PROCESSO ELETRÔNICO REPERCUSSÃO GERAL - MÉRITO DJe-204 DIVULG 8-9-2017 PUBLIC 11-9-2017) (grifo nosso)

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

Conclusão

O dano ambiental ocasionado pelo despejo de esgoto sanitário que não atendeu aos padrões de lançamento previstos na legislação pertinente, por 315 dias, foi valorado em R\$ 834.884,15. Esse valor foi convertido para compensar a poluição hídrica por meio da recupe-

ração de 26,45 hectares de mata ciliar na mesma bacia hidrográfica onde se constatou o dano.

Observou-se, também, disciplina jurídica para concretização da compensação apresentada no presente trabalho. Trata-se de metodologia hábil a ser utilizada pelo Ministério Público, especialmente porque a obrigação de fazer em face do município – adequação da ETE e revegetação de área desmatada como medida compensatória –, assumida no âmbito do compromisso de ajustamento de conduta, surte melhor efeito prático em benefício da sociedade e da preservação ambiental.

Valoração dos danos aos recursos hídricos decorrentes dos resíduos da barragem de mineração em Brumadinho/MG

Alexandra Fátima Saraiva Soares
Paula Santana Diniz
Luís Fernando de Moraes Silva

RESUMO: O dano ambiental ocasionado por rompimento de barragem de rejeito de mineração, com comprometimento da qualidade da água superficial para fins de abastecimento público, aplica-se ao estudo de caso para demonstrar a metodologia de valoração ambiental. A barragem B1, situada no Complexo da Mina Córrego do Feijão em Brumadinho, Minas Gerais, Brasil, desde o rompimento da estrutura em 25 de janeiro de 2019, propiciou o extravasamento dos rejeitos de mineração, que atingiu o Rio Paraopeba e comprometeu a qualidade das águas pelo aporte de poluentes, quando foram suspensas as captações nesse manancial para fins de abastecimento público. Daí, procedeu-se à caracterização, quantificação e valoração dos danos advindos dessa poluição, cujo método consistiu em aplicar a formulação do Valor Econômico do Recurso Ambiental incluída pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 14.653-6:2008. Para cálculo do valor de uso direto, utilizou-se como referência a tarifa média de mercado do serviço público de fornecimento de água potável referente a 2019, apresentado pelas empresas prestadoras de serviços de abastecimento na região atingida. Já para o cálculo do valor de uso indireto, considerou-se o conceito de emergência, que considera serviços ecossistêmicos e corresponde à energia solar que foi previamente requerida, de forma direta ou indireta, para produzir o recurso hídrico afetado. O método de valoração utilizado resultou em um *quantum debeat* equivalente a R\$ 4.791.573,53 por dia. A

sugestão é que esse valor seja acumulado, até que se retomem as captações no Rio Paraopeba para fins de abastecimento público.

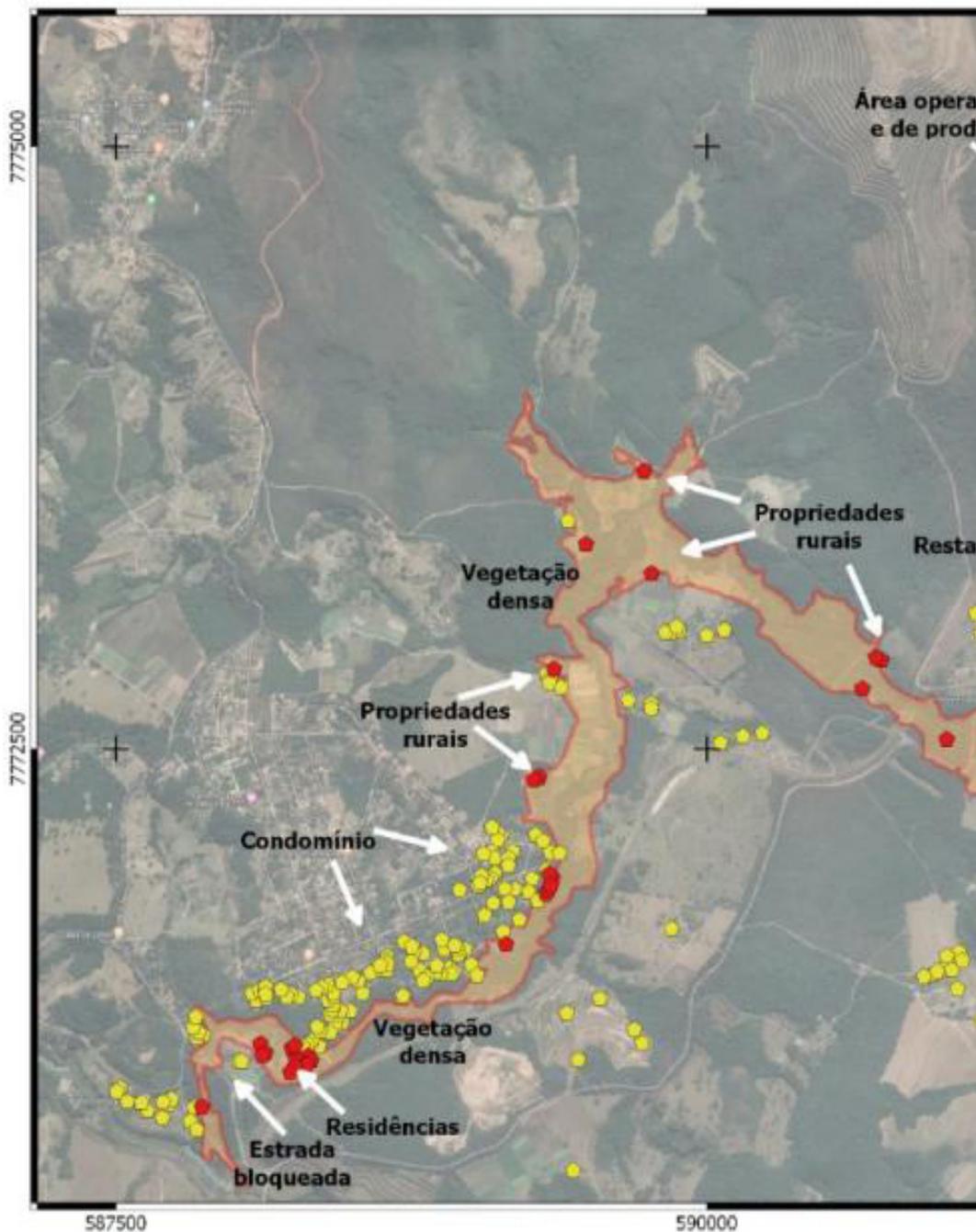
PALAVRAS-CHAVE: Resíduo de mineração. Valoração ambiental. Poluição hídrica. Dano ambiental. Barragem B1.

Introdução

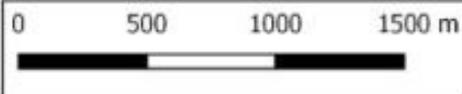
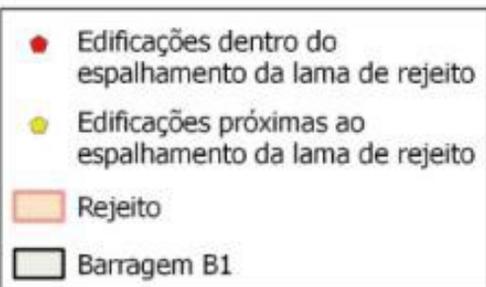
O município de Brumadinho, população estimada de 39.520 habitantes em 2018 (IBGE, 2019), localiza-se na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, e tem como principal atividade econômica a mineração de ferro, que gera resíduos no processamento. No caso, esses resíduos são acondicionados a úmido em barragens, com risco de rompimento, especialmente devido ao método construtivo com técnicas de alteamentos *a montante*.

Assim, em 25 de janeiro de 2019, a barragem de rejeitos B1 do Complexo da Mina Córrego Feijão situada em Brumadinho rompeu-se, liberando para o ambiente grande volume de lama. A barragem possuía volume de 12,7 milhões de metros cúbicos na ocasião do acidente. Diversas edificações foram afetadas pelos resíduos, conforme ilustra a Figura 1, resultando, até 25/4/2019, em 233 óbitos e 37 desaparecidos, além de dano ambiental de elevada dimensão e repercussão.

