



Arquivos

DO MUSEU DE HISTÓRIA NATURAL
E JARDIM BOTÂNICO



ISSN 2525-6084

EDITOR RESPONSÁVEL: André Prous

COMITÊ CIENTÍFICO: Eduardo Góes Neves (*MAE - USP*), German Arturo Bohorquez Mahecha (*ICB-UFMG*), Sérgio Romaniuc (*Instituto de Botânica de São Paulo*), Ana Maria Giulietti (*Universidade Estadual de Feira de Santana*), Marc Pignol (*Museum d'Histoire Naturelle de Paris*), Mário G Fernandes (*Faculdade de Letras da Universidade do Porto*).

CONSELHO EDITORIAL: Antônio Gilberto Costa; Carlos Magno Guimarães; Márcia Santos Duarte e Maria das Graças Lins Brandão.

EXPEDIENTE DA PUBLICAÇÃO
MUSEU DE HISTÓRIA NATURAL E
JARDIM BOTÂNICO DA UFMG

ORGANIZAÇÃO GERAL: Adriana França | **PROJETO GRÁFICO:** Mariana Tavares | **EDITORAÇÃO:** Robson Miranda

IMPRESSÃO: Imprensa Universitária da UFMG

Tiragem: 500 exemplares

Toda correspondência sobre assuntos ligados aos "Arquivos do Museu de História Natural da UFMG" deverá ser endereçada à Comissão Editorial.

All correspondences about editorial matters, subscriptions, changes of address and claims for missing issues should be sent to the Editor.

Arquivos do Museu de História Natural da UFMG - Rua Gustavo da Silveira, 1035 - CEP:31080-010, Belo Horizonte - MG, Brasil.

FICHA CATALOGRÁFICA

A772 Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico. - Vol.1, 1974 - Belo Horizonte: UFMG, Museu de História Natural, 1974- v.:il.

Semestral

Título anterior: Arquivos do Museu de História Natural.

Inclui bibliografia

ISSN 2525-6084

1. História Natural - Periódicos.
2. Museu - Periódicos
3. Cartografia - História - Periódicos . I. Universidade Federal de Minas Gerais

CDD: 508.050

CDU:502.2(05)

Elaborada pela DITTI - Setor de Tratamento da Informação - Biblioteca Universitária da UFMG

Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

VOLUME 24

Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico - UFMG
Belo Horizonte. v. 24, n.1, 2015.

SUMÁRIO

Editorial _____	6
------------------------	---

Artigos

Existe governança das águas no Brasil? Estudo de caso:
O rompimento da Barragem de Fundão, Mariana (MG)

Ricardo Motta Pinto-Coelho _____ 16

Os Estudos de paleosismicidade como ferramenta de
gestão de riscos: evidências, literatura e futuro

Antonio Augusto Seabra Junior, Wilfred Brandt _____ 44

Geomorfologia do caminho da lama: contexto
e consequências da ruptura da Barragem do
Fundão(novembro 2015, Mariana–MG)

AllaouaSaadi, Jackson Cleiton Ferreira Campos _____ 63

Cenário histórico, quadro fisiográfico e estratégias para
recuperação ambiental de Tecnossolos nas áreas afetadas
pelo rompimento da barragem do Fundão, Mariana, MG.

Carlos Ernesto G. Reynaud Schaefer, Eliana Elizabet dos Santos,

Caetano Marciano de Souza, José Damato Neto, Elpídio Inácio

Fernandes Filho, Caroline Delpupo _____ 104

O maior desastre ambiental brasileiro: de Mariana (MG) a Regência (ES).

Danielle Leticia da Silva, Matheus Carvalho Ferreira, Maria Rita

Scotti _____ 136

O desastre de Mariana e suas consequências sociais, econômicas, políticas e ambientais: porque evoluir da abordagem de Gestão dos recursos naturais para Governança dos recursos naturais?

Francisco Antônio Rodrigues Barbosa, Paulina Maria Maia-Barbosa,

Andrea Maria Amaral Nascimento, Arnola C. Rietzler, Maione W.

Franco, Thecia Alfenas Paes, Mariana Reis, Karen Ann F. Moura,

Marcela França Dias, Marcelo de Paula Ávila, Lucas Antonio G. de

Oliveira _____ 159

Metakflex - o cimento de argilas: Novo produto e nova receita para a eliminação de barragens de estéreis na mineração

Evandro Moraes da Gama, Ricardo Álvares de Campos Cordeiro,

Tamiris Seerig _____ 183

Territórios e patrimônios na lama das negociações: desafios para a museologia comunitária na Barragem de Fundão

Marcia Arcuri, Paulo Otávio Laia, Rodrigo Suñer _____ 209

Normas de Publicação _____ 245

EDITORIAL

No dia 5 de novembro de 2015, a barragem do Fundão que segurava os rejeitos da mineração de ferro da empresa SAMARCO rompia. Na catástrofe, 19 pessoas morreram e cerca de 1600 ha nas margens do Rio Doce e dos seus afluentes foram recobertos por uma lama carregada em resíduos do tratamento dos minerais de ferro. Em poucos dias, a onda de lama chegou até o oceano Atlântico e mais de 300.000 pessoas foram afetadas de alguma forma, pela destruição da sua vila e do seu território, pela perda dos seus meios de subsistência, do seu quadro de vida e das suas raízes territoriais ou, pelo menos, pela falta de água adequada ao consumo. Verificou-se logo tratar-se da maior catástrofe ambiental já registrada no Brasil, que foi amplamente comentada na imprensa internacional.

Os jornais brasileiros e os programas de rádio e de televisão logo passaram a divulgar os depoimentos dos moradores vitimados e as declarações contraditórias feitas por ambientalistas e pelos representantes das empresas envolvidas. Todos opinavam sobre as responsabilidades, os riscos a curto e longo prazo consecutivos ao fluxo de partículas transportadas e depositadas, ou sobre as medidas a serem tomadas a curto e médio prazo. Era muito difícil para os leitores avaliar o que seria palpite, oportunismo, ou ainda, opinião credenciada.

Diante desta situação, a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) organizou em fevereiro de 2016, um encontro de acadêmicos especialistas relacionados às ciências da terra e da vida, bem como de administradores e engenheiros. Participaram representantes tanto do Estado do Espírito Santo quanto de Minas Gerais - as duas unidades da União diretamente afetadas. O objetivo era de montar uma rede de discussão e elaborar propostas para contribuir às ações destinadas a ajudar a população e a recuperar, na medida do possível, o meio ambiente da bacia do Rio Doce.

Ao participar deste encontro, me veio a ideia de solicitar a colegas de diversas áreas um texto sobre a situação, vista a partir da sua especialidade. Estes comporiam um número especial dos *Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico da UFMG*.

Não se trataria de propor um diagnóstico definitivo da situação (ainda prematuro) nem de apresentar soluções milagrosas; muito menos, de entrar nas polêmicas que tratavam de justificar ou condenar as empresas envolvidas. O objetivo seria de apresentar textos reflexivos que permitissem aos leitores de nível universitário dispor de opiniões fundamentadas em conhecimentos concretos. E propor aos administradores e planejadores elementos para orientar suas ações – tanto em relação à situação específica da catástrofe do Rio Doce, quanto em relação a outros eventos semelhantes. De fato, a publicidade feita a este drama oferece uma oportunidade para impor uma reflexão a respeito dos riscos inerentes às atividades de mineração e das falhas dos mecanismos que deveriam prevenir este tipo de ocorrência. O aspecto humano - o destino dos sobreviventes e das populações afetadas - não deveria ser esquecido, embora, passada a emoção dos primeiros dias, as discussões relativas ao drama tratem muito mais dos aspectos econômicos.

Hoje entregamos aos leitores este número especial, que tenta oferecer uma visão abrangente da problemática relacionada ao drama ocorrido no vale do rio Doce.

O primeiro texto, de autoria de R. Motta Pinto Coelho, aponta o problema generalizado do sistema de gestão das águas no Brasil. Enquanto poderia parecer lógico que esta gestão fosse feita por bacia hidrográfica, ela é administrada em função de divisões políticas (dos municípios). Desta forma, não há integração de políticas ao longo de um mesmo curso de água, muito menos, que contemple seus afluentes. Por outro lado, mesmo a nível local (municipal), não há continuidade de políticas em relação as águas, por serem elas submetidas às áreas das eleições e de programas de curta duração. O autor frisa o fato que outros acidentes similares àquele de Mariana ocorreram ao longo dos últimos anos no estado de Minas Gerais: em Cataguazes, Mirai, Itabirito e São Sebastião das Águas Claras. O fato que, por não ter provocado tantas mortes e não alcançar a notoriedade, eles não serviram de advertência, salienta a irresponsabilidade daqueles que deveriam zelar pela segurança das populações e o respeito ao

ambiente.

Na segunda contribuição, W. Brandt e A. A. Seabra Jr. expõem a existência e a intensidade de eventos sísmicos na história recente de Minas Gerais. Ao contrário do que se pensa geralmente, a estrutura geológica do estado não é totalmente estável. Logo depois da catástrofe de Mariana, defensores das empresas envolvidas apontaram este fato como um fator possível do rompimento da barragem. Obviamente, os críticos apontaram as declarações neste sentido como uma tentativa de eximir as mineradoras de sua responsabilidade. Mesmo assim, não se deve desprezar o papel eventual da instabilidade do embasamento, que os recentes estudos de paleo-sismologia e os registros modernos já tornaram conhecidos. Com efeito, tremores já tinham sido registrados pelos pesquisadores no Parque do Rio Doce; no Platô Moeda (município de Itabirito, não muito distante de Mariana) e uma barragem já tinha sofrido danos em 2014 em razão de abalos de origem sísmica. Desta forma, não se pode culpar a fatalidade caso eventos semelhantes tenham desempenhado um papel na tragédia: eram previsíveis e este risco deveria ter sido levado em conta pela gerência dos represamentos.

A comunicação seguinte, de autoria de A. Saadi, analisa o caminho da lama a partir da caracterização da geologia e dos compartimentos geomorfológicos regionais. Esmiúça a dinâmica da propagação do derrame em cada um dos trechos do vale principal e do curso inferior dos seus afluentes. Discute também as reações imediatas das autoridades e dos meios de comunicação após o rompimento, frisando que o evento reflete o “despreparo de todos os níveis de gestão territorial e sua fraca conexão com as esferas científicas e acadêmicas”. Por sua vez, C. Schaefer e seus colaboradores lembram que desde 1799 Vieira Couto denunciava a degradação ambiental irresponsável produzida pelas técnicas predatórias de mineração. O primeiro garimpo do estado de Minas Gerais foi justamente aberto no rio do Carmo, onde, três séculos depois, ia ocorrer a tragédia do Fundão. Frisa que “a simples locação da barragem denuncia riscos potenciais”, embora “difíceis de prever com alguma certeza”. Depois

desta declaração, os pesquisadores explicam as características da capa de lama estéril que cobriu os solos férteis dos vales. A partir da observação de uma área de 11 ha de várzea afetada, propõem um plano de recuperação utilizando elementos oriundos das próprias minerações para melhorar as qualidades físicas do solo, neutralizar a acidez e favorecer o desenvolvimento da população bacteriana. Finalmente, propõem uma metodologia experimental para testar a eficiência das medidas sugeridas.

Tratando dos danos causados à vegetação, D. L. da Silva M. Carvalho Ferreira e M. R. Scotti mostram que, além de carregada em elementos minerais (arsênio, manganês, mercúrio, etc.), a lama está contaminada pelo amido utilizado para precipitar o minério de ferro, sendo as aminas muito corrosivas e tóxicas para a vida por modificar o pH das águas e dos solos. Desta forma a microbiota foi destruída, assim como 511 ha de Mata Atlântica. É preciso, portanto, estabilizar os sedimentos provenientes da barragem (pouco coesos e sensíveis à erosão) e plantar espécies pioneiras tolerantes a toxicidade das aminas para preparar uma recuperação da mata. Assim sendo, não é de estranhar que as tentativas empíricas do consórcio contratado às pressas pela Samarco (“a revelia do entendimento científico” segundo os autores) tenham sido frustradas – por falta de solo adequado e por não terem sido escolhidas espécies vegetais adequadas. Em seu texto “O desastre de Mariana e suas consequências”, Francisco Rodrigues Barbosa e seus colaboradores observam que o lucro empresarial obtido a partir da mineração em 2 anos foi de U\$ 245 bilhões. Um valor bem superior aos menos de U\$ 50 milhões (150 milhões de reais) previstos para o Fundo destinado a recuperação da bacia afetada pelos 40 a 60 milhões de m³ de lama derramados nas zonas mais férteis da região. Isto, mesmo levando em conta os U\$ 20 bilhões destinados aos socorros emergenciais e às indenizações a serem liberados em 10 anos. Os pesquisadores esclarecem alguns pontos polêmicos a respeito dos resultados de análise realizadas nos meses que se seguiram ao evento. Por exemplo, a contaminação por mercúrio é levemente abaixo do nível aceitável *na água*, mas

muito acima dele *na lama*. Embora a mineração de ferro não utilize este elemento, o derrame erodiu e transportou os depósitos sedimentares explorados pelos antigos garimpeiros. Verificou-se também que as águas e os sedimentos apresentam toxicidade crônica para o zooplâncton. O texto apresenta a seguir uma síntese dos problemas de governança em relação ao meio ambiente. É notório que a legislação protetora do meio ambiental é muito avançada no Brasil, mas que sua aplicação é deficiente. Contribuem para isto a falta de prestígio do Ministério do Meio Ambiente, a indefinição dos papéis das responsabilidades (tanto a Federação quanto os Estados são competentes nos assuntos relacionados às águas), além da insuficiência da fiscalização. A deficiência das autoridades no trato do desastre ocorrido no vale do Rio Doce torna claro ao público a necessidade de se organizarem ações integradas a nível municipal, regional e federal; isto, sem deixar de promover um sistema de gestão descentralizado e de levar em conta as necessidades e os anseios das populações, que deveriam ser preparadas para participar da gestão do patrimônio natural. Os autores mencionam uma experiência neste sentido realizada pela UFMG na bacia do Rio Doce desde o decênio de 1990; esta levou a formação de monitores locais que hoje fiscalizam a qualidade da água. Diante do impacto do evento sobre a fauna aquática se torna claro o papel fundamental a ser desempenhado pelas unidades de preservação regional, a partir das quais se deverá iniciar o repovoamento com espécies nativas. Obviamente, deve-se evitar as espécies invasoras e precisa proceder com cuidado. Não se podem despovoar os reservatórios naturais de fauna em benefício das regiões a serem recuperadas, de forma que estudos de população devem anteceder as iniciativas. Não se deve limitar a remediar; é mais eficiente e econômico prevenir. Para tanto, as decisões de localização de barragens e outras estruturas mineradoras não devem mais ser decididas a partir de considerações essencialmente econômicas, em prejuízo às de segurança. Como frisam os autores, é preciso que as águas parem de ser consideradas como “produto indispensável” explorável à vontade, para serem reconhecidas como “meio ambiente”

a ser preservado para a sobrevivência de todos.

A exaustão progressiva das jazidas mais ricas em ferro levou as minerações a utilizar fontes menos concentradas, o que provoca a formação de uma quantidade de rejeitos cada vez maior. Desta forma, as acumulações de refugos estéreis se multiplicam, invadindo os espaços outrora suporte da vida e trazendo perigo para os moradores instalados a jusante. Uma solução a este problema seria o aproveitamento e/ou a fixação dos estéreis em vez da sua acumulação em pilhas instáveis. Evandro de Moraes da Gama propõe a transformação dos refugos através de calcinação rápida que permite desde produzir elementos corretivos de solo, até cimentos de custo menor que aqueles feitos a partir dos calcários e de eficiência ainda maior. Estes produtos (metakflex), misturados às lamaz, permitiriam estabilizar pilhas de refugo – dispensando as barragens - ou seriam utilizados na construção civil. De origem francesa a tecnologia está disponível no Brasil onde uma unidade experimental já funciona em Pedro Leopoldo, perto de Belo Horizonte. Desta forma, a pressão exercida sobre o ambiente pelo grande volume de rejeitos seria amenizada e se poderia aproveitar um amplo mercado potencial para uma matéria construtiva barata e de múltiplas utilizações.

M. Arcuri e seus colaboradores observam que, ao recobrir construções e monumentos civis e religiosos, a lama transformou os locais de vida, as construções e os artefatos em vestígios arqueológicos. Ora, para os sobreviventes, continuam os vínculos emocionais com todos estes elementos. Acredito que de alguma forma, até os objetos mais humildes do cotidiano, ao serem extraídos dos sedimentos, venham recebendo dos seus antigos donos uma carga afetiva antes inexistente, por se tornarem *objetos de memória*. Seis meses após o desastre, a FIOCRUZ coordenou um encontro, cujas discussões, assim como visitas a um dos distritos afetados, sustentam a comunicação “Territórios e Patrimônio na lama”. O texto mostra o cerceamento dos moradores em relação ao seu patrimônio, pois ficam sem acesso aos locais (particularmente as capelas) em fase de escavação e aos objetos resgatados (especialmente às imagens religiosas). Estão alijados

das ações realizadas pelas empresas contratadas pela SAMARCO. O encontro mostrou que o mesmo ocorre com os órgãos fiscalizadores (IPHAN e MP): não foram informados das obras do dique 4, destinado para reforçar estruturas de contenção, mas que alagará novas porções do território. Até o proprietário do terreno sequer foi contatado.

Pensando no futuro, salienta-se que a lembrança da catástrofe poderá ser materializada de várias formas. Um Memorial enveredaria, sobretudo, por um caminho saudosista, ao mostrar as condições anteriores ao evento e as peripécias da tragédia; um Museu, por sua vez, poderia apontar por uma discussão de caráter ideológico, a respeito das relações entre as empresas e as sociedades locais, a difícil coexistência entre a exploração e a preservação. Na palavra dos autores, “não basta resgatar a memória; é necessário criar espaço para que ela se manifeste espontaneamente”. Serão os moradores alijados do processo de musealização, tornando-se espectadores da própria desgraça, contada por terceiros contratados? Serão eles simplesmente instrumentalizados por militantes “ecologistas”, ou terão sua voz ouvida e fixada para ser transmitida aos seus filhos?

Vários comentadores acharam conveniente discutir os termos usados para qualificar o que ocorreu a partir do dia 5 de novembro de 2015. Discurso e artigos usaram os termos “acidente” ou “catástrofe”, e foram criticados por quem achava que estas palavras sugerem uma coisa natural e imprevisível, o que eximiria de suas responsabilidades as empresas e os autores de decisões. Estas pessoas preferiam tragédia ou drama – que focalizaria mais o sofrimento das vítimas. Embora isto me pareça uma discussão vã, ela não deixa de apontar duas formas de percepção. Os *Dramas* mostram (no teatro ou nas novelas) situações nas quais eventos caóticos e paixões humanas se cruzam, provocando eventos negativos ao extremo. Bem diferente, a Tragédia, de origem grega e religiosa, mostra situações nas quais os humanos estão presos ao seu Destino, determinado desde sempre, e diante do qual são impotentes. Com os recursos atuais da ciência e da técnica,

os planejadores e tomadores de decisão tem como prever a maioria dos riscos; não deveria haver mais Tragédia. No entanto, desde o século XIX as agressões à natureza são de tal monta que se sabe que a humanidade tem que pagar um custo alto. A peça está montada; o motor do Destino é o reino da ganância e do desrespeito à natureza e a sociedade. Vários ensaios foram proféticos antes da execução desta peça. Será que o exemplo de Mariana vai provocar alguma mudança na governança da sociedade, ou prosseguiremos rumo a desastres cada vez mais contundentes? A aprovação de novas normas ofensivas ao meio ambiente poucos dias depois da tragédia de Mariana cria a perspectiva que um Destino sombrio seja mesmo inevitável.

André Prous – Editor dos Arquivos do MHN-JB da UFMG

ARTIGOS

Existe governança das águas no Brasil? Estudo de caso: O rompimento da Barragem de Fundão, Mariana (MG)

Is there water governance in Brazil? The study case: The Fundão Dam Breach, Mariana (MG)

Ricardo Motta Pinto-Coelho¹

RESUMO

O trabalho descreve, inicialmente, o desastre do rompimento da barragem da mineradora da Samarco em Bento Rodrigues, distrito de Mariana em duas escalas geográficas: (a) impactos ambientais na escala microregional e (b) na escala macroregional. A seguir, o trabalho discute os impactos ecológicos em alguns compartimentos da biota: vegetação e ictiofauna e também sobre a qualidade das águas nos rios afetados. São discutidos, além dos impactos, quais seriam as principais ações para a sua mitigação. Após a descrição do desastre em si, o artigo propõe uma reflexão sobre o desastre a partir de uma análise sobre os fundamentos do sistema de gestão de recursos hídricos no país. Ao analisar a estrutura do sistema de gestão, o autor conclui que da forma como a gestão das águas está estruturada no Brasil é impossível falar em governança das águas. A complexa estrutura institucional sobre a qual se fundamenta a gestão dos recursos hídricos no país não está subordinada a um planejamento estratégico único e integrado que é a característica essencial da governança das águas. Na realidade, a gestão dos recursos hídricos tem sido caracterizada por uma grande “pulverização” de ações em diversos ministérios, muito corporativismo, pouco enfoque (real) na bacia hidrográfica (em detrimento dos municípios, p.ex.), ausência de políticas de estado em favor de políticas de governo que estão mudando a cada novo ciclo eleitoral.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de Reservatórios, Rompimento de barragem, Gestão ambiental, Governança.

