

# SOCIO

ANÁLISE DOS DANOS NA REGIÃO 1

# AMBIENTAL



BRU  
MA  
DI  
NHO

 **Aedas**

AGOSTO 2021

# FICHA CATALOGRÁFICA

## **01** EQUIPE SAM-AEDAS

*Marta Santana - Bióloga*

*Daniel Santos - Engenheiro Agrônomo*

*Kalahan Battiston - Engenheiro Hídrico*

*Henrique Domingos - Advogado*

*Thomas Parrili - Geógrafo*

## **02** EQUIPE GEOENG CONSULTORIA

## **03** EQUIPE COMUNICAÇÃO-AEDAS

*Marcos Barbosa - Coordenador*

*Lucas Jerônimo - Comunicador*

*Rurian Valentino - Comunicador*

## **04** DIAGRAMAÇÃO

*Marcela Nicolas Sá Soares*



# SUMÁRIO

- 04** APRESENTAÇÃO
- 05** INTRODUÇÃO
- 08** ALTERAÇÕES NO RIBEIRÃO FERRO-CARVÃO, RIO PARAOPEBA E ÁREAS PRÓXIMAS
- 14** ALTERAÇÕES NAS ÁGUAS SUPERFICIAIS
- 19** CONSEQUÊNCIAS DA CONTAMINAÇÃO SOBRE OS USOS, FLORA E FAUNA
- 21** CONSEQUÊNCIAS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
- 24** CONSEQUÊNCIAS NA FAUNA E FLORA
- 26** CONSEQUÊNCIAS REGIONAIS NO MEIO AMBIENTE E SAÚDE PÚBLICA
- 28** AÇÕES DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL E PRIORIDADES
- 29** COMO FOI FEITO O ESTUDO?
- 32** A ANÁLISE INTEGRADA DOS DANOS E A SIGNIFICÂNCIA DOS DANOS SOBRE OS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS
- 34** ANÁLISE DOS EFEITOS DOS DANOS SOBRE OS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NO TERRITÓRIO DE BRUMADINHO
- 35** COMO FICOU A OFERTA DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NA REGIÃO 1?
- 40** AS CATEGORIAS DE SERVIÇOS IMPACTADAS PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM EM BRUMADINHO
- 41** SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS IMPACTADOS NA ZONA QUENTE



# SUMÁRIO

- 44** SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS IMPACTADOS AJUSANTE DA CONFLUÊNCIA DO RIBEIRÃO FERRO-CARVÃO COM O RIO PARAOPEBA
- 46** SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS IMPACTADOS MONTANTE DA CONFLUÊNCIA DO RIBEIRÃO FERRO-CARVÃO COM O RIO PARAOPEBA
- 48** QUAL A SIGNIFICÂNCIA DOS DANOS PARA OS DIFERENTES GRUPOS SOCIAIS E COMUNIDADES PRESENTES NO TERRITÓRIO?
- 54** PARÂMETROS DE PONDERAÇÃO DOS DANOS A PARTIR DE ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS DAS COMUNIDADES
- 58** PONDERAÇÃO DOS DANOS A PARTIR DOS ATRIBUTOS
- 60** FORMAS DE VULNERABILIDADE SOCIAIS DECORRENTES DOS DANOS SOCIOAMBIENTAIS NA REGIÃO 1: CONSIDERAÇÕES SOBRE RAÇA, RENDA E GÊNERO
- 63** DANOS SOCIOAMBIENTAIS APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM
- 68** ALGUMAS CONSIDERAÇÕES PARCIAIS
- 70** REFERÊNCIAS



# APRESENTAÇÃO

Esta revista, que apresenta e analisa os danos socioambientais causados pelo rompimento da barragem da mina do Córrego do Feijão, em Brumadinho, ocorrido em 2019, foi feita para você pessoa atingida por esse desastre sociotecnológico. O material tem o objetivo de caracterizar a relação entre os danos e os múltiplos usos que as comunidades atingidas faziam e fazem dos recursos socioambientais.

Essa multiplicidade de usos é nomeada com um nome bem difícil e longo. Falamos em “socioagrobiodiversidade”. Na prática, essa ideia abarca os aspectos físicos (do território), bióticos (dos seres vivos) e sociais (humanos) da vida. Tudo isso junto conforma uma diversidade de organismos vivos, habitats, ecossistemas, comunidades, modos de vida, formas de cultivo etc. Ou seja: representa uma totalidade de diversos elementos que compõem o contexto socioambiental.

Este estudo estava previsto no Plano de Trabalho da Associação Estadual de Defesa Ambiental e Social (Aedas), que presta Assessoria Técnica Independente (ATI) nas Regiões 1 (Brumadinho) e 2 (Betim, Igarapé, Juatuba, Mário Campos e São Joaquim de Bicas) da bacia do Paraopeba. Esta revista, no caso, trata especificamente dos danos causados na Região 1.

Para realizar o estudo, a Aedas contratou uma consultoria especializada. A empresa escolhida, a partir de um processo rígido de seleção, foi a Geoeng. Todo o trabalho da consultoria foi feito com a supervisão da equipe fixa da Aedas. No caso, os técnicos e as técnicas da área temática socioambiental acompanharam de perto a produção das informações que você vai conhecer nesta revista.

A garantia do direito à participação informada, no processo de reparação integral dos danos decorrentes do rompimento, para todas as pessoas atingidas, é premissa fundamental da atuação das ATIs. Dessa maneira, publicamos esta revista com o compromisso de produzir conhecimentos, de forma transparente e com o intuito de ampliar a divulgação de informações importantes para todas as comunidades atingidas, em linguagem acessível e adequada à realidade local.

**Queremos ainda, que essas informações sirvam como instrumento no processo de tomada de decisões sobre a reparação integral dos danos. Boa leitura!**

# INTRO DUÇÃO

A bacia hidrográfica do Rio Paraopeba corresponde a 2,5% da área total do estado de Minas Gerais (MG). Aproximadamente 1,4 milhões de pessoas vivem na bacia, de acordo com dados do Censo de 2010. Desse total, a maior parte está na área urbana e mais de 90 mil na área rural.

A Região 1 se refere ao município de Brumadinho, localizado na parte média da bacia do Rio Paraopeba, e compreende 5 distritos (Brumadinho, Aranha, Conceição do Itaguá, Piedade do Paraopeba e São José do Paraopeba), onde vivem mais de 40 mil pessoas. O rompimento da barragem da mina do Córrego do Feijão, que aconteceu em 25 de janeiro de 2019, despejou 12 milhões

de metros cúbicos de rejeitos de mineração no rio. Estes rejeitos contêm diversos metais pesados e substâncias químicas. Por causa disso, houve o comprometimento da qualidade e manutenção dos ecossistemas locais, que representavam a fonte de bens naturais essenciais para as famílias atingidas exercerem seus meios de vida, cultura, religiosidade, recreações e formas diversas de relação com a natureza.

Conseqüentemente, houve danos como contaminação dos recursos hídricos, contaminação do solo, perda de nascentes, perda de animais silvestres, perdas da diversidade vegetal e animal, entre outros. Estas são condições que afetam diretamente a saúde, a fonte de renda, o lazer, as práticas culturais e os modos de vida das populações ao longo da bacia.

Os diferentes danos socioambientais foram sistematizados neste estudo, com o objetivo de analisar os seus impactos na vida das comunidades, na relação que estabelecem com a natureza e os benefícios que ela oferece às pessoas.





Para isso, estes danos foram levantados a partir de estudos realizados por pesquisadores e pesquisadoras de universidades, monitoramento de órgãos públicos – como, por exemplo o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) –, relatórios de investigações (da Câmara dos Deputados e da Assembleia Legislativa de Minas Gerais), estudos realizados por organizações não governamentais (a Fundação SOS Mata Atlântica, por exemplo), entre outras fontes.

Ainda são poucos os estudos aprofundados para entender a dimensão dos danos provocados pelo rompimento. No entanto, cabe destacar aqui aqueles que já foram mapeados. Assim, apresentaremos a seguir uma síntese dos danos socioambientais levantados e organizados de acordo com seus aspectos e região onde aconteceram.

Com isso, queremos entender como eles se relacionam com a qualidade de vida das comunidades atingidas, ao interromper a oferta de benefícios importantes para a manutenção da qualidade de vida nesta região.





**HOUVE DANOS QUE  
(...) SÃO CONDIÇÕES  
QUE AFETAM  
DIRETAMENTE A  
SAÚDE, A FONTE DE  
RENDA, O LAZER, AS  
PRÁTICAS CULTURAIS  
E OS MODOS DE VIDA  
DAS POPULAÇÕES AO  
LONGO DA BACIA**



# ALTERAÇÕES NO RIBEIRÃO FERRO-CARVÃO, RIO PARAOPEBA E ÁREAS PRÓXIMAS

O rompimento da barragem lançou uma imensa quantidade de rejeito da mineração no ambiente, formando uma onda muito rápida. Conforme o rejeito foi avançando, levou consigo tudo o que estava em sua frente. Durante a movimentação da lama, a vegetação que estava no caminho foi completamente arrancada e/ou soterrada (remoção de vegetação), ocasionando a destruição de áreas úmidas, que são locais que têm uma importância específica para o seu entorno, para os ecossistemas locais que delas dependem, e que regulam o clima local.

Houve alteração do microclima (clima local com condições físicas específicas dessa região) e modificação de habitats, em consequência da remoção de vegetação, da grande modificação da paisagem e da alteração das condições ambientais.

O ribeirão Ferro-Carvão e seu entorno foram soterrados por uma quantidade de lama de rejeito tão grande, que fez com que o próprio relevo se modificasse (alteração do relevo local), já que o leito do rio foi preenchido pelo rejeito e o solo revolvido e alterado.

O peso da grande quantidade de rejeitos depositados no solo, na zona quente, e a sua movimentação causaram uma forte pressão, que fez com que seus espaços vazios (porosos) fossem reduzidos, gerando o que é chamado de compactação do solo.

Esse fenômeno faz com que o solo se torne menos permeável, ou seja, a água não consegue penetrar da mesma forma que antes, então ela passa a escorrer na superfície do solo em maiores quantidades, indo em direção a locais mais baixos. Isso é o que chamamos de intensificação do escoamento superficial.



## ALTERAÇÕES NO RIBEIRÃO FERRO-CARVÃO, RIO PARAOPEBA E ÁREAS PRÓXIMAS

Dessa forma, quando chove, a água tende a se infiltrar menos no solo, prejudicando a recarga das águas subterrâneas (redução da recarga subterrânea). Com isso, a água tende a se acumular em maior quantidade em locais mais baixos, provocando o aumento da possibilidade de inundações e destruição das vegetações. Outro dano que se relaciona à compactação do solo e à remoção da vegetação é o aumento do desgaste do solo frente à causas naturais ou atividades humanas (intensificação de processos erosivos), já que ele fica mais vulnerável a eventos naturais, como a ação do vento e das chuvas. Além disso, prejudica o crescimento das raízes das plantas e a absorção de nutrientes, condição que compromete todas as fases do seu desenvolvimento.

As grandes camadas de lama de rejeito no solo da zona quente também fizeram com que a fertilidade natural fosse prejudicada, já que as características biológicas e químicas foram completamente modificadas (degradação do solo).

As nascentes e córregos que ficavam nas proximidades do ribeirão Ferro-Carvão foram soterradas, assim como o próprio leito do rio. Conforme o soterramento foi acontecendo, uma enorme quantidade de rejeito foi se misturando às águas do ribeirão e ficou retida em seu leito, nas suas margens e no seu entorno, alterando completamente sua forma (alteração das feições fluviais e alteração na tipologia dos canais fluviais) e modificando o seu curso (modificação do fluxo do rio). Todas essas modificações no ribeirão Ferro-Carvão, e no seu entorno, fizeram com que o volume de água corrente se dispersasse, diminuindo o volume de água escoado pelo seu curso (redução da descarga fluvial).

Em condições normais, a água do rio e suas margens se encontram em situação de equilíbrio. As margens de um rio e a cobertura vegetal são fatores que influenciam a condição de estabilidade do entorno.

Portanto, a lama tóxica no ribeirão Ferro-Carvão e seu entorno, a remoção da vegetação nativa e a modificação da composição dos solos e sedimentos das margens causam a diminuição da estabilidade das margens fluviais. Esse é um dano ambiental decorrente do rompimento da barragem da Vale em Brumadinho e que torna o rio mais vulnerável a processos de erosão.





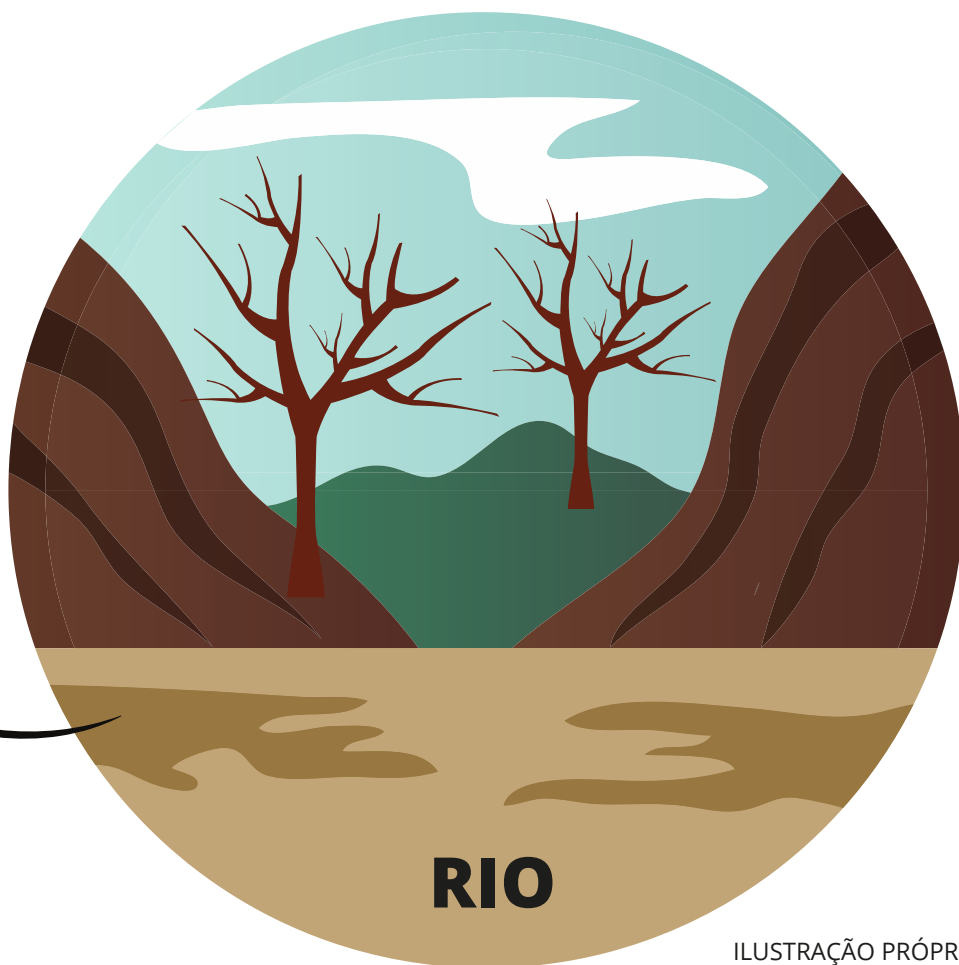
**MATA CILIAR**

**ANTES**



**DEPOIS**

**REJEITOS E  
SEDIMENTOS**



## ALTERAÇÕES NO RIBEIRÃO FERRO-CARVÃO, RIO PARAPEBA E ÁREAS PRÓXIMAS

O equilíbrio do curso d'água também depende do movimento do solo que fica depositado lá no fundo do rio. Com a lama tóxica no entorno e no leito do próprio ribeirão Ferro-Carvão, tanto a composição desses sedimentos que ficam no leito do rio, quanto a sua disposição, foram severamente modificadas.

Todos os danos ambientais que afetam o solo e os cursos d'água descritos até aqui alteram o ciclo da água nos locais impactados. Isso quer dizer que o volume e a forma como a água escoava na bacia do ribeirão Ferro-Carvão sofreram grandes mudanças, o que também é considerado um dano ambiental (alteração do sistema de drenagem natural da bacia).

O desprendimento e movimentação dessa grande quantidade de lama de rejeito também fez com que imediatamente fosse criada uma grande nuvem formada de pequenas partículas de rejeito que ficaram suspensas no ar (aumento de particulados na atmosfera). Isso aconteceu porque a lama tóxica da barragem B1 continha partículas muito finas, boa parte delas possíveis de serem respiradas, podendo causar danos à saúde.

O mau cheiro também é um dano ambiental relacionado ao rompimento da barragem da Vale. No primeiro semestre de 2019, foram registradas 35 reclamações sobre isso em até 550 metros da extensão da área de depósito do rejeito.

Entre as áreas soterradas pela lama, parte estava dentro de unidades de conservação e áreas de proteção ambiental. Além da destruição desses ecossistemas, a paisagem como um todo foi prejudicada devido à fragmentação das florestas, limitando espaço e recursos disponíveis para a flora e a fauna (destruição e fragmentação de unidades de conservação e áreas de proteção ambiental).

No total, segundo informações do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), a lama devastou 133,27 hectares de vegetação nativa de Mata Atlântica e 70,65 hectares de Áreas de Preservação Permanente (APP).





## ALTERAÇÕES NO RIBEIRÃO FERRO-CARVÃO, RIO PARAOPEBA E ÁREAS PRÓXIMAS

A Mata Atlântica abriga espécies em perigo, vulneráveis e espécies consideradas quase ameaçadas de extinção. Além das árvores jovens e adultas, também foram perdidas as sementes que estavam no solo, que faziam parte do banco de sementes. A perda do banco de sementes dificulta ainda mais o processo de recuperação dessas áreas afetadas.

Também foram irreversivelmente impactadas 12,42 hectares de áreas de pastagens, 18,06 hectares de plantios e cultivos, e 11,55 hectares de quintais com manejo, no município de Brumadinho. Esses cultivos eram, em sua maioria, agricultura anual, principalmente culturas olerícolas, como alface, couve, cebolinha e outras culturas folhosas.