EDIFICAÇÕES AFETADAS E PRÓXIMAS AO ESPALHA BARRAGEM B1 DA MINA CÓRREGO DO FEIJÃO



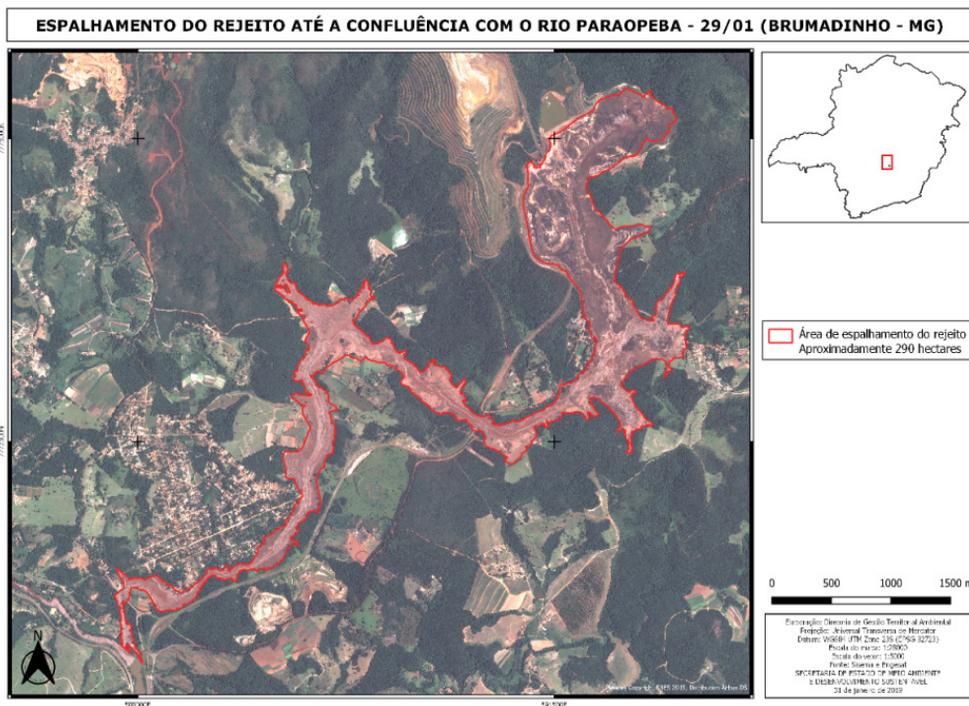
AMBIENTE DO REJEITO DA (BRUMADINHO-MG)



Elaboração: Diretoria de Gestão Territorial Ambiental
Datum: Sirgas 2000 UTM Zone 23S (EPSG: 31983)
Fonte: Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.
SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
29 de janeiro de 2019

Além de perdas de vidas humanas, os rejeitos da barragem ocasionaram impactos negativos nos âmbitos sociais e ambientais devido principalmente à perda de vegetação e à alteração da qualidade das águas superficiais da bacia do Rio Paraopeba, que constitui importante manancial de abastecimento da capital mineira e de outras cidades.

A Figura 2 ilustra o espalhamento do rejeito em Brumadinho até a confluência com o Rio Paraopeba.



Fonte: SEM7AD, 2019.

Figura 2 - Mapa do espalhamento do rejeito em Brumadinho.

Metodologia

Trata-se de pesquisa aplicada com apresentação de estudo de caso para a caracterização, quantificação e valoração dos danos.

A caracterização dos danos se baseou nos dados disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) referentes aos resultados dos parâmetros de qualidade das águas monitorados no período de 25/1/2019 a 3/2/2019, ao longo do Rio Paraopeba, pós-rompimento da barragem B1 (IGAM, 2019).

A rede de monitoramento de qualidade das águas e sedimento do IGAM tem dez estações (Quadro 1).

Quadro 1 – Localização das estações automáticas de monitoramento

PONTO	LOCALIZAÇÃO
BP-036	Rio Paraopeba na localidade de Melo Franco
BPE-1	Córrego Ferro e Carvão na confluência com o Rio Paraopeba
BPE-2	Rio Paraopeba na captação da Copasa
BP-068	Rio Paraopeba, 5km a jusante da captação da Copasa em Brumadinho
BP-070	Sarzedo, próximo à cidade de São Joaquim de Bicas, no Rio Paraopeba a jusante da foz do Ribeirão
BP-072	Rio Paraopeba a jusante da foz do Rio Betim, na divisa dos municípios de Betim e de Juatuba
BP-082	Rio Paraopeba na localidade de São José, em Esmeraldas
BP-083	Rio Paraopeba logo depois da foz do Ribeirão São João em Paraopeba
BP-078	Rio Paraopeba a jusante da foz do Rio Pardo em Pompéu
BP-099	Rio Paraopeba a montante de sua foz na barragem de Três Marias

Fonte: IGAM, 2019

Na avaliação e quantificação dos danos ocasionados pela contaminação dos recursos hídricos, foram desconsiderados os resultados dos parâmetros monitorados na Estação BP-036, uma vez que se encontra a montante da área onde ocorreu o lançamento dos rejeitos (lama).

Os resultados do monitoramento das águas superficiais se comparam aos padrões de referência estabelecidos para Classe 2 na Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH-MG N.º 1, de 5 de maio de 2008, e Resolução Conama 357/2005, que dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o enquadramento e para a identificação dos poluentes responsáveis pelos impactos negativos ao Rio Paraopeba depois do rompimento da barragem B1. (MINAS GERAIS, 2008; CONAMA, 2005)

Valoração econômica dos danos

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 14653 – Parte 6 (ABNT, 2009).

Assim, o valor econômico de um recurso ambiental (VERA) compreende a soma dos valores de uso e de não uso, da seguinte forma:

$VERA = VUD + VUI + VO + VE$, onde:

VUD = Valor de Uso Direto

VUI = Valor de Uso Indireto

VO = Valor de Opção

VE = Valor de Existência ou Valor de Não Uso

O Decreto 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 a biodiversidade inclui valor de uso direto e indireto, opção de uso futuro e, ainda, valor intrínseco, para inserir os valores ecológico, genético, social, econômico, científico, educacional, cultural, recreativo e estético. (BRASIL, 2002)

No cálculo desta valoração, foram utilizados o Valor de Uso Direto (VUD) e o Valor de Uso Indireto (VUI) dos recursos hídricos afetados.

Cálculo do VUD

O Valor de Uso Direto (VUD) baseou-se no valor de mercado estabelecido para o benefício advindo da utilização das águas do Rio Paraopeba, pós-tratamento, como manancial de abastecimento.

Tendo em vista que a água constitui importante insumo econômico, o cálculo inicial se baseou em dados de projeto da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa) e da concessionária Águas de Pará de Minas. Apurou-se, assim, o volume em m³ por dia de água do Rio Paraopeba que ficou indisponível à população abastecida por este manancial desde a interrupção de sua captação em 25/1/2019.

Posteriormente, o VUD foi obtido por meio da tarifa média, expressa em R\$/m³, estabelecida para o serviço de abastecimento pela Copasa em 2019.

Cálculo do VUI

Para a estimativa do Valor de Uso Indireto (VUI) pelo conceito de energia, o valor monetário dos serviços ambientais afetados pelo lançamento da lama de rejeitos no Rio Paraopeba foi quantificado pela metodologia denominada no meio científico de Emergética ou Ecoenergética. (ODUM, 1996; PILLET, 1997)

Assim, para a determinação do Valor de Uso Indireto (VUI), associou-se o serviço ambiental ao recurso natural água superficial contaminada pelo lançamento dos rejeitos (lama) oriundos da barragem B1.

A energia do serviço ambiental e seu respectivo valor monetário foram quantificados, inicialmente, por meio da estimativa das emissões no Rio Paraopeba de sólidos em suspensão totais (SST), em kg/dia, presentes na lama. Em seguida, foi determinada a massa de água, em kg/dia, utilizada para a diluição do parâmetro SST até o padrão de referência, estabelecido para Classe 2, na Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH-MG n.º 1, de 5 de maio de 2008, e Resolução Conama 357/2005, que dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento (MINAS GERAIS, 2008; CONAMA, 2005).

