

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 debeatur* 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.

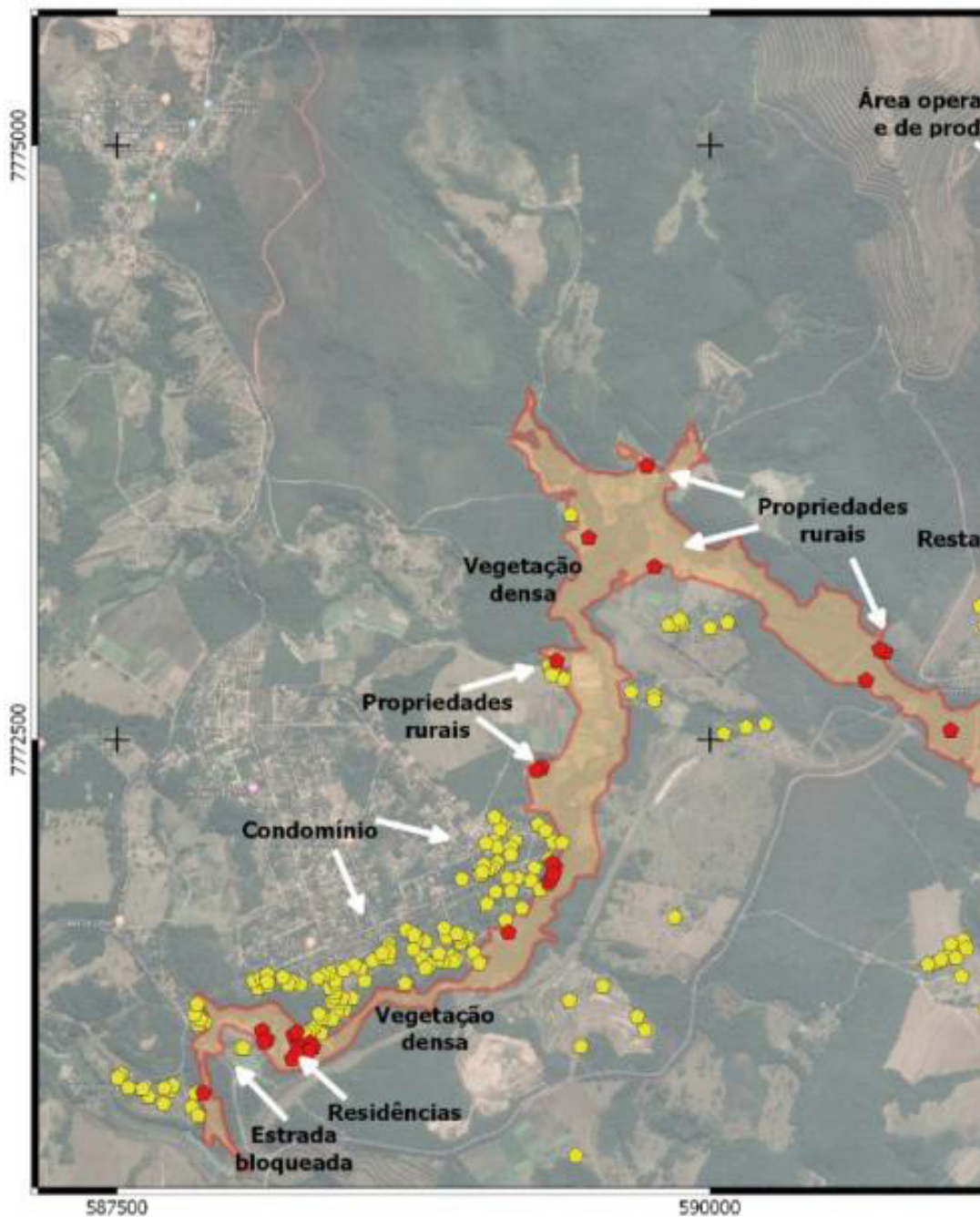
PALAVRAS-CHAVE: Resíduo de mineração. Valoração ambiental. Poluição hídrica. Dano ambiental. Barragem B1.