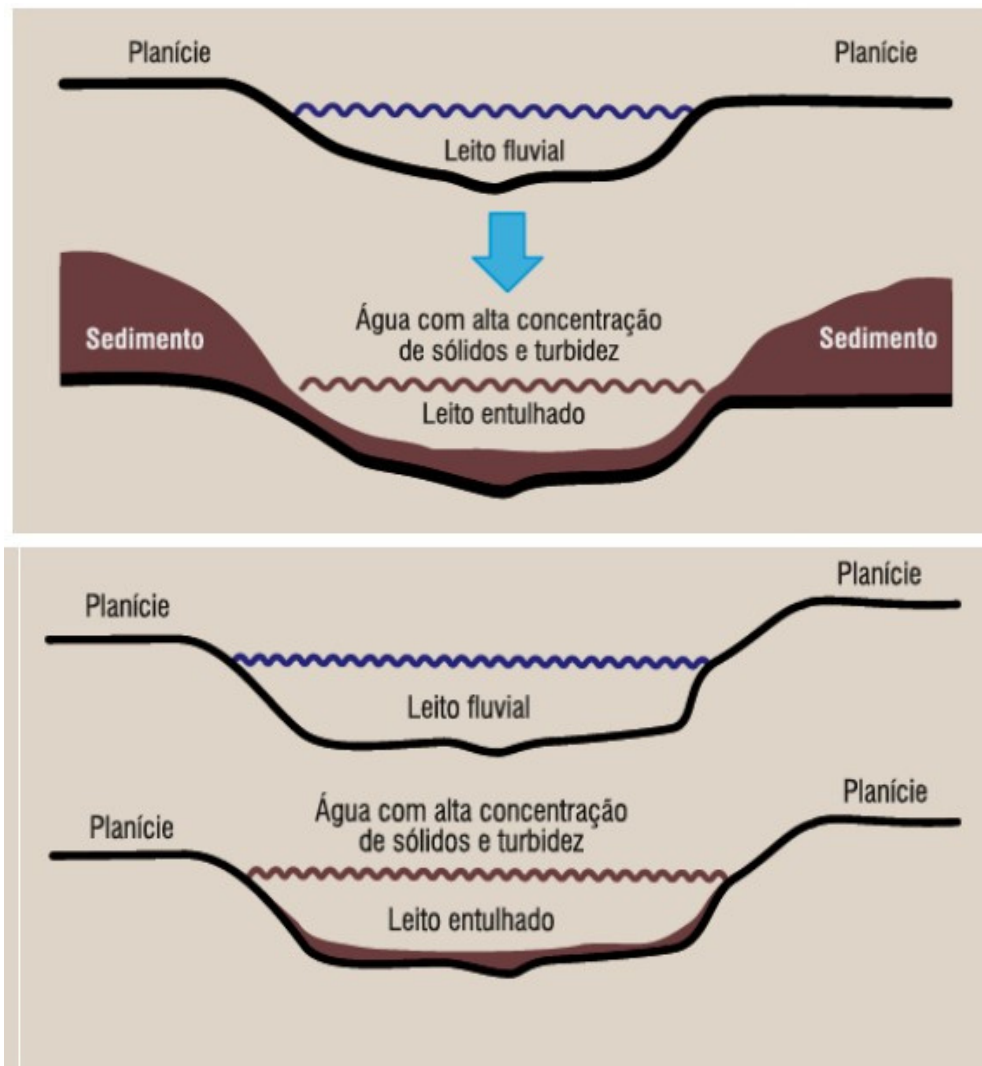
A degradação e contaminação do solo alteram os nutrientes, a textura, a porosidade e a vida característica do solo local e, portanto, influenciam negativamente no desenvolvimento das plantas. Consequentemente, serão afetadas tanto as características da vegetação nativa como das plantas cultivadas (dano à flora nativa e cultivada).

Boa parte da lama tóxica que não ficou retida no leito do ribeirão Ferro-Carvão e nos seus arredores, seguiu até o Rio Paraopeba. A relação de interdependência entre o ribeirão Ferro-Carvão e o Rio Paraopeba faz com que os danos, que a princípio podem parecer impactar apenas o ribeirão Ferro-Carvão, na verdade impactem também o Paraopeba, de forma severa. Por isso, no rio também se observa muitos dos danos já descritos até aqui.



## ALTERAÇÕES NO RIBEIRÃO FERRO-CARVÃO, RIO PARAOPEBA E ÁREAS PRÓXIMAS

A figura a seguir nos ajuda a entender alguns dos danos descritos. Do lado esquerdo está um esquema que mostra os locais onde houve maior depósito de lama de rejeito (ribeirão Ferro-Carvão e confluência com o Rio Paraopeba). Do lado direito está a representação do que aconteceu com o Paraopeba mais à frente da confluência com o ribeirão Ferro-Carvão.



FONTE: LEMOS (2019 APUD POLIGNANO; LEMOS, 2019)

Vemos que, mesmo nas partes do rio Paraopeba em que não houve acúmulo de rejeito nas suas margens, houve acúmulo de sedimentos no fundo de seu leito. No entanto, o acúmulo de lama ao longo do leito do rio não acontece apenas de maneira uniforme como mostram as figuras.

Ao longo do curso do ribeirão Ferro-Carvão e no local de sua confluência com o rio, uma grande quantidade de lama ficou retida, causando o acúmulo de água em locais específicos do leito e a redução do volume de água em outros locais. Esse fenômeno é denominado de assoreamento dos cursos d'água, também considerado como um dano ambiental.



# ALTERAÇÕES NAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

Conforme explicou o professor Miguel Felipe, da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), em uma entrevista, a lama de rejeito de minério possui três camadas: uma densa, que fica no fundo do leito dos rios, uma mais fina, que boia na superfície, e uma camada química, que se mistura à água e tem alto poder de contaminação.



FONTE: UFOP

Portanto, a mistura do rejeito da mineração às águas do ribeirão Ferro-Carvão, combinada com os materiais diversos que foram arrastados pela própria onda da lama tóxica, fez com que aumentasse a concentração de metais e outras substâncias contaminantes nas águas dos rios, provocando um desequilíbrio no sistema água-solo-sedimento.



FONTE: FUNDAJ

Esse desequilíbrio pode desencadear reações químicas, possivelmente fazendo com que substâncias químicas que antes não apresentavam risco à saúde se tornem mais perigosas, como no caso da dissolução de determinados metais.

Assim, entre os danos ao meio físico encontrados em estudos divulgados até então constam o aumento das trocas químicas nos solos e nas águas e o aumento da temperatura das águas, em função das alterações físicas, químicas e biológicas descritas.

Quando ocorre o aumento da concentração de metais ou qualquer outra substância química nas águas e sedimentos dos rios de tal forma que a sua utilização deve ser suspensa, para proteger a saúde humana, quer dizer que há contaminação.

Para avaliar se as substâncias químicas no rio resultam em contaminação, são medidas as concentrações de alguns parâmetros de interesse (concentração de determinados metais pesados, turbidez, cor, dentre outros). Os limites desses parâmetros são definidos de acordo com as características dos corpos d'água e dos contaminantes em questão. Para facilitar o monitoramento dos corpos hídricos, eles são classificados de acordo com suas características e o uso que se faz de suas águas.

Existem documentos oficiais que informam quais os padrões e limites de cada parâmetro, característica da água, de acordo com o seu uso. Por exemplo, segundo **Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente**, se um rio possui concentração de chumbo total maior que 0,033 mg/L, ele não poderá ser utilizado para consumo humano, nem para irrigação e nem para pesca.



FONTE: AEDAS



Antes do rompimento da barragem da Vale em Brumadinho, o Rio Paraopeba era caracterizado como Classe 2. Isso quer dizer que suas características permitiam que suas águas fossem utilizadas para consumo humano (após tratamento simplificado), para proteção das comunidades aquáticas, para recreação e para irrigação de hortaliças e frutas que podem ser consumidas cruas.

Após o rompimento, foi constatado o aumento da concentração de diversos metais e outras substâncias acima dos padrões oficiais para a Classe 2. Isso quer dizer que o Paraopeba não pode mais ser utilizado da mesma forma que antes, porque está contaminado (contaminação das águas superficiais). No quadro abaixo, estão listados todos os parâmetros medidos que violaram o limite para Classe 2, de acordo com o período em que as análises foram feitas.

**Quadro 1 - Parâmetros fora do limite da legislação - rio Paraopeba (R1 e R2)**

2019		
Janeiro - Abril	Maio - Agosto	Setembro - Dezembro
Arsênio total, Bário, Cádmio total, Berílio, Cromo total, Selênio, Urânio, Zinco total, Cobalto, Cobre dissolvido, Chumbo e Níquel totais, Cobre dissolvido, Sólidos em Suspensão Totais, Turbidez, Manganês, Ferro dissolvido, Alumínio Dissolvido, Mercúrio total, Antimônio total, pH <i>in loco</i>	Manganês, Ferro Dissolvido, Alumínio Dissolvido, Fósforo total, Nitrato	Sólidos em Suspensão Totais, Turbidez, Manganês, Ferro Dissolvido, Alumínio Dissolvido, Chumbo total, pH <i>in loco</i>
2020		
Janeiro - Abril	Maio - Agosto	Setembro - Dezembro
Sólidos em Suspensão Totais, Turbidez, Manganês, Ferro Dissolvido, Alumínio Dissolvido, Chumbo total, Cobre dissolvido, Cromo total, Níquel total, Oxigênio Dissolvido, Cor verdadeira, Cianeto, Fósforo total, Sulfeto	Manganês, Ferro Dissolvido, Alumínio Dissolvido, Oxigênio Dissolvido	Sólidos em Suspensão Totais, Turbidez, Manganês, Ferro Dissolvido, Alumínio Dissolvido, Chumbo total, Oxigênio Dissolvido

Fonte: Dados obtidos a partir dos boletins IGAM (2020 e 2021); COPPE/UFRJ (2020); Fundação SOS Mata Atlântica (2020) e Relatório CPIBruma (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2019).

Para controlar o andamento da contaminação, o IGAM faz medições, de tempos em tempos, de diversos parâmetros. A partir dessas medições, é avaliado se o uso das águas do Rio Paraopeba deve ou não continuar suspenso. Além do IGAM, outras instituições realizaram medições, porém de forma pontual. O Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), por encomenda da Vale, e a Fundação SOS Mata Atlântica, por exemplo.

Observando o quadro, vemos que o período logo após o desastre (janeiro a abril de 2019) é o que tem mais parâmetros fora do limite da legislação. Em 2020, esse padrão se repete, sendo janeiro a abril o período com mais parâmetros fora do limite, seguido de setembro a dezembro.

Nos períodos de chuva, as concentrações de metais e outras substâncias químicas aumentam. No período de seca, diminuem. O que acontece é que há contaminantes tanto no solo, quanto nos sedimentos que ficam no fundo dos rios e também na água. Quando chove, a água da chuva arrasta camadas de solo contaminado para dentro do rio e o agita, fazendo com que os sedimentos que ficam parados no fundo no rio se misturem novamente à água.



FONTE: SOS MATA ATLÂNTICA

Esses dois fenômenos fazem com que a concentração de contaminantes aumente em períodos chuvosos. Portanto, mesmo que em períodos de seca o Rio Paraopeba possa dar indícios de que está se aproximando de condições próprias para uso da população, no período de chuvas vemos que não é possível afirmar isso.

Alguns dos metais e demais substâncias que estão contaminando as águas do rio são mais fáceis de relacionar ao rompimento da barragem da Vale. O ferro e o manganês, por exemplo, são componentes comuns do rejeito de minério de ferro.

Outros metais como o chumbo e o mercúrio, por exemplo, tradicionalmente não fazem parte do rejeito de minério de ferro, porém a sua alta concentração detectada após o rompimento da barragem B1 indica uma relação.

Desde que o IGAM iniciou as medições cotidianas no Paraopeba, há décadas, nunca havia sido registrada a presença de mercúrio, que foi encontrado em concentrações acima do limite da legislação, logo após o desastre.

No quadro 1, estão todos os parâmetros que foram encontrados em concentrações que violam o limite da legislação, porém há aqueles que apresentaram violações mais frequentes ao longo do ano e aqueles que apresentaram violações em análises pontuais.

Os parâmetros turbidez, sólidos em suspensão totais, manganês total, chumbo total e mercúrio total, apresentaram muitos resultados de concentração acima do limite da legislação, especialmente nos períodos de chuva, tanto no ano de 2019, como no ano de 2020. No caso do mercúrio total, tal elemento não foi encontrado em concentração acima do limite da legislação no ano de 2020. Apesar de não haver limite na legislação para o ferro total, sua concentração nas águas do Rio Paraopeba se comportou seguindo o mesmo padrão dos parâmetros mencionados.

Os parâmetros alumínio dissolvido e ferro dissolvido também chamam atenção pela grande quantidade de análises que registraram valores acima do limite da legislação. A diferença, em relação aos parâmetros mencionados anteriormente, é que a concentração desses dois metais na forma dissolvida oscila mais ao longo do ano. Há muitos registros de ferro dissolvido e alumínio dissolvido em concentração acima do limite da legislação durante todo o ano de 2019 e 2020 no Rio Paraopeba.

No final do ano de 2020, os parâmetros acima do limite da legislação encontrados nas águas do Rio Paraopeba apresentaram valores preocupantes e o IGAM avaliou que as alterações se relacionavam às atividades de dragagem do rejeito, realizada pela Val, em áreas que se localizam logo após a confluência entre o ribeirão Ferro-Carvão e o Rio Paraopeba. A dragagem faz com que o sedimento do fundo do rio seja revolvido, provocando a mistura com a água e o consequente aumento da concentração dos contaminantes nas águas.

Nos estudos encontrados, existem algumas diferenças entre os resultados que chamam atenção. O parâmetro ferro dissolvido, por exemplo, no relatório da COPPE/UFRJ, encomendado pela Vale, não apresentou nenhum resultado de concentração acima do limite da legislação, com coletas realizadas em abril, maio, junho e agosto de 2019 e março de 2020. Por outro lado, o monitoramento do IGAM encontrou violações nas concentrações de ferro dissolvido ao longo de todo o ano de 2019, com exceção dos meses de junho a setembro, e ao longo de todo o ano de 2020.

Olhando mais de perto os dados dos dois estudos, encontramos uma grande diferença de medições realizadas em pontos de coleta muito próximos (poucos metros de distância) e datas também muito próximas, como mostra o quadro 2).

**Quadro 2 – Comparação de resultados de concentração de ferro dissolvido**

Estudo	Identificação do ponto	Data da coleta	Concentração de ferro dissolvido
IGAM	BPE2	03/03/2020	0,26 mg/L
COPPE/UFRJ	PT-02	05/03/2020	0,027 mg/L

Fonte: Dados obtidos a partir dos boletins IGAM (2020 e 2021) e COPPE/UFRJ (2020).



# CONSEQUÊNCIAS DA CONTAMINAÇÃO

## SOBRE OS USOS, FLORA E FAUNA

A contaminação constatada no Rio Paraopeba na Região 1, combinada com os demais danos causados ao rio e aos ecossistemas que dele dependem, resultou na perda da qualidade das águas, que ainda não pode ser utilizada pela população mesmo mais de 2 anos após o rompimento da barragem da Vale em Brumadinho.

A condição das águas do Rio Paraopeba também gerou preocupação quanto a sua utilização na irrigação. Dependendo da cultura e das características do solo, o uso da água pode causar contaminação dos produtos agrícolas (danos à flora cultivada).

Os efeitos da alteração desses parâmetros nas condições e recursos naturais são negativos e afetam também os ecossistemas aquáticos (modificação de habitat e dano à fauna silvestre). Por exemplo, valores altos de turbidez significam que a água está turva. As partículas que causam turbidez interferem na entrada de luz na água e, portanto, a quantidade de luz disponível para os seres que fazem fotossíntese é reduzida. Essa interferência na fotossíntese afeta a produção de alimentos para outros seres e prejudica toda a cadeia alimentar desse ecossistema. Além da turbidez alta, a redução do oxigênio dissolvido compromete a respiração dos peixes e dificulta a oxidação de matéria orgânica. Quando não há suficiente oxigênio dissolvido, a vida aquática é prejudicada e a oxidação do material orgânico começa a ser realizada por bactérias que não utilizam oxigênio, gerando mau cheiro.





Quando determinadas substâncias, naturais ou sintéticas, causam efeitos tóxicos na flora e fauna, incluindo os seres humanos, chamamos esses efeitos de efeitos **ecotoxicológicos**. Os efeitos ecotoxicológicos são um dos danos irreparáveis que afetaram a região. Os monitoramentos desses efeitos identificaram que diferentes organismos já estão sendo prejudicados pelas substâncias que estavam na barragem: microrganismos, algas, microcrustáceos e peixes já foram afetados (efeitos ecotoxicológicos em diferentes níveis tróficos).

Não se conhecia muito sobre os organismos microscópicos da água do rio Paraopeba, mas é possível afirmar que, por causa da intensa mudança no ecossistema aquático, os microrganismos também foram afetados. As populações de organismos microscópicos que conseguem conviver com alta concentração de ferro estão crescendo no rio e outras tiveram redução na população (alteração de microbiota aquática).



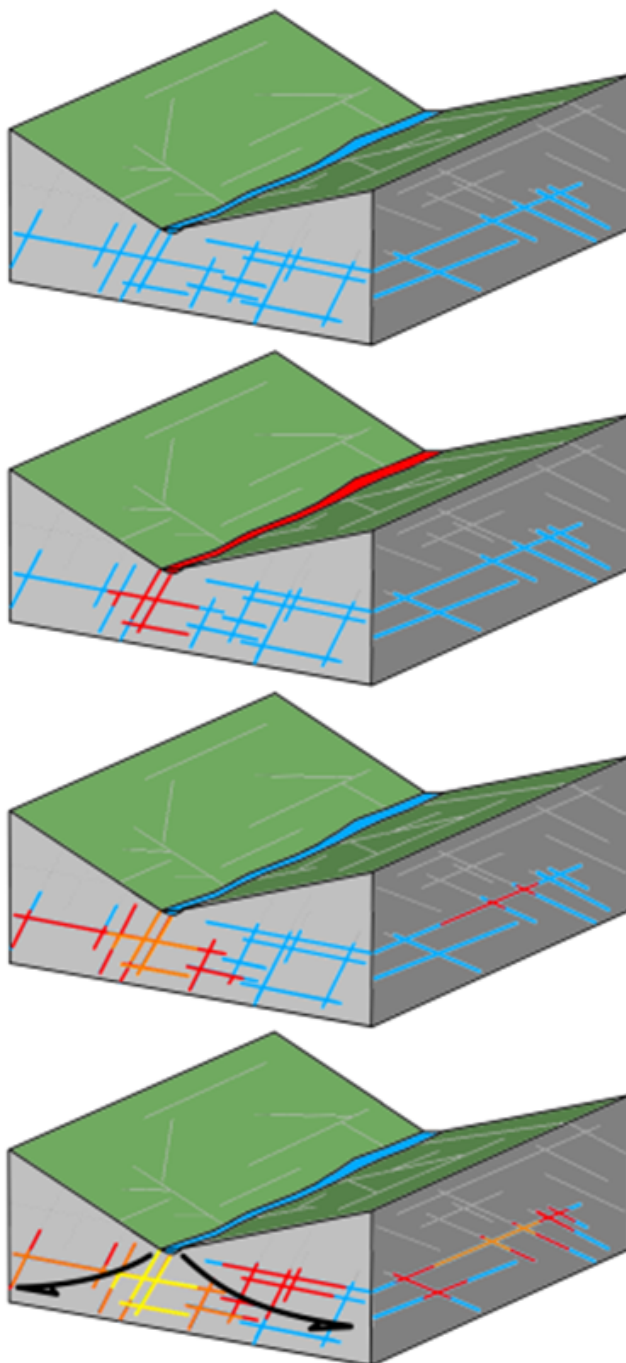
FONTE: GASPAR NÓBREGA/ SOS MATA ATLÂNTICA

Os efeitos tóxicos das substâncias presentes no rejeito da barragem são mais intensos conforme aproxima-se do ribeirão Ferro-Carvão. As algas que tiveram contato com a água da região de Brumadinho, onde a água recebeu muito rejeito, tiveram seu crescimento completamente inibido. A inibição do crescimento das algas afeta diretamente os animais que as consomem, como os crustáceos e peixes.