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 (sólidos em suspensão totais), a qual foi convertida, posteriormente, em uma medida emergética equivalente (SeJ/dia), por meio do fator de conversão de energia em energia (energia solar incorporada), denominado Transformidade Solar ou Índice de Transformidade, expresso em energia 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, 2000)

Finalmente, a energia do serviço ambiental associada à massa de água foi obtida, em termos monetários (dólar), pelo índice de equivalência energia/dólar ($3,0 \times 10^{12}$ SeJ/U\$), determinado para o Brasil por Ortega (2000). Esse índice permite comparar a energia do serviço afetado à energia do dinheiro que circula no país em determinado ano, o que possibilita a conversão dos valores de energia solar em dinheiro. Posteriormente, para a determinação dos valores em reais (R\$), aplica-se o câmbio atual.

Resultados

Caracterização dos danos – Contaminação dos recursos hídricos

Serão discutidos, a seguir, resultados dos principais parâmetros analisados nas Estações de Monitoramento do IGAM que ultrapassaram os padrões ambientais no período considerado, os quais permitem avaliar as possíveis alterações do corpo d'água do Rio Paraopeba, em função das características do rejeito e do volume de material sólido transportado pela lama.

Em 26 de janeiro de 2019, primeiro dia depois do desastre, foram observadas as maiores concentrações para os parâmetros turbidez, sólidos em suspensão totais, cor verdadeira, ferro dissolvido, manganês total, alumínio dissolvido, mercúrio total e chumbo total. De maneira geral, esses valores apresentaram redução ao longo dos dias. Contudo, ainda são constatadas violações ao limite de Classe 2 estabelecido na legislação vigente.

Turbidez

A turbidez é uma característica física da água decorrente da presença de substâncias em suspensão, ou seja, de sólidos suspensos finamente divididos ou em estado coloidal e de organismos microscópicos. Esses sólidos interferem na penetração da luz no meio aquático. A aparência turva e, conseqüentemente, a redução da zona eufótica dos cursos d'água, prejudica o processo de fotossíntese e a sobrevivência da biota aquática (BAIRD, 2002).

A turbidez pode ser expressa por meio de unidades de turbidez (uNT), sendo considerada um dos principais parâmetros para a seleção da tecnologia de tratamento da água bruta e controle operacional dos processos de tratamento destinados à produção de água potável.

Na água potável, a turbidez é esteticamente desagradável e o seu principal inconveniente sanitário está associado à natureza química de certos sólidos em suspensão que podem estar presentes.

Saliente-se que, como os rejeitos de minério de ferro que atingiram o Rio Paraopeba contêm grande quantidade de lama e sedimentos de coloração marrom avermelhada, a qualidade da água dos municípios que captavam nesse curso d'água foi comprometida, principalmente, devido aos elevados índices de turbidez, impossibilitando o tratamento e acarretando, portanto, desde 25 de janeiro de 2019, em virtude do rompimento da barragem B1, a total interrupção do uso deste manancial para qualquer finalidade.

Sólidos em suspensão total

Cabe reforçar que os sólidos em suspensão podem ocasionar a turbidez das águas, dificultar a passagem dos raios solares, comprometer a atividade fotossintética e, conseqüentemente, o ecossistema aquático. Os sólidos também contribuem para o assoreamento dos cursos d'água e podem causar asfixia nos peixes por entupimento das vias respiratórias. Saliente-se que este parâmetro constitui o poluente que mais impactou negativamente a água do Rio Paraopeba em razão do rompimento da barragem B1.

Manganês

As concentrações de manganês violaram, no período analisado, o padrão ambiental (0,1mg/L), bem como ultrapassaram o máximo valor da série histórica do Projeto Águas de Minas do Rio Paraopeba nas Estações de Monitoramento atingidas pela lama de rejeitos. Ressalte-se que este parâmetro é um dos componentes do rejeito que era armazenado na barragem B1 e sua presença, em quantidades excessivas, é indesejável em mananciais de abastecimento público como o Rio Paraopeba, por conferir cor e sabor às águas.

Chumbo total

As concentrações de chumbo total ultrapassaram os limites estabelecidos pela legislação vigente nos primeiros dias pós-rompimento. Entretanto, de acordo com os resultados obtidos no monitoramento em 3 de fevereiro de 2019, já estão a atender os padrões ambientais.

Alumínio e ferro dissolvidos

A violação das concentrações de alumínio e de ferro dissolvidos foi observada no trecho entre Esmeraldas e Pompéu das estações BP082, BP083, BP078 e BP099. Entretanto, alterações desses parâmetros já eram observadas na série histórica de monitoramento do IGAM por estarem presentes na constituição do solo da região.

Mercúrio total

O mercúrio foi o único metal pesado detectado em 3/2/2019, na Estação BPE2 (Rio Paraopeba na captação da Copasa), em concentrações acima do padrão ambiental. Segundo a caracterização do rejeito da barragem B1 apresentada na documentação do licenciamento ambiental da Mina do Córrego do Feijão, o mercúrio não está presente na composição da lama. De um modo geral, contaminações desse metal estão relacionadas à extração do ouro ou à atividade garimpeira.

Valoração econômica - recursos hídricos

Valor de Uso Direto - VUD

Consiste no valor que o indivíduo atribui a um recurso ambiental em função do bem-estar que ele proporciona por meio do uso direto na forma de extração de recurso, de visitação ou outra atividade de produção ou de consumo.

Em consonância com o Comunicado à Imprensa divulgado pelas Secretarias de Estado de Saúde (SES), de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad), e de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Seapa), baseado no monitoramento de qualidade de água bruta realizada pelo Governo de Minas depois do rompimento da Barragem I (Mina do Feijão em Brumadinho), foi suspensa a captação de água para abastecimento público no Rio Paraopeba pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa) e pela empresa Águas de Pará de Minas.

Em face do exposto, pode-se dizer que, além de fundamental à vida, a água também constitui um importante insumo econômico. Aliás, o seu valor de uso direto (VUD) foi estimado com base no valor de mercado estabelecido para o benefício advindo da sua utilização pós-tratamento.

Considerando as informações da Copasa e os dados de projeto da concessionária Águas de Pará de Minas, o cálculo do volume diário que ficou indisponível à população abastecida por este manancial, em virtude da interrupção da captação, encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Volume indisponível pós-interrupção da captação do Rio Paraopeba.

EMPRESA	CAPTAÇÃO - RIO PARAOPEBA (L/s)	VOLUME INDISPONÍVEL (m ³ /dia)
COPASA	5.000	432.000
ÁGUAS DE PARÁ DE MINAS	3.000	259.200
TOTAL	8.000	691.200

Fonte: MPMG, 2019.

O VUD utilizou a tarifa média de mercado a R\$ 5,42 por m³, referente ao serviço público de abastecimento de água, estabelecida em 2019 pela Copasa. (Tabela 2)

Tabela 2 – Valor de Uso Direto (VUD)

EMPRESA	VOLUME INDISPONÍVEL (m³/dia)	TARIFA (R\$/m³)	CUSTO (R\$/dia)
COPASA	432.000	5,42	2.341.440,00
ÁGUAS DE PARÁ DE MINAS	259.200	5,42	1.404.864,00
TOTAL	691.200	-	3.746.304,00

Fonte: MPMG, 2019.

Portanto, o VUD corresponde a R\$ 3.746.304 por dia.

Valor de Uso Indireto – VUI

É o valor atribuído a um recurso ambiental em virtude de as funções ecossistêmicas de bens e serviços garantirem o bem-estar de toda a sociedade.

Esses serviços estão intimamente relacionados ao equilíbrio ecológico, especificamente na estrutura e nas funções do ecossistema, que podem ficar comprometidos pela entrada de poluentes.

Dessa forma, os desequilíbrios ecológicos são diretamente relacionados às degradações dos serviços ecossistêmicos que, por sua vez, resultam em prejuízos e perdas que a sociedade tenta evitar ao estabelecer medidas de controle das emissões e ao monitorar a qualidade dos diferentes meios da biosfera. (ULGIATI, S. & BROWN, M.T., 2002)

Assim, a avaliação dos efeitos 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. Os serviços ecossistêmicos ora analisados são aqueles relacionados ao lança-

mento dos rejeitos da barragem B1 da Mina do Córrego do Feijão nas águas do Rio Paraopeba.