¹ Biólogo, Doutor, Professor Laboratório de Gestão Ambiental de Reservatórios- LGAR, Departamento de Biologia Geral, ICB, UFMG

ABSTRACT

The paper describes, initially, the disaster of the dam disruption of the Samarco mining company in Bento Rodrigues, Mariana district in two geographic scales: (a) environmental impacts on the microregional scale, and (b) on the macroregional scale. The paper then discusses the ecological impacts derived from the disaster in some compartments of the biota: riparian vegetation, fish fauna and also the water quality of the affected rivers. After describing the disaster itself, the article proposes a reflection based on an analysis of the fundamentals of water resources management practices in the country. After analyzing this structure, the author concludes that considering the way by which water management is structured in Brazil, it is almost impossible to talk about water governance. The complex institutional frame upon which the management of water resources is conducted in Brazil is not subordinated a single integrated strategic planning which is an essential feature of every system of water governance. In reality, the management of water resources has been characterized by a great “pulverization” of actions carried out by diverse ministries. Very little (real) focus been given so far on an integrated river basin management (to the detriment of municipalities interests, for example). These diverse policies have been changing with each new electoral cycle.

KEYWORDS: reservoir management, dam burst - dam breakdown, Environmental management, water governance.

O DESASTRE DE MARIANA

Na tarde do dia 05 de novembro de 2015, a barragem de Fundão, pertencente ao complexo minerário de Germano, de propriedade da Samarco Mineradora*, localizada no subdistrito de Bento Rodrigues, município de Mariana/MG, se rompeu de modo repentino. A barragem tinha um volume de 50 milhões de m³ de rejeitos de mineração. Desse total, 34 milhões de m³, após galgarem uma segunda barragem a jusante, a barragem de Santarém, foram lançados na bacia hidrográfica do rio Doce. Cerca de 16 milhões restantes ainda permanecem armazenados nessa segunda barragem, que foi parcialmente danificada, mas continua ainda de pé. Esse material continua sendo carreado, aos poucos, a jusante, em direção ao mar, por meio dos tributários e do rio Doce (Fig. 1).

A onda de lama percorreu, inicialmente, 2,0 km até a localidade de Bento Rodrigues, que foi quase totalmente destruída (Fig. 2). Em seguida, a lama percorreu 55 km no rio Gualaxo do Norte, até desaguar no rio do Carmo. Neste, os rejeitos percorreram outros 22 km até a sua junção com o rio Doce.

Na calha principal do rio Doce, esse material foi transportado atingindo, progressivamente, uma série de cidades (Fig. 3) até a chegar à localidade de Regência (ES), no dia 21 de novembro, em uma área de extensos manguezais, que formam, em sua foz, um delta, para então entrarem no Oceano Atlântico. No total, cerca de 663,2 km de corpos hídricos foram diretamente impactados pelo desastre.

* Para mais informações sobre a mineradora, acesse: <http://www.samarco.com>.

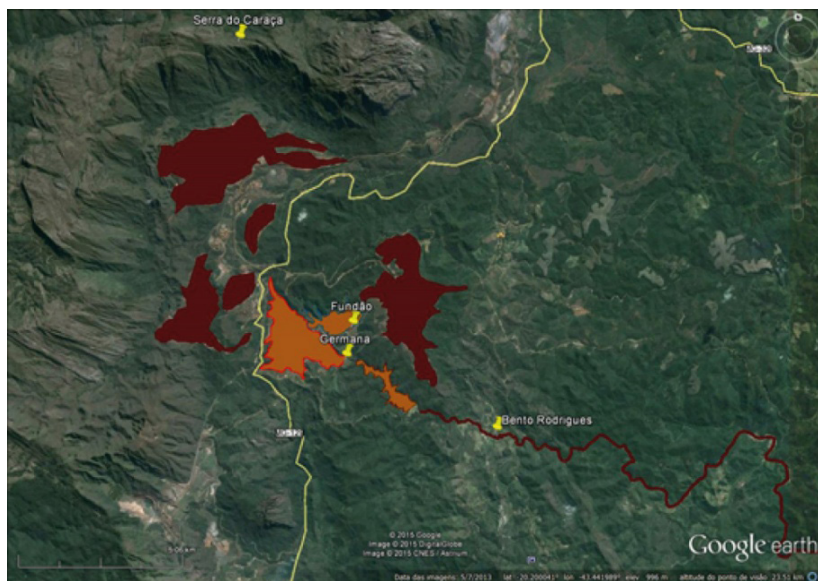


FIGURA 1 - Localização do complexo de mineração “Germano”, da Samarco em Mariana (MG). No complexo, existiam três barragens planejadas para receber os rejeitos do processo de mineração: Germano, Fundão e Santarém. A maior parte dos rejeitos liberados em Fundão galgou a barragem de Santarém, localizada a jusante das duas primeiras barragens. Esta terceira barragem sofreu sérios danos, mas foi capaz de reter cerca de 16 milhões de m³ de lama, e ainda continua de pé (Fonte: original, RMPC).



FIGURA 2- Foto aérea mostrando a devastação do distrito de Bento Rodrigues, pertencente ao município de Mariana (MG), causada pelo rompimento da barragem de Fundão, Mina de Germano/Samarco ocorrido no dia 05 de novembro de 2015. Fonte: Google.

Impactos na escala microrregional

Essa primeira escala de análise corresponde ao trecho de aproximadamente 77 km, compreendido entre o ponto de ruptura da barragem e a foz do rio do Carmo no rio Doce. Mariana, Barra Longa e Rio Doce foram os municípios atingidos. Da foz do rio do Carmo, ainda são incluídos mais 12 km no rio Doce até a UHE de Candonga (Fig. 4). Nessa escala, o principal efeito destrutivo do escoamento na lama foi uma enorme destruição nas comunidades terrestres do entorno causada pela lama que extrapolou a calha dos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce. Logo após enveredar no rio Doce, a lama e os detritos vegetais foram parcialmente retidos pela barragem do UHE de Candonga. Após essa represa, a lama continuou a descer o rio Doce, mas dentro da sua calha principal.

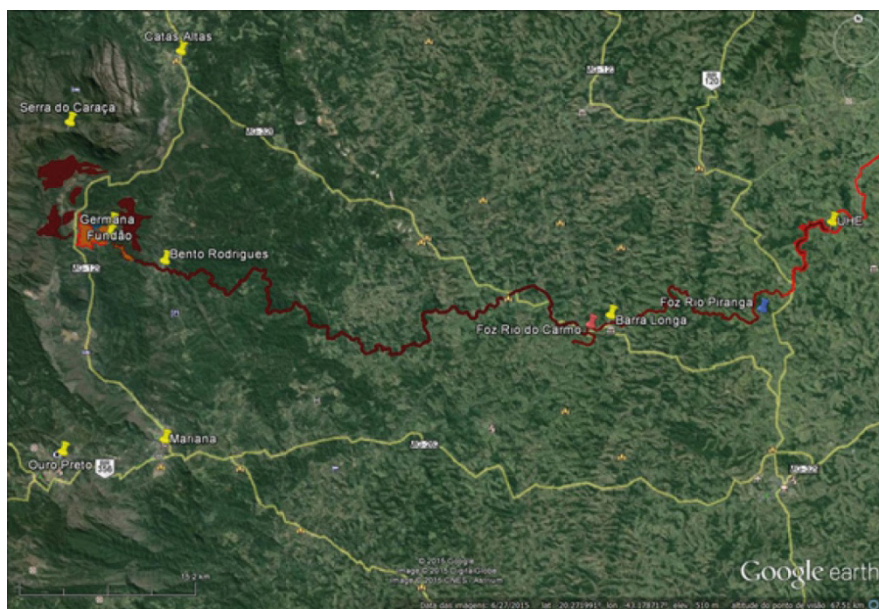


FIGURA 4 - Os impactos do desastre da Samarco na escala microrregional afetaram os córregos de Santarém (2 km), o rio Gualaxo do Norte (69 km), o rio do Carmo (28 km). Esta escala ainda inclui 12 km do rio Doce desde a foz do rio Piranga até a UHE de Candonga.

Na escala microrregional, destaca-se o assoreamento dos rios Gualaxo do Norte e do Carmo, bem como um trecho de 12 km dentro do rio Doce, até a barragem de UHE Candonga. Apesar de os maiores impactos terem sido observados tendo decorridas apenas algumas poucas horas após o desastre, ainda hoje (abril de 2016), constata-se um processo contínuo de carreamento e deposição de sedimentos nos cursos d'água. Esse processo decorre não só da erosão a partir da lama minerária depositada junto às margens, mas também da lenta liberação de lama pela barragem de Santarém. Segundo o Ministério Público de Minas Gerais (Fonte: Rádio CBN, 15 de abril de 2016), estima-se que da barragem de Santarém (parcialmente danificada) tenham sido liberados 5,0 milhões de metros cúbicos de lama após o acidente até abril de 2016, sem que maiores ações corretivas tivesse sido tomadas para conter esse vazamento! Desse modo, os cursos d'água permanecem continuamente sendo assoreados e sua capacidade de transporte ainda está comprometida. O material sedimentado ao longo das margens dos rios nesse trecho impede a captação seja para abastecimento público seja para consumo animal ou seu aproveitamento para a irrigação em dezenas de localidades. A Tabela 1, abaixo, resume os principais impactos ambientais esperados na escala microrregional em comparação com os impactos ocorridos na escala macrorregional.

TABELA 1 - IMPACTOS AMBIENTAIS NAS DIFERENTES ESCALAS DE CORRENTES DO DESASTRE DE MARIANA, MG

TIPO DE IMPACTO		DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS IMPACTOS PREVISTOS		Escala	Macro	N
Micro						
1	Água	Turbidez Ecotoxicológicos (metais) Nascentes	XX X X	XX	XX	
2	Vegetação/Solo	Erosão Compactação Contaminação por xenobiontes (metais e aminas) Queda da fertilidade das várzeas e áreas alagáveis Fragmentação de habitats Perda de conectividade nos ecótonos transicionais terra-água Perda generalizada de serviços ecológicos	XX XX XX XX XX XX XX	XX	XX	
3	Biodiversidade	Ictiofauna (peixes) Herpetofauna (répteis e anfíbios) Avifauna (aves) Mastofauna (mamíferos)	XX XX X X X	XX	XX	
4	Unidades de conservação	Áreas de Preservação Permanente – APPs Parques Estaduais e Nacionais (PE Rio Doce - PERD e PN Sete Salões)	XX	XX	X	

Segundo o governo de Minas, os prejuízos econômicos causados pelo desastre na microrregião afetada chegaram a R\$ 870 mil (esfera pública) e R\$ 13 milhões, no setor privado (MINAS GERAIS, 2016b).

Impactos na escala macrorregional

Nessa escala, os impactos ambientais da tragédia serão analisados em toda a extensão dos rios afetados pelo desastre, ou seja, 663 km. Entretanto, como os primeiros 89 km (77 km nos tributários + 12 km no rio Doce), foram tratados no item anterior, aqui será dada maior ênfase ao trecho dos 574 km compreendidos entre a UHE de Candonga, de onde a lama passa a correr apenas na calha central do rio até a sua foz, na cidade de Regência (ES).

Na escala macrorregional, os impactos foram bastante diferenciados em relação aos efeitos da tragédia na escala microrregional. As questões relacionadas à qualidade da água e à biota aquática são as de maior relevância, uma vez que, a jusante da barragem de Candonga, praticamente, a lama não extrapolou a calha do rio Doce. Os possíveis danos à biodiversidade são, ainda de difícil mensuração, e a quantificação desse tipo de prejuízo ainda dependem de estudos que estão sendo executados ou planejados para ser executados. Apesar das limitações nas informações disponíveis até o momento (fevereiro de 2016), podemos resumir os principais tipos de impactos ambientais observados na escala macrorregional (Tab. 1, acima).

Segundo o levantamento realizado pelo governo mineiro (MINAS GERAIS, 2016b), os prejuízos econômicos associados ao desastre, na escala macrorregional, foram de R\$ 140 milhões na esfera pública e R\$ 340 milhões na esfera privada.

Em termos ambientais, esperam-se investimentos em estudos básicos e aplicados, bem como de ações mitigatórias, ao longo dos próximos meses e anos em toda a região afetada pelo desastre. Esses esforços visam, no primeiro momento, a obtenção de um quadro mais detalhado e completo dos impactos ambientais associados ao acidente. Em um segundo momento, os dados a serem gerados irão subsidiar toda uma série de ações de reparação, mitigação, conservação dos diversos ecossistemas impactados. A seguir, destacamos três prioridades ambientais que deverão ser consideradas nesses estudos.

Vegetação

A bacia do rio Doce está predominantemente inserida no bioma da Mata Atlântica. Embora esse bioma apresente altos índices de biodiversidade e de endemismo, a Mata Atlântica encontra-se em situação crítica. Em seus domínios vive 70% da população brasileira e nessa região estão localizadas as maiores cidades e os mais importantes polos industriais do Brasil.

Segundo o IBAMA, em 2014, a Mata Atlântica estava reduzida a 15% de sua cobertura original (19.676.120 hectares). Dessa forma, o bioma figura entre os 25 *hotspots* mundiais, uma das regiões mais ricas e, ao mesmo tempo, mais ameaçadas do planeta (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2015).

Segundo o IBAMA, o rompimento da barragem de Fundão causou a destruição de 1.469 hectares (14,69 km²) ao longo de 77 quilômetros de cursos d'água, incluindo áreas de preservação permanente (APPs) (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2015).

Essa devastação concentrou-se principalmente em matas ciliares remanescentes e no solo. A passagem da lama não somente destruiu e arrancou as árvores e a vegetação herbácea, mas levou ou soterrou a serapilheira e seus bancos de sementes. Dessa forma, os ecossistemas atingidos pelo desastre, nesse primeiro trecho (escala microrregional), tiveram sua resiliência e processos de sucessão ecológica muito comprometidos.

Uma das primeiras tarefas a serem feitas será o mapeamento e monitoramento dos quase 15 km² de vegetação diretamente atingida pela lama. A espessura da cobertura de lama bem como suas propriedades físicoquímicas (granulometria, pH, etc.), além da possível concentração de metais com potencial tóxico, deverão ser investigadas em detalhe. Os dados irão permitir a escolha de soluções locais que incluem desde a completa a remoção física do material até diferentes modelos de biorremediação disponíveis.

Segundo um levantamento feito pela EMBRAPA, a lama depositada ao longo das margens dos rios dificilmente poderá transformar-se em um solo estruturado que permita uma sucessão ecológica natural que restabeleça as comunidades vegetais, originalmente presentes nessas regiões (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2015). O material apresenta uma grande homogeneidade granulométrica, com elevados teores de areia fina e silte que representam 90% da fração de terra fina (< 2mm).

Os teores de argila encontrados são inferiores a 10%, característica que limita muito a capacidade de troca de cátions. A composição granulométrica dos rejeitos é extremamente homogênea e, dessa forma, sempre irá ocorrer um adensamento intenso das partículas após a secagem. Essa característica permite que haja uma rápida compactação, sob clima seco, o que impede uma boa oxigenação das camadas inferiores do solo. Adicionalmente, o material tem elevados teores de minerais ferruginosos (hematita, magnetita e ilmenita) o que limita ainda mais a sua fertilidade. É evidente que esses trechos, com baixa ou nenhuma capacidade de resiliência, vão requerer Planos de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD, no longo prazo.

Peixes

Segundo o IBAMA, o rio Doce possui 64 espécies de peixes nativos (dados da porção de MG), 12 (doze) delas consideradas endêmicas. Outras 11 espécies estão ameaçadas de extinção (Tabela 2) (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2015).

Em relação aos impactos ambientais dessa tragédia sobre os componentes da ictiofauna, três aspectos devem ser mencionados: (a) a extensão da rede hidrográfica afetada, de quase 600 km; (b) os níveis elevados e persistentes de turbidez; e (c) a possibilidade de essa comunidade sofrer os efeitos da biomagnificação de elementos tóxicos colocados em disponibilidade na água, em decorrência da passagem da lama. Portanto, pode-se esperar impactos importantes na estrutura ecológica dessa comunidade, no longo prazo.

TABELA 2 -LISTA DE ESPÉCIES DE PEIXES AMEAÇADAS E ENDÊMICAS NA BACIA DO RIO DOCE

	ESPÉCIES AMEAÇADAS	STATUS
1	<i>Brycon devillei</i> (Castelnau, 1855)	EM
2	<i>Henochilus wheatlandii</i> (Garman, 1890)	CR
3	<i>Hypomasticus thayeri</i> (Borodin, 1929)	EM
4	<i>Microlepidogaster perforatus</i> (Eigenmann & Eigenmann, 1889)	CR
5	<i>Pareiorhaphis mutuca</i> (Oliveira & Oyakawa, 1999)	EM
6	<i>Pareiorhaphis nasuta</i> (Pereira, Vieira & Reis, 2007)	CR
7	<i>Pareiorhaphis scutula</i> (Pereira, Vieira & Reis, 2010)	EM
8	<i>Prochilodus vimboides</i> (Kner, 1859)	VU
9	<i>Rachoviscus graciliceps</i> (Weitzman & Cruz, 1981)	EM
10	<i>Steindachneridion doceanum</i> (Eigenmann & Eigenmann, 1889)	CR
11	<i>Xenurolebias izecksohni</i> (Da Cruz, 1983)	EM
	ESPÉCIES ENDÊMICAS	
1	<i>Deuterodon pedri</i>	END
2	<i>Henochilus wheatlandii</i>	END
3	<i>Oligosarcus solitarius</i>	END
4	<i>Phalloceros elachistos</i>	END
5	<i>Simpsonichthys izecksohni</i>	END
6	<i>Australoheros ipatinguensis</i>	END
7	<i>Potamarius grandoculis</i>	END
8	<i>Delturus carinotus</i>	END
9	<i>Pareiorhaphis nasuta</i>	END
10	<i>Parotocinclus doceanus</i>	END
11	<i>Parotocinclus planicauda</i>	END
12	<i>Steindachneridion doceanum</i>	END

EM – em perigo, CR – situação crítica, VU – vulnerável, END – Endêmica
 Fonte: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (2015).

Os estudos voltados à ictiofauna deverão, portanto, concentrar-se não somente no monitoramento regular das principais populações. Aspectos ecológicos importantes, como o comportamento reprodutivo, as estratégias de alimentação, bem como as modificações morfocomportamentais sofridas pelas diferentes populações em decorrência do acidente deverão ser priorizados.

Outra vertente de estudos estará concentrada na questão da contaminação ambiental que os peixes do rio Doce podem sofrer. Finalmente, uma terceira linha de estudos, mais aplicados, será direcionada ao segmento da pesca tradicional, da piscicultura e da aquicultura, essas duas últimas atividades, vistas, agora, como alternativas importantes não só para a produção de pescado na região como também para a geração de emprego e renda.

Contaminação ambiental

A síntese que fazemos, a seguir, baseia-se em resultados oficiais de monitoramentos realizados pelo Instituto Mineiro de Águas – IGAM e pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2015; SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2015).

O IGAM vem realizando um monitoramento diário em 12 estações de monitoramento localizadas ao longo da calha do rio Doce, incluindo ainda um ponto localizado no rio do Carmo, na localidade de Barra Longa que passou a ser monitorado a partir do dia 21 de novembro de 2015. Os demais pontos apresentam dados em uma série temporal mais longa.

Os impactos causados pelo rompimento da barragem de Fundão na qualidade de água do rio Doce e seus tributários podem ser tipificados em duas grandes categorias: (a) aumento na quantidade de partículas em suspensão e dissolvidas; (b) aumento nos níveis de contaminação por metais e outros agentes, com potencial tóxico.

O aumento na quantidade de partículas em suspensão na água pode ser refletido em diversas variáveis limnológicas (transparência, cor, turbidez, sólidos dissolvidos, sólidos totais, sólidos sedimentáveis,

etc.). A Figura 5 demonstra o aumento observado nos sólidos na calha do rio Doce, após o desastre em Bento Rodrigues. Observar que os valores de sólidos chegaram a 112.000 mg/L na estação do rio Doce no dia 7 de novembro de 2015.

A questão da contaminação ambiental pode ser exemplificada com a evolução temporal das concentrações de alguns metais nas diferentes estações amostradas (Figuras 6 e 7).

A principal modificação na qualidade de água decorrente do desastre em Bento Rodrigues foi um aumento extraordinário dos valores de partículas em suspensão na água do rio Doce. Ao contrário do que foi previsto, a recuperação dos valores médios para toda uma série de variáveis associadas ao aumento dessa carga de sólidos não está ocorrendo na velocidade prevista. Em muitas ocasiões, reversões na tendência de queda nos valores de sólidos têm sido observadas em vários pontos e em várias ocasiões, ao longo das semanas que se seguiram ao desastre.

As implicações ambientais associadas ao aumento na carga de sólidos presentes nas águas do rio Doce são imensas. Inicialmente, deve ser destacado que várias localidades nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo foram obrigadas a interromper a captação de água, a partir do rio Doce. Essa interrupção causou situações de crise em cidades de grande porte, como Governador Valadares (MG) e Colatina (ES), por exemplo.

O excesso de turbidez pode ter causado a morte de milhares de peixes e de outros organismos aquáticos, em um primeiro momento. Em seguida, a queda na atividade fotossintética de algas e outras plantas aquáticas irá comprometer o funcionamento de toda a cadeia trófica. Muitos organismos podem não resistir à falta de alimentos gerada pela diminuição na produção primária em um grande rio como o rio Doce. O elevado teor de sólidos pode, ainda, favorecer o aumento e/ou a manutenção de concentrações de outros poluentes e elementos tóxicos na água e incrementar ainda mais a eutrofização já presente em alguns trechos do rio.