Os peixes que tiveram contato com a água contaminada pela lama, tanto os adultos como os embriões, foram afetados pelas substâncias tóxicas. Os efeitos vão desde deformidade em embriões à morte de indivíduos. Um estudo constatou que a musculatura dos peixes que tinham contato com a água ou sedimento contaminado pelos rejeitos da barragem estava com acúmulo de ferro, alumínio e manganês. Isso mostra que os peixes estão carregando metais em seu corpo e, se consumidos, vão transferir esses metais para quem os consumiu.

# CONSEQUÊNCIAS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Além dos próprios danos associados à contaminação das águas superficiais, os contaminantes podem caminhar em direção às águas subterrâneas, comprometendo também a sua qualidade. O aquífero predominante na região é o chamado aquífero Fraturado Centro Sul. Por ser um aquífero fraturado, os contaminantes podem se espalhar pelas águas subterrâneas de duas formas: por meio de infiltração pelo solo; ou da forma como mostra a figura 2, por meio de dispersão entre as fraturas.



FONTE: CAMF - PUC/MINAS, 2020. FONTE: RELATÓRIO PRELIMINAR DA ÁGUA.



Os contaminantes estão representados pela cor vermelha e se dispersam do rio para as fraturas do aquífero, mesmo após a contaminação não estar mais presente nas águas superficiais. As cores amarela e laranja representam menores concentrações do contaminante, que foram se diluindo.

Para verificar se a população pode estar exposta a algum risco à saúde ao consumir água da região, desde o rompimento da barragem da Vale em Brumadinho, o Sistema Único de Saúde (SUS) está realizando a análise da água de poços e cisternas que estejam localizados em até 100 metros das margens do Rio Paraopeba, desde Brumadinho até Três Marias.

Segundo a Secretaria Estadual de Saúde (SES), esta distância foi definida em função da “baixa mobilidade dos contaminantes”, sem qualquer discussão adicional que sustente a hipótese assumida. Os parâmetros medidos pelo SUS para a água de consumo humano devem obedecer ao que se chama de Valores Máximos Permitidos (VMPs), estabelecidos por um documento do **Ministério da Saúde (Portaria de Consolidação N° 5 de 28/09/2017)**.

Entre esses parâmetros estão os microbiológicos (Coliformes Totais e E. coli), que indicam o risco da presença de organismos nocivos à saúde; os organolépticos (alumínio, ferro, manganês, zinco, cor aparente e turbidez), que podem não ter efeitos diretos sobre a saúde, mas deixam a água mais turva, com elevada cor, com gosto ou odor desagradável; e as substâncias químicas que representam riscos à saúde (antimônio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e selênio).

É importante compreender que, mesmo para alguns dos parâmetros organolépticos, como o alumínio, ferro e o manganês, existem valores de risco à saúde que estão acima do padrão determinado na Portaria. O quadro 3 mostra os resultados de amostras em que os valores limites foram violados em Brumadinho, ou seja, que não estão em condições para consumo. Muitas das amostras coletadas em Brumadinho apresentaram parâmetros microbiológicos (presença ou não de microorganismos) e organolépticos (características dos materiais que podem ser percebidas pelos sentidos humanos, como a cor, a textura, entre outras) acima do limite permitido para consumo da água. Já a presença de substâncias químicas que apresentam risco à saúde foi encontrada acima do valor limite em poucas amostras, porém geram preocupação devido ao risco de dano grave à saúde.

Esses resultados demonstram que há a contaminação de águas subterrâneas no município de Brumadinho e justificam que a utilização da água desses poços e cisternas permaneça suspensa, de modo a preservar a saúde da população.

O cenário de contaminação das águas superficiais e subterrâneas nas áreas atingidas pelo desastre fez com que grande parcela da população que mora na região ficasse sem acesso à água. Além disso, as atividades de recuperação ambiental demandam água, aumentando a demanda por este recurso. Desde o desastre, uma grande quantidade de poços (outorgas de uso de água subterrânea) foi concedida, o que pode superar a capacidade do aquífero. Assim, nota-se um aumento da pressão sobre os recursos hídricos da região, tanto pela maior demanda, quanto pelo comprometimento de fontes utilizadas anteriormente.

**Quadro 3 – Amostras fora dos padrões de potabilidade em Brumadinho**

Parâmetro	Amostras fora do padrão (%)	Substâncias químicas	Amostras acima do VMP (n)
Coliformes Totais	42%	Antimônio	1
E. Coli	15%	Arsênio	1
Turbidez	19%	Bário	1
Cor aparente	22%	Chumbo total	2
Alumínio	6%	Cromo total	3
Ferro	19%	Selênio total	1
Manganês	3%		

Fonte: Dados obtidos a partir dos boletins SES (2020 e 2021).

Os contaminantes estão representados pela cor vermelha e se dispersam do rio para as fraturas do aquífero, mesmo após a contaminação não estar mais presente nas águas superficiais. As cores amarela e laranja representam menores concentrações do contaminante, que foram se diluindo.

Para verificar se a população pode estar exposta a algum risco à saúde ao consumir água da região, desde o rompimento da barragem da Vale em Brumadinho, o Sistema Único de Saúde (SUS) está realizando a análise da água de poços e cisternas que estejam localizados em até 100 metros das margens do Rio Paraopeba, desde Brumadinho até Três Marias.

Segundo a Secretaria Estadual de Saúde (SES), esta distância foi definida em função da “baixa mobilidade dos contaminantes”, sem qualquer discussão adicional que sustente a hipótese assumida. Os parâmetros medidos pelo SUS para a água de consumo humano devem obedecer ao que se chama de Valores Máximos Permitidos (VMPs), estabelecidos por um documento do Ministério da Saúde (Portaria de Consolidação N° 5 de 28/09/2017).

Entre esses parâmetros estão os microbiológicos (Coliformes Totais e E. coli), que indicam o risco da presença de organismos nocivos à saúde; os organolépticos (alumínio, ferro, manganês, zinco, cor aparente e turbidez), que podem não ter efeitos diretos sobre a saúde, mas deixam a água mais turva, com elevada cor, com gosto ou odor desagradável; e as substâncias químicas que representam riscos à saúde (antimônio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e selênio).

É importante compreender que, mesmo para alguns dos parâmetros organolépticos, como o alumínio, ferro e o manganês, existem valores de risco à saúde que estão acima do padrão determinado na Portaria. O quadro 3 mostra os resultados de amostras em que os valores limites foram violados em Brumadinho, ou seja, que não estão em condições para consumo.



# CONSEQUÊNCIAS NA FAUNA E FLORA

A mortalidade da fauna silvestre e doméstica é um dano irreversível, causado principalmente pelo espalhamento de lama, soterramento e contaminação dos ecossistemas terrestres e aquáticos. Os animais terrestres foram afetados diferentemente, de acordo com sua habilidade de movimentação e modos de vida.

Por exemplo, insetos de ninhos fixos, pequenos mamíferos e animais que vivem debaixo da terra foram dizimados. Bovinos, equinos, cães, gatos e outros animais domésticos também foram mortos e outros foram abatidos, por ser impossível retirá-los da lama. Os animais aquáticos foram especialmente afetados e passaram por dois picos de mortes, primeiro nas semanas após o desastre e depois houve outro pico ainda em 2019, por causa do aumento das chuvas na região.

Destaca-se ainda, a importância de realizar o levantamento das mortes e adoecimento de animais que ocorreram depois do contato com água contaminada pelos rejeitos em outras regiões. Houve registro de mortalidade de animais domésticos após a ingestão de água de cisternas abastecidas pelo Rio Paraopeba em São Joaquim de Bicas, o que indica que isso pode estar acontecendo em outras regiões. Essas informações são fundamentais para adequada caracterização dos danos à fauna.



FONTE: AGÊNCIA BRASIL - EBC

As ações de salvamento são medidas que devem ser realizadas após desastres como o de Brumadinho como forma de amenizar o estrago causado. O salvamento de fauna foi realizado pela Vale de forma insatisfatória, causando mais danos à fauna silvestre e doméstica.

Houve atraso nas obras do hospital de campanha para reabilitação dos animais resgatados, centro de triagem e abrigo e, segundo relato do IBAMA, medicamentos vencidos foram utilizados para tratamento dos animais. Os animais silvestres que foram resgatados vivos estiveram em situação de risco e serão impactados pela mudança de habitat, podendo sobreviver ou não à reintrodução em uma nova área. Além disso, o uso de espaços comuns para os animais resgatados favorece a transmissão de zoonoses, como a anemia equina infecciosa, leishmaniose, dentre outras.

Entre os danos à fauna silvestre e doméstica, foram constatados: o afugentamento de animais terrestres e pássaros, restrição da passagem e da movimentação natural dos animais, falta de água para beber e falta de alimentos. A Ação Civil Pública do Ministério Público do Estado de Minas Gerais (MPMG) ressaltou que cerca de 237 produtores e produtoras rurais deixaram de ter acesso à água para uso na dessedentação animal.

Alguns danos que afetaram mais a fauna aquática são: dificuldades na reprodução dos peixes, obstrução das brânquias (órgão do sistema respiratório dos peixes) que pode causar a morte por asfixia dos peixes, impacto no estado de conservação de espécies já listadas como ameaçadas de extinção, soterramento dos ovos e alevinos, impedimento da movimentação e interferência na ingestão de alimentos. Um agravante para os peixes é que o desastre ocorreu em período de piracema, o que causou mais prejuízo para a reprodução desses animais.

Além desses danos, tanto os animais silvestres como os domésticos estão correndo risco de sofrerem efeitos tóxicos das substâncias encontradas no rejeito, inclusive pelo uso da água do Rio Paraopeba.



FONTE: FÁBIO BARROS/AGÊNCIA F8/ESTADÃO CONTEÚDO



# CONSEQUÊNCIAS REGIONAIS NO MEIO AMBIENTE E SAÚDE PÚBLICA

Alguns danos possuem uma dimensão mais regional, são complexos e serão melhor compreendidos com o passar do tempo. Entre eles estão, a proliferação de vetores e doenças, perda de biodiversidade e biodisponibilização, bioacumulação e distribuição regional de metais pesados. Por isso, esforços para amenizar os efeitos desses danos foram adotadas por diferentes setores, como os responsáveis pela saúde pública e meio ambiente.

A intensa modificação física e biológica decorrente do desastre tem causado a proliferação de vetores e doenças. Isso ocorre por causa das intensas modificações nos ecossistemas, desequilíbrio no controle biológico e deslocamento de fauna, com animais debilitados, mais suscetíveis às doenças transmissíveis ou possivelmente infectados com doenças existentes na região, como febre amarela e raiva.



FONTE: AEDAS

A necessidade de armazenamento de água pela população após o desastre, somada às alterações de condições sanitárias e ao manuseio de água no enchimento e uso de reservatórios por caminhões pipa, também favorece a proliferação de insetos vetores de doenças.

A perda de biodiversidade é irreversível e gera grande impacto na região. A biodiversidade abrange os seres vivos e as funções por eles desempenhadas. A perda de biodiversidade inclui a mortalidade de fauna silvestre e doméstica, o soterramento de flora nativa e cultivada, bem como as modificações de habitats aquáticos e terrestres e os danos à fauna e à flora. Os danos afetaram Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade.

A figura 3 mostra possíveis consequências da exposição aos metais liberados pelo rompimento da barragem da mina do Córrego do Feijão, considerando os efeitos de longo prazo. O ser humano faz parte do complexo ciclo inserido no contexto do desastre e é considerado um dos receptores finais de elementos potencialmente tóxicos.

## EXPOSIÇÃO AOS METAIS CONTIDOS NO REJEITO

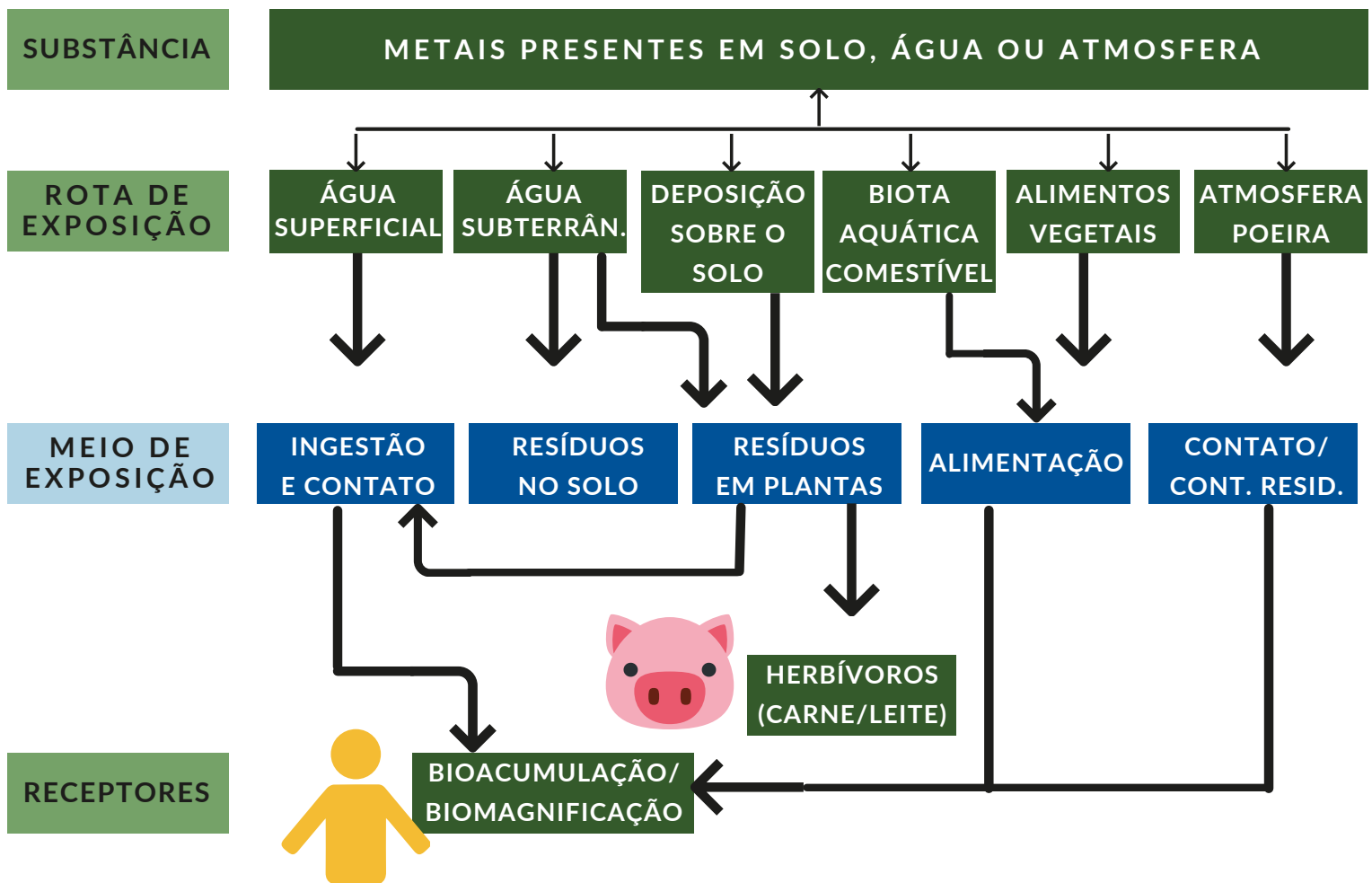


FIGURA 3: FLUXOGRAMA DAS POSSÍVEIS ROTAS, MEIOS DE EXPOSIÇÃO E EFEITOS CAUSADOS PELA EXPOSIÇÃO AOS METAIS LIBERADOS NO AMBIENTE PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM EM BRUMADINHO

É isso: os metais contidos no rejeito podem ser recebidos pelas pessoas e por animais através de ingestão e contato com a água e a poeira, resíduos no solo e plantas e via alimentação.