Os principais impactos negativos dos poluentes lançados no Rio Paraopeba estão relacionados ao aporte de sólidos no ambiente aquático. Portanto, no que diz respeito às interferências sobre os recursos hídricos, os serviços ecossistêmicos afetados podem ser quantificados, em termos da energia necessária à diluição dos rejeitos, até o nível máximo permitido para o parâmetro Sólidos em Suspensão Totais (SST) nas águas do rio, enquadrado na Classe 2.

Para fins da quantificação do dano ambiental à qualidade das águas, considerou-se o trecho do Rio Paraopeba compreendido entre o ponto onde o rejeito (lama) atingiu o Rio Paraopeba e o local de captação de água para abastecimento público do município de Pará de Minas, em Minas Gerais.

Quantificação da carga de rejeitos (lama) que atingiu o Rio Paraopeba

Para fins da quantificação da carga poluidora que atingiu o Rio Paraopeba, considerou-se que 50% dos rejeitos atingiram o rio Paraopeba e que 50% ficaram retidos no solo⁶⁴.

Ademais, adotou-se para fins de cálculo:

- ▶ a média das concentrações de SST apresentadas pelo IGAM no período de 25/1/2019 a 3/2/2019, aferidas em nove estações de amostragem situadas a jusante do ponto onde os rejeitos atingiram o Rio Paraopeba (Quadro 1).
- ▶ o limite máximo admissível de 100mg/L (Águas de Classe 2 – art. 14, I, 3. f - DN Copam/CERH 01/2008).
- ▶ vazão: 30m³/s (medida antes do rompimento, conforme CPRM, 2019).

64 Área atingida pela lama: 289,80 ha. Volume de rejeitos extravasados para o ambiente: 12,7 milhões de m³

Dessa forma, a carga diária de rejeito lançada nas águas do Rio Paraopeba foi:

Carga diária = Concentração de SST x Vazão

Carga diária = 6,17E+06 kg SST/dia

Determinação da massa de água necessária à diluição dos rejeitos que atingiram o Rio Paraopeba

A massa total de água comprometida na diluição de SST até a concentração máxima permitida pela legislação em vigor foi obtida por meio da Equação 1:

$$M = d \frac{W_{SST}}{c} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

M = massa de água

d = densidade da água (1 g/cm³)

W_{SST} = carga média de SST, lançada no Rio Paraopeba (Concentração x Vazão)

c = concentração máxima permitida na legislação em vigor para SST para águas Classe 2

Então:

$M = 1E+06 \text{ mg/L} [(2.381,09\text{mg/L} \times 2.592.000.000,00 \text{ L/dia})/(100 \text{ mg/L})]$

M = 61.717.912.615,38kg/dia de SST

M = 6,17E+10 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, por meio da Equação 2:

$$E_p = M \cdot g \cdot h \quad \text{Equação 2}$$

M = massa de água para diluir os SSTs até os níveis permitidos, em kg (Equação 1)

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

h = diferença de altitude entre o Ponto P1 (Altitude: 738 m) e o Ponto P2 (Altitude: 688m), que corresponde a 50 metros (Google Earth)⁶⁵

Então:

$$E_p = 6,17\text{E}+10 \text{ kg/dia} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 50,0 \text{ m}$$

$$\mathbf{E_p = 3,02\text{E}+13 \text{ J/dia}}$$

Cálculo do Valor de Uso Indireto - VUI

A valoração monetária dos serviços ecossistêmicos e, portanto, o cálculo diário do Valor de Uso Indireto (VUI) é apresentado na Tabela 3.

65 A diferença da altitude nos dois pontos forneceu o valor (h), para calcular a energia potencial necessária ao escoamento gravitacional da massa de água requisitada, a fim de diluir os SSTs até atingir o limite estabelecido pela legislação vigente (SST igual a $100,00\text{mg/L}$ - Classe 2).

Tabela 3 – Valoração dos serviços ecossistêmicos

Serviços ambientais afetados	Carga total (kg/dia)(a)	Massa de água para diluição (kg/dia)(b)	Energia potencial (J/dia)(c)	Transformidade (Sej/J) (d)	Energia (Sej)	EMdólares (US\$/dia) (e)	Reais (R\$/dia) (f)
Diluição SST	6,17E+06	6,17E+10	3,02E+13	2,8E+04	8,43E+17	280.986,43	1.045.269,53

Fonte: autores do trabalho

a - Carga: produto da concentração de SST e vazão do rio

b - Equação 1

c - Equação 2

d - Ortega (2000)

e - EMDólar = dólares emergéticos = energia / Transformidade

Energia-Dólar, onde Transformidade Energia-Dólar = $3,0 \times 10^{12}$ sej/US\$

f - US\$1 = R\$3,72 (câmbio - cotação em 7/2/2019)

Portanto, o VUI corresponde a R\$ 1.045.269,53 por dia.

Somando o VUD (Tabela 2) com o VUI (Tabela 3) tem-se o valor diário de R\$4.791.573,53 pelos danos ocasionados ao Rio Paraopeba, desde o rompimento da barragem B1 em 25/1/2019.

Conclusão

O parâmetro Sólidos em Suspensão Totais (SST) constitui o poluente que mais contribuiu para ocasionar o dano à qualidade da água do Rio Paraopeba em virtude do rompimento da barragem B1 no complexo da Mina Córrego Feijão da Mineradora Vale S.A. e, portanto, foi o poluente considerado para fins de cálculo do VUI que compõe a valoração deste estudo de caso.

Considerando o Valor de Uso Direto (VUD) bem como o Valor de Uso Indireto (VUI), a valoração dos danos, no caso, apresentou *quantum debeat* correspondente a R\$ 4.791.573,53 por dia. A sugestão é que esse valor diário seja acumulado até que se retomem as captações no Rio Paraopeba, para fins de abastecimento público.

Valoração ambiental por dano aos recursos hídricos ocasionado por falha na operação de estação elevatória de esgotos

Alexandra Fátima Saraiva Soares
Cláudia Lage Michalaros

RESUMO: A paralisação de bombas de estação elevatória e a inércia dos responsáveis pelos serviços de esgotamento sanitário resultaram no lançamento indevido de esgotos *in natura* em curso de água por dezenove dias consecutivos. Esse dano ambiental foi quantificado a fim de obter um valor de indenização e, para a condução dos trabalhos, utilizou-se a metodologia emergética e se procedeu a estudo de autodepuração da matéria orgânica biodegradável. Aplicado o modelo matemático de Streeter-Phelps, que relaciona um dos principais mecanismos que definem os níveis de oxigênio dissolvido em curso de água, chegou-se a um *quantum debeatur* equivalente a R\$ 764.894,04 (setecentos e sessenta e quatro mil oitocentos e noventa e quatro reais e quatro centavos).

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto sanitário. Estação elevatória de esgoto. Dano ambiental. Valoração ambiental. Serviços ecossistêmicos. Emergia.

Introdução

Problemas operacionais no sistema de recalque de esgotos (estação elevatória) ensejaram dano ambiental decorrente de lançamento de esgoto sanitário *in natura* nas águas do Córrego Canabrava, tributário do Rio Preto (Figura 1). De acordo com levantamento, foram furtados da Estação Elevatória noventa metros de fio de cobre, que eram utilizados na instalação elétrica, ocorrendo ainda danos ao padrão de energia (Figuras 2 e 3). Com a paralisação das bombas da estação elevatória, ocorreu lançamento indevido de esgotos *in natura* no recurso hídrico por dezenove dias consecutivos. Esse dano ambiental foi quantificado a fim de obter um valor de indenização.