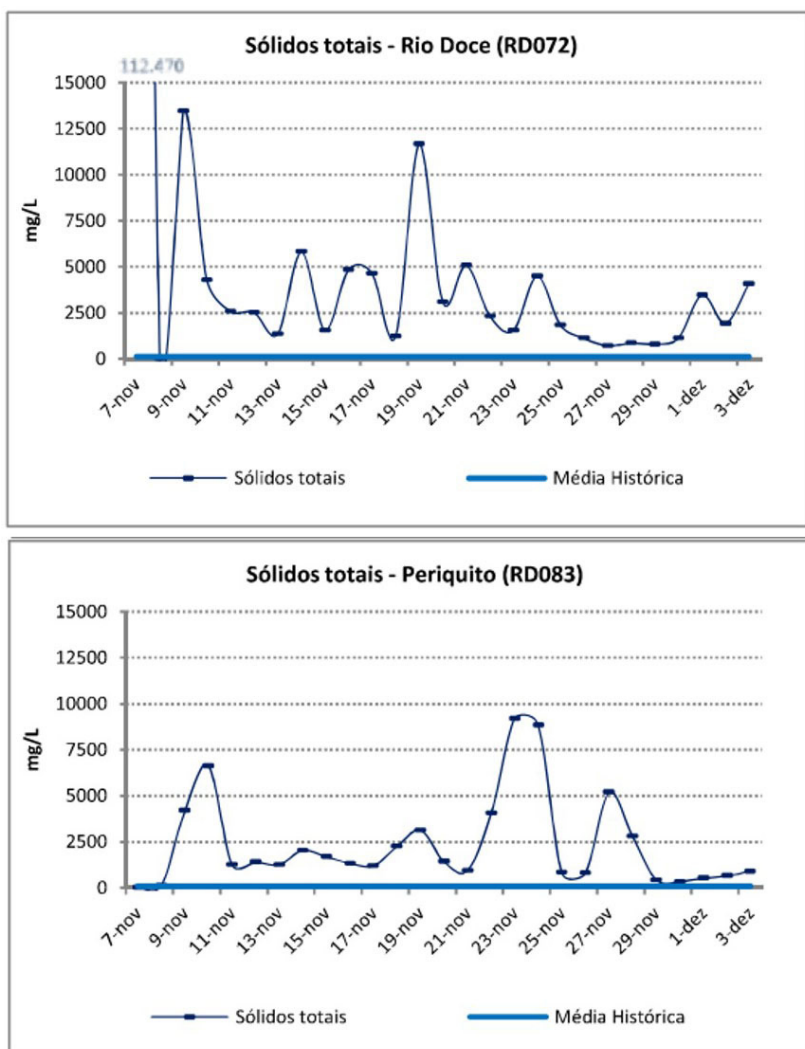


Figura 5 – Concentrações de sólidos totais (mg/L) entre 07 de novembro e 3 de dezembro de 2015, em dois pontos situados na calha do rio Doce, em Minas Gerais. O gráfico à esquerda ilustra essas concentrações logo após a entrada do rio Carmo no rio Doce enquanto que o gráfico a direita ilustra a evolução temporal da variável em um ponto situado na porção central do rio Doce (estação de Periquito). Dados de IGAM (2015).

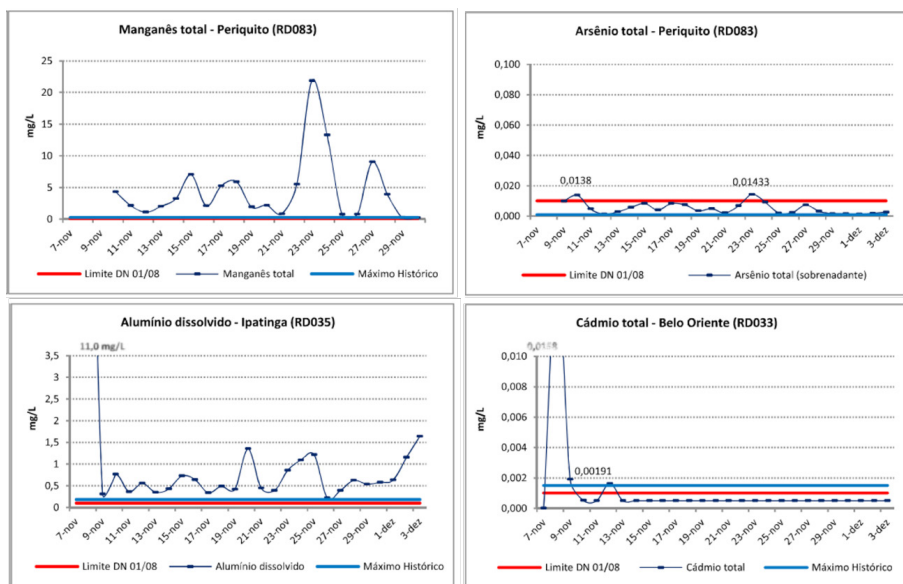


Figura 6 – Evolução temporal (Nov-Dez 2015) das concentrações de manganês, alumínio, arsênio e cádmio em alguns pontos situados na água da calha do rio Doce, em Minas Gerais. Fonte: IGAM (2015).

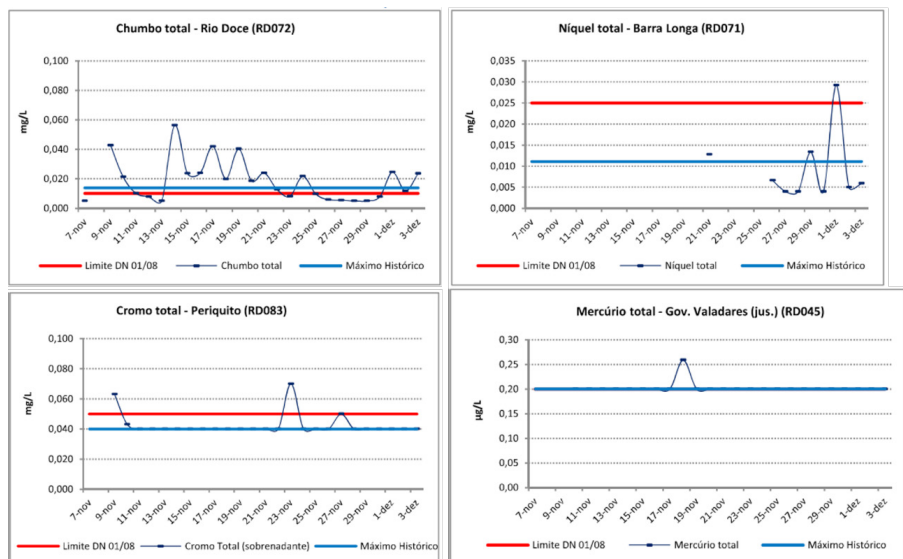


Figura 7 – Evolução temporal (Nov-Dez 2015) das concentrações de chumbo, cromo, níquel e mercúrio em alguns pontos situados na água da calha do rio Doce, em Minas Gerais. Fonte: IGAM (2015).

E quanto à questão ecotoxicológica, pelo menos três aspectos importantes devem ser destacados. Em primeiro lugar, embora o rio Doce já tenha um histórico de poluição causada pelas indústrias sediadas em suas margens, é evidente que as concentrações da maioria dos metais analisados ultrapassaram os valores considerados como médias históricas para a região no período considerado (novembro-dezembro de 2015). Essas médias históricas estão representadas pela linha horizontal azul nos gráficos (ver Figs. 6 e 7).

Em segundo lugar, fica também claro que, em muitos casos, as concentrações observadas ultrapassaram valores considerados seguros para águas naturais. Nos gráficos das figuras prévias, esses valores estão representados pela linha vermelha. Tratam-se de limites sugeridos pela norma alemã DIN, internacionalmente reconhecida como valor aceitável e seguro para águas interiores.

Em terceiro lugar, deve ser ressaltado que tais concentrações de metais se referem a valores encontrados na água. Obviamente, existe a possibilidade de que possa haver um grande incremento desses valores na biomassa de peixes e outros organismos aquáticos graças ao processo da biomagnificação de xenobiontes que normalmente ocorre na cadeia trófica (ISLA, 2016).

Uma grande polêmica foi aberta pela própria mineradora ao afirmar que os seus rejeitos não seriam tóxicos. A empresa se baseia na norma NBR 10.004 que certifica os rejeitos do complexo minerário de Germano como resíduos não perigosos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Eles seriam não inertes apenas para Mn e Fe, segundo a norma da NBR. Apesar disso, temos que reconhecer que o derramamento de dezenas de milhões de toneladas de rejeito inerte no meio ambiente acabou por gerar uma lama com claro potencial tóxico.

Milhões de toneladas de rejeitos liberadas no ambiente acabaram por revolver montantes não desprezíveis de sedimentos, diferentes camadas de solo, vegetação viva e todo tipo de material que encontraram pela frente. Muitas edificações (incluindo depósitos de suplementos agrícolas, industriais, lubrificantes e de combustíveis) vieram abaixo,

assim como veículos e máquinas agrícolas que foram soterrados ou transportados por dezenas de quilômetros rio abaixo. Todo esse processo certamente acabou por disponibilizar um elevado montante de metais e outros poluentes na coluna de água do rio Doce e de seus tributários diretamente afetados. Os gráficos das Figuras 6 e 7 ilustram, de modo inequívoco, que a lama trouxe venenos para a água do rio Doce.

A recuperação da qualidade de água no rio Doce também irá exigir grandes investimentos em monitoramento e, posteriormente, em medidas de recuperação e conservação da saúde ambiental desse grande rio. Projetos especialmente voltados ao estudo ecotoxicológico das comunidades aquáticas são mandatórios, por exemplo. Por outro lado, uma grande pressão será exercida pela sociedade em geral junto às prefeituras lindeiras para a melhoria dos serviços de captação e distribuição de água bem como o tratamento adequado dos efluentes domésticos e industriais que são lançados de volta ao rio Doce.

Existe Governança das Águas no Brasil? O que o desastre de Mariana nos ensina

Muitos se perguntam como um acidente de tais proporções pode acontecer em uma empresa devidamente certificada e que goza da mais alta reputação no setor minérário. Terá sido acaso? Ou não? A maioria dos especialistas que eu tenho tido a oportunidade de contactar descarta a existência de causas naturais. Se foi então um acidente causado por falha humana, é pouco provável que tenha sido apenas uma falha. Normalmente, esse tipo de acidente decorre não de uma falha de uma sequência de erros. A seguir, vamos propor a teoria de que os erros que levaram ao acidente em Mariana estão associados a ausência de governança das águas no Brasil.

Os termos governo e governança embora sejam parecidos significam coisas bem diferentes. Governo tem a ver com uma autoridade única enquanto que a governança tem a ver com o compartilhamento de propostas e responsabilidades (Saunier & Meganck, 2007). A governança das águas é definida como sendo um sistema político,

social, econômico e administrativo montado para diretamente ou indiretamente influenciar os usos, o desenvolvimento e a gestão integrada de recursos hídricos, bem como garantir a oferta de serviços e produtos diretamente ligados aos recursos para a sociedade.

Por definição, o sistema de governança das águas não fica isolado de todas as outras esferas administrativas do país onde está sendo implementado. Muitos acreditam que a governança reduz o poder do governo, mas isso não é verdade já que o governo mantém o seu poder regulatório e fiscal. Ao contrário, esse sistema não só deve influenciar, mas também sofrer adaptações e influências das demais esferas de governo.

Segundo Pinto-Coelho & Havens (2015), as quatro dimensões sobre as quais é definido um sistema de governança das águas, bem como as metas administrativas associadas a cada uma dessas dimensões são ilustradas na Fig. 8, abaixo.

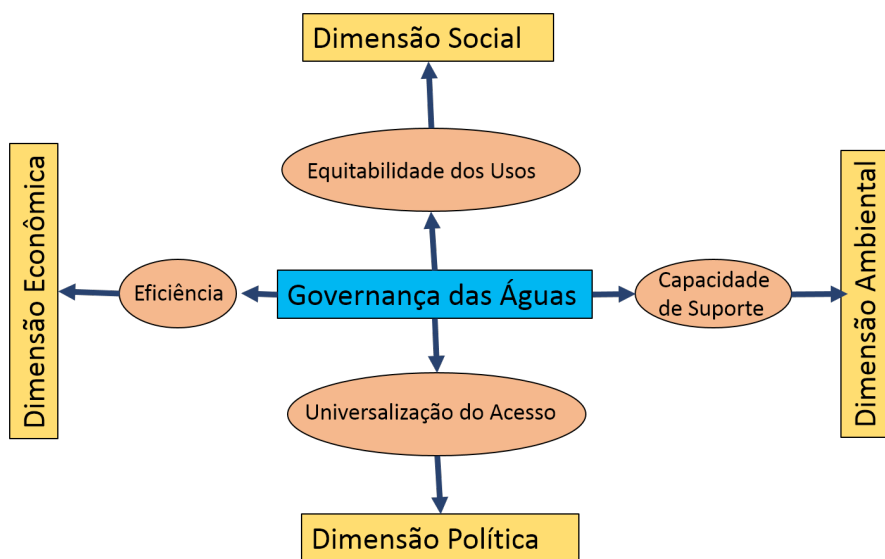


FIGURA 8 – As dimensões da “Governança Ambiental das Águas”.

Observando os mesmos autores citados acima, as dimensões sociais e políticas do sistema de governança das águas devem atender aos seguintes requisitos:

1. O sistema deve ter uma clara dimensão social, garantindo uma maior igualdade na distribuição dos recursos hídricos para todos os setores da sociedade. Conflitos entre os usos industriais e sociais ou entre as áreas rurais e urbanas têm uma melhor chance de serem resolvidos de forma mais sustentável e igualitária. Muitos estudos mostram que uma boa governança das águas está diretamente relacionada ao aumento da renda *per capita* em muitas regiões do globo.
2. A governança das águas deve reconhecer o direito que populações marginais dentro da sociedade (comunidades indígenas, mulheres, habitantes de favelas e outras áreas de risco) de atuarem como partes interessadas (“stackholders”), garantido o seu pleno acesso aos recursos hídricos compartilhados.
3. A governança das águas deve garantir base legal apropriada para que fenômenos tais como a poluição, as secas e as enchentes possam ser evitados, administrados e mitigados. Se houver, improbidades, negligências ou mesmo má fé, o sistema deve garantir a punição ou responsabilização dos agentes envolvidos, quando em crime.
4. O fluxo natural das águas e da atmosfera (que contém água) e muitos dos serviços ambientais prestados pelos recursos hídricos transcendem os limites das fronteiras entre municípios, estados e países. As águas devem ser entendidas como um patrimônio universal. Portanto, a governança das águas deve também garantir o diálogo construtivo entre municípios, entre os estados da federação e entre a União e países vizinhos, observando, no entanto, suas respectivas soberanias nacionais.

A governança das águas tem poucas chances de dar certo onde não seja garantido o pleno direito das pessoas em se organizarem e que elas possam ter garantidas a livre expressão de suas ideias. É preciso que os grandes projetos nacionais que envolvam os recursos hídricos, tais como a construção de barragens, hidrovias, portos, transposições de bacias hidrográficas sejam implementados após passar por um processo democrático, transparente e legítimo de tomada de decisões. O processo decisório deverá levar em conta o levantamento de todas as opções viáveis, de todos os impactos socioambientais previstos, onde todos os “stakeholders” sejam sempre considerados e devidamente ouvidos.

E o Brasil, como fica nesse contexto de governança das águas? O país possui um complexo sistema de leis e decretos que regem a gestão das águas no território nacional. Alguns exemplos dessa base legal voltados à gestão das águas no Brasil podem ser vistos na lista abaixo (Tabela 3).

TABELA 3
Base legal que fundamental da gestão dos recursos hídricos no Brasil.

Lei 4.771 (de 15/9/65)	Código Florestal
Lei 7.804 (de 31/8/81)	Política Nacional do Meio Ambiente
Lei 9.433 (de 8/1/97)	Política Nacional de Recursos Hídricos
Lei 9.605 (de 12/2/88)	Lei de Crimes Ambientais
Lei 7.661 (de 16/5/88)	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
Lei 9.984 (de 17/7/2000)	Criação da ANA
Lei 9.985 (de 18/7/2000)	Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC
Lei 11.445 (de 5/1/2007)	Diretrizes Nacionais de Saneamento
Lei 11.516 (de 22/8/2007)	Criação do ICMbio
Lei 11.958 (de 26/6/2009)	Criação do MPA
Dec. 6.942 (de 18/8/2009)	Plano Nacional de Saneamento Básico
Lei 12.334 (de 20/09/2010)	Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos.
Lei 12.651 (de 25/5/2012)	Novo Código Florestal

A pergunta que se coloca é: considerando a definição dada acima de governança, podemos afirmar que existe governança das águas no Brasil? Inicialmente, devemos considerar que a gestão das águas no Brasil não se baseia em um único sistema mas, na realidade, a gestão é feita por pelo menos quatro sub-sistemas de gestão de recursos hídricos distintos.

O primeiro deles é responsável pelas concessões de outorga e pelos licenciamentos ambientais. Essas funções estão atribuídas por lei à ANA e ao IBAMA, no caso dos corpos de água não federais, e aos órgãos similares ao nível estadual (IGAM em Minas Gerais, por exemplo). Esse sistema de concessões de outorga e licenciamento sofre grandes pressões de grandes corporações que atuam no agronegócio, na produção de energia elétrica ou na mineração por exemplo.

O segundo sub-sistema de gestão está concentrado na área de prestação de serviços de saneamento cuja responsabilidade é atribuída por lei aos municípios, através de concessões dos serviços de abastecimento público e de esgotamento a companhias estatais e privadas de saneamento. É um sub-sistema que sofre pressões de grandes empreiteiras ligadas à construção civil e está permanentemente saturado por uma série de problemas ligados às enchentes, à escassez das águas, e uma crônica má qualidade dos serviços de saneamento básico existentes no país, com carências na distribuição de água tratada, nas redes coletoras e nas estações de tratamento de esgotos, na drenagem urbana, ou no gerenciamento de resíduos sólidos.

O terceiro sub-sistema de governança das águas está ligado ao uso das águas prioritariamente vista aqui como um recurso econômico. Vários ministérios atuam nesse sub-sistema e, dentre eles, podemos citar: Ministério da Agricultura (MAPA), Ministério das Minas e Energia (MME), Ministério da Pesca e da Aquicultura (MPA). Esse sub-sistema que é composto pelos ministérios e várias agências reguladoras é responsável pelo planejamento, coordenação, fiscalização e fomento de uma variedade de atividades econômicas que exercem profundos impactos ambientais sobre os recursos hídricos: agricultura irrigada, hidroeletricidade, mineração, pesca e aquicultura, dentre outras.

Finalmente, o quarto sub-sistema governança das águas está ligado à questão da conservação dos recursos hídricos. Esse sistema é composto pelo sistema nacional de unidades de conservação (SNUC), e é chefiado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, ICMBio) em conjunto com as autarquias estaduais que atuam na área de conservação e biodiversidade.

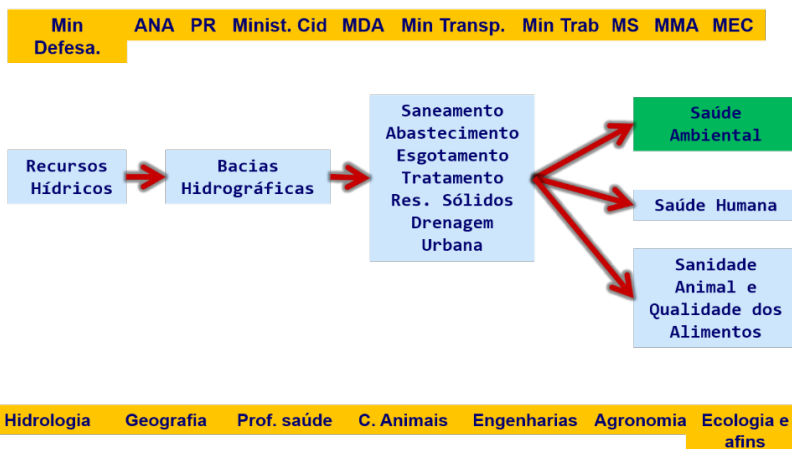
Esses quatro sub-sistemas de governança muitas vezes estão sob constantes conflitos e não têm uma boa articulação institucional já que o nosso sistema presidencialista acaba por favorecer a distribuição dos ministérios a diferentes partidos, com diferentes interesses políticos e econômicos muitas vezes conflitantes entre si.

Toda essa complexa estrutura institucional quase sempre não está atrelada a um planejamento estratégico integrado que é a característica essencial da governança das águas. Na realidade, a gestão dos recursos hídricos tem sido caracterizada por uma grande “pulverização” de ações, muito corporativismo, pouco enfoque (real) na bacia hidrográfica (em detrimento dos municípios, p.ex.), ausência de políticas de estado em favor de políticas de governo que estão mudando a cada novo período eleitoral (Fig. 9). Portanto, é impossível, nesse momento, falar em governança das águas no Brasil.

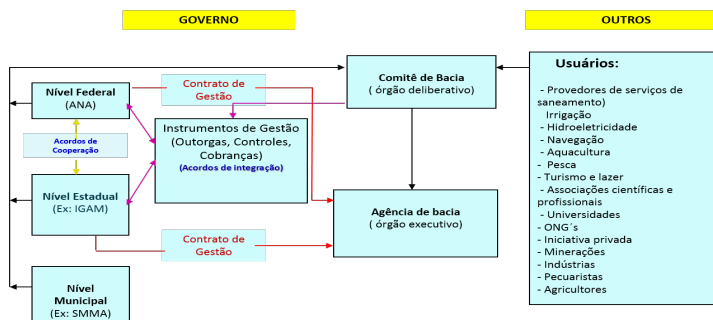
Nesse contexto, tragédias como a de Mariana têm muito mais probabilidade de acontecer. No caso de Mariana já que trata-se de uma barragem voltada à mineração, temos pelo menos dois sistemas de gestão envolvidos (1 e 3). Outros sistemas de gestão deveriam estar presentes (2 e 4) e não estão.