# AÇÕES DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

## E PRIORIDADES

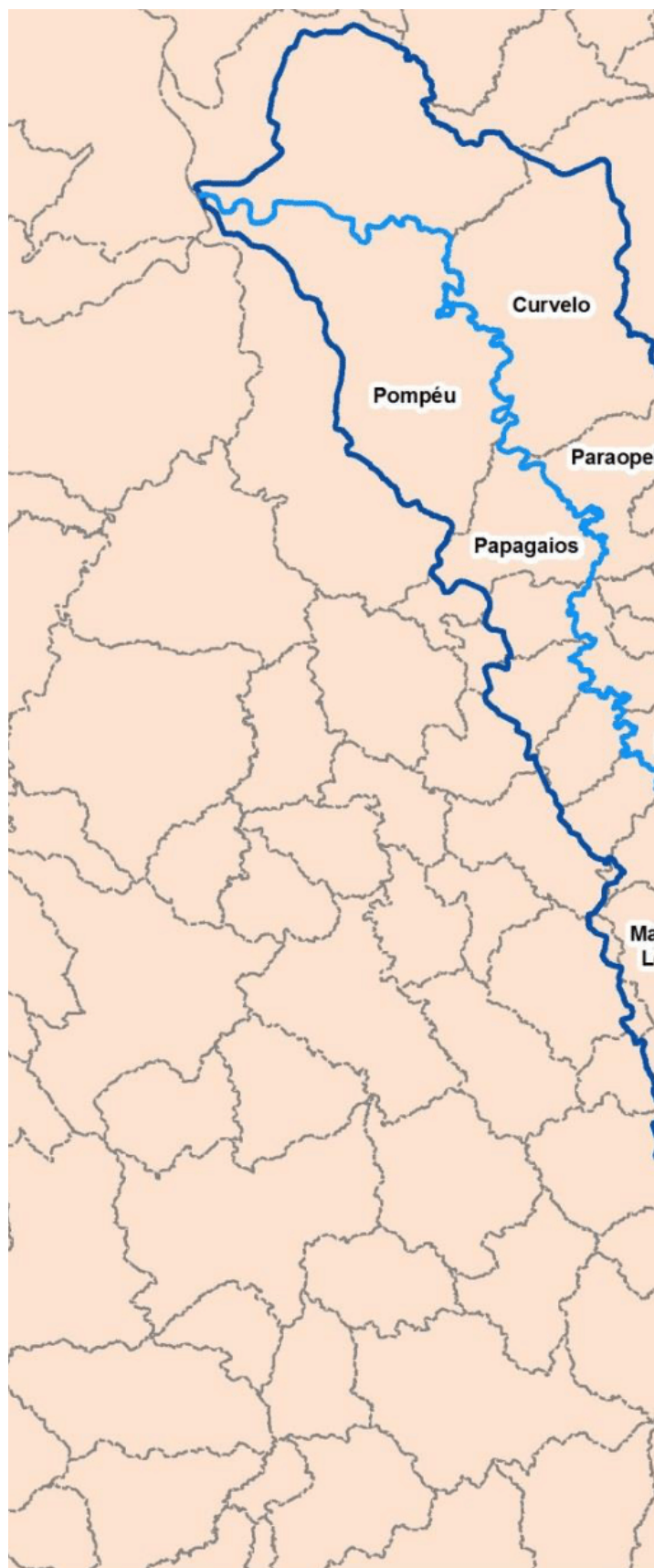
Algumas das ações necessárias para a recuperação ambiental na região provocam ou agravam certos danos ambientais. A criação de canais de desvio de rios afluentes do ribeirão Ferro-Carvão, ou mesmo a instalação de estruturas de contenção, geram grandes modificações na forma (alteração das feições fluviais) e no curso dos rios (modificação do fluxo do rio). Por isso, as estruturas de contenção devem ser desinstaladas ao final das ações de recuperação.

A remoção de vegetação para dar lugar a obras de construção, ou estradas que dão acesso às áreas onde são instaladas as estruturas de contenção, também é um dano associado às ações de recuperação ambiental. E, ainda, o aumento de particulados na atmosfera (partículas finas de poeira) devido às atividades de dragagem, transporte e destinação do rejeito proveniente do rompimento.

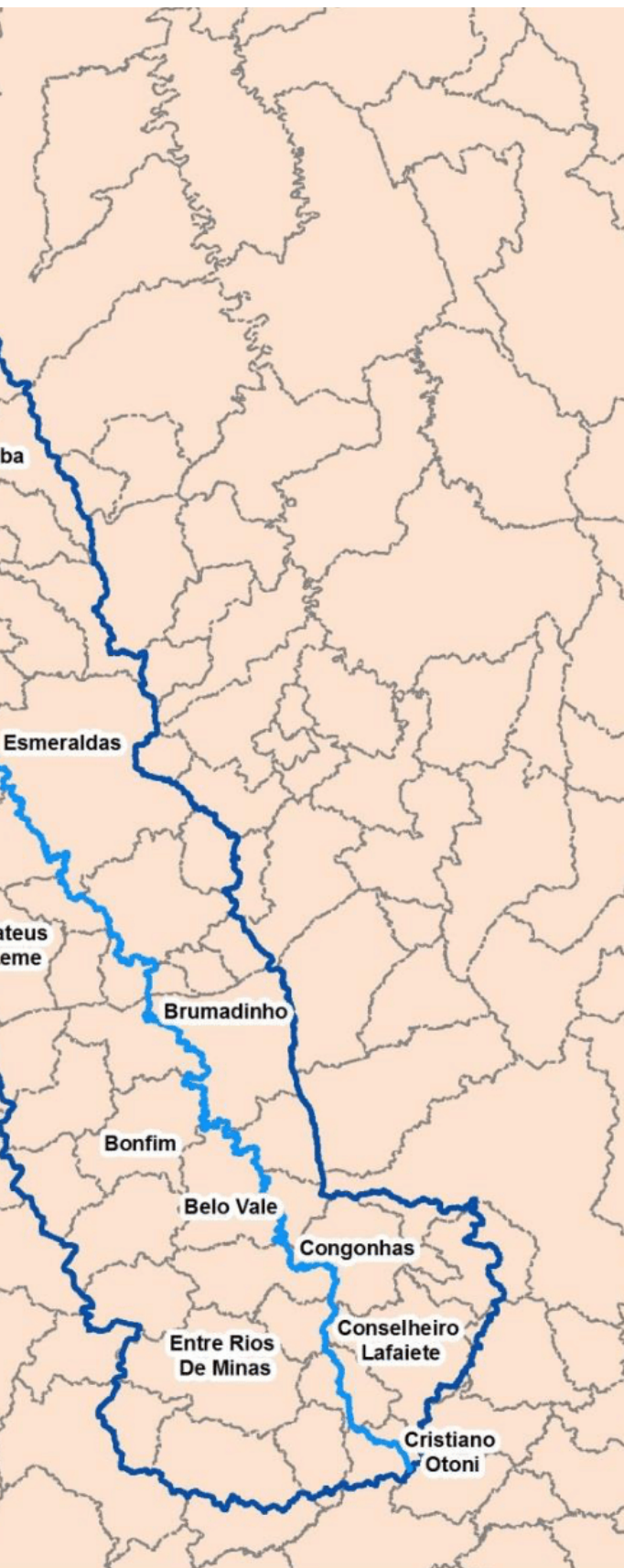
Os danos socioambientais constatados mostram parcialmente a dimensão e intensidade das consequências ambientais provocadas pelo desastre sociotecnológico em Brumadinho. Estes danos comprometeram a garantia do direito humano ao acesso a um conjunto de serviços ecossistêmicos que o ambiente disponibiliza às pessoas, ou seja, a oferta de água para consumo, provisão de alimentos silvestres e cultivados, recursos genéticos, matéria-prima, controle de insetos indesejáveis, manutenção da fertilidade natural do solo, manutenção da qualidade do ar, entre outros.

Estes fatores ambientais inviabilizam a manutenção daquilo que falamos lá no início, a chamada socioagrobiodiversidade, que se expressa por meio da diversidade cultural de pessoas que carregam e fortalecem uma identidade de relação com as plantas, com a terra, com a diversidade de sementes, animais e com os bens naturais (KÖHLER E BRACK, 2016).

Para avaliar estes danos e seus profundos impactos ao meio ambiente e à vida das pessoas atingidas, a Aedas, por meio da contratação de consultoria especializada, realiza neste estudo uma análise dos danos provocados pelo rompimento e os seus impactos sobre a oferta de serviços ecossistêmicos na região.



## COMO FOI FEITO O ESTUDO?



Diagnóstico e o levantamento dos danos socioambientais provocados pelo rompimento da barragem da Vale em Brumadinho. Essas são as bases das informações apresentadas nesta revista. O estudo sintetizado aqui realizou a identificação das relações entre cada dano identificado e os diversos serviços ecossistêmicos que a região oferece a sua população. O que isso quer dizer?

Com o foco na Região 1 da bacia do Rio Paraopeba, o estudo demonstrou que os danos socioambientais decorrentes do rompimento interferiram na oferta de serviços ecossistêmicos, e conseqüentemente, no bem-estar das populações que deles usufruem.

Essa análise possibilitou compreender que os benefícios da natureza que as famílias atingidas utilizavam para manter seus modos de vida e atividades produtivas, como um solo com boa fertilidade, disponibilidade de nascentes e água de qualidade, manutenção da qualidade do ar, entre outros, foram impactados negativamente.

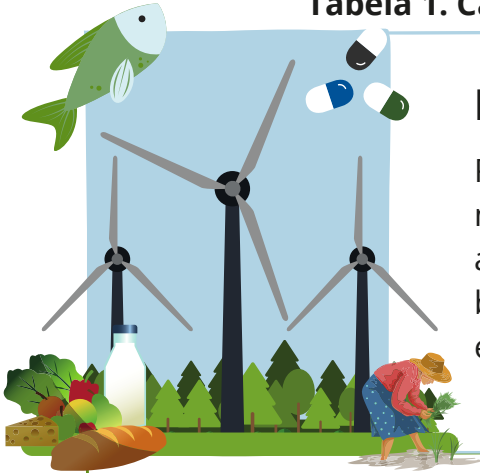
## MAS, O QUE SÃO SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS?

Serviços ecossistêmicos são benefícios que o ser humano obtém dos ecossistemas. Tais serviços são fundamentais para o bem-estar humano, não apenas no sentido da provisão, mas também em aspectos culturais e sociais que se desenvolvem na relação dos seres humanos com o ambiente em que se inserem.

**Quer exemplos? A imagem abaixo apresenta os serviços ecossistêmicos considerados em nossa análise, divididos por categorias e acompanhados de uma breve definição.**



Tabela 1. Categorias de serviços ecossistêmicos.



## PROVISÃO

Produtos obtidos diretamente dos ecossistemas naturais ou seminaturais (agricultura), como alimentos e fibras, recursos genéticos, produtos bioquímicos e medicinais, recursos ornamentais e água.

## CULTURAL

Emergem da interação íntima das sociedades com o meio natural, como valores religiosos e espirituais, geração de conhecimento (formal e tradicional), valores educacionais.



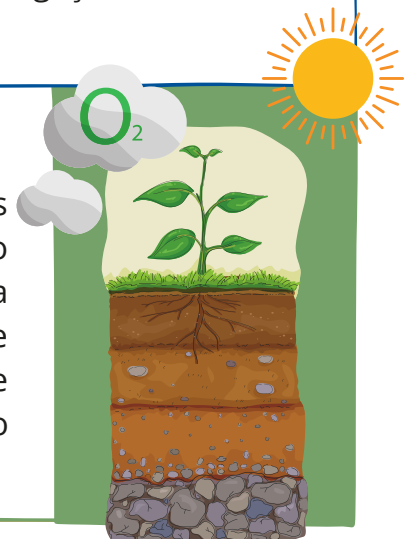
## REGULAÇÃO

Se relacionam às características regulatórias dos processos ecossistêmicos, como manutenção da qualidade do ar, regulação climática, controle de erosão, purificação da água, regulação de pragas na agricultura, polinização e mitigação de danos naturais.



## SUORTE

São necessários à produção dos demais serviços ecossistêmicos, como a produção de oxigênio atmosférico, a formação e retenção de solo, a ciclagem de nutrientes e da água e a provisão de habitat. Os impactos dos serviços de suporte sobre o homem são indiretos ou ocorrem em longo prazo, sendo mais difícil de serem percebidos.



## COMO FOI FEITO O ESTUDO?

Os serviços ecossistêmicos representam formas diversas de contribuição da natureza para as pessoas, estabelecendo condições que estruturam os modos de vida e a própria relação das comunidades com o ambiente. Nesse sentido, identificar como os danos decorrentes do desastre afetam os serviços ecossistêmicos é um caminho para analisar as diversas violações sobre o meio ambiente e, conseqüentemente, sobre a população atingida.

Aqui, os serviços ecossistêmicos são entendidos como representantes das formas como o ambiente viabiliza os diversos benefícios que as comunidades humanas obtêm da natureza.

## QUAL A IMPORTÂNCIA DA ABORDAGEM DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS?

A aplicação do conceito de serviços ecossistêmicos em avaliação de impactos ambientais busca integrar a análise do território, superando as deficiências da abordagem tradicional (Rosa e Sánchez, 2012). Assim, no processo de análise integrada dos danos decorrentes do rompimento da barragem em Brumadinho, foram identificados serviços ecossistêmicos oferecidos na região e avaliou-se como os danos ambientais decorrentes do desastre sociotecnológico interferem na oferta destes serviços e, conseqüentemente, no bem-estar das populações atingidas que deles usufruem.

Partindo dessa perspectiva, é possível identificar como os mesmos serviços ecossistêmicos têm maior ou menor relevância de acordo com as comunidades a que se referem. Assim, adotou-se aqui uma abordagem por serviços ecossistêmicos que se afasta da valoração monetária e coloca centralidade nas comunidades e nas formas como a natureza contribui com as pessoas.

Uma vez levantados os danos decorrentes do desastre sociotecnológico, buscou-se identificar ainda, como se expressam os efeitos de cada dano sobre cada serviço ecossistêmico, classificando-os como nulo, direto ou indireto. Feito isso, podemos analisar a relação dos danos com a oferta de serviços ecossistêmicos. Assim, pode-se identificar também o grau de significância de cada dano sobre cada serviço ecossistêmico, bem como os efeitos combinados de diversos danos sobre cada serviço ou categoria de serviço.



# A ANÁLISE INTEGRADA DOS DANOS E A SIGNIFICÂNCIA DOS DANOS SOBRE OS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Para realizar a análise integrada dos danos socioambientais decorrentes do rompimento da barragem, considerou-se como fonte de dados principais o diagnóstico e levantamento dos danos realizados pela consultoria Geoeng. Partindo desse levantamento, foram calculadas as significâncias dos danos sobre o meio físico e biótico (sistemizado no diagnóstico publicado pela Aedas), ou seja, foram avaliados o grau de impacto dos danos sobre o território e os seres vivos. É importante destacar que o que estamos chamando de “significância dos danos” é um parâmetro geral, que vai nos ajudar a ter uma dimensão do nível de degradação decorrente de cada dano em cada trecho do corredor hídrico atingido (zona quente, montante ou à jusante).

Depois de avaliar a significância desses danos em cada trecho, combinamos os resultados com as informações territoriais de cada região, principalmente aquelas relacionadas ao tipo de benefícios que a natureza oferece às comunidades de determinada região. Essa combinação permitiu identificar as relações estabelecidas entre os danos e os serviços ecossistêmicos fundamentais para as comunidades atingidas. Com base nestes dados, foi possível indicar o tipo de efeito que determinado dano tem sobre a oferta de determinado serviço ecossistêmico. Por exemplo, ao avaliarmos a significância do dano “alteração das feições fluviais” na zona quente, podemos indicar que o efeito deste dano sobre a oferta de água (serviço ecossistêmico de provisão) é de alta significância para as comunidades desta zona. Ou seja, ponderando a significância de cada dano (sua gravidade e efeito sobre os serviços ecossistêmicos), é possível identificar como cada dano se expressa sobre cada serviço ecossistêmico, bem como apontar os danos mais nocivos e os serviços ecossistêmicos e categorias de serviços mais afetadas. Tal metodologia, portanto, permite identificar como os danos se expressam, individualmente e conjuntamente, sobre os serviços ecossistêmicos e suas diferentes categorias.

A partir de diferentes situações de ocupação do solo (área urbana, rural, com alta densidade populacional, entre outras), foi possível ponderar também uma significância geral que expressa os danos sobre o conjunto dos serviços ecossistêmicos nos territórios ocupados daquela forma. Tal significância geral é determinada tendo em consideração a capacidade de oferta dos serviços ecossistêmicos por tipo de ocupação do território, conforme discutiremos daqui a pouco. Com base na significância geral, por tipo de situação de ocupação do solo, foi possível determinar como os serviços ecossistêmicos dos diversos territórios de Brumadinho foram afetados pelo desastre causado pela mineradora Vale.

A análise das diferentes situações de ocupação do solo foi construída a partir dos setores censitários, ou seja, segmentos do município a partir dos quais são levantados os dados no Censo 2010. A determinação das comunidades contidas em cada setor censitário foi feita com auxílio dos técnicos e das técnicas da Aedas da equipe de mobilização.

# ASPECTOS DE INTERESSE PARA A ANÁLISE INTEGRADA: RENDA, INTENSIDADE AGROPECUÁRIA E SANEAMENTO

Com base nos dados levantados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sobre diversos setores do município, podemos identificar uma série de aspectos de interesse, como a cobertura das redes de água e esgoto, a renda média e o nível de desigualdade de renda, os estabelecimentos do setor, o percentual de não brancos, entre outros.

Com base nestes aspectos de interesse, foi possível realizarmos uma análise dos danos sobre a oferta de serviços ecossistêmicos ponderada nesses atributos. Ou seja, foi possível identificar, tendo como base estes atributos, o grau de vulnerabilidade das comunidades perante os danos socioambientais. Os aspectos de interesse (que chamamos neste estudo de atributos, ou seja, peculiaridades da forma como o dano se expressa no território) se referem aos aspectos de renda, intensidade agropecuária e saneamento.

O primeiro indica aqueles setores com maior vulnerabilidade de renda, seja pela baixa renda média ou pela alta desigualdade. O segundo atributo, construído a partir do número de estabelecimentos agropecuários no setor perante o total, indica aqueles setores em que há maior intensidade na atividade agropecuária. O terceiro atributo indica as condições de saneamento, a partir de dados de abastecimento de água, descarte de efluentes domésticos e coleta de resíduos sólidos.





A opção por ponderar a significância geral dos danos sobre a oferta de serviços ecossistêmicos, a partir destes aspectos de interesse (atributos), se deu para entendermos como os danos socioambientais se expressam entre as comunidades. Com isso, podemos visualizar além dos efeitos dos danos sobre os serviços ecossistêmicos nas comunidades, as condições socioeconômicas em que tais danos se expressam e se agravam. A partir daí, pode-se identificar o grau de vulnerabilidade dos territórios perante os danos socioambientais decorrentes do desastre sociotecnológico.

Cabe ressaltar, contudo, que o presente estudo tem como objeto os danos constatados sobre o meio ambiente e seus efeitos sobre os usos múltiplos que as famílias atingidas faziam com os bens da natureza para manter seus modos de vida e atividades produtivas. Assim, as significâncias aqui avaliadas, longe de classificar as comunidades como mais ou menos atingidas, buscam apontar como os diferentes danos se expressam nos diferentes territórios, considerando os aspectos biofísicos e socioeconômicos.

## **ANÁLISE DOS EFEITOS DOS DANOS SOBRE OS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NO TERRITÓRIO DE BRUMADINHO**

Para avaliação dos danos sobre os serviços ecossistêmicos oferecidos na região de Brumadinho, optou-se por agregar os setores censitários em três diferentes divisões territoriais: Montante, Zona Quente e Jusante. Essas divisões territoriais são possíveis ao termos como parâmetro a localização dessas comunidades e o trajeto/presença do rejeito espalhado ao longo do Ribeirão Ferro-Carvão até atingir o Rio Paraopeba.