46°54'18"W

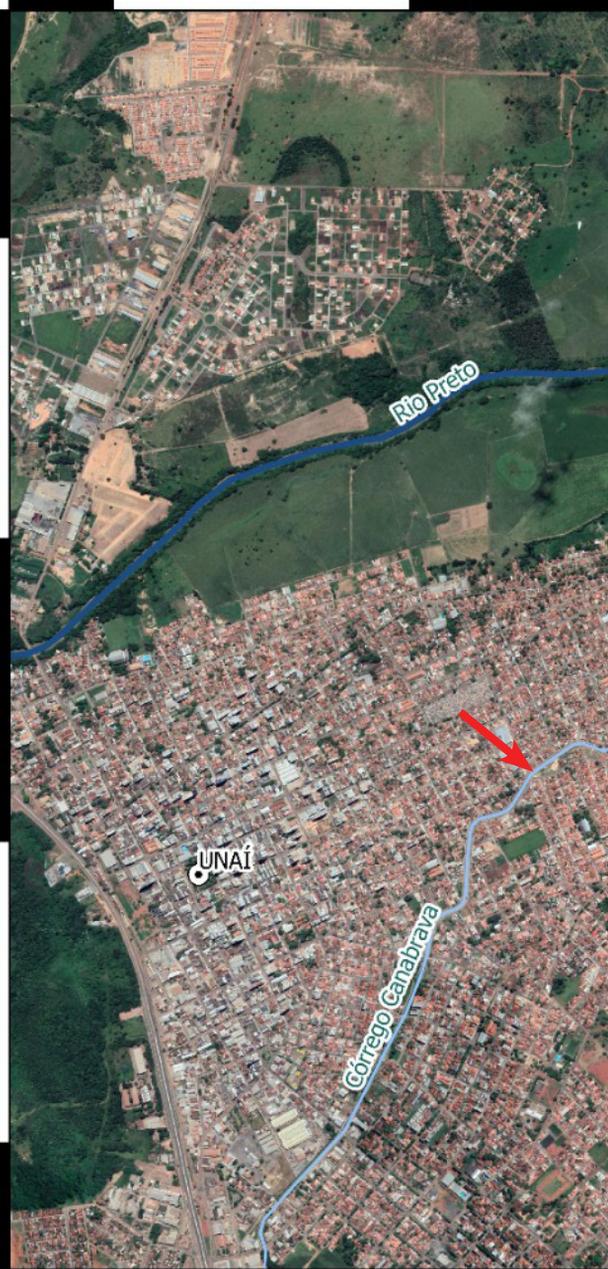
46°53'42"W

16°20'24"S

16°21'0"S

16°21'36"S

16°22'12"S



**LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA
CÓRREGO CANABRAVA**

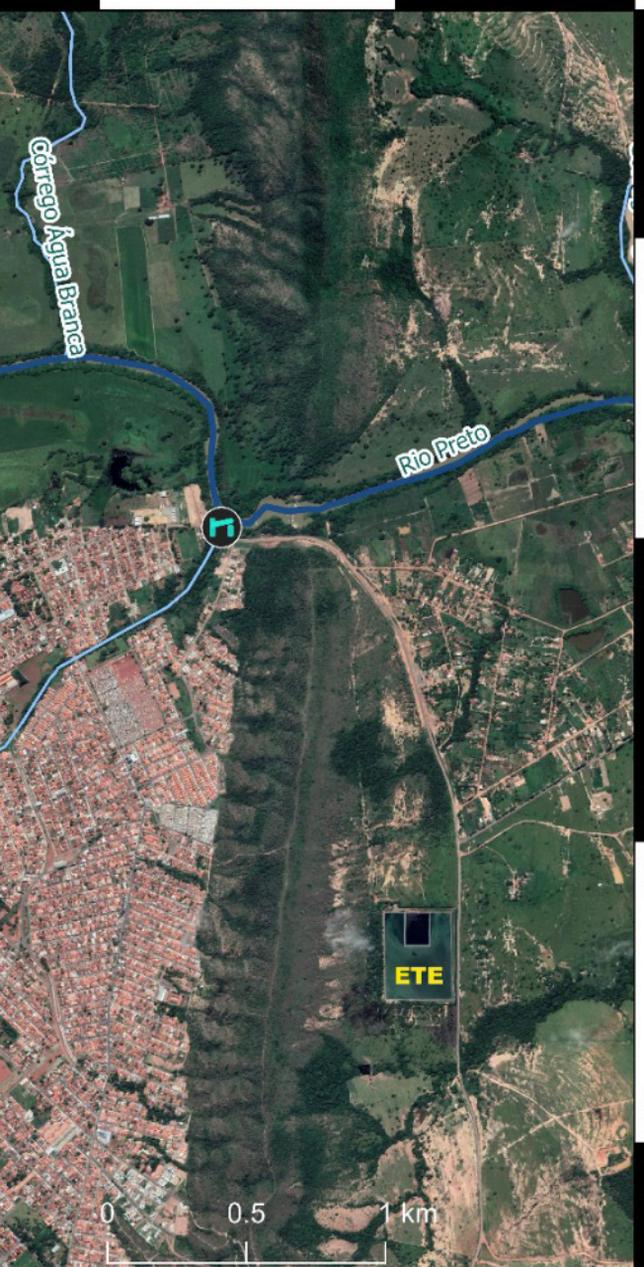


Estação Elevatória - Lançamento do E

DATUM SIRGAS2000 GMS Fonte: IDE-SISEMA Elab. Ge

46°53'6"W

46°52'30"W



16°20'24"S

16°21'0"S

16°21'36"S

16°22'12"S

MUNICÍPIO UNAI-MG.

Legenda:  Unai



Geógrafo Lucas R.V. Silva, 2017.



Figura 2. Ponto onde estava ocorrendo o lançamento dos esgotos sanitários no Córrego Canabrava, por ocasião dos problemas operacionais.
Fonte: Polícia Ambiental de Unai.



Figura 3. Aspecto do Córrego Canabrava a jusante do lançamento de esgotos.

Fonte: Polícia Ambiental de Unai.

Metodologia

A avaliação dos efeitos de poluentes nos serviços ecossistêmicos pode ser expressa em termos biofísicos (unidades de energia ou massa) e/ou em termos monetários. Tais serviços estão intimamente relacionados ao equilíbrio ecológico, sem o qual há prejuízos que a sociedade tenta evitar ao estabelecer medidas de controle das emissões e ao monitorar a qualidade dos diferentes meios da biosfera. (ULGIATI, S. & BROWN, M.T., 2002)

A emissão de esgoto sanitário em pequeno trecho das águas do Córrego Canabrava e do Rio Preto, pelas características dos poluentes lançados, concentra matéria orgânica na forma Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Assim, os serviços ecossistêmicos afetados podem ser quantificados em termos da energia necessária à diluição dos efluentes até os níveis máximos permitidos e pelo consumo do oxigênio dissolvido em suas águas devido à decomposição da matéria orgânica, seguindo os seguintes passos:

- ▶ quantificação da carga de DBO emitida;
- ▶ determinação do volume hídrico necessário à diluição das emissões calculadas até as concentrações máximas admissíveis;
- ▶ cálculo da energia da massa de água necessária à diluição do parâmetro crítico;
- ▶ estimativa do oxigênio aquático dissolvido consumido pela decomposição da matéria orgânica lançada pelo empreendimento no curso d'água, para definir as zonas de recuperação e águas limpas.

Para a quantificação dos esgotos sanitários lançados, desconsiderou-se o trecho do Córrego Canabrava entre o ponto de lançamento até a foz no Rio Preto e estimou:

- ▶ concentração de matéria orgânica biodegradável do esgoto sanitário expressa em termos de DBO de 300 mg/L (VON SPERLING, 2005),
- ▶ concentração de matéria orgânica biodegradável das águas do Rio Preto, expressa em termos de DBO de 2mg/L (adaptado de IGAM, 2004),
- ▶ uma população de 47.217 habitantes (Polícia Militar, 2006),
- ▶ consumo *per capita* (QPC) de 200 L/hab./dia (VON SPERLING, 2005),
- ▶ coeficiente de retorno (R) de 80% (VON SPERLING, 2005).