O processo que irá apurar as causas do desastre apenas está no seu início. Entretanto, algumas falhas hipotéticas na gestão da represa de Fundão já foram destacadas pelas autoridades que cuidam do processo: (a) falhas no rito processual do licenciamento ambiental da represa; (b) monitoramento falho ou incompleto das estruturas; (c) uso da represa acima de sua real capacidade; (d) expansão da capacidade da represa usando uma técnica já proibida por diversos países (i.e: alteamento à montante); (e) ausência de plano de fuga das populações sob risco, etc. Todas essas falhas são mais plausíveis de ocorrer em um sistema onde não há uma efetiva governança das águas.

Gestão Ambiental de Recursos Hídricos no Brasil



Gestão das Bacias Hidrográficas



Braga, 2006

FIGURA 9— Dois organogramas acima mostram diferentes aspectos da “governança” (ou falta dela) no Brasil. Acima, o sistema de gestão ligado ao saneamento no Brasil, indicando as suas funções, os objetivos pretendidos. Pode-se ver a relação dos ministérios que têm poder para atuar nesse sistema (Adaptado de Heller, 2010). Abaixo, os instrumentos de gestão previstos pela Lei 9.433, com a articulação prevista para ocorrer entre agência e comitês de bacia. Apesar da lei ter sido aprovada em 1997, são poucos os rios no país que dispõem de agências e comitês de bacia devidamente consolidados (Adaptado de Braga, 2010).

O rompimento da barragem de Fundão: “desastre fatídico” ou “tragédia anunciada”?

De acordo com o Glossário da Defesa Civil Nacional, um “*desastre*” significa: resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema, causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais. [...] Os desastres classificam-se quanto à intensidade, evolução e origem. (BRASIL, 1998).

Pelas características acima descritas, o desastre de Bento Rodrigues está enquadrado como Desastre de Nível IV, “*desastre de muito grande porte*”. Os desastres de grande porte são aqueles nos quais os danos humanos e ambientais são muito importantes e os prejuízos deles advindos são muito vultosos e consideráveis. Nessas condições, as comunidades atingidas são incapazes de superar as suas consequências. É requerida a intervenção de todas as esferas de governo e, se essas falharem, a ajuda internacional deve ser acionada. No presente caso, ainda há o agravante de que as comunidades atingidas pelo desastre não foram bem informadas; não estavam minimamente preparadas e não foram mobilizadas de modo adequado para serem removidas para fora da área afetada.

Outro ponto importante a ser destacado é que o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, em 2015, dá sequência a uma série de acidentes similares que vêm ocorrendo em Minas Gerais, ao longo dos últimos anos (FARIA, 2015):

- A) 22/06/2001: rompimento de barragem de rejeitos de minério de ferro da Mineradora Rio Verde, em São Sebastião das Águas Claras (Macacos) MG;
- B) 29/03/2003: rompimento de barragem de rejeitos industriais – Ind. Cataguases de Papel, em Cataguases (MG);
- C) 10/01/2007: rompimento de barragem de rejeitos da Mineradora de Bauxita Rio Pomba/Cataguases, em Mirai (MG); e
- D) 10/09/2014: rompimento de barragem de contenção de rejeitos na Mina Retirado do Sapecado, em Itabirito (MG).

Além de prejuízos ambientais e econômicos, esses rompimentos causaram mortes (a) e problemas sérios de contaminação ambiental (b e c). Chama a atenção o fato de que até agora, a maioria dos responsáveis por esses acidentes ainda não foi condenada pela justiça. Será que teremos o mesmo fim para o caso de Bento Rodrigues?

Existem centenas de barragens similares espalhadas pelo Brasil, principalmente no Estado de Minas Gerais. Será que essas estruturas oferecem risco? Qual é o nível de fiscalização que os órgãos estatais de todas as esferas vêm fazendo? Existem estudos e medidas que assegurem a proteção das populações eventualmente em risco? E o que é ainda mais preocupante: muitas dessas barragens estão abandonadas. Hoje, temos uma nova área de estudos que é exatamente o descomissionamento de barragens (PINTO, 2010). É evidente que o governo deve rever e melhorar suas políticas de descomissionamento de barragens e aquelas outras voltadas à segurança operacional de todas as barragens situadas no território nacional.

Ao observar o traçado da história para os casos acima, talvez tenhamos que trocar a designação de “desastre” para “tragédia” de Bento Rodrigues. O termo tragédia tem origem na palavra grega *tragosoiodé* (algo como “canções dos bodes”), palavra derivada da rica poética e tradição religiosa da Grécia antiga. Hoje, o conceito de “tragédia” refere-se a um acontecimento que gera lástima, comoção ou terror. E mais. Uma tragédia é essencialmente um acontecimento ou uma narrativa que tem por característica central um final infeliz ou aterrorizante.

Se tentarmos relacionar as quatro dimensões sociais e políticas de um sistema de governança apresentadas acima, é possível constatar que nenhuma delas foi realmente observada na tragédia de Mariana. Essa constatação nos remete a uma conclusão muito singela e que transcende a presente tragédia. E qual é a conclusão? É a de que não existe no Brasil um sistema único e eficiente que garanta a real governança das águas.

Em minha opinião, não podemos, ainda, atribuir o conceito de tragédia ao desastre em Bento Rodrigues, pois ainda não se chegou

ao final da história. É crucial uma atuação isenta e transparente das diferentes esferas do governo, em conjunto com a sociedade, no sentido de (a) garantir uma punição exemplar dos responsáveis pelo desastre e (b) assegurar reparações justas e adequadas a todos os danos humanos e ambientais. Esses são dois fatores essenciais na transformação do desastre em Bento Rodrigues em uma tragédia ou em uma lição a ser aprendida por todos os brasileiros para que nunca mais se repita.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas – ANA. 2016. Encarte especial sobre a bacia do Rio Doce. O rompimento da barragem de Mariana. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF. 50 págs.

Faria, M. 2015. Barragens de rejeitos já causaram diversas tragédias em Minas Gerais. Estado de Minas. 5 de novembro de 2015. http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2015/11/05/interna_gerais,705019/barragens-de-rejeito-ja-causaram-diversas-tragedias-em-minas-gerais-r.shtml

Fundação SOS Mata Atlântica. 2016. Análise do impacto sobre áreas de Mata Atlântica do rompimento da barragem localizada no subdistrito de Bento Rodrigues, no Município de Mariana – MG. Fundação SOS Mata Atlântica, (11) 3262-4088, Avenida Paulista, 2073, Cj. 1318, Cd. Conjunto Nacional, Torre Horsa 1 - 13º andar, Bela Vista, São Paulo - SP, CEP: 01311-300. <https://www.sosma.org.br/104177/fundacao-divulga-analise-impacto-da-tragedia-em-mariana-sobre-areas-de-vegetacao/#sthash.ndXa0psz.dpuf>. 12 págs.

Isla, L.A.S. 2016. O uso de peixes em estudos experimentais ecotoxicológicos “in situ”, avaliando os efeitos da poluição aquática urbana em reservatórios. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Ecologia e Conservação e Manejo da Vida Silvestre – ECMVS, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (MG). 87 págs.

Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM. 2015. Acompanhamento da qualidade das águas do rio Doce após o rompimento da barragem da Samarco no distrito de Bento Rodrigues – Mariana/MG. Gerência de Monitoramento de Qualidade das Águas, Secretaria Estadual do Meio Ambiente, Governo do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 30 de Novembro (relatório 1) e 15 de Dezembro de 2015 (relatório 2). 50 págs + 66 págs. <http://www.igam.mg.gov.br/component/content/article/16/1632-monitoramento-da-qualidade-das-aguas-superficiais-do-rio-doce-no-estado-de-minas-gerais>

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. 2015. Laudo Técnico Preliminar – Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Diretoria de Proteção Ambiental - DIPRO & Coordenação Geral de Emergências Ambientais – CGEMA. Brasília, Novembro de 2015. 38 págs.

Pinto, A. C. C. 2010. Contribuições para o estudo de descomissionamento de barragens. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil – Hidráulica. Universidade de São Paulo – USP, São Paulo (SP), 216 págs.

Pinto-Coelho, R.M. & K. Havens. 2015. A Crise nas águas. Editora Relevo. Belo Horizonte, MG. 162 págs.

Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional, Política Urbana e Gestão Metropolitana – SEDRU. 2016. Relatório da Força-Tarefa para a avaliação dos efeitos de desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana- MG. Governo de Minas Gerais. Janeiro de 2016.

Saunier, R. E. & R. A. Meganck. 2007. Dictionary & Introduction to global environmental governance. 2nd Edition. Earthscan Dunstan House, London, UK. 457 págs. ISBN 978-1-84407-750-2.

Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 2015-2016. Av. Brasil, Belo Horizonte, (MG). Boletim de acompanhamento da onda de cheia ao longo do rio Doce, causada pela ruptura da barragem em Mariana. Boletins diários entre 5 de novembro de 2015 e 04 de janeiro de 2016.

Os Estudos de paleosismicidade como ferramenta de gestão de riscos: evidências, literatura e futuro

Surveys on paleoseismicity as risk management tools: evidence, literature and future

Los estudios de paleosismicidad como herramienta de gestión de riesgo: pruebas, literatura y futuro

Antonio Augusto Seabra Junior¹, Wilfred Brandt²

RESUMO

Este artigo trata da temática da associação de eventos tectônicos recentes no tempo geológico com a paleosismicidade, relacionados ao Cráton do São Francisco, na sua porção meridional, onde está inserida a Bacia do Rio Doce. A sismologia é uma ciência com divulgação principalmente acadêmica quando se trata da escala continental, contudo em escala local está inserida no contexto dos projetos de Engenharia, ciência esta nem sempre considerada frente à crença equivocada, de que o Brasil não é um território com riscos sísmicos. Estudos recentemente publicados indicam, para determinadas regiões brasileiras, um risco sísmico considerável. Dentre regiões de maior risco sísmico, podem-se destacar algumas partes do território mineiro, com especial atenção para o Quadrilátero Ferrífero onde começa o Alto do Rio Doce. Existe a evidente necessidade de se reforçar a rede sismológica nacional, tanto em termos de distribuição espacial, quando de precisão e tratamento de dados. É necessário que as Escolas se capacitem e criem centros de sismologia de forma a gerar uma massa crítica que consiga responder adequadamente aos riscos que se apresentam. Enquanto não se dispõe de uma estrutura e de dados adequados, a paleosismicidade desponta como um importante instrumento para o conhecimento do potencial de risco sísmico de uma dada localidade, de forma a que se possam adotar as medidas necessárias para redução da vulnerabilidade da sociedade e meio ambiente aos mesmos.

¹ Engenheiro Geólogo (UFOP), Gestor de Riscos Naturais (*GeoHazards*) da Brandt Meio Ambiente email- aseabra@brandt.com.br

² Engenheiro de Minas (UFMG), Diretor Executivo da Brandt Meio Ambiente email-wbrandt@brandt.com.br

PALAVRAS-CHAVE: Paleosismicidade, neotectônica, reativação, falhas.

ABSTRACT

This article deals with the theme of recent tectonic events considering geological time in association with Paleoseismicity related to the São Francisco Craton, in its southern portion where the Doce River Basin extends. Seismology is a Science with mostly academic disclosure when it comes to the continental scale, on a local scale otherwise it must be inserted in the context of Engineering Projects. This Science more than often is mistaken due to the belief that Brazil is not an area with imperious seismic risks. Nevertheless recently published studies indicate, for certain Brazilian regions, a quite significant seismic risk. Among regions of higher seismic risk there can be highlighted some parts of the Brazilian Minas Gerais territory with particular attention to the Iron Quadrangle, where the top of the Doce River starts. There is a clear need to strengthen the National Seismological Network, in terms of spatial distribution as well as on precision and processing of data. It's necessary for schools to enable and create Seismology Centers in order to generate a critical mass that can respond appropriately to dwelling risks. While not having a structure and adequate data Paleoseismicity arises as an important tool for the knowledge of seismic risk potential for a given locality, so that they can take the necessary measures to reduce the vulnerability of society and the environment as well.

KEYWORDS: Paleoseismicity, neotectonics, reactivation, faults.

1 - INTRODUÇÃO

Este artigo trata da temática da associação de eventos tectônicos recentes no tempo geológico com a paleosismicidade, relacionados ao Cráton do São Francisco, na sua porção meridional, onde está inserida a Bacia do Rio Doce, figura 1. A sismologia é uma ciência com divulgação principalmente acadêmica quando se trata da escala continental, contudo em escala local está inserida no contexto dos projetos de Engenharia. Em grandes empreendimentos é utilizada na maioria dos casos no país, em outros não, frente à crença equivocada, de que o Brasil não é um território com riscos sísmicos, podendo não serem plenamente considerados em função disso. Estudos recentemente publicados (Assumpção *et.al.* 2014,2015) indicam, para determinadas regiões brasileiras, um risco sísmico considerável, baseado em um mapa de Ameaça Sísmica da Aceleração de Pico no Chão, com valores maiores do que aqueles previstos e considerados nas normas técnicas até então. Dentre regiões de maior risco sísmico, podem-se destacar algumas partes do território mineiro, com especial atenção para o Quadrilátero Ferrífero onde começa o alto do Rio Doce.

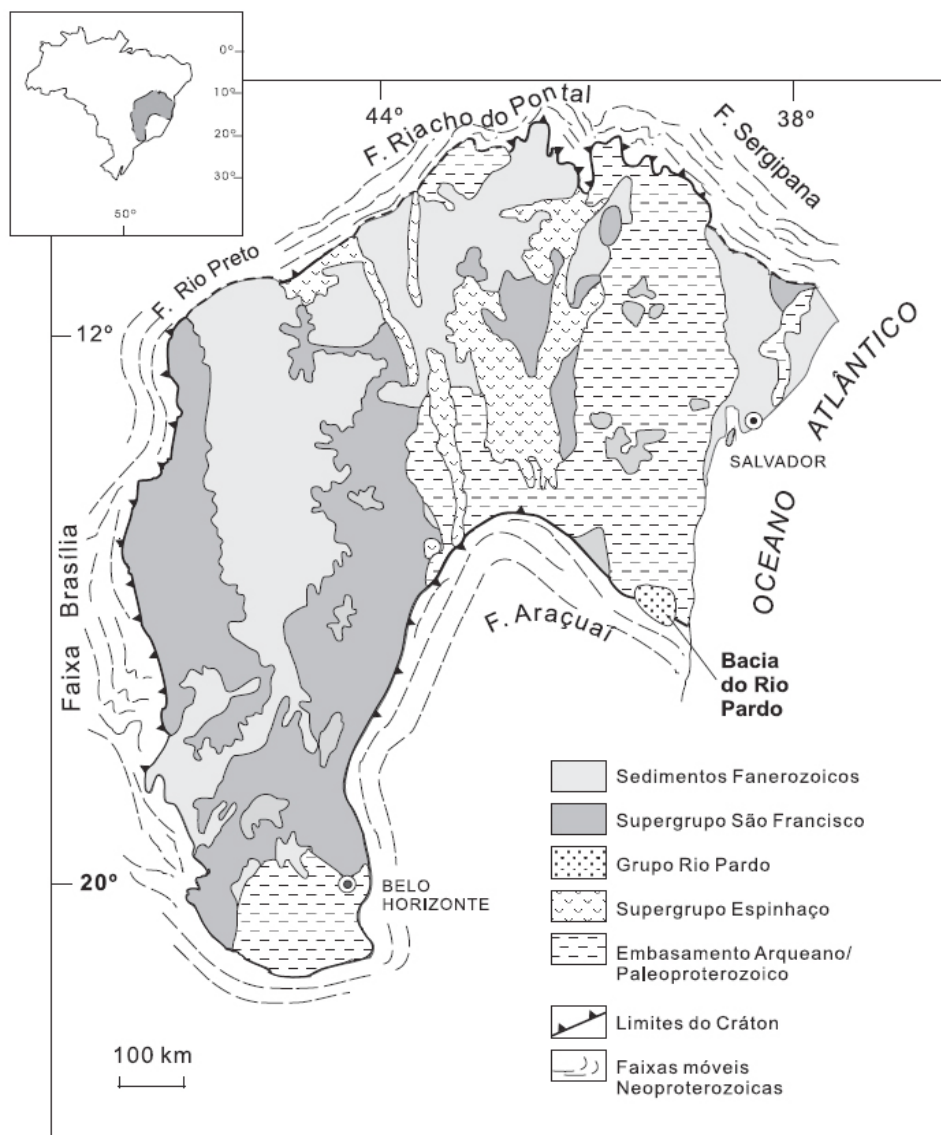


Figura 1 – Cráton do São Francisco, modificado de Alkmim et.al, 1998

Estes conhecimentos na área de sismologia recentes são relevantes para a engenharia de grandes obras, como a construção pesada, onde tem aplicação direta. A aplicação de testes e ensaios de campo para obtenção de variáveis importantes devem ser realizadas antecipadamente para mensuração do risco sísmico real ao qual estão vulneráveis as estruturas e consequentemente a população civil ali localizada ou em trânsito e o meio ambiente.

Neste aspecto, a paleosismicidade pode trazer importantes informações, as quais viriam auxiliar no caso do registro geológico da existência de paleotremores em áreas próximas aos empreendimentos citados. Em um país de dimensões continentais, com alto grau de intemperismo das rochas e somando aos recursos, de certa forma, escassos para evolução rápida de monitoramento e conhecimento; a paleosismicidade como etapa a ser feita em interação multidisciplinar; torna-se ferramenta, eficiente e adequada a este quadro. As interpretações paleoclimáticas, paleobotânicas, análises geomorfológicas na sucessão de imageamentos aéreos por fotos e imagens de satélite, geração de mapas litoestruturais e morfoestruturais em diversas escalas, dados de geocronologia e os métodos geofísicos aplicados caso a caso; mais todo o cabedal de especificidades técnicas das geociências, onde somamos a arqueologia; servem utilmente aos estudos de paleosismicidade e as conclusões sobre os eventos de tremores de terra ocorridos no passado.

2 - DESENVOLVIMENTO

2.1 - Os Estudos de Paleosismicidade e sua Importância na Gestão do Risco Sócio Ambiental de uma Região

A Paleosismicidade é uma derivação, e/ou ciência auxiliar na área de Tectônica/Neotectônica, que estuda os abalos sísmicos ocorridos em planos de falha existentes nos tempos pretéritos, quando ainda não haviam meios estruturados para registro dos mesmos. O espaço temporal da paleosismicidade pode ir desde eventos muito antigos, ocorridos a dezenas de milhões de anos, até eventos mais recentes, da ordem de milhares ou de apenas centenas de anos atrás.

A avaliação de planos de falha pré-existent é uma vertente de sismologia, tectônica e geologia estrutural que deriva para a temática de paleosismicidade, onde a geologia estuda os terremotos ocorridos antes dos primeiros registros históricos, em geral abordando diretamente a falha que originou um determinado terremoto. Assim, é possível calcular as magnitudes de fenômenos que se produziram há milhares de anos e que voltarão a reproduzir no futuro novos abalos.

Os sismos ocorrem desde o início da formação da Terra, e continuarão ocorrendo ao longo de sua existência. Grande parte dos sismos tem origem nas movimentações relacionadas à tectônica de placas e seus desdobramentos ao longo da litosfera; manifestando-se na forma de abalos e tremores; erupções vulcânicas e intrusões magmáticas e rachaduras/fraturas/falhas na crosta terrestre.

Neste texto tratamos da área pertencente ao domínio sul do Cráton do São Francisco, uma área; em teoria, estável. Na concepção da teoria da 'Tectônica de Placas' (Wilson, 1966), os continentes são considerados internamente estáveis e as áreas onde ocorrem os principais movimentos estão concentradas nas bordas das placas tectônicas, sendo essas as zonas consideradas 'sísmicas', figura 2. Contudo as medições geodésicas e a ocorrência/frequência de eventos sísmicos em regiões intraplacas demonstram que existem movimentações tanto verticais quanto horizontais na crosta terrestre, sendo esta uma análise recente na história da geologia, fundamentada na instrumentação que começou a percorrer todo o globo terrestre na segunda metade do Século XX. Esta rede de monitoramento mostrou um cenário em algumas partes do mundo, diferente do preconizado pelas teorias iniciais. Colocando assim áreas dantes consideradas plenamente estáveis como sujeitas a receber vibrações oriundas de abalos sísmicos, por exemplo, o Quadrilátero Ferrífero.