A Zona Quente compreende a área epicentro do desastre sociotecnológico causado pela empresa Vale. Composta pelas comunidades de Córrego do Feijão/Cantagalo, Parque da Cachoeira/Parque do Lago, Alberto Flores, Tejuco, Assentamento Pastorinhas, Córrego Fundo, Monte Cristo/Córrego do Barro e Pires. A região a Montante abrange as comunidades que localizam-se acima da confluência do ribeirão Ferro-Carvão e o leito do Rio Paraopeba (Aranha, Melo Franco, Casa Branca, Comunidades Quilombolas de Rodrigues, Ribeirão, Sapê e Marinhos, por exemplo). A região a Jusante abrange as comunidades que localizam-se após a confluência do Ferro-Carvão e o leito do Rio Paraopeba, áreas que vivenciam a perda da relação com o rio e também sofrem com os efeitos dos impactos ambientais provocados pelo desastre sociotecnológico (como é o caso dos bairros urbanos São Conrado, Bela Vista, entre outros).

Estas regiões foram impactadas de diferentes formas e extensivas maneiras (como danos à saúde, socioeconômicos, culturais e socioambientais), devido à destruição dos ecossistemas locais (Zona Quente e Jusante) e os efeitos do estigma da contaminação (Montante) decorrentes do fluxo do rejeito espalhado e suas consequências até os dias atuais.

# APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DA VALE COMO FICOU A OFERTA DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NA REGIÃO 1?

Conforme viemos conversando, os serviços ecossistêmicos representam os benefícios que o ser humano usufrui na relação com a natureza. Nesse sentido, quando refletimos sobre as relações das pessoas com a natureza, podemos falar em Contribuições da Natureza para as Pessoas (CNP), que são “todas as contribuições positivas, ou benefícios e, ocasionalmente, contribuições negativas ou perdas, que as pessoas obtêm da natureza” (Pascual et al. 2017).

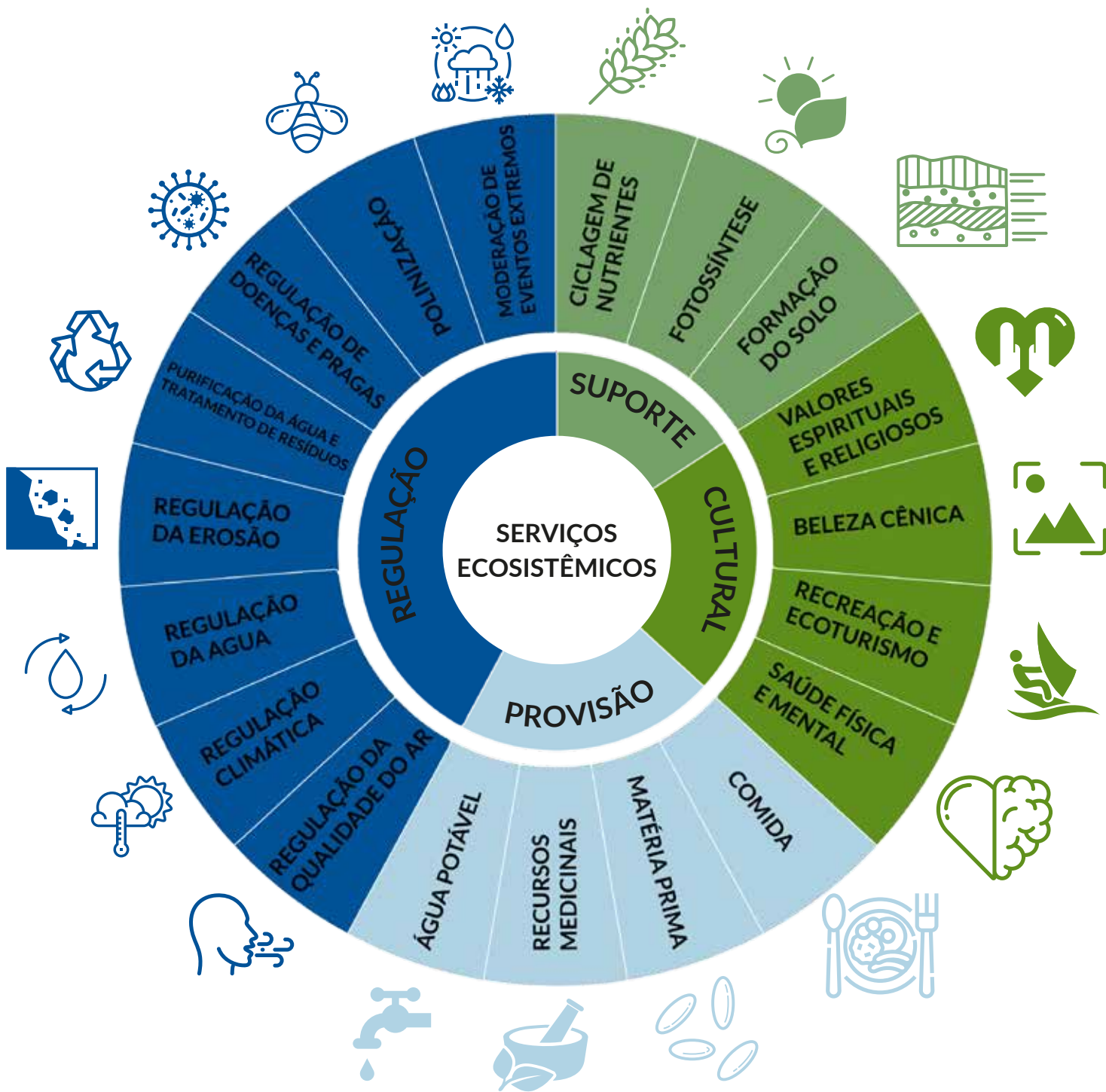
Partindo destes conceitos, é possível compreender diversas relações de causa e efeito. Um exemplo é a tentativa de identificar relações entre a degradação de recursos hídricos com a segurança hídrica das populações, tendo a última, por sua vez, efeitos sobre aspectos socioeconômicos da vida e sobre a segurança alimentar da população. Ou seja, a poluição de rios, córregos e nascentes pode comprometer o abastecimento de água de diversas comunidades, o que revela como um dano (degradação de recursos hídricos) altera

a disponibilidade de funções e benefícios que a natureza oferece (serviços ecossistêmicos). Para que vocês possam entender como se dão essas relações de benefício entre humanidade e natureza, apresentaremos o conjunto dos serviços ecossistêmicos considerados, indicando ainda a função ecológica a que se relacionam, bem como sua contribuição para as pessoas e seus efeitos sobre o bem-estar humano. A tabela a seguir, apresenta essas informações de forma resumida, indicando ainda uma breve definição de cada serviço.





APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DA VALE  
COMO FICOU A OFERTA DE SERVIÇOS  
ECOSSISTÊMICOS NA REGIÃO 1?



FONTE: AEDAS

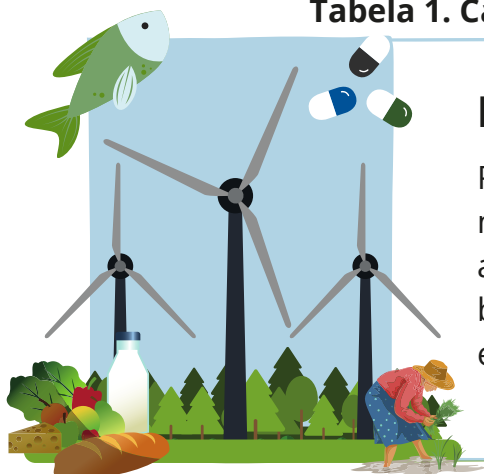


Para conseguir entender como ficou a oferta de serviços ecossistêmicos na região, buscamos determinar a significância dos danos, ou seja, o impacto dos danos na oferta dos serviços ecossistêmicos. Assim, elaboramos uma matriz de significância, que foi desenvolvida com base no levantamento e caracterização dos danos apresentados antes, aqui nesta revista. A matriz foi aplicada para três territórios diferentes de Brumadinho, divididos de acordo com o trajeto e presença do rejeito e as localizações das comunidades atingidas ao longo da bacia do Rio Paraopeba: a Zona Quente, a região a montante (acima do encontro do Ribeirão Ferro-Carvão com o Rio Paraopeba) e a jusante (após a confluência do Ferro-Carvão e o leito do Rio Paraopeba).

A matriz de significância consiste numa metodologia que permite identificar o conjunto dos danos e os respectivos impactos destes na oferta de serviços ecossistêmicos e, conseqüentemente, as alterações provocadas na biodiversidade. A matriz de significância foi então elaborada para cada um dos três territórios caracterizados neste estudo. Na Zona Quente, a matriz foi elaborada tendo como base o diagnóstico dos danos para o Trecho 01 - Ribeirão Ferro-Carvão, ou seja, todo o trecho impactado pelo depósito do rejeito. Nas regiões a jusante da confluência do Ribeirão Ferro-Carvão, utilizou-se os danos levantados no Trecho 02, ou seja os danos identificados a jusante da zona de confluência do Ribeirão Ferro-Carvão com o Rio Paraopeba. Para as regiões a montante, utilizamos os danos mais difusos e para tanto levou-se em consideração a caracterização dos danos no trecho a montante da confluência do ribeirão com o Rio Paraopeba.



Tabela 1. Categorias de serviços ecossistêmicos.



## PROVISÃO

Produtos obtidos diretamente dos ecossistemas naturais ou seminaturais (agricultura), como alimentos e fibras, recursos genéticos, produtos bioquímicos e medicinais, recursos ornamentais e água.

## CULTURAL

Emergem da interação íntima das sociedades com o meio natural, como valores religiosos e espirituais, geração de conhecimento (formal e tradicional), valores educacionais.



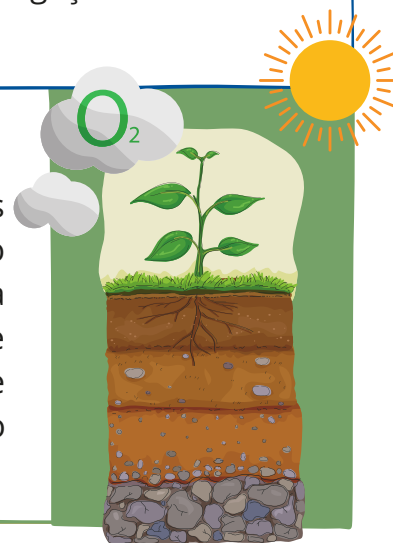
## REGULAÇÃO

Se relacionam às características regulatórias dos processos ecossistêmicos, como manutenção da qualidade do ar, regulação climática, controle de erosão, purificação da água, regulação de pragas na agricultura, polinização e mitigação de danos naturais.



## SUORTE

São necessários à produção dos demais serviços ecossistêmicos, como a produção de oxigênio atmosférico, a formação e retenção de solo, a ciclagem de nutrientes e da água e a provisão de habitat. Os impactos dos serviços de suporte sobre o homem são indiretos ou ocorrem em longo prazo, sendo mais difícil de serem percebidos.



## APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DA VALE COMO FICOU A OFERTA DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NA REGIÃO 1?

A partir dos danos levantados, buscamos determinar o tipo de efeito de cada dano sobre cada um dos serviços ecossistêmicos analisados, classificando-o como nulo (0), indireto (1) ou direto (2). Com isso, foi possível identificar os danos mais nocivos, assim como os serviços ecossistêmicos mais afetados.

Pela matriz é possível comparar os diferentes danos e serviços, bem como as relações estabelecidas entre eles, permitindo identificar o efeito combinado que os danos têm sobre os serviços ecossistêmicos.

A partir da matriz, foram sintetizados os dois principais resultados calculados. São eles: a significância dos danos em si, e a significância dos danos perante os serviços ecossistêmicos. Para obter esses resultados, a significância base de cada dano é ponderada pelo índice do tipo de efeito [nulo (0), indireto (1) ou direto (2)] para cada serviço ecossistêmico. Com isso, obtém-se uma significância específica de cada dano sobre cada serviço ecossistêmico.

A significância dos danos em si, é calculada a partir da soma de todas as significâncias específicas a ele relacionadas. Assim, a significância dos danos em si, tende a ser mais alta quanto maior o número de serviços ecossistêmicos afetados pelo dano a que se refere, e diz respeito também à intensidade do dano sobre aqueles serviços efetivamente afetados por ele. Somando as significâncias de danos em si, atuantes sobre cada serviço ecossistêmico, temos o grau de significância total dos danos sobre aquele serviço ecossistêmico e a intensidade combinada dos diversos danos sobre aquele serviço ou categoria de serviços.

Com isso, a matriz de significância nos permite identificar, ao mesmo tempo, o grau de significância específico estabelecido entre cada dano e cada serviço ecossistêmico e a significância de forma mais geral, indicando os efeitos da combinação dos diversos danos sobre os serviços e o grau de significância combinado de cada dano sobre os serviços.





# AS CATEGORIAS DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS IMPACTADAS PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM EM BRUMADINHO

A partir dos dados apresentados até aqui, já dá para fazer algumas considerações. Em primeiro lugar, cabe destacar que os serviços ecossistêmicos são aqui considerados como representantes dos usos múltiplos da socioagrobiodiversidade. Lembra que falamos disso na apresentação da revista?

Assim, as categorias dos serviços ecossistêmicos podem ser entendidas num sentido amplo como os grupos de benefícios que a humanidade obtém da natureza. De forma geral, pudemos perceber que as duas categorias de serviços mais afetadas no município de Brumadinho foram os **serviços culturais** e de **suporte**.

## SERVIÇOS CULTURAIS

Os efeitos nos serviços culturais são claros, uma vez que toda a população do município desenvolvia uma relação com o principal curso hídrico da região (o Rio Paraopeba). Essa relação se expressava nos usos para educação, apreciação estética, recreação e lazer, produção de conhecimentos e mesmo em relações mais íntimas e subjetivas perante o rio, como as ancestrais, as ritualísticas e religiosas.



## SERVIÇOS DE SUPORTE

Os serviços de suporte aparecem como os mais afetados nos três trechos analisados. Isso porque o desastre resultou num enorme “ecocídio”, ou seja, destruição de ecossistemas locais, dizimando a fauna e a flora em diversos níveis tróficos da teia alimentar.



Isso resultou em clara perda de biodiversidade e degradação de ecossistemas, dois dos principais benefícios oferecidos pelos serviços desta categoria.

# SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS IMPACTADOS NA ZONA QUENTE

Deu para notar que os danos com maior significância nesta zona são aqueles decorrentes do espalhamento e depósito de lama sobre a bacia do ribeirão Ferro-Carvão, como o soterramento de áreas úmidas e o soterramento de flora silvestre. A perda de biodiversidade, a remoção de vegetação e a modificação de habitat também demonstraram danos bastante nocivos perante os serviços ecossistêmicos.

Novamente, os danos mais graves ou os danos mais graves aos serviços ecossistêmicos se relacionam ao escoamento do rejeito que soterrou e destruiu diversos ecossistemas e mesmo áreas antrópicas (ocupadas pelos seres humanos), além das vidas humanas tragicamente encerradas. O destaque, nesse quesito, são os danos sobre a flora, uma vez que a cobertura vegetal se relaciona a uma série de funções ecossistêmicas. Assim, os danos à flora, inicialmente pelo soterramento e posteriormente pela contaminação do ambiente e pelo recobrimento do solo, acabam afetando diversos usos da socioagrobiodiversidade.







FONTE: AEDAS

**Provisão:** foram especialmente afetados pelos danos que se relacionam ao fornecimento de água, alimentos e matérias-primas. Nesse sentido, a destruição de áreas úmidas e a contaminação das águas aparecem como danos mais nocivos para esta categoria de serviços, além de outros com efeitos sobre a disponibilidade e a qualidade das águas.

## CATEGORIAS DE SERVIÇOS AFETADAS

**Suporte:** pela ótica dos serviços ecossistêmicos, observa-se que aqueles relacionados à categoria de suporte foram os mais afetados. Entre os danos ambientais que mais tiveram efeitos sobre os serviços desta categoria, estão a perda de biodiversidade, a modificação de habitats e a destruição de ecossistemas, além dos diversos danos relacionados à qualidade e disponibilidade de água.

**Regulação:** os danos mais nocivos foram aqueles mais relacionados à degradação de ecossistemas, como a destruição de áreas úmidas e de áreas de vegetação silvestre, além dos danos sobre os solos e as águas



FONTE: AEDAS



## SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS IMPACTADOS NA ZONA QUENTE



FONTE: AEDAS

**Cultural:** profundamente afetados, observamos os danos sobre as águas fluviais como os mais nocivos. Isso porque a contaminação do ambiente afetou os modos de vida das populações atingidas, especialmente em função das relações estabelecidas entre elas e os cursos d'água, além de toda a incerteza e apreensão em torno do tema, em função da falta de informações transparentes sobre a qualidade das águas na região.



FONTE: BRASIL DE FATO



# SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS IMPACTADOS A JUSANTE DA CONFLUÊNCIA DO RIBEIRÃO FERRO-CARVÃO COM O RIO PARAOPEBA

**TIPOS DE DANOS:** os danos se relacionam principalmente à enorme descarga da lama de rejeitos no leito do Rio Paraopeba, uma vez que a massa depositada no rio se manteve predominantemente na calha do rio, com efeitos em todo o curso a jusante da confluência. Nesse sentido, a perda de biodiversidade e modificação de habitat novamente surgem como dois dos principais danos, desta vez muito mais relacionados ao meio aquático.

Outros danos com efeitos sobre a qualidade das águas também apresentam alta significância total perante os serviços ecossistêmicos, especialmente a contaminação e a perda de qualidade das águas. Destaca-se também a enorme mortalidade de peixes silvestres, bem como da microbiota (população de microorganismos, como fungos, bactérias, plâncton e fitoplâncton). Os danos de maior significância relativa são a modificação do habitat e a perda de biodiversidade, além de danos relacionados à contaminação das águas. A pressão sobre os recursos hídricos da região decorrente das atividades de recuperação é, portanto, agravada pela restrição de uso das águas do Paraopeba.



FONTE: AEDAS



## CATEGORIAS DE SERVIÇOS AFETADAS

**Suporte:** os principais danos relacionados foram a perda de biodiversidade, a modificação de habitat e a alteração da microbiota aquática, além da citogenotoxicidade (alterações na formação genética das células que compõem os seres vivos, devido a toxicidade de substâncias como metais, possível de ser constatada através de testes com cebola).



AEDAS  
Amostragem Solos  
P03  
18.06.2021 12:51  
-20.15683, -44.15979  
Estr. p/ Alberto Flores, Brumadinho - MG, 35460-000

FONTE: AEDAS

**Cultural:** a contaminação de sedimentos e águas, além da modificação do habitat e da perda de biodiversidade, aparecem como danos mais nocivos, especialmente em função das relações sociais, culturais, étnicas e religiosas estabelecidas a partir das águas e da biodiversidade.



AEDAS  
Amostragem Superficial  
P01 GEOENG  
27.05.2021 15:30  
-20.17201, -44.1616  
Toca de cima - Unnamed Road, 35460-000, Brumadinho - MG,  
35460-000

FONTE: AEDAS

**Regulação:** além de danos à biota (ao conjunto de seres vivos) associados à contaminação de águas e sedimentos, a modificação de habitat e a perda de biodiversidade novamente aparecem como danos mais nocivos.