A vazão média diária de esgoto sanitário lançada às águas foi assim estimada:

$$Q \text{ med-diária esgoto} = (\text{Pop.} \cdot \text{QPC} \cdot \text{R}) / 1000 = 7.554,72 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

Consequentemente, a carga de DBO₅ lançada por dia foi:

$$\text{Carga DBO}_5 = 7.554,72 \cdot 1000 \text{ L/dia} \times 300 \text{ mg/L} = 2.266,42 \text{ KgDBO}_5 / \text{dia}$$

Assim, a estimativa da carga de DBO₅ lançada em 19 dias foi de:

$$\text{Carga DBO}_5 \text{ esgoto período} = 2.266,42 \text{ KgDBO}_5 / \text{dia} \cdot 19 \text{ dias} = 43.061,90 \text{ Kg de DBO}$$

Determinação da massa de água necessária à diluição das emissões

A massa total de água comprometida na diluição de cada um dos parâmetros até a concentração máxima permitida pela legislação, conforme valores máximos possíveis para Classe 2 na Resolução Conama 357/2005 e DN Copam-CERH 01/2008, foi obtida por meio da equação 1:

$$M = d \times W_{\text{DBO}_5} / c \quad \text{Equação 1}$$

M = massa de água, em Kg

d = densidade da água (1g/cm³)

W_{DBO_5} = carga emitida de DBO₅ em Kg

c = concentração máxima permitida para cada um dos parâmetros

Cálculo

$$M = 1\text{Kg/L} \cdot [(2.266.416.000\text{mg}/\text{dia}) / (5\text{mg}/\text{L})]$$

$$M = 4,53\text{E}+08 \text{ Kg}/\text{dia}$$

$$M = 8,61\text{E}+09 \text{ Kg}/\text{período}$$

Cálculo da energia potencial da massa de água

A energia potencial (Ep) da massa de água utilizada na diluição dos poluentes foi calculada, em Joules, por meio da Equação 2:

$$E_p = Mgh \quad \text{Equação 2}$$

M = massa de água para diluir a DBO5 até os níveis permitidos, em Kg (equação 1)

g = aceleração da gravidade (9,8m/s²)

h = diferença de altitude entre o ponto 1 e o ponto 2 é 16,7 metros

$$E_p = 8,61\text{E}+09 \text{ Kg} \cdot 9,8 \text{ m}/\text{s}^2 \cdot 16,7 \text{ m}$$

$$E_p = 1,43\text{E}+12 \text{ J}$$

Para esse cálculo, estudou-se a autodepuração do esgoto no Rio Preto, por meio do modelo Streeter-Phelps. O fim da Zona de Recuperação do Rio Preto e início da Zona de Águas Limpas se deu a aproximadamente 40km da foz do Córrego Canabrava no Rio

Preto. O Ponto 1 (Figura 4) foi registrado na confluência do Córrego Canabrava com o Rio Preto. O Ponto 2 marca o início da Zona de Águas Limpas, sendo determinado por meio da planilha de dados elaborada pela 28.^a Cia de Meio Ambiente da Polícia Militar de Unaí para este caso específico. (POLÍCIA MILITAR, 2006)



Figura 4: Vista da foz do Córrego Canabrava no Rio Preto (Ponto 1).

A diferença da altitude nos dois pontos 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 DN Copam/CERH 01/2008 (DBO igual a 5mg/L – Classe 2).

A autodepuração utilizou o modelo de Streeter--Phelps, que 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: declividade, velocidade, profundidade, etc. (VON SPERLING, 2005)

Conforme o modelo de Streeter-Phelps, a curva de oxigênio dissolvido em um curso d'água permite identificar as zonas de autodepuração (degradação, decomposição ativa, recuperação e águas limpas) advinda do consumo de oxigênio demandado pelos microrganismos para oxidar a matéria orgânica lançada nas águas. Cabe destacar que o oxigênio dissolvido é um parâmetro essencial para a manutenção das comunidades aquáticas e do equilíbrio desse ecossistema.

No cálculo da autodepuração dos esgotos no Rio Preto considerou-se:

- ▶ vazão do Rio Preto de $124,10\text{m}^3/\text{s}$ (POLÍCIA MILITAR, 2006; IGAM, 2004),
- ▶ declividade da calha do Rio Preto de $0,5\text{m}/\text{km}^{66}$.

Valoração monetária dos serviços ecossistêmicos

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

A riqueza dos recursos ambientais é inversamente proporcional aos custos monetários. Assim, quanto maior é o trabalho da natureza na produção de recursos, menor é o preço devido a sua abundância. Da mesma forma, quando se tornam escassos, seus preços de mercado tendem a aumentar e, nesses casos, a pressão da demanda poderá pôr em risco a sustentabilidade do recurso.

66 Obtida a partir do ponto onde ocorreu a autodepuração da matéria orgânica carbonácea – Modelo Streeter-Phelps e por meio do Google Earth Pro®.

A metodologia emergética (escreve-se com M), apresentada pelo pesquisador Howard T. Odum, propõe medir moeda, massa, energia em termos equivalentes, ou seja, a energia incorporada ou eMergia (ODUM, 1996). Em outras palavras, isso significa que o trabalho da natureza deve ser reconhecido e corretamente valorizado no mercado. Assim, os valores expressos em emergia ou eMDólares representam o verdadeiro valor dos recursos, naturais ou antrópicos. A emergia pode ser definida da seguinte forma (ODUM, 1996):

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.

Para alcançar o objetivo, a teoria de sistemas, da termodinâmica, da biologia e de novos princípios do funcionamento de sistemas abertos converte os recursos usados em um sistema produtivo em termos de emergia e na forma de fazer a contabilidade em eMDólares ou em dólares emergéticos. A emergia por unidade monetária mede a capacidade de compra de riqueza real. O índice converte os fluxos de emergia em fluxos de eMDólares, ou seja, a emergia associada a dinheiro ou a valor econômico equivalente. Essa medida, expressa em eMDólares, consegue indicar a verdadeira contribuição da natureza e da economia humana no recurso. (ORTEGA, 2000)

A emergia dos serviços ecossistêmicos afetados estimou o valor monetário da capacidade de autodepuração do corpo d'água por meio dos seguintes passos:

a) 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;

b) 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.

c) conversão do valor em dólar para real pelo câmbio atual.

Resultados

Quantificação e valoração dos danos ambientais (Tabela 1)

Tabela 1: Energia, energia, eMdólares e valores monetários em real associados aos esgotos sanitários

Serviços Ambientais afetados	Carga Total, kg	Massa de água para diluição, kg	Energia Potencial, J	Transformidade	Energia Sej	Em dólares, U\$ (e)	Reais, R\$ (f)
Diluição DBO5	43.061,90 (a)	8,61E+09 (b)	2,68E+13 (c)	2,8E+04 sej/J (d)	7,46E+17	248.826,95	764.894,04

a - conforme calculado

b - equação 1

c - equação 2

d - Ortega (2000)

e - EMDólar = energia / Transformidade energia-dólar, onde: Transformidade energia-dólar = $3,0 \times 10^{12}$ sej/U\$

f - U\$1 = R\$3,0740 (em 20/3/2017)

Conclusão

Conforme apresentado, os esgotos sanitários *in natura* lançados no Rio Preto, no período considerado, causaram danos ambientais correspondentes ao valor de R\$ 764.894,04 (setecentos e sessenta e quatro mil oitocentos e noventa e quatro reais e quatro centavos).

V

Considerações finais

Na exploração e transformação dos recursos naturais são produzidas externalidades negativas cujos danos, sem a reparação por quem os ocasionou, resultam em externalidade no sistema econômico, ou seja, custos que afetam terceiros sem a devida compensação, que podem prejudicar a saúde pública, o bem-estar das pessoas e o ecossistema.

Diante disso, essas externalidades devem ser internalizadas no planejamento das atividades econômicas como custos ambientais, uma vez que sem essa consideração gera-se a apropriação privada do capital natural, culminando no bem-estar de quem se enriquece indevidamente à custa de uma massa de excluídos tanto no presente quanto no futuro.

Os métodos de valoração são incapazes de mensurar o valor concomitante de fatores como serviços ecossistêmicos, prejuízos individuais, coletivos e extrapatrimoniais, danos morais, lucros cessantes ou dano intercorrente, entre outros, que envolvem os danos ambientais.

A valoração dos recursos ambientais é complexa. Dependente de equipe multidisciplinar, 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 debeat*.