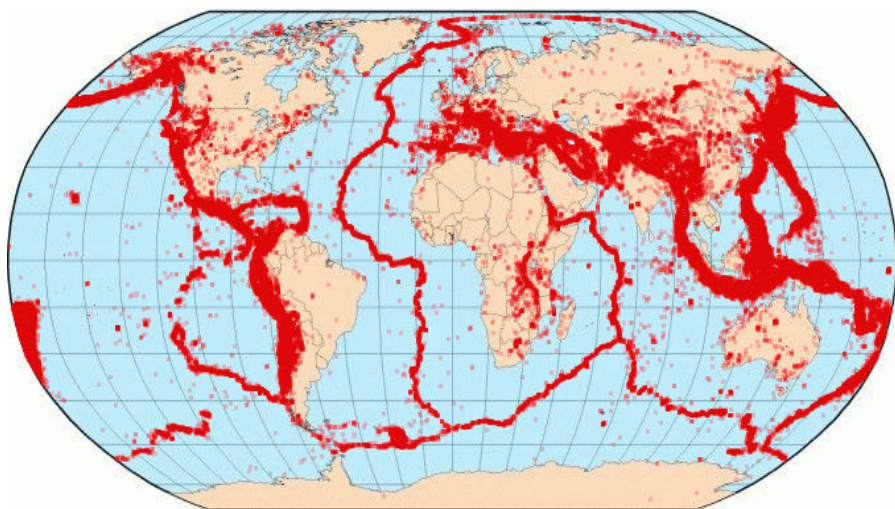


Figura 2 – Zonas Sísmicas no Globo Terrestre. Fonte: USGS

Existem muitas descrições na literatura da associação de grandes lineamentos estruturais, intrusões magmáticas volumosas e os sismos intraplacas. A explicação mecânica para este processo e seus eventos se aproxima evidentemente do conceito de zonas de fraqueza. A rigor, podemos tratar uma zona de fraqueza como uma estrutura pré-existente que foi reativada. Na região do Quadrilátero Ferrífero estes domínios com zonas de fraqueza vigentes podem estar associados a lineamentos/falhas em regiões com a presença de tectônica recente, por exemplo, intrusão de diques recentes, as bacias terciárias e suas descontinuidades e as áreas de circulação de águas quentes que obviamente guardam zonas de fragilidade notórias.

Eventos sísmicos muito antigos, da ordem de centenas de milhões de anos, podem ter menor importância em relação à previsibilidade de novos sismos, pois os sistemas de falhamento e demais anisotropias crustais decorrentes de tais eventos podem se encontrar consolidadas, com possibilidades remotas de uma reativação. Por isso, em regiões com histórico geológico antigo como é o caso de Minas Gerais, há uma tendência de que eventos significativos podem ser improváveis.

Entretanto eventos mais recentes, da ordem de poucas dezenas de milhões ou poucos milhares de anos podem estar ligados a estruturas ainda não estabilizadas, com potencial para reativação no tempo atual, vigente. Tais patamares de tempo, para terrenos como a da Bacia do Rio Doce, são geologicamente considerados recentes.

A inserção e aumento de monitoramento adequado têm mostrado que algumas estruturas desta região tem atividade constante e com alguns pulsos que poderiam gerar, sim, impactos em áreas; aqui já citadas, que poderiam colocar em risco o meio ambiente e a sociedade civil. O ajuste de uma rede sismográfica mais precisa, para determinados locais deve ser planejado. A baixa densidade de ocupação do terreno, no extenso território nacional faz com que eventos sísmicos somente sejam notados quando ocorrem próximos a zonas densamente ocupadas ou cobertas plenamente pela rede. Esforços notáveis têm sido executados pelas principais universidades e centros do país que detêm o controle desta rede. Na medida em que a rede de monitoramento brasileira é equipada, vem surgindo evidência de ocorrências diárias de sismos de magnitudes baixas e moderadas, com alguns eventos de maior relevância.

É exatamente frente a esta necessidade de ajuste de dados para este risco, onde a paleosismicidade pode ser um instrumento valioso, não apenas como um campo de atuação científica, mas como um elemento importante para a previsibilidade e preparo a eventos sísmicos de maior gravidade, reduzindo assim a vulnerabilidade da sociedade e meio ambiente ao risco sísmico.

2.2 – A Paleosismicidade como Ferramenta de Análise de Risco

Em áreas com baixa densidade de monitoramento podemos fazer uso das ferramentas de paleosismicidade para estabelecer uma relação com os riscos a que estão expostos as empresas e sociedade civil ali presentes.

Na região do Platô Moeda, Itabirito; Minas Gerais, a partir de um evento de dano físico a uma barragem de rejeitos ocasionada por sismos de baixa magnitude, uma série de estudos foram desenvolvidos e uma análise multidisciplinar estabeleceram o zoneamento de risco e um plano diretor de sustentabilidade industrial e ambiental, figura 3.

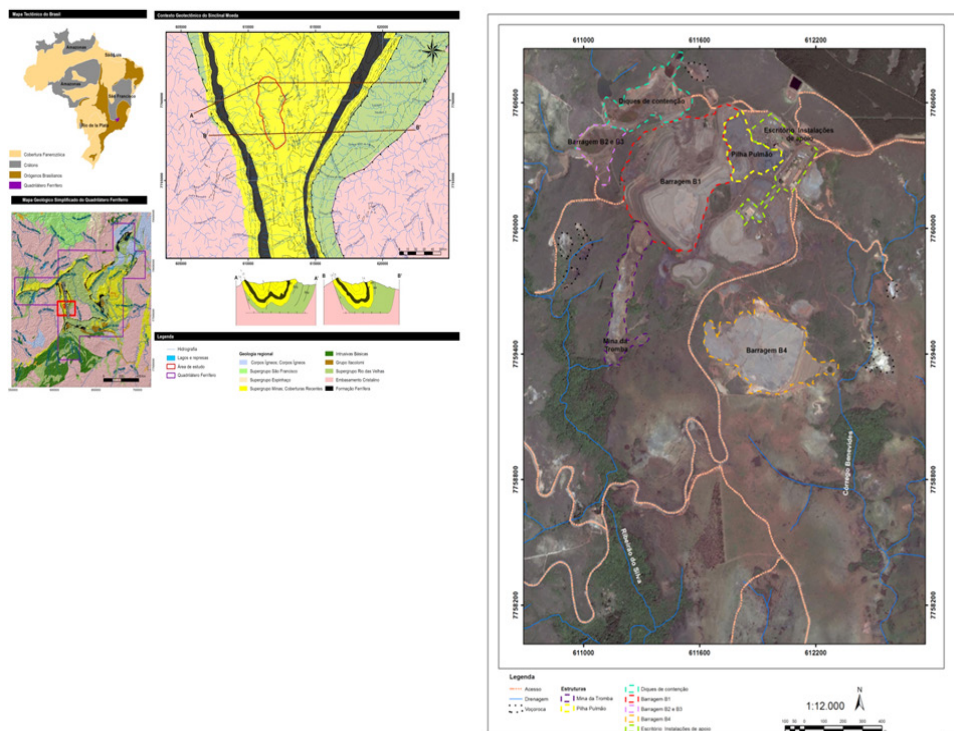


Figura 3 – Região do Platô Herculaniano

No dia 05 de Abril de 2014, a barragem B4 da Herculanano Mineração e o terreno natural no seu entorno sofreram uma série de danos físicos, formados por faturas, rachaduras, vórtex e dolinas de colapso (*sink holes*).

Nas fotos abaixo, figura 4; está um vórtex gerado a montante na barragem por onde escoaram 300.000 m³ de água e 90.000 t de rejeito. No avançar dos estudos de geologia, obras de sondagem e execução de levantamentos de eletroresistividade; descobriu-se o que seria a confirmação das nossas observações iniciais, em 19 de abril de 2014; a existência de um sistema cárstico na área.

Formado no domínio de mármore dolomíticos da Formação Fecho do Funil; este sistema cárstico mostrou-se uma zona de fragilidade

estrutural que foi traduzida para engenharia como zona de alto risco. As ocorrências de abatimentos em superfície do tipo *sinkhole* são um risco operacional hoje analisado, computado e expresso na forma de modelo de blocos tridimensional, figura 4; que tem como objetivo orientar a futura lavra de recuperação e estabilização da área; trazendo assim forte auxílio na continuidade das operações com foco na integridade e segurança de todos envolvidos.

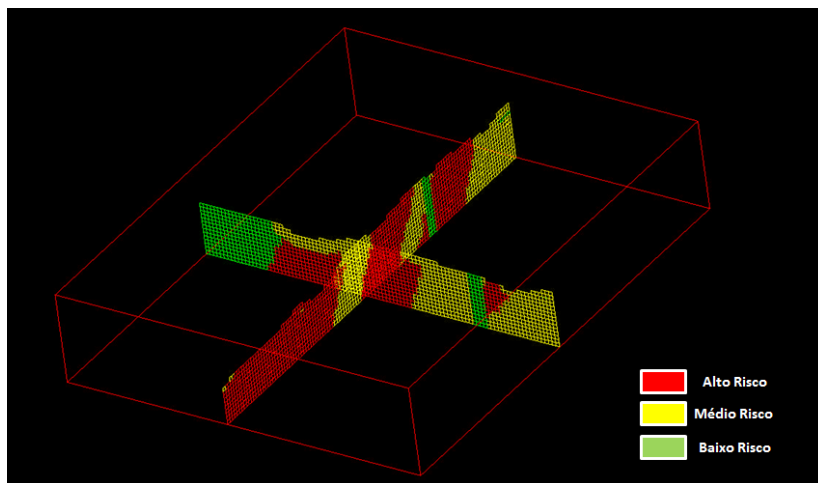


Figura 4 – Modelo de Risco Geológico

As evidências morfológicas e hidroquímicas encontrados ao longo das sucessivas etapas de trabalho sugerem que a dissolução dos dolomitos e mármore ocorreram através processos hipogênicos como a oxidação de sulfetos e alteração de carbonatos de manganês (rodocrosita ?). Estes processos formaram uma rede de canais subterrâneos com áreas de vazio da ordem de dezenas de m², onde a zona vadosa está associada diretamente aos vazios e também a áreas formadas por um tipo manganesífero, ‘borra de café’, onde a drenância é elevada, figura 5. A abrangência deste sistema na área da Herculano Mineração é de cerca de 4 km², onde foram encontrados e mapeados vazios e estruturas encobertas pela atividade industrial, tais como dolinas e sumidouros. Provavelmente estes canais subterrâneos representam um sistema único, atualmente segmentado por sucessivas fases de erosão e recobrimento, a fase epigenética.



Figura 5 – Mármore Dolomítico na área do vórtex

O sistema cárstico do 'Platô Herculano' representa um trecho de um sistema único de galerias que foi segmentado pela denudação da superfície. Este fato caracteriza este carste como de evolução bimodal, ou seja, tem origem hipogênica e uma etapa posterior epigênica. Este sistema constitui um modelo tridimensional onde o formato das galerias pode se alterar abruptamente em termos da parede e teto, gerando desta forma grandes variações no volume e podendo as junções entre os condutos ser irregulares. Se tomarmos a classificação de Palmer (1991) este sistema corresponde a um arranjo ramiforme com alguns setores espongiiformes e reticulados.

A interrupção dos condutos pode se dar em geral por erosão e abatimento que geram o recobrimento por sedimentação. As galerias deste sistema foram geradas após a alteração hipogênica dos mármore e dolomitos para o 'ferro-manganês'; constituindo a principal fase de

espeleogênese do sistema. Essa fase não aparenta ter qualquer relação com a superfície atual do terreno. Foram encontradas paleomesas que representam a superfície final de erosão e também da evolução epigenética do sistema cárstico; considerando que o material que constitui as mesas são os sedimentos das Bacias Terciárias, esta fase epigenética está colocada entre o final do evento terciário e os tempos atuais. Na figura 6 abaixo as fotos destes ‘morros testemunhos’.



Figura 6 – Paleosuperfícies de Erosão

A localização onde elas foram encontradas estão em um *horst* cercado pelos vales dos ribeirões Silva e Benevides, figura 7. As evidências de rebaixamento rápido das cabeceiras dos ribeirões citados incluem declividades abruptas com centenas de metros de desnível, figura 7; e capturas recentes de drenagem com reorientação de cursos d'água, figura 8; completando esse quadro de atividades recentes soma-se a presença de fonte notável de água quente na Fonte Itabirito – BONAQUA. Todas estas evidências encontradas denotam a natureza juvenil da paisagem local.

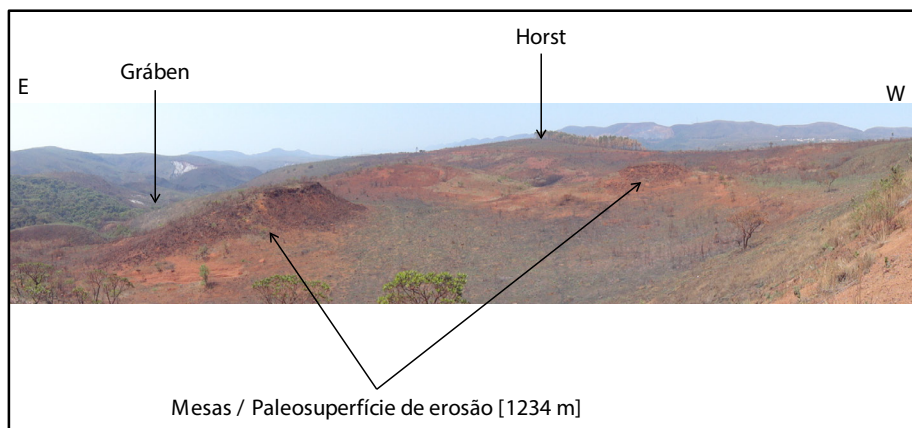


Figura 7 – Horst Benevides

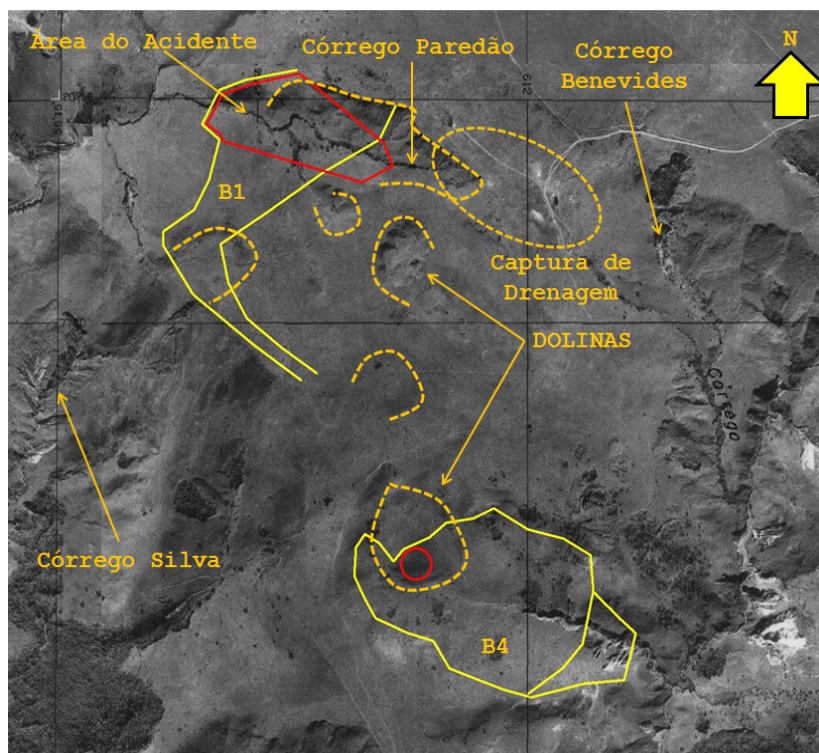


Figura 8 – Captura de drenagem na cabeceira do Benevides

Para completar todo este quadro jovem da área foram encontradas prováveis intrusões ácidas cortando argilitos e arenitos nas Bacias Terciárias, figura 9. Tal fato avançará para trabalhos de datação geocronológica e análise em detalhe da natureza petrográfica destas intrusões.

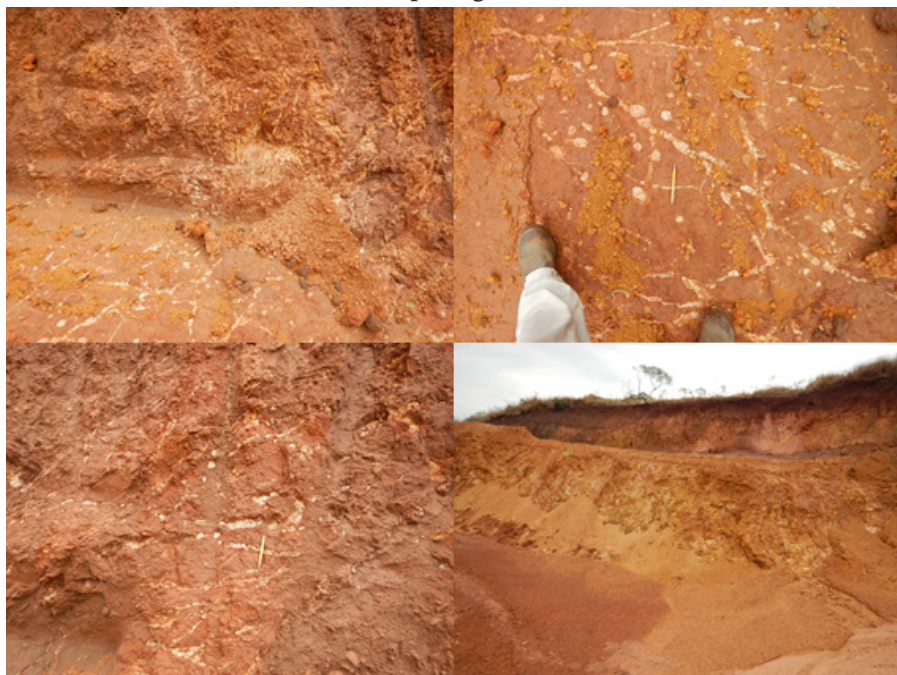


Figura 9 – Prováveis intrusões nas Bacias Terciárias

Todo este contexto avaliado denota um quadro tectônico ativo em período pós Terciário; sendo talvez a evolução de paisagem mais dramática e catastrófica próxima dos tempos atuais. Em outra vertente estas evidências montam um conjunto que deve ser avaliado com imenso cuidado na sua ocupação, com o passado de chave para o presente; a probabilidade de ocorrência de eventos similares e ou repetidos, como estes observados no registro geológico, pode existir. Não sem mistério antes e durante os eventos de danos gerados na barragem B4, foram registrados na RSBR [Rede de Sismográfica Brasileira] cinco [5] tremores de terra subsequentes, sendo que o mais forte atingiu 2.9 mr, figura 10. A coincidência de data e horário

dos eventos registrados pelas estações sismográficas e os danos identificados foram sentidos por mais de 200 trabalhadores que se encontravam no dia dentro da área da empresa. Diversos danos estruturais e materiais dos eventos foram observados pelas pessoas: objetos caindo de prateleiras, sensação dos prédios balançando até cerâmicas estourando no piso dos escritórios, mas o mais marcante foi à abertura do vórtex a montante na barragem e os sistemas de rachaduras e *sinkholes*. As análises de forma de onda, entre outras avaliações feitas com os dados; permitiram aos pesquisadores do IAG – USP, Assumpção *et al.*, determinar quão tanto a onda P como a S, registradas na estação BSCB, têm chegadas bem nítidas e impulsivas. A onda S tem maior amplitude na componente transversal. Essas são características de ondas geradas por sismo, i.e., por deslocamento abrupto em falha geológica, a alta correlação das formas de onda indica tratar-se de mesmo mecanismo de falhamento. Vibrações causadas por desmoronamentos geralmente são constituídas de ondas de superfície, com ondas P e S quase imperceptíveis. Essas características mostram que os abatimentos foram consequência de sismos naturais, ou seja, que os sismos não foram resultantes do abatimento de teto de cavernas, como se poderia supor, mas sim, sua causa.

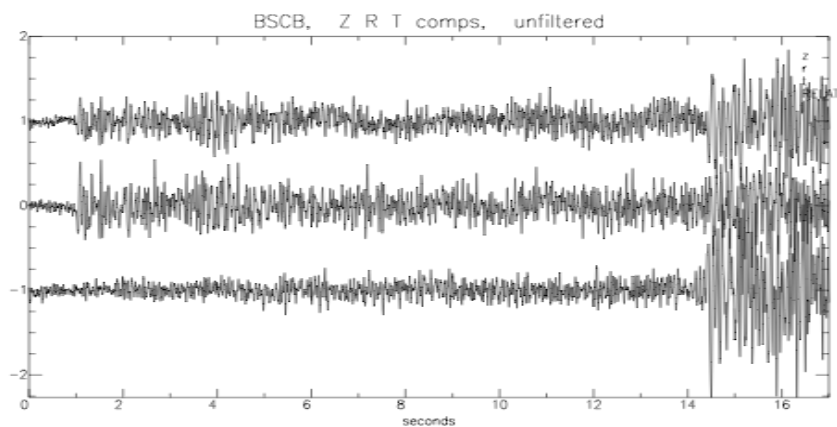


Figura 10 – Registro sismográfico dos eventos ocorridos em 05 de abril de 2014

2.3 – Evidências de Atividade Geológica Recente na Bacia do Rio Doce

Os estudos desenvolvidos por Riccomini (1989), Mello (1997), Castro (2001, 2006), Maizatto (2001), Saadi *et al.* (2002), Lipski *et al.* (2002) e Castro e Braga (2008); reúnem com primor inúmeras evidências da atividade geológica recente na região do Cráton do São Francisco Meridional.