**Provisão:** os danos acima também tiveram grande efeito sobre os serviços de provisão, mas a contaminação das águas que degradou a sua qualidade é o mais relevante perante os serviços ecossistêmicos desta categoria, especialmente em função da importância da qualidade das águas para abastecimento e produção de alimentos.

# SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS IMPACTADOS A MONTANTE DA CONFLUÊNCIA DO RIBEIRÃO FERRO-CARVÃO COM O RIO PARAOPEBA

**TIPOS DE DANOS:** os danos considerados para os setores a montante da região do desastre foram aqueles mais difusos, que tendem a se expressar por territórios mais amplos. Os principais danos foram a modificação de habitat e a perda de biodiversidade no Rio Paraopeba, com efeitos que extrapolam apenas as regiões a jusante. Destaca-se também o dano relacionado a biodisponibilização (a disponibilização de substâncias tóxicas no ambiente, como por exemplo o rejeito proveniente da barragem que tornou disponível no ambiente grande quantidade de metais pesados com características tóxicas), bioacumulação (processo pelo qual substâncias ou compostos químicos são absorvidos pelo organismo) e distribuição regional de metais pesados, além da perda de qualidade das águas e da pressão sobre os recursos hídricos, que agrava os riscos de abastecimento em toda a região.



FONTE: AEDAS



## CATEGORIAS DE SERVIÇOS AFETADAS

**Suporte:** relacionada principalmente a processos ecológicos mais primários (como a produção de oxigênio, ciclagem de nutrientes, formação e retenção de solos e ciclagem da água), foi a segunda mais afetada, especialmente em função das modificações no Rio Paraopeba, como a contaminação das águas, os efeitos sobre a biota aquática, a bioacumulação e distribuição regional de metais, e mudanças no padrão de sedimentação.



FONTE: AEDAS

**Regulação:** a perda de biodiversidade e a modificação do habitat representam os danos mais nocivos, uma vez que estes danos acabam tendo efeitos sobre diversos serviços que se prestam a regulação e manutenção da qualidade ambiental da região.

**Provisão:** também foram bastante prejudicados nas regiões a montante, especialmente em função das incertezas perante a qualidade das águas, que afetam a provisão de água tanto para consumo quanto para usos diversos, incluindo o agropecuário.

**Cultural:** nesse sentido, a categoria de serviços culturais aparece como a mais afetada, uma vez que os efeitos do desastre têm um enorme efeito em toda a população atingida. Entre os principais danos relacionados a tal categoria, destacam-se aqueles que afetam a qualidade das águas do Paraopeba, uma vez que o rio era um importante elemento da relação estabelecida entre as populações atingidas e os territórios.



# QUAL A SIGNIFICÂNCIA DOS DANOS PARA OS DIFERENTES GRUPOS SOCIAIS E COMUNIDADES PRESENTES NO TERRITÓRIO?

Para compreender os danos, considerando as especificidades das comunidades e grupos sociais presentes no território, optamos por uma análise territorial dos danos, ou seja, como os danos se expressam nas comunidades que compõem o território da Região 1. Para isso, em primeiro lugar, foi necessário definir a capacidade de fornecimento de serviços ecossistêmicos em diferentes territórios.

Essa ponderação se justifica pelo fato de diversas áreas do município terem sido profundamente alteradas pela ação humana, em alguns casos com mudanças completas na paisagem, como nas áreas urbanas de alta densidade de edificações.

Em sistemas urbanos, a biodiversidade é predominantemente determinada pela ação humana. A estrutura física da paisagem acaba favorecendo algumas espécies, reduzindo a diversidade original e simplificando a provisão de serviços ecossistêmicos.

Habitats nos centros urbanos também são bastante diversos, combinando ecossistemas naturais com áreas altamente degradadas. Essa diversidade limita a composição e a variedade de comunidades bióticas, mas é parcialmente revertida quando as áreas urbanas são cercadas por ecossistemas de grande biodiversidade.

Assim, em núcleos urbanos menores e cercados por áreas menos antropizadas (modificadas pela ação humana), pode-se constatar uma maior capacidade de fornecimento de serviços ecossistêmicos. As áreas rurais, conforme discutimos no tópico anterior, incluem ocupações muito diversas, com maior ou menor alteração da paisagem, mas predominantemente associadas a uma série de serviços ecossistêmicos (BPBES, 2019). Nesse sentido, consideramos as diversas ocupações das áreas rurais na definição de sua capacidade de fornecimento de serviços ecossistêmicos.

A intensificação da degradação da paisagem ocorre por meio da mudança em 3 elementos da paisagem: a composição (uso da terra), a intensificação do uso da terra, e a configuração dos elementos da paisagem (distribuição espacial dos elementos). Quanto mais conservadas estão as paisagens, mantendo cobertura de vegetação nativa (representada em azul na figura) acima de um determinado limiar, numa disposição espacial pouco partida, e quanto menor for a intensidade de uso das terras (áreas de uso antrópico estão representadas em branco na figura) e menor for a perturbação das áreas nativas, maior a biodiversidade e, conseqüentemente, a provisão de diferentes serviços ecossistêmicos (BPBES, 2019).

Neste sentido, para cada categoria de situação do setor censitário, foi estabelecido um ponderador relacionado à capacidade de fornecimento dos diversos serviços ecossistêmicos, que pode ser nula (0), baixa (1,0), média (1,5) ou alta (2,0). Estes índices ponderadores são **apresentados no gráfico a seguir.**

# QUAL A SIGNIFICÂNCIA DOS DANOS PARA OS DIFERENTES GRUPOS SOCIAIS E COMUNIDADES PRESENTES NO TERRITÓRIO?

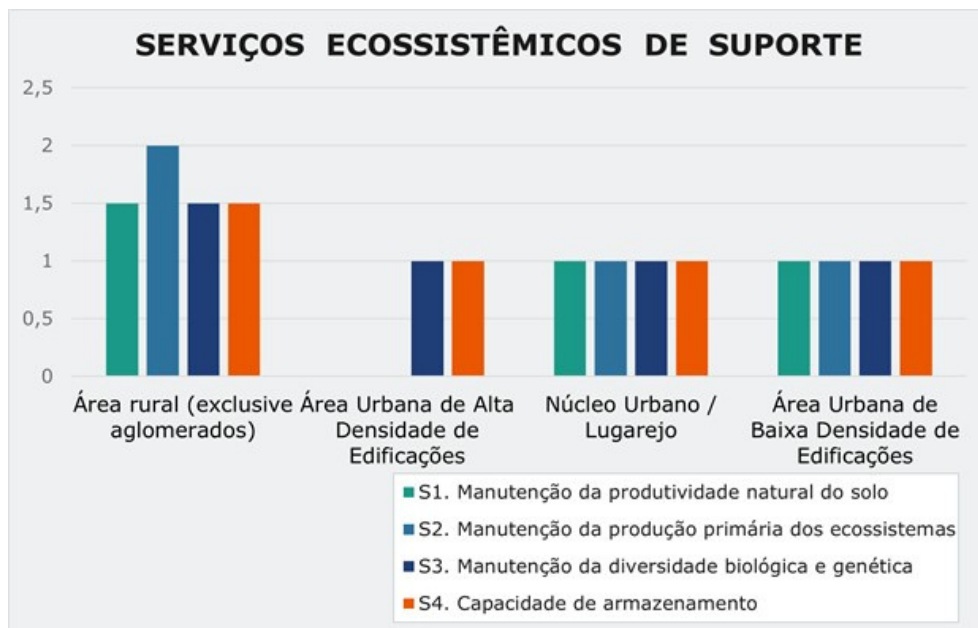


GRÁFICO 1

Em relação aos serviços ecosistêmicos de suporte, notamos que tanto os núcleos urbanos quanto a área urbana tiveram baixa significância, enquanto as áreas rurais variaram de média a alta significância, o que expressa a grande capacidade de fornecimento de serviços ecosistêmicos como manutenção da produtividade natural do solo, da produção primária dos ecossistemas, da diversidade biológica e genética, assim como capacidade de armazenamento de água, entre outros.

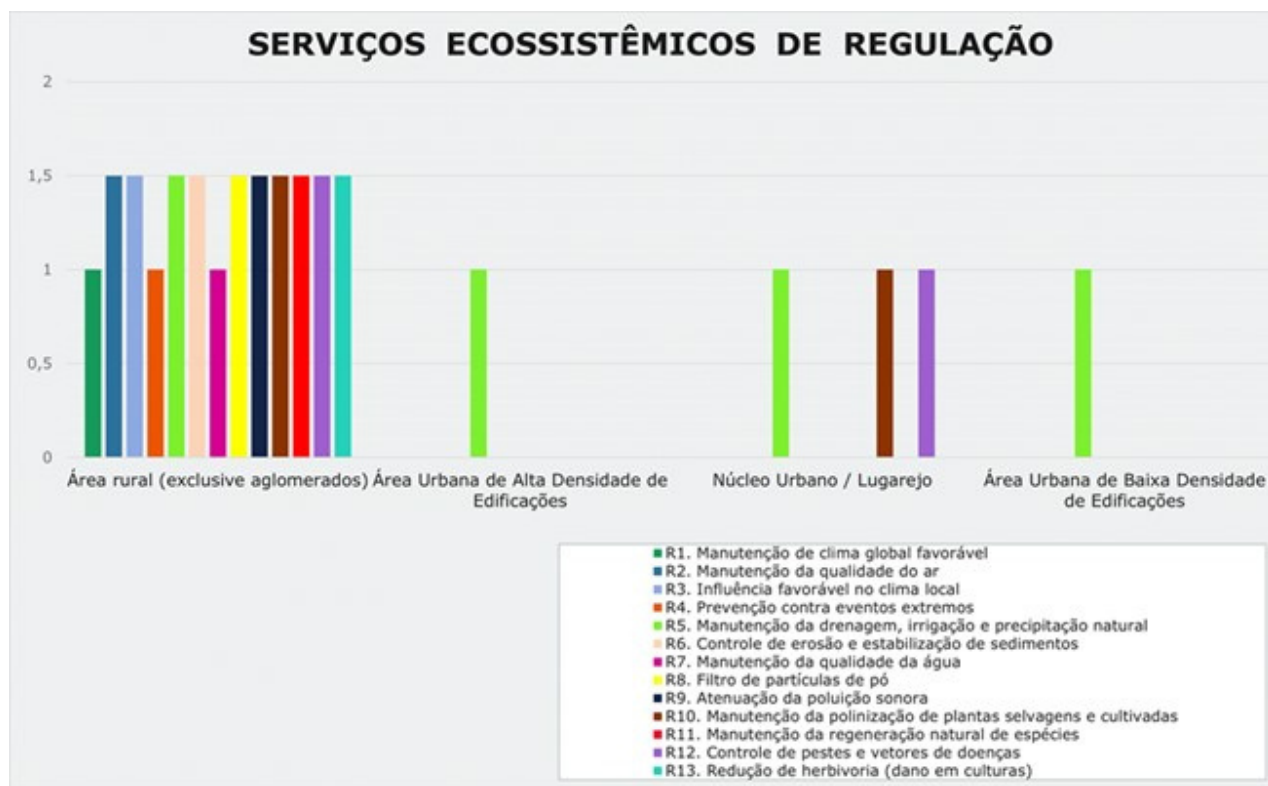


GRÁFICO 2

## QUAL A SIGNIFICÂNCIA DOS DANOS PARA OS DIFERENTES GRUPOS SOCIAIS E COMUNIDADES PRESENTES NO TERRITÓRIO?

Podemos observar que a capacidade de fornecimento dos serviços ecossistêmicos de regulação também é de elevada significância nas áreas rurais, muito embora também sejam significativos nos núcleos e áreas urbanas. Isso se deve ao importante papel de todo o ecossistema para manutenção da qualidade do ar, manutenção da qualidade da água, dentre outros serviços presentes em todo o território.

A capacidade de provisão de recursos genéticos, de água para consumo, de alimentos silvestres e cultivados, a provisão de recursos como matéria-prima e para usos bioquímicos e medicinais são serviços ecossistêmicos oferecidos principalmente em regiões rurais, como pode ser observado no gráfico 2, já que esta região tem a presença de fragmentos florestais, vegetação nativa e recursos hídricos abundantes.

Muito embora núcleos urbanos e áreas urbanas também sejam banhadas por rios e córregos, como é o caso de Brumadinho, em que o Rio Paraopeba e os seus tributários percorrem boa parte do trecho considerado urbano e são os principais provedores de água para consumo humano, serviço que foi interrompido em toda a região após o rompimento da barragem da Vale.

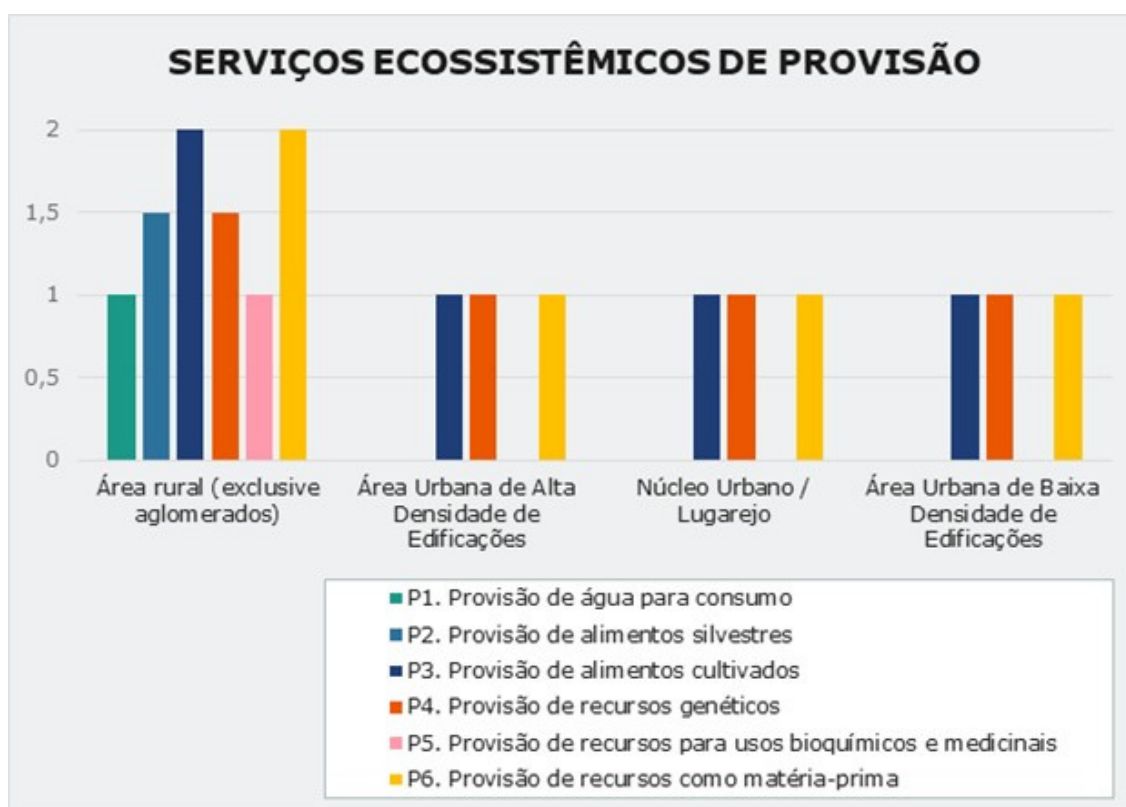


GRÁFICO 3

Os valores culturais, espirituais e religiosos, bem como recreativos, educacionais e científicos se constituem como serviços ecossistêmicos culturais de alta significância para as áreas rurais e núcleos urbanos. Isso se deve às práticas religiosas e culturais presentes no território e que têm o rio como principal patrimônio cultural e religioso da região.



## QUAL A SIGNIFICÂNCIA DOS DANOS PARA OS DIFERENTES GRUPOS SOCIAIS E COMUNIDADES PRESENTES NO TERRITÓRIO?

Além disso, a prática esportiva da pesca, e o próprio uso recreativo do Rio Paraopeba foi interrompido com o rompimento da barragem, o que pode ser expressado na alta significância dos serviços que o rio oferece/oferecia e a relevância para as diferentes comunidades rurais ou urbanas, conforme pode ser visualizado no gráfico abaixo.



GRÁFICO 4

Os índices de capacidade de fornecimento dos serviços ecossistêmicos apresentados nos gráficos acima funcionam como ponderadores das significâncias totais, assim, é possível determinar uma significância geral que está associada a cada tipo de situação setorial (uso e ocupação do solo), ao relacionarmos os danos sobre os serviços ecossistêmicos com as suas respectivas capacidades de fornecimento nos territórios.

As significâncias dos danos foram calculadas para os diferentes tipos de situação setorial, e são apresentadas no gráfico abaixo. O somatório representa o total das significâncias sobre os serviços, ponderadas pelas capacidades de fornecimento de cada serviço ecossistêmico naquela categoria de situação setorial. Já a significância geral (signif0) foi calculada levando-se em conta apenas os serviços efetivamente afetados naquele setor, demonstrando por meio da magnitude do indicador maior ou menor impacto sobre os serviços ecossistêmicos daquela área.