Saliente-se que, paralelamente à aplicação da valoração ambiental e recomendação de compensação apresentadas, importa a adoção de medidas que visem a cessar o dano ambiental. Assim, cabe à coletividade e ao poder público, por intermédio do Ministé-

rio Público e de outros órgãos, exigir o cumprimento da legislação de forma a preservar o meio ambiente e a saúde pública.

Por fim, cabe destacar que embora alguns componentes possam apresentar preço de mercado reconhecido, seu valor econômico, para fins de valoração ambiental, existe na medida em que o uso do recurso natural interfere no nível de produção e de bem-estar da sociedade. As metodologias de valoração de dano ambiental, que aplicam critérios normatizados com fundamento científico, como a teoria do VERA, emergética e CATE, podem ser aplicadas e subsidiar políticas públicas no país. A metodologia emergética compreende a natureza como produtora de bens e serviços ambientais.

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.

_____. **NBR 14653-6: Avaliação de bens – Parte 6: recursos naturais e ambientais.** p.16. jun. 2008.

_____. **NBR 15784:2017.** Produtos químicos utilizados no tratamento de água para consumo humano – Efeitos à saúde – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 14.724: 2011.** Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos – Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. **NBR 10.004:2004.** Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **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.

ANDREOLI, C. V. (coordenador). **Alternativas de uso de resíduos do saneamento.** Projeto PROSAB, 417 p., Rio de Janeiro. ABES. 2006.

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.

_____. **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.

ARCEIVALA, S.J. **Wastewater treatment and disposal. Engineering and ecology in pollution control.** New York, Marcel Dekker. 892 p. 1981.

AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (ARSAE). **Relatório de fiscalização do sistema de abastecimento de água da sede do município de Ubá.** Disponível em: <http://www.arsae.mg.gov.br/component/gmg/page/584-relatorios-de-fiscalizacao-tecnico-operacional-de-uba>. Acesso em: maio 2020.

BAIRD, Colin. **Química ambiental.** 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

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.

_____. **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 ago. 2018.

_____. **Decreto n.º 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 jan. 2019.

_____. **Lei n.º 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 nov. 2018.

_____. **Lei n.º 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 dez. 2018.

_____. **Lei n.º 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.

_____. **Lei n.º 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.

_____. **Lei n.º 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/l12651.htm. Acesso em: 31 jul. 2018.

_____. **Lei n.º 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 6.766, de 19 de dezembro de 1979, a Lei 8.036, de 11 de maio de 1990, a Lei 8.666, de 21 de junho de 1993, e a Lei 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e revoga a Lei 6.528, de 11 de maio de 1978 (Redação dada pela Medida Provisória 868, de 2018). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm. Acesso em: 11 jan.2018.

_____. **Lei n.º 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.

_____. **Lei n.º 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.

_____. Supremo Tribunal Federal. **Recurso Especial n.º 1.120.117 AC** (2009/0074033-7). Relatora Min. Eliana Calmon, 10 nov. 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 set. 2018.

_____. **Decreto n.º 6.848**, de 14 de maio de 2009. 2009b. Altera e acrescenta dispositivos ao Decreto 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 jan. 2019.

_____. Supremo Tribunal Federal. **Recurso Extraordinário n.º 573872/RS**. Relator: Ministro Edson Fachin, 24 de maio de 2017. Disponível em <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 25 nov. 2018.

_____. 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.

_____. Superior Tribunal de Justiça. **Súmula-613**. S1 – Primeira Sessão, 9 de maio de 2018. Disponível em <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 27 ago. 2018. 2018b.

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

_____. **Decreto n.º 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 dez. 2018.

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

CARVALHO FILHO, José dos Santos. **Manual de Direito Administrativo**. 12 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: <https://services.bepress.com/lacjls/vol3/iss1/art9>. Acesso em: 23 jan. 2019.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARÁ (CBHRP). **Deliberação Normativa Comitê do Rio Pará n.º 24**, de 27 de fevereiro de 2013. Divinópolis, 27 fev. 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 jan. 2019.

CONSELHO DE POLÍTICA AMBIENTAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS – COPAM. **Termo de compromisso**: Acordo setorial ferro-ligas. Montes Claros: URC/NM/COPAM, 2006.

_____. **Proposta para viabilização da prorrogação do prazo de implementação do acordo setorial ferro-ligas**. Montes Claros: URC/NM/COPAM, 08 abril 2011.

_____. **Ata da 72.ª reunião ordinária da Unidade Regional Colegiada Norte de Minas**. Montes Claros: URC/NM/COPAM, 14 jun. 2011.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução n.º 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 n.º 179**, de 26 de julho de 2017. Regulamenta o § 6.º do art. 5.º da Lei 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 ago. 2018.

COMAR, Vito. **Valoração ambiental pela metodologia emergética**: subsídios às políticas públicas no Brasil. Dourados, MS: Ed. UFGD, 2017.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPASA). **Comunicação Externa n.º 380 - PRE em 9-7-2010**, referentes aos quesitos apresentados no Ofício 123/CEAT/MA/2010 e Parecer Técnico IC 0699.08.000.051-5; ID SGDP 1398116/SISCEAT 10191010, de 16/3/2011.

_____. **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.

_____. **COPASA Comunicação Externa 020/2015 - DPSE/DTAR**, de 27/05/2015.

CONSTANZA, R. **The value of the world's ecosystem services and natural capital**. *Nature*, v. 387, 1997. 15 maio 1997.

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**. 1 ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2017. 232 p.

DACACH, Nelson Gandur. **Saneamento básico**. 3 ed. Ver. Rio de Janeiro. 1990.

DIAS, José de Aguiar. **Da responsabilidade civil**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2012.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Signus Editora, 2000. 49 p.

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

DRUMOND, G. M. et. al. (2005). **Biodiversidade em Minas Gerais. Um Atlas para sua Conservação**. Fundação Biodiversitas, 2 ed. Belo Horizonte, 2005.

ECONOMIA, UOL. **Câmbio dólar comercial**. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/>>. Acesso em: 4 fev. 2019.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – FEAM. **Levantamento da situação ambiental e energética do setor de ferro-ligas no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD, 2005. RELATÓRIO TÉCNICO N.º 12/2005. 170 p.

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

HAMMER, Mark J. **Sistemas de abastecimento de água e esgotos**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

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

HOLKAR, C.R; JADHAV, A.J.; PINJARI, D.V; MAHAMUNI, N. M. A. 2016. Critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. **Journal of Environmental Management**. P. 351-366.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE (IBAMA). Regional de Lavras-MG (2006). **Proposta de medida compensatória em pecúnia, em substituição ao reflorestamento de 1ha em APP, às margens do Rio São Francisco**. Junho /2006.

_____. **Modelo de valoração econômica dos impactos ambientais em unidades de conservação - Empreendimento de comunicação, rede elétrica e dutos**. Estudo Preliminar. Setembro, 2002.

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. 2019.

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.

_____. **Mapa das bacias hidrográficas de Minas Gerais**. Belo Horizonte: SEMAD, 2010. Disponível em: www.igam.mg.gov.br/images/stories/mapoteca/Mapas/PNG/sf10-rio-verde-grande.png (acesso em 25-01-2013).

_____. COPASA Comunicação Externa 020/2015 - DPSE/DTAR, de 27/05/2015. **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.

KANT, Immanuel. **Doutrina do direito**. São Paulo: Ícone Editora. 4^a Ed. Rev. e at. Coleção Fundamentos do Direito; 2017. 224p.

KAO, C.M.; CHOU, M.S.; FANG, W.L.; LIU, B.W.; HUANG, B.R. **regulating colored textile wastewaters by 3/31 wavelength ADMI methods in Taiwan**. *Chemosphere*, v. 44, p. 1055-1063, 2001.

LEITE, J. R. M.; AYALA, P. A. **Direito Ambiental na Sociedade de Risco**. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2002. 143 p.

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. KANT, I. *Introducción a la teoría del Derecho*, p.73-74, 2008.

LIMA-E-SILVA, P. P.; MOUSINHO, P.; BUENO, C.; ALMEIDA, F.G.; MALHEIROS, T. M. M.; SOUZA, A. B. **Dicionário de Ciências Ambientais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Thex, 2002. 252 p.

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, 12 ed., 2004.