As superfícies de erosão recentes, as estruturas tectônicas reativadas pelo paleocampo de tensões e pelo campo vigente, a geração de diversos depósitos sedimentares recentes e as modificações significativas de relevo causadas por diversos agentes da geodinâmica superficial colocam esta região, pelo menos no que tange a crosta terrestre rasa, como ativa geodinamicamente. Em Castro e Braga (2008) foram mostradas seções de levantamento sísmico que mostraram a deformação recente dos sedimentos lacustrinos em Lagoas do Parque do Rio Doce, figura 11. O rejeito do plano de falha atinge cerca de 20 metros na seção levantada e sua orientação é compatível com as estruturas mapeadas como lineamentos estruturais notáveis da área. Tais fatos merecem luz e evolução de investimentos nas diversas

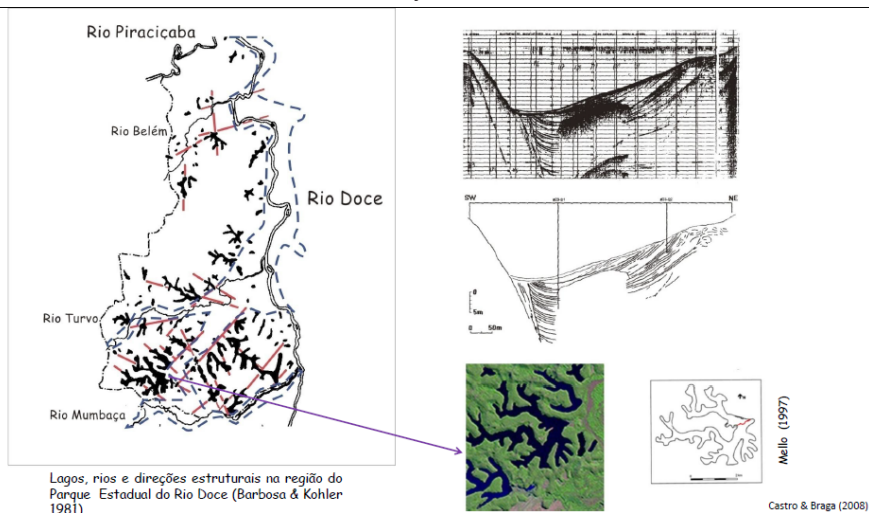


Figura 11 – Castro e Braga (2008): Deformação, estrutura do tipo anticlinal de *roll over*, em sedimentos lacustres recentes

áreas que possui: geologia estrutural e tectônica, geocronologia, geomorfologia, paleosismicidade, paleoclimatologia, paleobotânica, arqueologia entre outras várias vertentes das Ciências que possam vir a contribuir no conhecimento e desdobramentos dos eventos de Geologia Histórica Recente.

Estudos recentes na região liderados por estes autores indicam evidência de eventos como quedas de blocos em cavernas, alterações de relevo e inversão drenagem e reativações de sistemas de falhas e fraturas. Até mesmo desaparecimento de culturas, observados em ocorrências arqueológicas nas regiões cársticas de Minas Gerais podem estar associadas a questões desta natureza.

Evidentemente, é muito cedo para se falar em alguma correlação que ainda necessitam de mais estudos. Mas é certo que os mínimos indícios apontam para um novo e fascinante campo de estudos, o da paleosismicidade, associada à evolução cárstica e humana, em regiões como Lagoa Santa e Januária. Existe aí uma boa possibilidade de se conjugar várias ciências, em uma visão sistêmica, buscando o maior conhecimento da ocupação humana na região, e dos fatores que a influenciaram, fatores estes que podem a qualquer momento, se tornarem importantes também para resiliência da sociedade atual.

3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil tem tradição recente em sismologia, devido à falsa crença de que não está em território sismicamente ativo. Os conhecimentos atuais demonstram o contrário, e demandam um importante esforço no sentido de se cobrir esta deficiência que torna a sociedade e o meio ambiente vulneráveis aos riscos sísmicos atualmente conhecidos.

Existe a evidente necessidade de se reforçar a rede sismológica nacional, tanto em termos de distribuição espacial, quanto de precisão e tratamento de dados. É necessário que as Escolas se capacitem e criem centros de sismologia de forma a gerar uma massa crítica que consiga responder adequadamente aos riscos que se apresentam.

Esta estruturação demanda muitos recursos financeiros e humanos, mas principalmente, demanda tempo.

Enquanto não se dispõe de uma estrutura e de dados adequados, a paleosismicidade desponta como um importante instrumento para o conhecimento do potencial de risco sísmico de uma dada localidade, de forma a que se possam adotar as medidas necessárias para redução da vulnerabilidade da sociedade e do meio ambiente aos mesmos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Castro P.T.A. 2001. Origem e evolução dos lagos do médio rio Doce: perspectiva geológica. Disponível em: www.degeo.ufop.br/intranet/Graduação/disciplinas/estratigrafia/perd.htm. Acessado em 29/05/2011.

Castro P.T.A., Braga S C M. Evidências de tectonismo cenozóico no alto e médio vale do rio Doce (MG), com base em geomorfologia fluvial. 2008, 44 Congresso Brasileiro de Geologia.

da Silva C.M.T., Alkmim F.F., Pedrosa Soares A.C. Geometria e evolução do feixe de zonas de cisalhamento Manhuaçu – Santa Margarida, Orógeno Araçuaí, MG. 2009. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 62(1):23-34.

Leeder M., Gawthorpe R. 1987. Sedimentary models for tilt-block/half-graben basins. In: Continental Extensional Tectonics, edited by M. P. Coward and J.F. Dewey and P.L. Hancock. Spec. Publ. Geol. Soc. Am., 28, pages 139-152.

Lipski, M.; Endo, I.; Castro, P.T.A; Trzaskos – Lipski, B. 2002. Evolução neotectônica no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais a partir da análise de paleotensão. (Inédito).

Maizatto J.R. 2001. Análise bioestratigráfica, paleoecológica e sedimentológica das bacias terciárias do Gandarela e Fonseca – Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais, com base nos aspectos palinológicos e sedimentares. Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Tese de Doutorado 249p.

Mello C.L. 1997. Sedimentação e Tectônica Cenozoicas no Médio Vale do rio Doce (MG, Sudeste do Brasil) e suas implicações na Evolução de um Sistema de Lagos, Programa de Pós- Graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 275p.

Riccomini C., 1989, O Rift Continental do Sudeste do Brasil: Instituto de Geociências/ Universidade de São Paulo, São Paulo Tese de Doutorado, 256p.

Saadi A., Machette M.N., Haller K.M., Dart R.L., Bradley L., de Souza A.M.P.D. 2002. Map and Database of Quaternary Faults and Lineaments in Brazil. USGS, Open-File Report 02-2030, Denver, 68p.

Bases de mapas obtidas em: <http://neotec.rc.unesp.br/neotec>. Acesso em dezembro de 2015.

Geomorfologia do caminho da lama: contexto e consequências da ruptura da Barragem do Fundão(novembro 2015, Mariana–MG)

AllaouaSaadi¹, Jackson Cleiton Ferreira Campos²

1 - Introduzindo o assunto com um resumo do fato hidrogeomorfológico

O acidente que, no dia 5 de novembro de 2015, afetou o sistema de barragens de rejeitos da mina do complexo extrativo e beneficiador de minério de ferro da empresa SAMARCO Mineração/SA cujo sítio paisagístico é ilustrado pela Foto 1, situado no município de Mariana-MG, resultou em uma tragédia trifacial: social, ambiental e político-administrativa. O rompimento de uma das três barragens (Figura 1), a denominada do Fundão (Foto 2) projetou, rio abaixo, o que poderia denominar-se de uma avalanche com 34 milhões de metros cúbicos de lama que soterrou a quase total extensão da vila de Bento Rodrigues (situada 5,6 km a jusante) (Foto 3), matando 19 pessoas, lambeu a vila de Paracatu (42,5 km a jusante) e a parte baixa da vila de Barra Longa (76 km a jusante) (Foto 4).

¹ Geógrafo, Doutor em Geografia Física

Professor Titular do Depto. De Geografia do Instituto de Geociências da UFMG

² Geógrafo e Mestre em Solos Sócio-Diretor da Amplo Engenharia e Gestão de Projetos Ltda.



Foto 1: Vista do sítio paisagístico do complexo e da Barragem de Germano, a mais alta e maior do conjunto. (Foto do autor)



Foto 2: Barragem do Fundão esvaziada após o rompimento (Foto do autor)

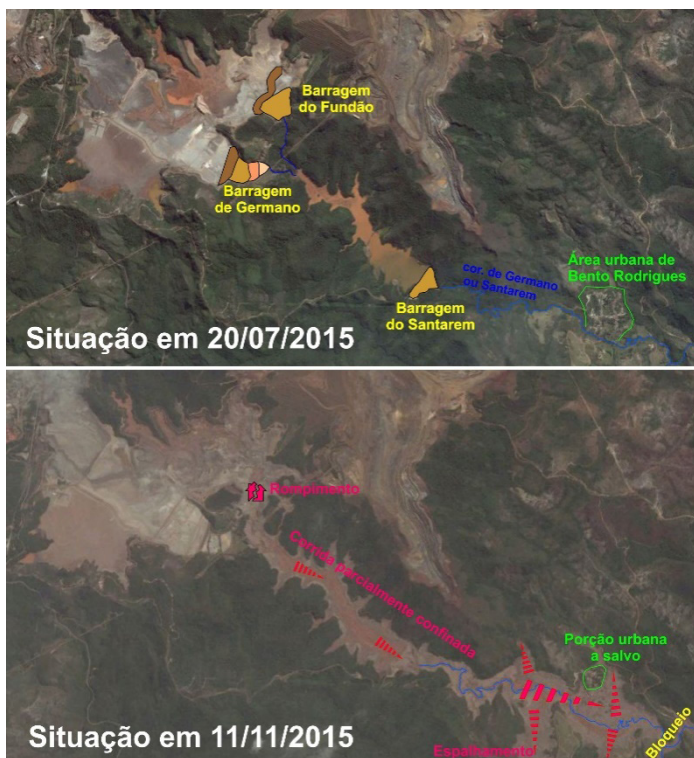


Figura 1: O contexto do acidente (Imagens Google Earth)



Foto 3: Estado da destruição da vila de Bento Rodrigues causada pela avalanche de lama (Foto Defesa Civil)



Foto 4: Parte baixa da vila de Barra Longa arrasada pela corrida de lama (Foto Defesa Civil)

Na sequência da avalanche de lama que deixou um rastro de destruição de vidas humanas e patrimonial no sentido amplo, uma corrente fluvial com altíssima turbidez percorreu o restante do fundo de vale de, aproximadamente, 115 km até alcançar a represa da UHE Candonga/Risoleta Neves, “empurrando” uma onda de cheia e removendo e/ou destruindo tudo o que encontrava no canal e sobre os baixos terraços e encostas que constituem as margens dos rios Gualaxo do Norte(Foto 5) e do Carmo. (Foto 6).



Foto 5: Margens do rio Gualaxo do Norte arrasadas pela corrida de lama que as deixou cobertas por sedimentos ferruginosos(Foto Defesa Civil)



Foto 6: Sedimentos abandonados pela corrida de lama no leito maior do rio Doce, próximo a Rio Doce. (Foto do autor)

Após depositar grande parte de sua carga sedimentar, em consequência desse barramento, a corrente fluvial, ainda com alta turbidez, percorrerá mais 555 km até atingir a foz do rio Doce em Regência-ES, confinada aos limites do canal do rio Doce e aliviando sua carga sedimentar nos barramentos sucessivos das UHE's de Baguari, Aimorés e Mascarenhas.

Ao longo deste caminho, haverá de notar dois efeitos correlatos importantes:

- Em primeiro lugar, ressalta-se que o excesso de volume e a energia carregada pela corrente lamosa, em seu percurso no primeiro trecho situado no Alto Rio Doce, resultaram na geração de remansos que subiram distancias maiores que 2 km dos canais e margens dos afluentes encontrados, como no caso do rio Gualaxo do Sul e do Piranga em suas confluências com o rio do Carmo (Foto 7).
- Em segundo lugar, no Baixo Rio Doce, remansos afetaram as águas e ambientes dos pequenos afluentes ocupados por manguezais e uma pluma vermelha avançou 20 km mar adentro (Foto 8).



Foto 7: Remanso gerado pela água com alta turbidez na confluência dos rios Carmo e Piranga (Imagem Google Earth)



Foto 8: Avanço da pluma de turbidez no oceano (Imagem Google Earth)

2 – As questões em apreço

No início da tarde de 5 de novembro de 2015, entre 15:30 e 16:00 horas, uma enxurrada de notícias, repercutida em paralelo pelas redes de comunicação e redes sociais de variadas credibilidades, informava a ocorrência do rompimento de uma das barragens de

contenção de rejeitos da empresa SAMARCO alojadas na borda oriental do Quadrilátero Ferrífero, na porção noroeste do Município de Mariana-MG (Figura 2), no sopé das serras do Batatal (1.700 m. de altitude) e do Coqueiro (1.796 m. de altitude), as quais fazem a junção entre a Serra do Caraça (ao norte) e a Serra de Antônio Pereira (ao sul). Às 19:00 horas, do dia 06 de novembro de 2015, o centro de Sismologia da USP divulgara um bastante aguardado relatório sobre a ocorrência de 6 abalos sísmicos sucessivos, escalonados entre as 13:00 e 16:00 horas do mesmo dia, com epicentros próximos ao local do rompimento da barragem e magnitudes variando entre 2.0 a 2.6 (USP 2015).

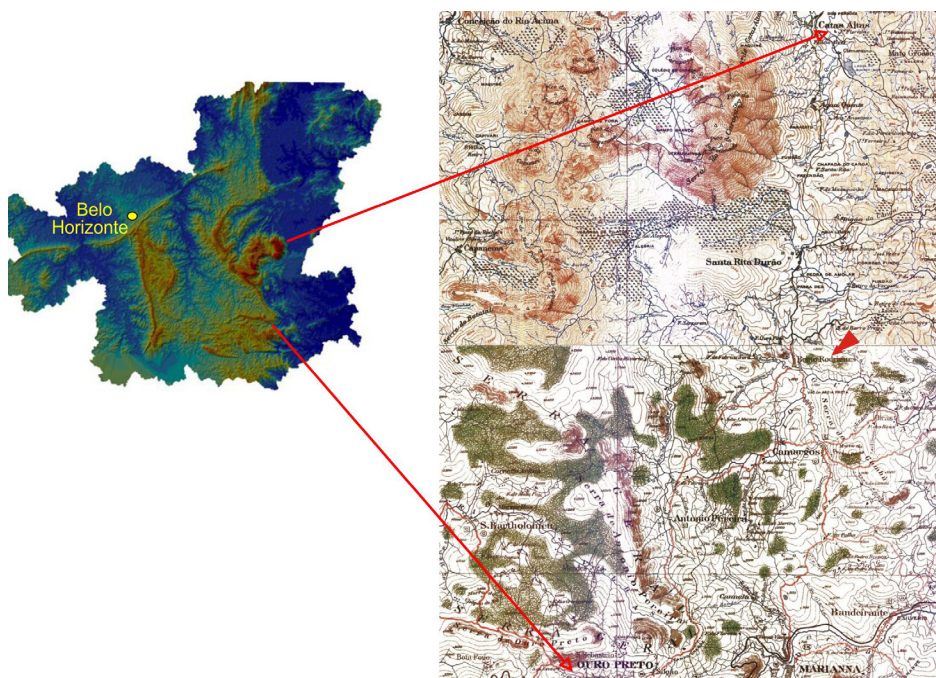


Figura 2: Localização do acidente (a seta vermelha, no meio do mapa, indica a localização de Bento Rodrigues)

Uma vez a notícia do rompimento ter atingido as redes sociais e de comunicação de massa, uma explosão de informações, nem sempre oriundas de fontes competentes e/ou fidedignas, tomou conta do noticiário, movida por objetivos e/ou interesses mais próximos do sensacionalismo e oportunismo do que do binômio realismo/responsabilidade. Do outro lado da cena, órgãos públicos, incluindo Ministério Público, SEMAD, FEAM, IBAMA, DNPM e universitários, entre outros, multiplicaram declarações que, analisadas em conjunto, traziam as provas de faltas de conexão sobre a realidade do ocorrido e as limitações da gestão técnica e jurídica do patrimônio ambiental nacional. Consultores chamados às pressas indicaram soluções, às vezes sem a devida análise e cautela frente a complexidade das consequências do acidente, focalizando problemas sobre os quais, possivelmente nunca tinham refletido: propostas como esvaziar, num prazo de 24 horas, a represa da UHE de Candonga (Risoleta Neves) para servir de barramento a um eventual rompimento de outra das 3 barragens da SAMARCO ou, ainda, barrar “com boias” a transferência das águas turvas aos braços afluentes dos ambientes de manguezais, entre outros. Para a primeira proposta, os riscos que seriam impostos à estabilidade da UHE Candonga não poderiam ser dimensionados de forma superficial frente às possibilidades de potencialização das consequências a jusante com o potencial rompimento da barragem da referida usina. Para o segundo caso, a indicação baseou-se numa estranha assimilação entre o comportamento de uma água turva e outro tipo de produto capaz de boiar sobre a água. Por sorte, a primeira ação não foi executada e a segunda, foi adotada resultando em um gasto desnecessário de tempo, esforços e recursos que poderiam ter sido usados de modo mais produtivo.

Para ilustrar a maré de desinformação que tomou conta do país, tomamos a liberdade de relatar o seguinte fato: a um grupo de jovens paulistas pertencentes a uma produtora de vídeos, que nos procurou para conversar sobre “a morte do Rio Doce”, respondemos que, não tendo ainda identificado tal morte, só poderíamos conversar sobre a “doença que tinha atingido o Rio Doce”, o que fizemos

durante umas duas horas, contribuindo à sua candidatura a um concurso internacional de vídeos amadores. Este fato ilustra o estágio de alarmismo e descontrole que atingiu a sociedade em relação ao desastre ambiental e, ao mesmo tempo, o caminho que se pretende traçar com esta contribuição: expor o ocorrido, pela lente da geomorfologia, contextualizando-o pela configuração da bacia do rio Doce (em especial por sua parte atingida), e tecer considerações sobre possíveis caminhos para a reabilitação de suas condições geoambientais. Não temos, evidentemente, nenhum objetivo de debater responsabilidades, tantos são os atores envolvidos no caso e a baixa qualidade das informações a respeito do assunto, bem como os vários tipos de desencontros que, frequentemente, travam definições importantes nas esferas técnica, política e jurídica.

3 – O contexto geológico, geomorfológico e sismotectônico regional

A bacia do rio Doce ocupa uma superfície (em projeção plana) de 83.400 km² (CPRM 2015a) ou 86.711 km² (Consortio Ecoplan-Lume, 2010a), sendo 86% desses inseridos no estado de Minas Gerais e 14% no estado do Espírito Santo. Ela é drenada por uma densa rede hidrográfica cujo principal eixo hidrográfico percorre 879 km (Consortio Ecoplan-Lume, 2010a). Suas nascentes, situadas na Serra da Mantiqueira (município de Ressaquinha), alimentam o rio Xopotó que escoar em direção a nordeste para afluir no rio Piranga. Este irá juntar-se ao ribeirão do Carmo oriundo da borda oriental do Quadrilátero Ferrífero, para formarem o rio Doce, cujas águas alcançarão o oceano Atlântico próximo a Regência-ES (Figura 3).

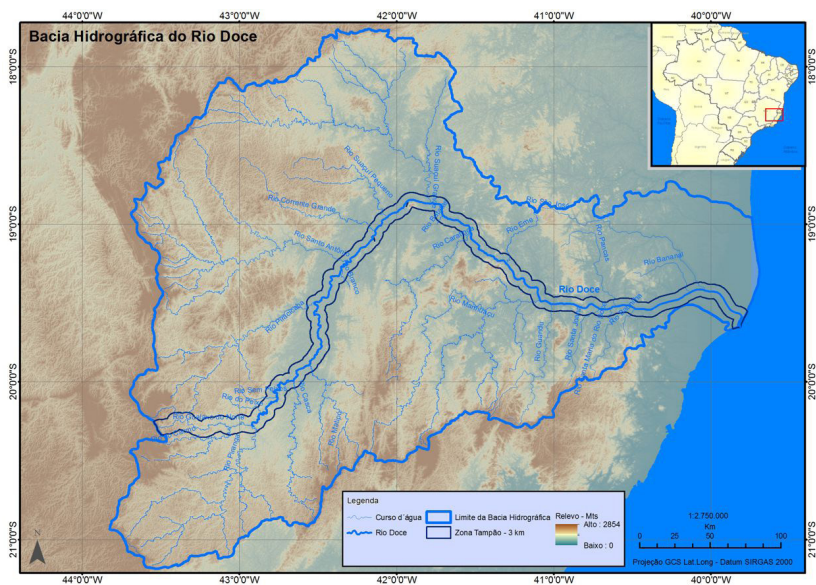


Figura 3: Bacia hidrográfica do rio Doce, com indicação do trajeto da corrente de turbidez

3.1. Contexto Regional

Considerando que uma descrição geológica detalhada da bacia do rio Doce não constituirá uma base fundamental para o entendimento da questão em discussão, lançar-se-á mão de uma apresentação sintética da organização geológica-geomorfológica regional, principalmente para fins de contextualização, reservando espaço para uma análise detalhada, e, portanto mais útil, do percurso da onda hidro-sedimentar resultante do acidente em foco.

Ao percorrer a área da bacia do rio Doce, de oeste para leste, distingue-se 5 compartimentos geomorfo-estruturais, em parte inspirados do trabalho de Strauch (1955) e Souza (1995), cujas características expõem relações diferenciadas entre unidades geológicas (litoestruturais) e organização do relevo em associação com a da rede hidrográfica (Figura 3):

1 - No extremo oeste da bacia, existe um compartimento montanhoso representado por cristas e fragmentos de planaltos pertencentes ao eixo Serra do Espinhaço/Quadrilátero Ferrífero, com altitudes que atingem os 2000 metros, orientados NE-SW em submissão ao controle lito-estrutural das sequências metassedimentares e ígneo-metamórficas predominantemente arqueanas e paleoproterozóicas. Este compartimento, limitado a leste por uma linha Ouro Preto-Itabira-Guanhães-Água Boa, abriga grande parte das cabeceiras dos afluentes e formadores de margem esquerda do rio Doce (Carmo, Piracicaba, Santo Antônio-Guanhães e Suaçui Grande), os quais são obrigados a talhar vales encaixados e cânions perpendicularmente às estruturas tectônicas implantadas pela Orogênese Brasileira (550-700 milhões de anos).