## QUAL A SIGNIFICÂNCIA DOS DANOS PARA OS DIFERENTES GRUPOS SOCIAIS E COMUNIDADES PRESENTES NO TERRITÓRIO?

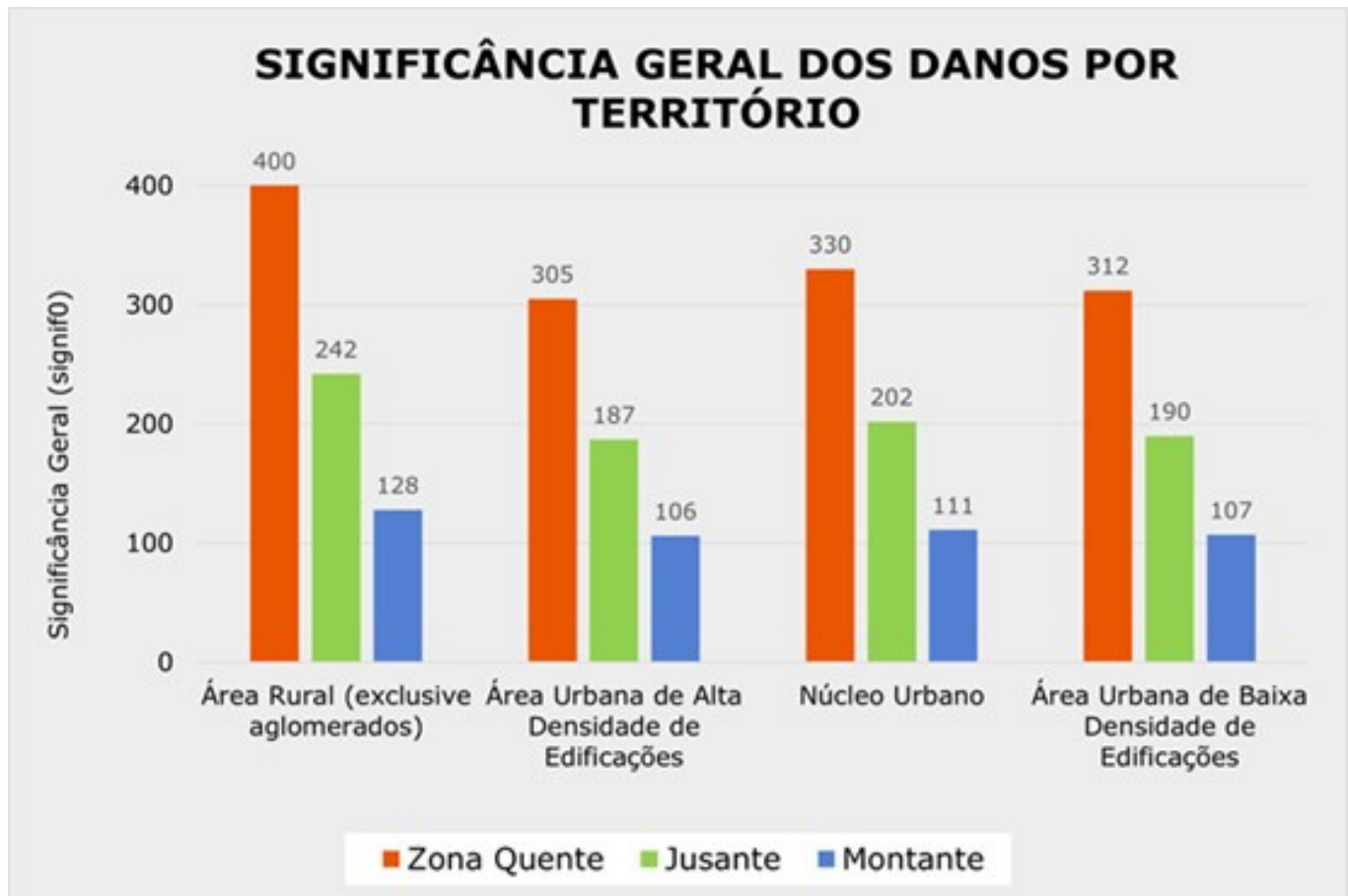


GRÁFICO 5

Os valores culturais, espirituais e religiosos, bem como recreativos, educacionais e científicos se constituem como serviços ecossistêmicos culturais de alta significância para as áreas rurais e núcleos urbanos. Isso se deve às práticas religiosas e culturais presentes no território e que têm o rio como principal patrimônio cultural e religioso da região.

Além disso, a prática esportiva da pesca, e o próprio uso recreativo do Rio Paraopeba foi interrompido com o rompimento da barragem, o que pode ser expressado na alta significância dos serviços que o rio oferece/oferecia e a relevância para as diferentes comunidades rurais ou urbanas, conforme pode ser visualizado no gráfico abaixo.

Pelos resultados apresentados no gráfico acima, dá para notar que as áreas rurais foram as mais afetadas em todas as regiões. Isto expressa o fato de que tais setores têm maior capacidade de fornecimento de serviços ecossistêmicos, resultando em efeitos maiores dos danos nessas áreas. A Zona Quente concentra as maiores significâncias gerais, o que indica os efeitos dos diversos danos relacionados ao espalhamento e deposição de lama na região. Nos setores a jusante e montante, em função da menor quantidade de danos levantados, são observadas significâncias menores.



## QUAL A SIGNIFICÂNCIA DOS DANOS PARA OS DIFERENTES GRUPOS SOCIAIS E COMUNIDADES PRESENTES NO TERRITÓRIO?

Vimos no tópico anterior que, a partir das significâncias sobre os serviços ecossistêmicos, foram calculadas as significâncias gerais por tipo específico de ocupação do solo [situação setorial]. Essa abordagem permitiu identificar como os danos se expressam de forma diferenciada a depender do ambiente em que se dão. Nesse mesmo sentido, buscou-se identificar formas de ponderação dos danos a partir de aspectos socioeconômicos das comunidades.

Para isso, utilizamos os microdados do Censo de 2010, com informações consolidadas por setor censitário. Ainda que os dados de 2010 sejam relativamente defasados, a opção por seu uso se justifica, uma vez que o Censo é a principal pesquisa social conduzida no país, com dados consolidados em diferentes níveis de agregação.

Assim, não existem dados mais recentes neste nível de agregação e com semelhante abrangência. Com os microdados do censo de 2010, foi possível construir 3 atributos de ponderação da significância geral. A metodologia de construção de cada um dos atributos, bem como sua justificativa, é apresentada a seguir. A tabela 5-4, ao final da discussão, apresenta os atributos calculados para cada um dos setores censitários, bem como a situação do setor no que tange ao uso do solo.

### **Atributo 1 – Renda**

Vejamos que para a construção do atributo de renda, ou seja para fazer uma análise dos danos com o foco no aspecto da renda, buscamos extrair os dados de renda média nominal do Censo de 2010 para cada um dos setores censitários da área de interesse, posteriormente convertidos em salários-mínimos de 2010 para comparação ao longo do tempo. Além disso, foram coletados também dados referentes à população com rendimento médio por pessoa inferior a meio ( $\frac{1}{2}$ ) salário-mínimo, indicador que usualmente é utilizado como índice de pobreza. Estes dois dados foram combinados para a determinação do atributo de renda.

A mensuração da atribuição, ou seja o seu valor em números, se deu da seguinte maneira: para o critério da renda média, os setores com rendimento médio inferior a meio ( $\frac{1}{2}$ ) salário-mínimo receberam o valor de 2; os setores com rendimento médio entre meio ( $\frac{1}{2}$ ) e 1 salário-mínimo receberam o valor de 1,5; os setores com renda média acima de 1 salário-mínimo receberam o valor de 1. Já pelo critério do índice de pobreza (população com rendimento mensal per capita abaixo de meio ( $\frac{1}{2}$ ) salário mínimo), os setores com índice superior a 60% receberam o valor de 2, caso contrário o valor de 1. Assim, o atributo referente à renda foi definido a partir do valor mais alto entre as resultantes de cada critério (renda média e índice de pobreza), conforme pode ser visualizado na tabela a seguir.

# PARÂMETROS DE PONDERAÇÃO DOS DANOS A PARTIR DE ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS DAS COMUNIDADES

**Tabela 1. Mensuração do atributo de renda**

Mensuração do atributo de renda		
Critérios	Setores	Atributos
Renda média	Rendimento médio inferior a 1/2 salário mínimo	2
	Rendimento médio entre 1/2 salário mínimo e 1 salário mínimo	1,5
	Rendimento médio acima de 1 salário mínimo	1
Índice de pobreza	índice superior à 60%	2
	inferior à 60%	1

A utilização combinada de dados de renda média e do índice de pobreza busca diminuir distorções em setores muito desiguais, onde a renda média pode ser alta, mas há uma expressiva parcela de população em situação de pobreza, o que se configura como uma situação de concentração de renda.

A utilização deste atributo é importante porque as condições de renda das famílias têm grande influência sobre a forma como os danos se expressam. Setores censitários com menor renda ou com alta desigualdade concentram atingidos e atingidas sem condições financeiras de lidar com os efeitos do desastre criado pela Vale.

Nesse sentido, as regiões com baixa renda, além de não terem condições de arcarem com medidas próprias para a diminuição da exposição ao risco, acabam sendo mais prejudicadas pelos aspectos socioeconômicos do desastre, como a perda de renda e emprego. Esses setores, portanto, acabam por ficar em uma situação delicada, altamente dependentes de medidas de auxílio e muito mais vulneráveis perante o poder econômico da Vale.



### **Atributo 2 - Intensidade agropecuária**

A partir dos microdados do Censo 2010, é possível identificar o número de estabelecimentos, divididos por tipo, em cada setor censitário. A partir daí, é possível calcular a predominância de empreendimentos agrícolas frente ao total de empreendimentos por setor. Assim, definiu-se um atributo referente à intensidade agropecuária no setor, sendo seu valor: 1 no caso de setores com menos de 30% de estabelecimentos agrícolas em relação ao total; 1,5 quando os estabelecimentos agrícolas representam entre 30% e 60% do total; e 2 quando mais de 60% dos estabelecimentos do setor são agrícolas.

**Tabela 2. Mensuração do atributo de intensidade agropecuária.**

Mensuração do atributo de intensidade agropecuária		
Critérios	Setores	Atributos
Intensidade agropecuária	Setores com menos de 30% de estabelecimentos agrícolas em relação ao total	1
	Setores com estabelecimentos agrícolas entre 30% e 60% do total	1,5
	Setores com mais de 60% dos estabelecimentos do setor são agrícolas	2

### **Atributo 3 - Saneamento (água, esgoto e resíduos sólidos - AER)**

Os microdados do censo 2010 nos permitem consultar informações sobre a cobertura da rede de abastecimento de água, de esgoto e de coleta de resíduos sólidos. Com isso, foi possível estabelecer três índices, que combinados formam o atributo de saneamento.

## PARÂMETROS DE PONDERAÇÃO DOS DANOS A PARTIR DE ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS DAS COMUNIDADES

Com relação ao abastecimento de água, considerou-se um índice no valor de 1 para setores com cobertura da rede para 95% ou mais da população do setor; de 1,5 para setores com menos de 95% e mais de 80% da população com acesso à rede de água; e de 2 nos setores em que 80% ou menos da população tem acesso à rede de abastecimento de água.

No aspecto da destinação de esgoto, considerou-se um índice no valor de 1 para os setores com 80% ou mais de coleta de esgoto (rede coletora ou fossa séptica); de 1,5 nos setores com coleta de esgoto entre 60% e 80%; e de 2 em setores em que menos de 60% da população têm esgotos destinados através de rede coletora ou fossa séptica.

Pelos resíduos sólidos, considerou-se um índice no valor de 1 para setores com 80% ou mais a população com acesso aos serviços de coleta de resíduos sólidos; 1,5 para setores com serviços de coleta de resíduos sólidos disponíveis para 60% a 80% da população; e 2 para setores com menos de 60% da população atendida pelos serviços de coleta, conforme pode ser visualizado na tabela a seguir.

**O atributo de saneamento é determinado a partir da média dos índices calculados com base nos critérios de água, esgoto e resíduos sólidos. A adoção desse atributo se justifica pela relevância destes três aspectos na forma como se expressam os efeitos dos danos ambientais. Especialmente no que se refere à rede de abastecimento, a ocorrência de tratamento diminui os efeitos nocivos dos danos constatados. Notamos, apesar disso, especialmente na Zona Quente, que o índice de cobertura da rede de abastecimento não é satisfatório, o que amplia os riscos associados às alterações nos parâmetros de qualidade e potabilidade da água.**



FONTE: AEDAS



**Tabela 3. Mensuração do atributo saneamento.**

Mensuração do atributo de saneamento		
Critérios	Setores	Atributos
Abastecimento de água	Setores com cobertura da rede para 95% ou mais da população do setor.	1
	Setores com menos de 95% e mais de 80% da população com acesso à rede de água	1,5
	Setores em que 80% ou menos da população tem acesso à rede de água	2
Destinação de esgoto	Setores com 80% ou mais de coleta de esgoto (rede coletora ou fossa séptica)	1
	Setores com coleta de esgoto entre 60% e 80%	1,5
	Setores em que menos de 60% da população tem esgotos destinados através da rede coletora ou fossa séptica.	2
Coleta de resíduos sólidos	Setores com 80% ou mais da população com acesso aos serviços de coleta de resíduos sólidos	1
	Setores com serviços de coleta de resíduos sólidos disponíveis para 60% a 80% da população	1,5
	Setores com menos de 60% da população atendida pelos serviços de coleta.	2

# PONDERAÇÃO DOS DANOS A PARTIR DOS ATRIBUTOS

A **partir da significância geral**, definida para cada situação setorial, **foi possível relacionar as comunidades mapeadas à significância dos danos naquele setor censitário**. Essa significância foi posteriormente ponderada pelos atributos socioeconômicos [renda, agro e saneamento] calculados para cada setor censitário.

Os dados da significância geral partem da situação do setor censitário. Nesse sentido, as comunidades rurais na bacia do Ribeirão Ferro-Carvão são aquelas cuja significância dos danos sobre os serviços ecossistêmicos tem maior montante. Entre elas, podemos citar Assentamento Pastorinhas, Alberto Flores e a parcela rural adjacente à comunidade do Córrego do Feijão. Nas regiões a jusante, destaca-se a significância sobre as comunidades rurais de Conceição de Itaguá, regiões menos urbanizadas deste segmento em Brumadinho. Vejamos:

**A)** **Ponderando a significância geral pelo atributo de renda**, nota-se que os setores de Assentamento Pastorinhas e a região rural adjacente têm as maiores significâncias. O setor da comunidade de Ponte das Almorreimas também aparece com uma das mais altas significâncias ponderadas pela renda. Isso porque estas são zonas rurais, onde já se observava uma condição de vulnerabilidade econômica anterior ao desastre, fazendo com que os seus efeitos se expressassem de forma agravada. Núcleos urbanos como o Tejuco, a comunidade do Córrego do Feijão e a do Pires, têm alta significância ponderada pelo atributo em função da baixa renda média nestas comunidades.

**B)** **Pela ótica da intensidade agropecuária**, a maior significância se deu nas áreas rurais adjacentes ao trecho soterrado pela lama, onde os danos tiveram grandes efeitos sobre a agrobiodiversidade local. Assim, os setores de Brumadinho com maior significância ponderada pela dependência agrícola foram Pastorinhas e o setor rural adjacente, além do setor onde se localiza a comunidade de Ponta das Almorreimas. Nas regiões a jusante, novamente as regiões rurais de Conceição de Itaguá surgem como maiores significâncias. Destaca-se também a comunidade de José Henriques, que apesar de situada nos entornos da sede, apresenta alta intensidade agropecuária e, portanto, significância ponderada por tal atributo.

## PONDERAÇÃO DOS DANOS A PARTIR DOS ATRIBUTOS

**C)** Quando observamos a **significância ponderada pelo atributo de saneamento**, os maiores valores ocorrem na região rural de Alberto Flores/ETAF e na zona rural ao norte de Tejuco e Córrego do Barro. Tais setores são muito pouco populosos e não tem acesso à rede coletora ou fossas sépticas. O mesmo ocorre quanto ao abastecimento de água, sendo muito comum a adoção de poços ou outras formas de captação de água e à coleta de resíduos, sendo comum a adoção de outras formas de descarte. Tal padrão se repete no setor rural do Córrego do Feijão, onde o abastecimento de água é altamente dependente de poços artesianos, sujeitos à contaminação, além de apresentar uma baixíssima cobertura da rede de coleta de esgotos. Os setores das comunidades de Assentamento Pastorinhas e Ponte das Almorreimas também apresentam alta significância ponderada pelo atributo AER, o que se relaciona principalmente à baixa cobertura das redes de água e esgoto. Entre os setores a jusante, destaca-se o de José Henriques, que apresenta a maior significância ponderada pelo atributo de saneamento. Além dele, áreas rurais em Conceição de Itaguá também apresentam alta significância, também em função dos baixos índices de cobertura da rede de abastecimento de água e de coleta de esgoto.



FONTE: AEDAS

Observamos ainda que os cinco setores com maior significância nos três atributos são Assentamento Pastorinhas, Tejuco, a região rural de Alberto Flores/ETAF1, o setor das comunidades Eixo Quebrado, Ponte das Almorreimas, Maricota, Pires e a região rural de Monte Cristo e Córrego Fundo. Todos esses setores são áreas rurais que se situam na Zona Quente, o que indica os efeitos sobre os serviços ecossistêmicos decorrentes dos diversos danos associados ao espalhamento e deposição de rejeitos na região. Além disso, são setores com alta intensidade agropecuária e condições pouco adequadas de saneamento. No mesmo sentido, pode-se citar a comunidade do Córrego do Feijão.

Entre os setores a jusante, os que apresentam maior significância são aqueles em Conceição de Itaguá com situação rural. Destaca-se, novamente, o setor de José Henriques, que apresenta a maior significância entre os setores mais próximos da sede do município. Já nos setores a montante, as maiores significâncias finais se deram em Aranha, Melo Franco, bem como os setores de Quilombo Rodrigues e Massangano/Grotas, em São José do Paraopeba.



# DOS DANOS SOCIOAMBIENTAIS NA REGIÃO 1: CONSIDERAÇÕES SOBRE RAÇA, RENDA E GÊNERO

A análise apresentada aqui teve como foco os danos sobre o meio ambiente decorrentes do crime da Vale em Brumadinho. Para contribuir na caracterização dos efeitos desses danos sobre as comunidades, construímos atributos que indicam alguma forma de vulnerabilidade perante os danos ambientais, a saber: vulnerabilidade de renda, intensidade agropecuária e condições de saneamento básico. Contudo, outros aspectos sociais saltam aos olhos ao analisarmos os dados. A percepção das comunidades perante os efeitos do desastre são também fundamentais na caracterização dos danos. Nesse sentido, apresentaremos uma síntese de dados obtidos a partir dos registros familiares de atingidos e atingidas feitos pela Aedas.

É importante apontar que tais dados foram compartilhados apenas em sua forma agregada, ou seja, sem dados de identificação das famílias, preservando o sigilo de informações sensíveis. Além disso, discutiremos alguns danos específicos, que em função de sua particularidade, não foram tratados na análise feita de forma agregada. Antes disso, cabe apontar algumas considerações.

Ao tratar os dados dos setores obtidos no Censo 2010, nos deparamos com informações relevantes para a análise do contexto em que se dá o desastre. Considerando o escopo do presente trabalho, nos limitaremos a tratar apenas de dois aspectos. O primeiro diz respeito aos dados referentes à raça das populações dos setores. O segundo se relaciona com a responsabilidade das mulheres nos lares.