MAGLIANO, Mauro Mendonça. **Valoração econômica em laudos periciais de crimes contra o meio ambiente**. 2013. 115 p. Disserta-

ção (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, Édis. **Direito do ambiente**. 10 ed. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2015, 1.707 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 n.º 2.466/2017. 2018. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/#>. Acesso em dez. 2018.

_____. **Deliberação Normativa conjunta COPAM/CERH n.º 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" - 13/5/2008.

_____. **Deliberação Normativa CERH-MG 06**, de 4 de outubro de 2002. Estabelece as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. *Diário do Executivo - "Minas Gerais"*. Belo Horizonte, MG, 5 out. 2002.

_____. **Deliberação Normativa Copam n.º 01**, de 26 de maio de 1981. *Diário do Executivo - "Minas Gerais"*. Belo Horizonte, MG, 2 jun. 1981.

_____. **Lei 14.086**, de 6 de dezembro de 2001. Cria o Fundo de Defesa de Direitos Difusos e o Conselho Estadual de Direitos Difusos e dá outras providências. *Diário do Executivo - "Minas Gerais"*. Belo Horizonte, MG, 7 dez. 2001.

_____. **Deliberação Normativa COPAM n.º 28**, de 9 de setembro de 1998. Publicação-Diário do Executivo, "Minas Gerais" de 17/9/1998.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – M.M.E. **Projeto estatal de assistência técnica ao setor de energia: perfil de ferro-ligas**. Brasília: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM, 2010. RELATÓRIO TÉCNICO N.º 60, 112 p.

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.

NOTA, J. A. 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.

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**. 1 ed. 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, 5 e 7 nov. 2003.

ODEBRECHT AMBIENTAL. Memória de cálculo – Anexo IV. **Unidade de tratamento de lodo de estação de tratamento de água de Limeira**. 18 p. Disponível http://www.arespcj.com.br/arquivos/46126_Custos_Sistema_Terci%C3%A1rio.PDF. Acesso em: set. 2020.

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

_____. **Energy and evolution**. In Preprints of the 33rd Annual Meeting of the International Society for System Sciences, Edinburgh, Scotland, Vol. 3. July 2-7, 1989.

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 dez. 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **A ONU e o meio ambiente**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>. Acesso em: 21 jan. 2019.

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

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

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

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.

POLÍCIA MILITAR. **Planilha de Dados do Rio Preto, elaborada pela 28.ª Cia. de Meio Ambiente e Trânsito Rodoviário da Polícia Militar de Unai**, em 2 de fevereiro de 2006.

PORTELLA, K.F.; ANDREOLI, C.V.; HOPPEN, C.; SALES, A.; BARON, O. **Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna**. Curitiba, PR. 22.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville, 2003.

PÔRTO, Luiz Carlos da Silva. **Tratamento de efluente têxtil pelo sistema de lodos ativados em batelada com adição de carvão ativado em pó**. Luiz Carlos da Silva, Pôrto. Dissertação de Mestrado. Unicamp.Campinas, SP: [s.n.], 2002.

REZENDE, A.V. SANQUETTA, C. R E FIGUEIREDO FILHO, A. **Efeito do desmatamento no estabelecimento de espécies lenhosas em um Cerrado Sensu Stricto**. Florestas, Curitiba, PR. V. 35, n.º 1, jan./abr.2005.

RIBAS, Luiz César. **Metodologia para Valoração de Danos Ambientais - O Caso Florestal**. Revisão da Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de doutor em Engenharia. São Paulo, 1996.

RITCHER, Carlos A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

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 fev. 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. **Dano aos recursos hídricos por lançamento irregular de esgoto sanitário: metodologia para valoração e compensação ambiental**. 2019. 75 f. Monografia (Especialização em Direito Ambiental e Sustentabilidade) - Escola Superior Dom Helder Câmara, Centro de Estudos e Aperfeiçoamento Funcional. Ministério Público do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte.

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.

SARAIVA SOARES, A. F. S.; MACHADO, A. O. V.; CUNHA, A. B. L. da; LAGES, F. A. E. **Orientações básicas acerca do impacto do lodo gerado nas ETAS, alternativas de tratamento/disposição e legislação correlata.** CEAT/Procuradoria-Geral de Justiça de Minas Gerais. 2009. 35p.

SCOLFORO, J. R. e Carvalho, M. T. (2006). **Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais.** UFLA, Lavras 288 p.: il., 2006.

SERÔA DA MOTTA, R. S. **Manual de Valoração.** Brasília: MMA, 1998. Disponível em:<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/publica/mvalora/sumario.html> (acesso em 30-1-2013).

SILVA FILHO, Carlos da Costa e; OLIVEIRA, Cláudia Alves de; MENDONÇA, Guilherme Cruz; VIEIRA, Juliana de Souza Reis. **Princípio do Poluidor-Pagador.** In: Mauricio Jorge Pereira da Mota. (Org.). Direito Ambiental. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2008.

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. 1 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**. 1. ed. Xanxerê - SC: News Print Gráfica e Editora Ltda, 2015. 94p

SOUSA, Wilson Magela de *et al.* **Estudo de autodepuração do Rio Itapeçerica 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: 2 jan. 2019.

SOLMAZ, S.K.A., BIRGUL, A., USTUN, G.E., YONAR, T., 2006. Colour and COD removal from textile effluent by coagulation and advanced oxidation processes. **Coloration Technology**. 122, 102e109. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1478-4408.2006.00016.x>

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.

_____. **Critérios para o arbitramento do dano extrapatrimonial ao meio ambiente**. In: CONGRESSOS INTERNACIONAIS DE DIREITO AMBIENTAL, 12, 2008, São Paulo, SP. *Anais....*Mudanças climáticas, biodiversidade e uso sustentável de energia. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2008, p.23.

_____. **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. 2000.

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 MPF 0810.000175/98-11 (partes: MPF e DTSE); MPF 1.30.012.000001/2000-39 (Inquérito Civil); MPF 08120.000976/97-51 (Partes: MPF e REDUC); MPF 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.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ (UEM). **Revista de Ciências Jurídicas** v. 6 n. 2, jul./dez. 2008. Disponível em: Acesso em: 03 março 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). **Métodos de pesquisa** / [organizado por] Tatiana Engel Gerhardt e Denise Tolfo Silveira; coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

VANDEVIVERE, P.C., BIANCHI, R., VERSTRAETE, W., 1998. Review: treatment and reuse of wastewater from the textile wet-processing industry: review of emerging technologies. **J. Chem. Technol. Biotechnol.** 72, 289e302. [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4660\(199808\)72:43.0.CO;2-#](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-4660(199808)72:43.0.CO;2-#)

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, n.º 01, p. 174-197 jan./ago. 2015.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos** - 3 ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2005.

_____. **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.

GLOSSÁRIO

Energia: é a energia disponível de um mesmo tipo, como, por exemplo, a energia solar equivalente, que foi previamente requerida em forma direta ou indireta para produzir um produto ou um serviço.

Entropia: é a energia desorganizada de um sistema.

Índice de equivalência energia/dólar: índice que permite comparar a energia do serviço afetado à energia do dinheiro que circula no país em determinado ano a fim de possibilitar a conversão dos valores de energia em dinheiro.

Joules de energia solar (SeJ): corresponde à unidade de medida da energia.

Metodologia emergética: apresentada pelo pesquisador Howard T. Odum, propõe-se a medir todas as contribuições e serviços da natureza em termos de energia solar incorporada.

Serviços ambientais: tratam-se dos benefícios ambientais resultantes de intervenções intencionais da sociedade na dinâmica dos ecossistemas. Referem-se ao manejo conservacionista do solo, da água, restauração florestal, dentre outros.

Serviços ecossistêmicos: são os benefícios que o ser humano obtém dos ecossistemas. O ser humano não pode realizá-lo, somente a natureza possui essa competência. Esses incluem serviços de provisão, tais como alimentos e água; regulação, tais como a regulação de inundações, secas, degradação do solo; serviços de suporte, tais como formação do solo, ciclagem de nutrientes e depuração da matéria orgânica biodegradável pelos microorganismos e outros benefícios não materiais.

Transformidade Solar ou Índice de Transformidade: é o fator de conversão de energia em energia.