2 - Logo a leste do anterior e limitado, a leste, pelo eixo rio Doce-rio Piranga, se estende um compartimento planáltico com altitudes de topos situadas entre 500 e 900 metros. Neste, os médios e baixos cursos dos rios Piracicaba, Santo Antônio e Suaçui Grande, bem como os formadores do alto rio Piranga, esculpiram, em rochas predominantemente ígneo-metamórficas arqueanas e paleo a neoproterozóicas, um relevo de cristas e colinas que esboçam as características de um compartimento de “mar de morros”.

3 - Mais a leste, uma depressão com, aproximadamente, 50 km de largura no sentido NE-SW, se estende entre as altitudes de 350 metros, em sua extremidade SW, próximo à confluência dos rios do Carmo e Piranga, e 170 metros, em sua extremidade NE, junto ao cotovelo de Governador Valadares. Trata-se de uma grande depressão interplanáltica cujo substrato geológico é constituído, principalmente, por granitos paleoproterozóicos do Complexo Piedade. Sua morfologia aplainada, com ligeira inclinação de SW para NE, é o resultado combinado de um abatimento tectônico cenozoico (alinhado sobre a direção principal das estruturas

tectônicas brasileiras) e de uma complexa história erosiva e sedimentar conduzida pelas divagações do rio Doce. O caso mais instrutivo desta combinação geomorfológica é a depressão que abriga os lagos do Parque Florestal Estadual do Rio Doce-PERD (Pflug 1969, Barbosa e Kohler 1981) e recebe a confluência dos rios Piracicaba e Doce.

4 - A leste deste, um legítimo compartimento de “mar de morros” sobre rochas, predominantemente, ígneo-metamórficas paleo a neoproterozóicas, espalha uma infinidade de morros e colinas, organizados em conjuntos cujas altitudes variam entre 300 e 1200 metros, em função das variações litológicas das rochas granitoides e de seu arranjo tectônico cenozoico. Numa visão geral, trata-se do testemunho de uma superfície de aplainamento pós-cretácea inclinada de oeste para leste, mas dentro da qual falhamentos e movimentos epirogênicos tardios foram responsáveis por elevações de blocos e/ou agrupamentos de pontões. Neste compartimento, o rio Doce escoia de NW para SE, recortando as estruturas geológicas herdadas do evento brasileiro, mas recebe seus afluentes com cursos adaptados a essas estruturas.

5 - Por fim, um compartimento de tabuleiros litorâneos seguidos, a leste, por planícies fluvio-marinhas, situado abaixo da cota 200 metros, abriga a desembocadura do rio Doce. Os tabuleiros sustentados por sedimentos neogênicos do Grupo Barreiras expõem uma superfície perfeitamente plana, no entanto com uma profunda dissecação operada por cursos d’água que desembocam, a leste, em áreas de restingas e manguezais entremeados sobre os entrelaçamentos de cordões litorâneos com dunas e sedimentos fluvio-marinhos quaternários.

3.2. Contexto local

O caminho que foi percorrido pela avalanche de lama e, consecutivamente, pela onda de cheia resultante e a corrente fluvial com alta turbidez, atravessou o conjunto desses compartimentos geomorfológicos, submetendo o fluxo fluvial não somente às características geomorfológicas dos vales percorridos, como também aos barramentos das 4 represas associadas as Unidades Hidrelétricas (UHE's), instaladas no vale do rio Doce (Tabela 1) e localizadas na Figura 4.

Tabela 1: UHE's situadas no rio Doce, no percurso da corrente fluvial com alta turbidez

Nome da UHE	Latitude	Longitude	Altitude na crista da barragem (aproximada, em metros)	Capacidade de armazenamento (Mm ³)
Risoleta Neves – Candonga	20° 12' 25"	42° 51' 29"	295	544,0
Baguari	19° 01' 31"	42° 07' 02"	170	43,6
Aimorés	19° 27' 12"	41° 05' 26"	74	185,2
Mascarenhas	19° 29' 59"	40° 55' 28"	47	51,8

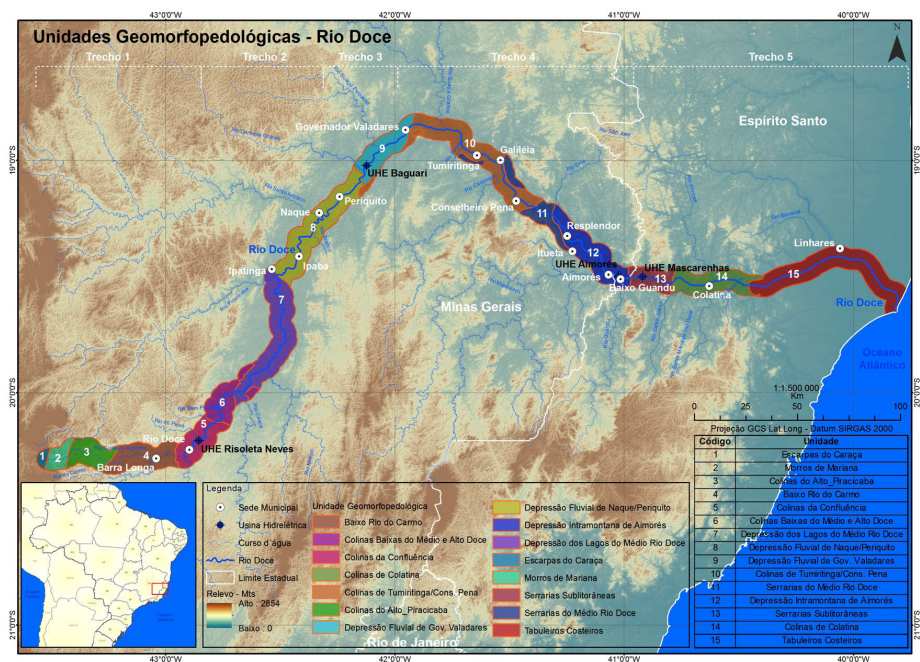


Figura 4: Caminho percorrido pela corrente fluvial com alta turbidez

Ao longo de seu percurso de 746 km, ilustrado na Figura 4, o fenômeno geomorfológico gerado pela ruptura da barragem do Fundão encontrou condições de morfologia fluvial bem diferenciadas, que devem ser consideradas em qualquer plano de recuperação do leito fluvial, para evitar gastos supérfluos e/ou ações ineficazes.

Neste sentido, ficou clara a necessidade de identificarmos, ao longo deste percurso, unidades espaciais que, em escalas diferentes, possam conter informações importantes, não só para uma compreensão adequada do fenômeno em análise, bem como para subsidiar eventuais planos de recuperação da bacia, sendo elas:

1 - por um lado, as **unidades geomorfopedológicas** encontradas ao longo do percurso efetuado pela lama, em uma faixa do vale que incorpora o canal fluvial e seu contexto geoambiental próximo (Tabela 2 e Figura 4);

2 - por outro lado, os **trechos do canal fluvial** que, ao longo do percurso efetuado pela lama, apresentam características morfodinâmicas diferenciadas (Figura 4).

3.2.1 Unidades geomorfopedológicas

As unidades geomorfopedológicas são diferenciadas por associações, do ponto de vista da predominância, entre formas de relevo (incluindo as do fundo dos vales), tipo de substrato geológico e tipos de solos. Essas associações são variáveis e servem de contexto à compreensão das condições geoambientais de trechos deste percurso numa faixa com largura de 10km (5km a cada margem do rio) e, portanto, podem ser úteis para a definição dos métodos, ações e processos de recuperação e reabilitação. É claro que qualquer projeto neste sentido deveria incorporar uma abordagem em que as intervenções extrapolam os estreitos limites do canal fluvial, estendendo-se a faixas marginais variáveis em função do contexto geoambiental local. A Tabela 2 expõe as características morfológicas, litológicas e pedológicas de cada uma das unidades mapeadas ao longo do percurso da lama na Figura 4.

Tabela 2: Características Geoambientais das Unidades Geomorfopedológicas encontradas ao longo do percurso da lama

Unidade Morfopedológica	Geformas predominantes	Litologias predominantes	Solos predominantes
Escarpas do Caraçá	Escarpas rochosas elevadas e subverticais	Quartzitos, itabiritos e dolomitos	Afloramentos de Rocha e Cambissolos Háplicos Perféricos
Morros de Mariana	Colinas e morros com altura inferior a 200 metros e vales encaixados	Quartzitos, xistos e filitos	Predominância de Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos e, secundariamente, Cambissolos Háplicos Tb Distróficos
Colinas do Alto Piracicaba	Colinas convexas com altura inferior a 200 metros, cristas esparsas e vales encaixados	Predominância de rochas igneometamórficas, além de faixas de quartzitos	Predominância de Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, localmente Cambissolos Háplicos
Baixo rio do Carmo	Morros convexos com altura superior a 200 metros e vales muito encaixados	Predominância de rochas ígneas além de metamórficas diversificadas	Predominância de Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos, ambos Distróficos
Colinas da Confluência	Colinas e morros com topos aplainados e denso controle estrutural, vales encaixados e altura superior a 200 metros	Predominância absoluta de rochas granito-gnáissicas	Predominância absoluta de Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos, ambos Eutróficos
Colinas baixas do Médio-Alto Doce	Colinas baixas com altura inferior a 200 metros, esparsas e com vales abertos e/ou de fundo plano	Predominância absoluta de rochas granito-gnáissicas	Predominância absoluta de Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos, ambos Eutróficos

Unidade Morfológica	Geformas predominantes	Litologias predominantes	Solos predominantes
Depressão dos Lagos do Médio rio Doce	Colinas baixas cercando lagos e planícies aluviais	Rochas ígneo-metamórficas localmente sobpostas a sedimentos flúviolacustres	Predominância de Latossolos AmarelosDistróficos, secundariamente Latossolos Vermelho-AmarelosDistróficos e Cambissolos Háplicos Tb Distróficos
Depressão Fluvial de Naque/Periquito	Colinas baixas e terraços aluviais	Predominância de rochas metamórficas com ígneometamórficas subordinadas, além de recobrimentos por aluviões	Predominância de Latossolos AmarelosDistróficos, secundariamente Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos e Cambissolos Háplicos Tb Distróficos
Depressão Fluvial de Governador Valadares	Larga Planície e terraços Aluviais cercados de colinas baixas e suaves	Rochas ígneas granitoides com cobertura de camadas aluviais em grande parte do eixo central	Predominância de Argissolos Vermelhos Eutróficos e Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos Distróficos
Colinas de Tumiritinga/Conselheiro Pena	Morros e colinas	Rochastonalíticas predominantemente	Predominância de Argissolos VermelhosEutróficos, localmente Cambissolos e Afloramentos de Rocha
Serranias do Médio/Baixo Rio Doce	Morros elevados e maciços	Predominância de granitos e, subordinadamente, rochas metamórficas	Predominância de Argissolos Vermelhos Eutróficos, localmente Cambissolos e Afloramentos de Rocha sobre os cumes das morrarias meridionais

Unidade Morfopedológica	Geoformas predominantes	Litologias predominantes	Solos predominantes
Depressão Intramontana de Aimorés	Colinas	Granitóides e metamorfitos com corpos intrusivos	Predominância de Argissolos Vermelho Eutróficos, secundariamente Latossolos VermelhosEutróficos
Serrasias sublitorâneas (de Itapina/Mascarenhas)	Morros elevados e maciços	Complexos granitóides e corpos intrusivos	Predominância de Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, secundariamente Argissolos Vermelhos Eutróficos, localmente Afloramentos de Rocha e Cambissolos
Colinas de Colatina	Morros elevados e maciços rochosos	Rochas de complexos Granitóides	Predominância de Latossolos Vermelhos e Vermelho-AmarelosDistróficos, secundariamente Cambissolos Háplicos TaDistróficos
Tabuleiros Costeiros (Litorâneos)	Platôs baixos com dissecação fluvial	Arenitos argilosos terciários	Predominância de Argissolos Vermelhos Distróficos e Latossolos Amarelos Distróficos, Quartzarênicos e Cambissolos
Planícies Fluvio-marinhas	Emaranhado de dunas, cordões litorâneos e planícies	Sedimentos fluviais e flúvio-marinhos quaternários	Gleissolos e Neossolos

3.2.2 Características morfodinâmicas do canal principal

As variações observadas nas características morfodinâmicas atuais dos trechos de rio percorridos pela lama mostram o modo de funcionamento e evolução de cada um deles. Este entendimento ajudaria a entender o comportamento da lama (turbidez diversamente acentuada) em cada um dos 5 trechos seguintes e prognosticar seu tempo e modo de residência no local (Figuras 4 e 5).

Trecho 1: entre as cabeceiras do rio Gualaxo do Norte e a UHE Candonga (Risoleta Neves): este trecho apresenta um comprimento de, aproximadamente, 191 km, uma declividade média de 0,30% e uma largura máxima do canal fluvial principal próxima a 50 metros, sendo este representado por toda a extensão do rio Gualaxo do Norte/Carmo e pela porção de canal do rio Doce, situado a jusante da confluência do rio do Carmo com o rio Piranga. Ao se reportar às unidades geomorfopedológicas atravessadas, percebe-se que, em porção predominante trata-se de relevos de morrarias e colinas organizadas em densos agrupamentos em torno de vales estreitos e vertentes declivosas. De fato, ao longo deste trecho, o vale fluvial principal é estreito e bastante encaixado, algumas vezes quase sob forma de cânion. Sua declividade média de 0,30% bastante elevada, indica condições de corrente com elevada energia, ainda confirmada pela frequência de trechos encachoeirados e de corredeiras. O fato da corrente fluvial escoar diretamente sobre o substrato geológico explica a raridade das planícies (várzeas) e/ou terraços aluviais que, quando existem, consistem em faixas estreitas coladas às vertentes ou em alvéolos de reduzidas dimensões. Isto é característico de trecho de vales fluviais cuja dinâmica predominante se expressa por erosão por dissecação e solapamento de margens, enquanto a atividade sedimentar é confinada a raros episódios em contextos específicos de alguns alvéolos. No entanto, não se pode deixar de realçar que, durante o evento em análise, uma enorme quantidade de sedimentos, oriundos da Barragem do Fundão, tem sido acumulada sobre as margens deste trecho de rio pela corrida de lama. Esses sedimentos

devem ficar durante algum tempo à disposição das enxurradas de verão cuja tendência seria a de leva-los de volta à calha do rio. Deve-se ressaltar que essas condições da morfodinâmica fluvial mudam substancialmente logo a jusante da confluência dos rios Carmo e Piranga, quando se inicia o rio Doce cujo fundo de vale fica mais alargado. No entanto, considerando a escala do trabalho e o curto trajeto a ser percorrido até a barragem de Candonga (Risoleta Neves), não se justificaria a sua identificação enquanto trecho de morfodinâmica fluvial específica.

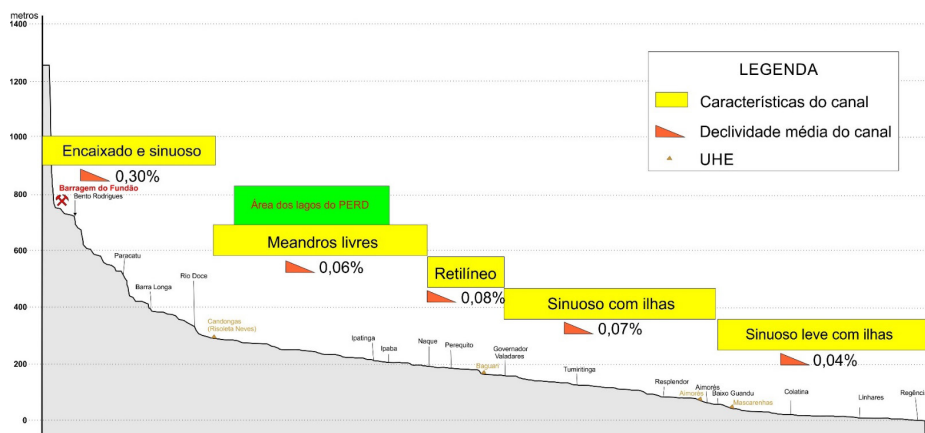


Figura 5: Perfil longitudinal do caminho da lama, com características do canal

Trecho 2: entre a UHE Candonga (Risoleta Neves) e a confluência do rio Santo Antônio com o rio Doce (município de Naque): este trecho apresenta um comprimento de, aproximadamente, 147 km, uma declividade média de 0,06 % e uma largura do canal principal que varia de 70 a 300 metros, entre suas extremidades de montante para jusante. De início, nota-se uma drástica diminuição da declividade média do canal fluvial que indica uma correspondente diminuição das condições energéticas do fluxo fluvial. Este fato é corroborado pela morfodinâmica do canal que assume o caráter de meandros livres em duas partes do trajeto, incluindo acentuação das curvas e *cut-off's*, em meio a um fundo de vale plano que exibe largas planícies marginais correspondendo a planícies de inundação e terraços baixos (mais de

2 km, localmente). Em toda a porção central do trecho, entre São José do Goiabal e Ipaba, o rio Doce flui dentro da área ocupada pela região dos lagos do Médio rio Doce, região já caracterizada como depressão neotectônica por várias abordagens (Saadi 1991, Suguio e Kohler 1992, Souza e Saadi 1994, Souza 1995, Vasconcelos 2002, Vasconcelos e Saadi 2003). No caso específico da região de Ipatinga, Vasconcelos (2002) e Vasconcelos e Saadi (2003) têm demonstrado a existência de uma fossa neotectônica (profundidade mínima de 80 metros) na área da confluência entre os rios Doce e Piracicaba, que traz sérios elementos de explicação para a gênese da região dos lagos do PERD (Parque Florestal Estadual do Rio Doce) e para a localização da USIMINAS em Ipatinga, tão longe do cruzamento de importantes rodovias em Governador Valadares onde não se beneficiaria da disponibilidade permanente de água subterrânea encontrada em Ipatinga. A notar que o relatório do Comitê da Bacia do Rio Doce (Consortio Ecoplan-Lume, 2010a), apesar do grande número de publicações tratando do assunto, continua atribuindo a alta disponibilidade de água subterrânea, nesta área, à suposta forte espessura dos mantos de intemperismo em rochas ígneometamórficas. Uma análise mais profunda deve ser realizada sobre este trecho. De fato, as áreas onde se desenvolvem os melhores meandros livres são situadas às margens das extremidades sul e norte do agrupamento de lagos, cuja área é interpretada como depressão neotectônica. Esta configuração pode parecer, à primeira vista, como uma situação anômala. No entanto, talvez seja esta mesma que serve de argumento para a idade recente do abatimento tectônico do bloco contendo o agrupamento de lagos nos fundos dos quais se conseguiu datações de, aproximadamente, 6.000 anos AP (Mello 1997).

Este trecho irá comportar-se como trecho de retenção sedimentar, conforme o denunciam as muito frequentes barras de areia estacionadas nas bordas do canal fluvial, bem como as ilhas em grande parte de origem sedimentar já consolidadas. Deve-se considerar, também, os barramentos naturais gerados por cachoeiras e corredeiras que devem assinalar a existência de falhas que segmentam a grande depressão neotectônica: Cachoeira dos Óculos no limite meridional

do PERD, dois conjuntos de corredeiras da Ponte Queimada (PERD, município de Marliéria), Corredeiras de Sant'Ana (PERD, em revés de Belém, distrito de Bom Jesus do Galho), Cachoeira Escura entre a usina da CENIBRA e a vila de Perpétuo Socorro.

Trecho 3: entre a confluência do rio Santo Antônio e a periferia meridional da cidade de Governador Valadares: este trecho apresenta um comprimento de, aproximadamente, 60 km alternando entre os traçados retilíneo e ligeiramente sinuoso, uma declividade média de 0,08%, com uma largura do canal principal que varia entre 300 e 1500 metros. Este trecho apresenta um caráter bem diferenciado do anterior, pois as larguras extremas do canal são ligadas à presença de extensas ilhas sustentadas por afloramentos do embasamento rochoso coberto por sedimentos aluviais, além dos próprios afloramentos do embasamento rochoso, frequentes em toda a extensão do trecho. Isto indica uma diminuição drástica da profundidade média e assinala um comportamento misto da corrente fluvial: ao mesmo tempo em que ela contribui à retenção de sedimentos, cuja carga acaba de ser aumentada pelos aportes do rio Santo Antônio (afluindo em Naque), nos períodos de estiagem, ela deve adquirir uma forte capacidade de transporte durante os episódios de cheias. Esses episódios são bem conhecidos como geradores de enchentes que costumam assolar cidades como Governador Valadares.