Introdução

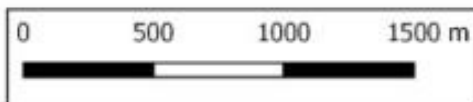
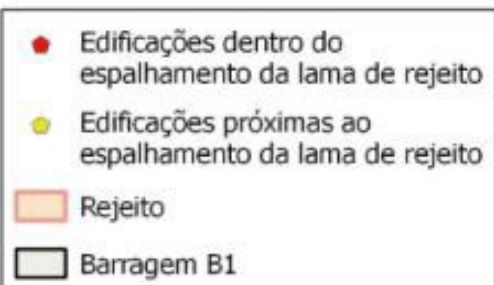
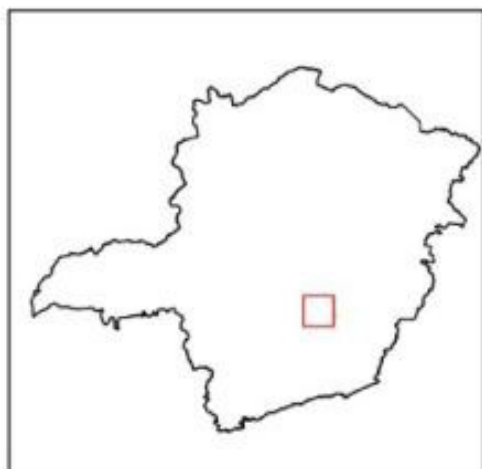
O município de Brumadinho, população estimada de 39.520 habitantes em 2018 (IBGE, 2019), localiza-se na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, e tem como principal atividade econômica a mineração de ferro, que gera resíduos no processamento. No caso, esses resíduos são acondicionados 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



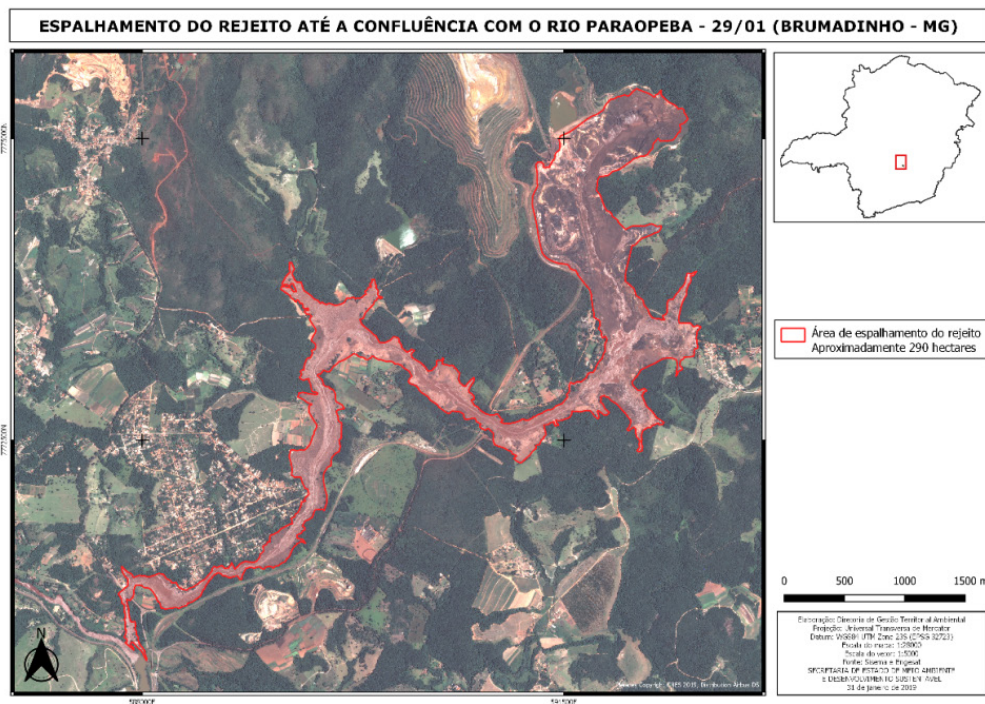
AMENTO DO REJEITO DA (BRUMADINHO-MG)



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 m^3 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 $R\$/m^3$, 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 emergência, 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 emergia 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 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 associada à massa de água foi obtida, em termos monetários (dólar), pelo índice de equivalência emergia/dólar ($3,0 \times 10^{12}$ SeJ/U\$), determinado para o Brasil por Ortega (2000). Esse índice permite comparar a emergia do serviço afetado à emergia do dinheiro que circula no país em determinado ano, 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 PARAPEBA (L/s)	VOLUME INDISPONÍVEL (m³/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:

$M = 1E+06 \text{ mg/L} [(2.381,09\text{mg/L} \times 2.592.000.000,00 \text{ L/dia})/(100 \text{ mg/L})]$

$M = 61.717.912.615,38\text{kg/dia de SST}$

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:

$$E_p = 6,17\text{E}+10 \text{ kg/dia} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 50,0 \text{ m}$$

$$\mathbf{E_p = 3,02E+13 J/dia}$$

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 debeatur* 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.