## CONSIDERAÇÕES SOBRE RAÇA E RENDA

Um estudo (Milanéz et al, 2019) constatou que a população atingida pelo rompimento nos primeiros quilômetros do caminho do rejeito era majoritariamente não branca e de baixa renda. Ao analisar os microdados do Censo 2010, pode-se observar que dos 15 setores censitários de Brumadinho com maior proporção de população não branca, cinco se localizam na Zona Quente (Alberto Flores, Parque da Cachoeira, Parque da Cachoeira/Parque do Lago, Pires e Alberto Flores/ETAF1, todos com pouco mais de 70% de população não branca) e os outros 10 em regiões a montante do desastre (destaca-se Cachoeira de Santa Cruz [90%], Quilombo Marinhos [83%], Toca de cima [75%] e Piedade do Paraopeba [73%]), mais distantes da Sede. Pelo outro lado, nota-se uma menor concentração de população não branca na Sede e em bairros a montante com grande presença de condomínios. Não coincidentemente, os setores com maior presença de brancos são também os que apresentam maior renda média no município (Retiro do Chalé, Condomínio Retiro das Pedras e Cond. Águas Claras).

## **FORMAS DE VULNERABILIDADE SOCIAIS DECORRENTES DOS DANOS SOCIOAMBIENTAIS NA REGIÃO 1: CONSIDERAÇÕES SOBRE RAÇA, RENDA E GÊNERO**

Como se vê, as regiões periféricas com relação à Sede de Brumadinho concentram a população não branca do município. A exceção são os bairros ocupados por condomínios fechados, ilhas em meio à paisagem comum das regiões periféricas. Nota-se, portanto, que aspectos raciais têm influência nos riscos a que são expostas determinadas populações, expressando o racismo de uma forma específica.

O racismo ambiental pode decorrer de ações intencionalmente racistas na determinação de locais para obras de disposição de rejeito ou na produção de desigualdades ambientais que afetam populações excluídas (Bullard, 2005). Pode ainda ser produto de processos estruturais, sem uma evidência explícita de racismo, que garantem à população branca menor exposição aos riscos ambientais e desastres (Pulido, 2000).

Nesse sentido, é fundamental que os processos de reparação ambiental tenham em conta os efeitos do racismo ambiental, que expressa a profunda desigualdade de renda e riqueza entre brancos e não brancos. Afinal, não deixa de ser notório que o rompimento tenha se dado em setores majoritariamente ocupados por não brancos, ou que o local escolhido para dispor os rejeitos dragados esteja nas proximidades do Pires (outro setor majoritariamente não branco).

### **CONSIDERAÇÕES SOBRE GÊNERO**

Observando os dados que indicam o percentual de domicílios permanentes sob responsabilidade das mulheres em relação ao total, nota-se que os setores com maior percentual de domicílios sob responsabilidade feminina se concentram na Sede de Brumadinho.

Na Zona Quente, não se pode afirmar um padrão, mas os setores censitários em tal região, em geral, apresentam baixo percentual de domicílios sob responsabilidade feminina. Destaca-se o setor rural do Córrego do Feijão [ID006], onde apenas 7,5% dos domicílios têm uma mulher como responsável.

Conforme texto de pesquisa do IBGE (2002), há em curso um aumento da responsabilidade feminina dos domicílios em todas as regiões do Brasil. Tal fenômeno, ainda que generalizado pelo país, traz tendências próprias. Entre elas, destaca-se o caráter urbano dos domicílios sob responsabilidade feminina, o que condiz com o maior percentual nas regiões da Sede. Isso se repete ao se observar os setores da Zona Quente, onde as áreas rurais apresentam menor índice de responsabilidade feminina de domicílios.

O Bolsa Família, maior programa de transferência de renda do Brasil, é operado através de um Cadastro Único de informações declaradas pela pessoa responsável pela unidade familiar, que deve ter 16 anos, ou mais, e ser preferencialmente do sexo feminino.

## FORMAS DE VULNERABILIDADE SOCIAIS DECORRENTES DOS DANOS SOCIOAMBIENTAIS NA REGIÃO 1: CONSIDERAÇÕES SOBRE RAÇA, RENDA E GÊNERO

Conforme aponta Bartholo (2019), tal opção “ratifica a perspectiva já existente nesses programas, e embasada em análises empíricas sobre os gastos domiciliares, de que a transferência monetária direta à mulher reforça sua utilização em prol de toda a família”.

Ainda segundo a autora, apesar de limitações, o desenho do Bolsa Família, “parece provocar mudanças nas trajetórias dessas mulheres: na percepção que têm de si, no questionamento da sujeição a relações conjugais indesejadas, na ampliação de sua liberdade de fazer escolhas e da capacidade de participarem no mundo público”. Assim, considerando o baixo percentual de domicílios sob responsabilidade feminina, deve-se ter em conta tal dimensão no processo de reparação integral, especialmente no que tange às compensações monetárias.

Cabe apontar, ainda, que os efeitos do desastre se expressam sobre as mulheres de forma mais intensa, uma vez que são elas as responsáveis pelos cuidados do lar e da família. Assim, danos que aumentam a necessidade de tarefas domésticas, como é o caso do aumento de material particulado, ou a necessidade de cuidados, como todos os danos que têm efeitos sobre a saúde humana, acabam reforçando a carga de trabalho não pago realizado pelas mulheres. Com a pandemia da covid-19, essa pressão sobre as mulheres tende a ser ainda maior.

Por isso, é fundamental que os aspectos de raça e gênero sejam levados em conta ao se caracterizar os efeitos do crime da Vale. As estruturas patriarcal e racista atuam continuamente na formação do pensamento e da prática sociais. Por isso, deve-se buscar formas de combater as desigualdades oriundas destas estruturas na própria reparação, de forma a minimizar os efeitos agravados do desastre sobre as pessoas racializadas e as mulheres.





# DANOS SOCIOAMBIENTAIS APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM

Cabe destacar também que, com o rompimento da Barragem B1, o meio ambiente foi afetado de diversas formas. Alguns danos, entretanto, se manifestam de forma muito particular, não tendo sido tratados no cálculo das significâncias, pois tais danos específicos se relacionam principalmente às obras de recuperação ambiental realizadas pela Vale e acabam por atingir comunidades específicas de novas formas, para além daquelas relacionadas ao desastre sociotecnológico propriamente dito.

Assim, buscaremos tratar alguns desses novos danos de forma separada na presente seção, enriquecendo a presente análise.

## COMUNIDADE ALBERTO FLORES



FONTE: AEDAS

Ainda assim, considerando as especificidades dos danos relacionados a esta estrutura, deve-se considerar as obras de recuperação e contenção também como parte dos processos a serem considerados na busca por reparação integral.

A comunidade de Alberto Flores se insere na chamada Zona Quente, região mais próxima da Barragem B1, onde a maior parte do rejeito foi depositada. É desnecessário ressaltar aqui todos os impactos decorrentes do escoamento da onda de lama formada após o rompimento, já tratados anteriormente em nossa análise. Contudo, a região de Alberto Flores também é o local de instalação da ETAF Iracema, construída para tratar as águas que vertem pelo Córrego do Feijão, lançando-as em seguida no Córrego Casa Branca, conformando novos danos relacionados à sua instalação e operação. Cabe apontar, que tal estrutura se localiza em área pouco ocupada da região.

## COMUNIDADE PIRES

O Pires é uma comunidade distante 4km do centro de Brumadinho, cujo acesso é atravessado por uma linha de trens que transportam minério da Vale. É a comunidade mais próxima da confluência do Ribeirão Ferro-Carvão com o Rio Paraopeba, onde se acumulou um grande volume da onda de rejeito formada com o rompimento da Barragem B1. O bairro conforma um núcleo urbano. Tal região, segundo dados do Censo 2010, contava com uma população majoritariamente não branca (70,3% dos habitantes) com baixa renda média per capita (0,8 salários-mínimos). A cobertura da rede de água e esgoto na região também é pouco satisfatória, conforme dados do Censo 2010.

Além dos impactos levantados de forma geral para a Zona Quente, o Pires foi adicionalmente atingido pela instalação de parte da estrutura construída para as atividades de dragagem de sedimentos, tratamento dos efluentes percolados dos sedimentos e armazenamento dos sedimentos secos em unidades tubo geotêxtil (geotubes). Conforme vídeo-reportagem do Brasil de Fato, a população que mora na comunidade foi surpreendida com o início das obras, uma vez que o terreno fora adquirido pela Vale e as obras planejadas sem qualquer diálogo junto à comunidade.



FONTE: AEDAS

Segundo relatório de auditoria nº 02 da AECOM, de março de 2019, as atividades de terraplenagem haviam sido interrompidas justamente em função da necessidade de “interfaces adicionais” com a comunidade do Pires. O mesmo relatório menciona que a Vale adquiriu a Fazenda Lajinha, em Ponte das Almorreimas, considerando a possibilidade de lá instalar a estação de tratamento dos rejeitos, conforme viria a ser concretizado.

Além disso, muito próxima do rio, a comunidade desenvolvia uma dinâmica própria em relação às águas. A contaminação do rio acabou por comprometer diversos usos das águas, como o recreativo e mesmo a provisão de pescados. Após o desastre, a comunidade do Pires segue sendo afetada pelas obras de reparação e seus efeitos, como a poluição sonora e do ar. A área da confluência do Ribeirão Ferro-Carvão com o Paraopeba concentrou boa parte da lama de rejeitos despejada na calha do rio. Combinando esse fato às operações de dragagem, transporte e armazenamento de sedimentos na região, justifica-se o fato de tal comunidade ser considerada parte da Zona Quente, ainda que esteja do outro lado do Rio Paraopeba. Assim, os danos causados na região do Pires em função das obras de recuperação ambiental também devem ser considerados no processo de reparação integral.

## COMUNIDADE PONTE DAS ALMORREIMAS

Conforme mencionado acima, a Fazenda Lajinha foi adquirida pela Vale no processo de alocação das estruturas relacionadas à dragagem, tratamento e armazenamento dos rejeitos. É lá que foi instalada a ETAF-2, dedicada ao tratamento das águas dragadas na confluência junto dos sedimentos e posterior lançamento no Rio Paraopeba, conforme condições e padrões definidos pelo art.16 da Resolução CONAMA 430/2011. A Fazenda Lajinha se situa nas proximidades da comunidade conhecida como Ponte das Almorreimas.



FONTE: AEDAS

A pequena comunidade às margens do Paraopeba assistiu, logo após o desastre, conforme intimação da justiça, a instalação de estruturas para o atendimento da fauna atingida. Nesse sentido, foi instalada ainda em fevereiro de 2019 a “Fazenda Abrigo da Fauna”, nas proximidades da comunidade.

Pouco depois, decidiu-se pela instalação da ETAF Lajinha na região. A comunidade é atingida, ainda, pelas obras da nova captação de água do Rio Paraopeba, que visa suprir a demanda da região, após o comprometimento da captação original em função da contaminação. Conforme relatos de moradores, todo o processo foi marcado por diálogo e escuta precária por parte da Vale. A pequena e pacata comunidade teve seus modos de vida profundamente modificados.

Além disso, há relatos de que as desapropriações para a construção de rede adutora foram notificadas sem qualquer discussão prévia junto à comunidade. A aquisição de terras próximas à comunidade pela Vale também traz desconfiança, uma vez que há histórico de exploração mineral na área, inclusive com autorização de pesquisa minerária na região. Assim, nota-se que a comunidade de Ponte das Almorreimas também tem sido impactada pelo desastre, uma vez que as obras de recuperação ambiental têm promovido grandes alterações na região. Os novos danos constatados na região, que inclusive abriga parte do rejeito tóxico dragado do rio, devem ser considerados no processo de reparação integral.



## COMUNIDADE TEJUCO

A degradação da qualidade da água, especificamente na comunidade do Tejuco, pôde ser verificada em visita a campo, na qual a equipe pôde constatar provável contaminação por rejeito de mineração e lama em águas superficiais. O local onde se encontra um reservatório e um sistema de adução simples que abastecia a comunidade do Tejuco, em Brumadinho, fica muito próximo a uma estrada que estava fechada, mas foi reaberta para uso da Vale, visando permitir o acesso por terra à área do rompimento, e então facilitar a tomada de ações emergenciais, como as de resgate.



FONTE: AEDAS

Em determinada altura da estrada, há uma região de leve desnível, formando um pequeno vale, que coincide com a entrada de uma pequena trilha que leva ao reservatório que faz parte do sistema de adução da comunidade do Tejuco e à nascente que o abastece. Nesse pequeno vale que se forma na estrada, há periodicamente o acúmulo de lama e possível presença de resíduos de rejeito de mineração (pela proximidade a diversas minas), especialmente quando chove. Para conter esse acúmulo de lama, de modo a não contaminar o reservatório ou o sistema de adução da comunidade do Tejuco, foram construídas duas caixas de decantação junto à estrada.



## DANOS SOCIOAMBIENTAIS APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM



FONTE: AEDAS

No entanto, quando da visita de campo, que aconteceu em dezembro de 2020, a equipe constatou que estas caixas de decantação estavam completamente cheias de lama, conforme se observa nas imagens a seguir. Além disso, o extravasamento do conteúdo destas caixas, pôs a lama em contato com a canalização do sistema de adução, indicando possível contaminação da água de abastecimento por esse material.



FONTE: AEDAS

De fato, na comunidade do Tejuco, foram relatados casos de água com aspecto barrento saindo das torneiras e a população relata evitar utilizar o sistema de abastecimento comunitário. Atualmente a comunidade do Tejuco depende do fornecimento externo de água.

# ALGUMAS CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

**Brumadinho tem territórios bastante heterogêneos, sendo alguns mais urbanizados e outros mais rurais. Nesse sentido, ainda que possa haver uma diferenciação na diversidade dos danos, toda a região foi atingida pelo rompimento da barragem, justamente pela proximidade geográfica com o epicentro do desastre.**

Assim, a presente revista teve como objetivo apresentar os resultados da análise integrada dos danos oriundos do rompimento da barragem B1, da Vale, em 2019. Buscando relacionar os danos com os usos múltiplos da socioagrobiodiversidade, optou-se por fazer uma avaliação dos danos a partir da combinação da abordagem por serviços ecossistêmicos com a sobreposição de informações geográficas.

Os serviços ecossistêmicos contribuem de formas diversas na promoção do bem-estar humano, sendo fundamentais para a manutenção de condições ambientais adequadas, provisão de recursos e experiências relacionadas a sócioagrobiodiversidade. **Assim, pode-se compreender os efeitos dos danos sobre os serviços ecossistêmicos como efeitos sobre a própria sócioagrobiodiversidade a partir de sua interface com os meios biótico e físico,** escopo do presente estudo.

O tratamento quantitativo dos danos nos permite uma melhor compreensão da significância dos seus efeitos sobre os serviços, permitindo identificar uma significância geral referente a cada situação (urbana ou rural). Ao mesmo tempo, tal tratamento nos permite constatar os efeitos mais nocivos aos usos múltiplos da socioagrobiodiversidade, demonstrando a importância de se considerar os danos em seu conjunto, uma vez que seus efeitos sobre o ambiente muitas vezes têm relação sinérgica.



ALGUMAS

## CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

Conforme discutido anteriormente, os serviços ecossistêmicos das categorias de suporte e provisão foram os mais afetados. Isto se expressa principalmente em função dos diversos danos que se combinam na degradação da qualidade das águas e solos.

Conforme observado na matriz de medidas emergenciais, feita pela Aedas a partir de relatos de comunidades atingidas, os danos que se expressam com efeitos sobre a qualidade das águas têm fundamental importância, causando grande incerteza nas comunidades. Nesse sentido, é fundamental avançar na caracterização de tais danos, realizando análises que permitam dimensionar mais precisamente os efeitos do desastre sobre a qualidade das águas, reduzindo as incertezas em torno do seu uso por parte das comunidades.

Como apontado ao longo de toda a análise, os danos sobre o meio ambiente resultantes do rompimento da barragem B1 em Brumadinho tiveram uma série de efeitos. Ao adotar a perspectiva dos serviços ecossistêmicos, torna-se mais claro que os danos sobre o meio ambiente são também danos sobre as próprias comunidades que vivem em relação com ele.

**Os serviços ecossistêmicos existem à revelia da humanidade, mas contribuem com os seres humanos das mais diversas formas, garantindo um ambiente adequado para a vida social.**

O desastre sociotecnológico da Vale em Brumadinho, configurou um “ecocídio” que afetou negativamente, e por vezes comprometeu definitivamente, uma série de serviços ecossistêmicos.

Notou-se com a realização deste estudo que os danos decorrentes do desastre se combinam em seus efeitos negativos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, fundamentais para o estabelecimento dos múltiplos usos da socioagrobiodiversidade por parte das comunidades. Nesse sentido, a tragédia anunciada que acometeu Brumadinho teve profundos efeitos sobre o meio ambiente, de forma que afetou e segue afetando as famílias atingidas pela Vale.

BARTHOLO, L.; PASSOS, L.; FONTOURA, N. Bolsa Família, autonomia feminina e equidade de gênero: o que indicam as pesquisas nacionais? In: Caderno Pagu. Campinas, n. 55, e195525, 2019.

BULLARD, R. Ética e racismo ambiental. In: Revista Eco, n.21, v. XV. 2005

FAO. International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. 2001

KÖHLER, M.; BRACK, P. Frutas nativas no Rio Grande do Sul: cultivando e valorizando a diversidade. Agriculturas, v.13, n.2, 2016.

LONGO, M. H. C. Serviços ecossistêmicos e a atividade minerária: um estudo de caso no Vale do Ribeira, SP. 2014. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

MEA. Millennium Ecosystem Assessment. Washington, DC: New Island, 13. 2005.

MILANEZ, B. et al. Minas não há mais: avaliação dos aspectos econômicos e institucionais do desastre da Vale na bacia do rio Paraopeba. Versos – Textos para Discussão PoEMAS, n. 3, v.1, 1-114. 2019.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Guia de Vigilância em Saúde. Brasília: 2019. Ministério do Meio Ambiente. Agrobiodiversidade e diversidade cultural. Brasília: MMA/SBF, 2006.

OLIVEIRA, S; SABÓIA, A.L.; COBO, B. Dimensões preliminares da responsabilidade feminina pelos domicílios: um estudo do fenômeno a partir dos censos demográficos 1991 e 2000. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de População e Indicadores Sociais, 2002.

PASCUAL U.; BALVANERA P.; DIAZ S. et al. Valuing nature's contributions to people: The IPBES approach. Current Opinion in Environmental Sustainability, 7-16. 2017.

PLATAFORMA BRASILEIRA DE BIODIVERSIDADE E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS – BPBES. 1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade & Serviços Ecossistêmicos. 2019. (disponível em: <https://www.bpb.es.net.br/produto/diagnostico-brasileiro/>).

PULIDO, L. Rethinking environmental racism: White privilege and urban development in Southern California. Annals of the Association of American Geographers, n.90, v.1, p.12-40. 2000

ROSA, J. C. S.; SÁNCHEZ, L. E. Aspectos metodológicos da avaliação de impactos ambientais por meio de serviços ecossistêmicos. In: Anais Eletrônicos do Congresso Brasileiro de Avaliação de Impactos. São Paulo, 2012.

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