Trecho 4: entre a periferia meridional da cidade de Governador Valadares e a cidade de Baixo Guandu: este trecho apresenta um comprimento de, aproximadamente, 147 km de canal com largas sinuosidades e margens com desenho bastante irregular, uma declividade média de 0,07% e uma largura do canal que alcança valores maiores que 1.000 metros - quase equivalentes à largura máxima do lago represado pela barragem da UHE Aimorés - mas pode estreitar, localmente, até 150 metros. As margens apresentam forte variação morfológica, alternando trechos rochosos com alvéolos onde baixos terraços fluviais alcançam larguras de até 500 metros. Dentro do canal, a alta frequência de extensos afloramentos rochosos, além de numerosas ilhas rochosas, às vezes cobertos por delgada cobertura

sedimentar, denota a influência de um forte controle litológico e tectônico no contexto de um canal com profundidade muito variável, mas frequentemente rasa. Observa-se que as grandes larguras do canal não são relacionadas com lâminas de águas contínuas, mas com as numerosas e extensas ilhas rochosas, o que confere as características de leito com canais anastomosados. O confinamento do fluxo fluvial nesses estreitos canais de base rochosa induz uma dinâmica que favorece o transporte de sedimentos em detrimento de sua deposição. Os bancos de areia presentes neste trecho ocorrem, predominantemente, a montante das pontas de ilhas. Em períodos de cheias, o escoamento bastante turbulento, contribui eficientemente a uma transferência episódica, rumo à jusante, dos sedimentos que chegam ao trecho, alimentando o modelado do trecho do rio Doce que antecede sua conexão com o oceano.

Trecho 5: entre a cidade de Baixo Guandu e a desembocadura do rio

Doce: este trecho apresenta um comprimento de, aproximadamente, 153 Km de canal com aspecto praticamente retilíneo exceto algumas largas sinuosidades de escala regional, margens com desenho bem delineado, uma declividade média de 0,04% e uma largura do canal que varia entre uma centena de metros logo a jusante da barragem de Mascarenhas a 1800 metros na porção mais próxima ao litoral capixaba. Nesta, o canal adquire numerosas anastomoses devido a uma grande quantidade de ilhas consolidadas sobre substrato sedimentar. Ao longo do trecho, ocorrem, também, agrupamentos de bancos de areia que indicam uma velocidade baixa, ou até extrema dificuldade, no trânsito dos sedimentos em direção ao oceano.

Fato relativamente inusitado, apesar da declividade baixa do canal e da dinâmica predominante de retenção sedimentar, as planícies marginais são raras e estreitas e o vale adquire uma feição de relativo encaixamento. Mas, quando o rio Doce alcança as proximidades da cidade de Linhares, o conjunto das lagoas marginais que ali se associam aos tabuleiros litorâneos sobre sedimentos neogênicos do Grupo Barreiras ocupam uma repentina abertura do vale com largas margens sub-horizontais suspensas a poucos metros acima do nível do rio. Logo a jusante da cidade de Linhares, um grande leque de planícies se espalha em direção ao oceano, numa distância de 35 km,

na direção NW-SE. Nas planícies, com seu substrato constituído por sedimentos fluviais e marinhos quaternários, onde alternam depressões, paleocanais e sequências de cordões, o rio Doce encurva para o sul na busca de uma saída para o oceano, pois encontra um barramento constituído por uma barra litorânea que se estende entre as vilas de Povoação e Regência. Neste ambiente deltaico (Soares Landim 1977, Dominguez *et al.* 1981), a forte carga sedimentar do rio e a fraquíssima declividade de seu canal não lhe permitem abrir uma passagem direta.

3.3 O contexto morfotectônico

No mesmo dia da ruptura da barragem do Fundão, que aconteceu às 15:30 horas na área da empresa SAMARCO, foram registrados 6 abalos sísmicos sucessivos, escalonados entre as 13:00 e 16:00 horas, com epicentros situados praticamente no local do sistema de barragens de contenção de rejeitos, e magnitudes variando entre 2.0 a 2.6 (USP 2015). Segundo o Laboratório de Sismologia da USP, “*as profundidades dos eventos foram fixadas em 0km pois não há resolução para determinação precisa*”. A Tabela 3 mostra as informações básicas divulgadas sobre os referidos registros.

Tabela 3: Tremores registrados pela Rede Sismográfica Brasileira na Região da Mineração Samarco-MG (USP 2015).

Evento	Hora Local	Coordenadas		Incerteza no epicentro (km)	Magnitude mR
		Latitude (°)	Longitude (°)		
1	13:01:50	--20.0	--43.3	20	2.3
2	13:06:07	--20.2	--43.6	20	2.5
3	14:12:15	--20.08	--43.50	20	2.4
4	14:13:51	--20.20	--43.48	10	2.6
5	15:56:42	--20.2?	--43.5?	-	2.0?
6	15:59:28	--20.00	--43.60	20	2.2

O relatório da equipe de sismologia da USP afirma que ***“a região leste de Minas Gerais tem histórico de sismos, e é uma das “zonas sísmicas” usadas na preparação do Mapa de Ameaça Sísmica do Brasil”***. Referindo-se à área em estudo, confirma ***“que pequenos tremores de terra nessa parte de Minas Gerais são relativamente comuns e não se trata de um fenômeno anormal”***.

Como parecer opina que ***“Ainda não é possível relacionar a ocorrência dos tremores como causa do rompimento das barragens. A probabilidade da coincidência de local e data com o desastre é muito pequena, mesmo considerando que pequenos tremores de terra sejam “relativamente” frequentes no Brasil.***

Por outro lado, tremores de terra de pequena magnitude (< 3) só em casos muito especiais poderiam causar danos diretos a qualquer construção civil ou barragem. Essas condições especiais poderiam ser, talvez:

a) hipocentro bem raso e bem próximo às barragens (difícil de mostrar com a RSBR atual).

b) barragem já instabilizada por outros fatores anteriores (por exemplo, excesso de carga ou de chuva),

c) os tremores mais fortes ocorridos às 14hs talvez pudessem ter provocado pequenas fissuras na barragem permitindo leve escoamento de água; os tremores das 16hs podem ter disparado o desastre, numa situação já crítica, acelerando o processo de erosão pelo escoamento inicial da água,

d) as vibrações dos tremores poderiam ter causado liquefação do material da barragem. Há alguns poucos casos na literatura sobre rompimento de barragens de rejeito por liquefação, mas sempre associados a sismos com magnitude superior a ~ 5 (e.g., Nishihara, 1984).

E finaliza orientando para que ***“Cada uma dessas possibilidades precisa ainda ser investigada mais a fundo com estudos técnicos apropriados, antes de se chegar a qualquer conclusão útil”***.

Membros da comunidade técnico-científica, céticos quanto à realidade da mobilidade crustal do “Chão” Brasileiro (por motivos extremamente variados), irão alegar que esse conjunto de “incertezas” declaradas anulam o valor dessas informações enquanto elementos de análise do acontecimento. De fato, a ocorrência desses abalos sísmicos foi rapidamente afastada de todas as discussões técnicas e jurídicas que vieram a conhecimento público.

No entanto, alguns elementos do *background* do conhecimento geológico-geomorfológico da região não permitem que este assunto seja sumariamente escamoteado da discussão, sem, no entanto, que ele venha servir de argumento para dificultar a determinação das responsabilidades técnicas e políticas quanto ao desastre socioambiental.

Para isso, precisa-se avançar as seguintes observações:

a – a Tabela 4 mostra um aspecto ainda limitado da sismicidade histórica da bacia do rio Doce levantado em 2001 (Saadi 2001), deixando claro que a sismicidade da área da SAMARCO é recorrente, pois os sismos de 1898, 1908 e 1989 têm exatamente ela por área epicentral. Essas informações deveriam, também, tranquilizar a equipe de sismologia da USP quanto à precisão na determinação da área epicentral.

Tabela 4: Dados macrossísmicos dos sismos ocorridos na bacia hidrográfica do rio Doce (Saadi 2001)

DATA	COORDENADAS		ERRO km	LOCALIDADE	INT. MM	CAT.	MAGNITUDE	
	Latitude	Longitude					Mb	Tipo
25/07/1855	19,95	43,46	-	Barão de Cocais	V	C	3,5	1
11/11/1872	18,60	43,39	-	Serro		C		1
xx/04/1898	20,37	43,41	-	Mariana		C		1
xx/04/1908	20,37	43,41	-	Mariana		C		1
10/04/1948	19,95	43,25	-	Pantame		C		1
xx/xx/1968	18,44	42,59	-	São Pedro do Suaçui		C		1
16/07/1969	18,18	42,41	-	Santa Maria do Suaçui	VII ?	C		1
06/02/1970	18,44	42,59	-	São Pedro do Suaçui	VII ?	C		1
06/02/1970	18,44	42,59	-	São Pedro do Suaçui		C		1
31/07/1986	19,86	42,48	50	Caratinga		I	3.3	1
08/05/1989	20,30	43,44	15	Mariana		I	3.4	1
11/11/1990	17,82	41,46	30	Teófilo Otôni		I	2.4	1

Fontes dos dados: Berrocalet *al.* 1984, Boletim Sismológico Brasileiro 1983-1997, Assumpção, M. “Lista de sismos brasileiros” (www.iag.usp)

b - O comportamento sismotectônico regional, provavelmente associado à mobilidade da Falha D'Água Quente, que bordeja o pé da Serra do Caraça, já foi caracterizado como particularmente ativo, desde o início do Cenozoico, por trabalhos diversos. Gorceix (1884) descreveu a existência da Bacia de Fonseca como bacia sedimentar neogênica deformada tectonicamente. Saadi (1991) demonstrou a mobilidade tectônica da borda oriental do Craton do São Francisco, entre outras feições morfoneotectônicas do estado de Minas Gerais. Miotto (1993) identificou as zonas sismogênicas do Brasil dando destaque para a “Zona Sismogênica Jequitinhonha” que incorpora grande parte da bacia do rio Doce. Saadi (1996) propôs um modelo de funcionamento neotectônico da borda leste do Craton do São Francisco baseado na mobilidade das estruturas herdadas da tectônica brasileira. Mello (1997) desenvolveu trabalhos sobre os lagos do PERD, confirmando a influência neotectônica na gênese dos mesmos.

Portanto, acreditamos que tanto quanto dizer que seria prematuro associar a ruptura da barragem à ocorrência dos tremores, ficaria, também, temerário afirmar que os mesmos não contribuíram em nada ao desencadeamento de um processo em que várias outras condições de contorno já estavam reunidas, no sentido do que foi aventado no relatório da USP. Deve ficar, no entanto, bem claro que esta colocação em nada possa servir a uma eventual atenuação das responsabilidades de nenhum dos atores desta tragédia pelo estado de instabilidade em que podia se encontrar a barragem do Fundão, conforme foi declarado pelos órgãos ambientais estaduais e pelo Ministério Público.

Contudo para melhor entender o tamanho real da referida tragédia, bem como pautar as avaliações futuras de estruturas de igual natureza na região é preciso ingurgitar algumas informações colhidas pelos órgãos técnicos que acompanharam o “rastro da lama”, informações que permitem, consequentemente, pensar com maior propriedade as eventuais ações de revitalização ambiental.

4 – No rastro da lama

Os técnicos da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), órgão federal encarregado de desenvolver o conhecimento sobre os recursos minerais do País, o que inclui as águas superficiais e subterrâneas, acompanharam - graças às observações e medições realizadas em suas estações espalhadas ao longo do rio Doce – os fenômenos hidrossedimentares reais gerados em consequência do inoportuno derramamento da lama da Barragem do Fundão.

O presente relato consiste, portanto, numa síntese das informações veiculadas no relatório de CPRM/ANA (2015 a) que permite realçar a ocorrência de 2 fenômenos consecutivos e interligados. Ao atingir o canal fluvial principal, a frente da massa lamosa oriunda da Barragem do Fundão deu impulso a uma onda de cheia cuja propagação adquiriu velocidade maior que a do próprio elemento gerador. Em consequência disso, todas as estações de observação e/ou medição registraram, primeiro, a passagem de uma onda de cheia composta pelas águas habituais que transitam na bacia. Em seguida e com intervalos de tempo crescentes de montante para jusante, foi registrada a passagem da corrente altamente turva e colorida de vermelho transportando partes dos rejeitos oriundos da Barragem do Fundão. A tabela 5 agrupa o conjunto das informações pertinentes a este assunto e relativas aos momentos de pico na ocorrência, aqueles que permitem medir a importância do fenômeno.

Tabela 5: Informações sobre a propagação da água e dos sedimentos relacionados com o rompimento da barragem do Fundão

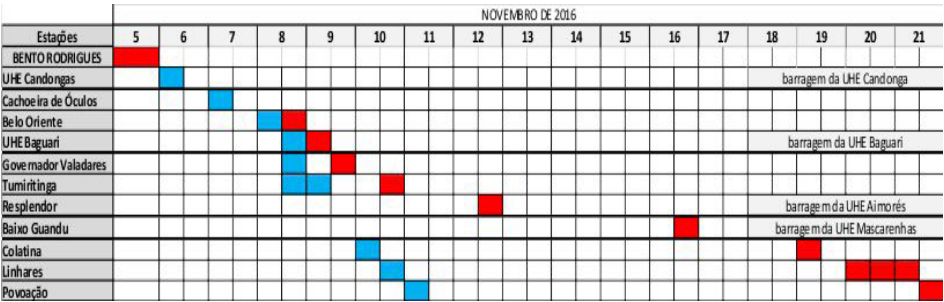
EVENTO	UHE Candonga	Cachoeira de Oculos	Belo Oriente	UHE Baguari	Governador Valadares	Tumiritinga	Resplendor	Baixo Guandu	Colatina	Linhares	Povoação
HIDRO	*Chegada da Onda de Cheia	Manhã 06/11	Madrugada 07/11 às 16:00 - 08/11 às 16:00	Tarde 08/11	Tarde 08/11 às 2:00 - 09/11 às 9:00	Noite 08/11 às 20:00 - 09/11 às 20:00			Manhã 10/11	Tarde 10/11	11/11
	*Chegada da Água Turva		Madrugada 08/11	Manhã 09/11	Noite 09/11	Noite 10/11	Tardinha 12/11	Tarde 16/11	Manhã 19/11	Dias 20-21/11	15:00 h 21/11
	*Vazão da Onda de Cheia	810m³/s	810m³/s	760m³/s	585m³/s				401 m³/s	295 m³/s	
	*Vazão de alerta				1.654 - 1.877m³/s	3.320 - 3.881 m³/s	4.940 - 5.702 m³/s		4.131 - 4.796 m³/s	330 - 345 m³/s	
SEDIMENTO	*DSS do evento	16,6Mt	10,2 Mt		1,5Mt	0,72 Mt			0,15Mt		
	*DSS em situação normal	46.700 t			6.900 t	4.800 t			2.200 t		
	*Concentração de PS durante o evento	400.000 mg/L	300.000 mg/L		50.000mg/L	30.000 mg/L	8.000mg/L	3.500mg/L	2.000mg/L	1.500mg/L	
	*Concentração de PS em tempo normal (RHN)	12 - 1.290mg/L			4 - 240 mg/L	5 - 135 mg/L	13 - 188mg/L		1 - 802 mg/L		
	*Diâmetro Mediano (50%) de PS durante o evento	18µm	18µm		7 a 9 µm	7 a 9 µm	7 a 9 µm	3 a 6 µm.			

(* Informações sincronizadas a partir do Relatório da CPRM-ANA, 2015-a)

Os fatos importantes evidenciados pelos dados contidos nesta tabela são:

a – o fluxo hídrico carregando a alta turbidez originada pela ruptura da barragem do Fundão alcança o oceano somente no dia 21 de novembro, pois sofrerá vários atrasos ocasionados por retenções temporárias nas represas das 4 UHE's atravessadas, conforme ilustrado pela tabela 6;

Tabela 6: Cronograma da propagação dos efeitos hidrossedimentares ao longo da bacia do rio Doce



b – No entanto, a onda de cheia impulsionada pela corrida de lama inicial alcança o oceano 10 dias antes, no dia 11 de novembro, no entanto sem que suas vazões venham a igualar as vazões de alerta estabelecidas para as cidades situadas entre Governador Valadares e o oceano, tratando-se, portanto, de uma onda de cheia bem modesta, ao contrário do trecho Bento Rodrigues-UHE Candonga onde a corrente de lama extravasou do leito fluvial e destruiu grande parte do que existia nas margens;

c – No que diz respeito ao material terroso deslocado, estimou-se a saída da barragem em 34 milhões de m³, sendo este volume repartido entre uma primeira parte que estacionou no processo de soterramento da vila de Bento Rodrigues, uma segunda que ficou retida na represa da UHE Candonga assoreando-a acima da cota de tomada d'água e uma terceira que transitou até o oceano sob forma de materiais em suspensão na corrente fluvial. Esta terceira parte, que as análises permitiram acompanhar, apresentou uma Descarga

Sólida em Suspensão (DSS) de 16,6 milhões de toneladas (Mt) na estação Cachoeira de Óculos (o que representou um valor 355 vezes maior que a DSS encontrada em situação normal), que foi reduzida a 0,15 Mt na estação de Colatina (68 vezes a da situação normal). Mesmo considerando a diminuição da proporção entre as DSS do evento e aquelas observadas em situação normal, de montante para jusante, os números evidenciam a importância do deslocamento de terra consecutivo à ruptura da barragem. Por outro lado, esses mesmos números confirmam o comportamento episódico do transporte de sedimentos em corrente fluvial sob forma de substituição de carga, em que ocorrem eventos de deposição de parte da carga transportada em função de sua granulometria e das características da calha fluvial (declividade, forma, profundidade, etc..) e da vazão líquida. Neste sentido, observa-se que houve uma grande retenção de sedimentos ferruginosos ao longo do canal fluvial, que é muito evidente já no trecho Cachoeira de Óculos-Belo Oriente, onde devem ter estacionado algo como 6 Mt e, em seguida, no trecho Belo Oriente-UHE Baguari onde estacionaram, aproximadamente, mais 9 Mt, pois a estação Governador Valadares registrou a passagem de apenas 1,5 Mt. Quando analisados pelo ângulo da concentração de Partículas Sólidas (PS) na corrente fluvial, os dados da Tabela 5 exibem discrepâncias ainda maiores entre as intensidades dos processos hidrogeomorfológicos ocorridos durante o evento em apreço e aqueles observados em situação habitual. A concentração de PS observada na estação Cachoeira de Óculos, estação característica do alto curso do rio Doce, no dia 07/11/2016, atingiu 400.000 mg/L, ou seja, até 33.333 vezes maior que a que ocorre em situação normal (12 a 1.290 mg/L). Na estação Colatina, característica do baixo curso do rio Doce, a concentração de PS observada em 19/11/2016 atingiu 2.000 mg/L, ou seja, até 2.000 vezes maior que a que ocorre em situação normal (1 a 802 mg/L). Igualmente ao comportamento dos valores de DSS, os da concentração de PS mostram uma diminuição de montante para jusante (400.000 a 1.500 mg/L) fortemente influenciados por fortes retenções nas represas das UHE's atravessadas ao longo do percurso da corrente fluvial.

Importante, no entanto, estar ciente de que este quadro é destinado a mudar no sentido de uma diminuição dos valores de concentração de PS, uma vez esgotados os efeitos da corrida de lama liberada pela ruptura da barragem, devido à maior diluição dos sedimentos numa corrente fluvial cuja vazão virá ainda a ser aumentada pela chegada das chuvas. Porém, tanto a sequência de episódios pluviais quanto novas corridas de lama decorrentes da instabilidade dos taludes remanescentes no interior da barragem do Fundão devem redundar em variações periódicas das taxas de turbidez na corrente fluvial. A tabela 7 exibe dados de medições da CPRM que confirmam a forte variabilidade desses valores.

Para os valores apurados no dia 12/11/2016, mesmo em estações situadas no trecho de montante do canal fluvial - Gesteira, Barra Longa e Rio Doce - os valores de Partículas Sólidas em Suspensão-PSS (respectivamente 11.015,96 mg/L, 1.567,76 mg/L e 1.470,64 mg/L) ficaram muito abaixo dos registrados durante a passagem do fluxo gerado pelo evento nas estações mais próximas – a exemplo dos 400.000 mg/L registrados em Cachoeira de Óculos - além de experimentar diminuição fortemente acentuada uma vez vencida a barragem da UHE Baguari que, de novo, está confirmando sua influência na retenção da carga sólida, ao contrário do trecho fluvial situado logo a jusante que parece atuar mais no sentido de facilitar o trânsito desses sedimentos finos.

Os dados colhidos no dia 09 de dezembro ilustram os efeitos a esperar dos períodos chuvosos posteriores. Na semana anterior ao dia 09/12/2016, as estações pluviométricas de Belo Horizonte, Governador Valadares e Timóteo registraram alturas respectivas de chuva de 109 mm, 74 mm e 178 mm, cujo efeito sobre o escoamento fluvial explica a remobilização dos sedimentos apontada pelos altos valores de PSS registrados tanto na estação Gesteira (envolvendo, provavelmente, novo pulso de derramamento de lama residual da barragem rompida e/ou de porções destas que ficaram retidas ao longo das planícies e encostas a montante da UHE Candonga), quanto nos médio e baixo curso onde, contrariamente ao comportamento

normal, as estações Governador Valadares e Colatina apresentam aumento de PSS (remobilização de pacote sedimentares abandonados no canal pela onda lamosa ligada ao rompimento da barragem.

Tabela 7: Evolução da concentração das PSS na bacia, 1 mês após o evento,

Evolução das PSS um mês após o evento (em mg/L)		
	12 de novembro	09 de dezembro
Gesteira	11.015,96	14.470,58
Barra Longa	1.567,76	3.218,77
Rio Doce	1.470,64	1.061,36
Ponte Rod. Ipatinga-Caratinga	668,03	1.689,85
Gov. Valadares	578,55	2.636,06
Colatina	342,69	2.067,23
Linhares	380,15	1.720,38

Também em conformidade com o esperado, o acompanhamento do comportamento da carga sedimentar, pela CPRM (2015 a), identificou claramente a diminuição do diâmetro das partículas em direção à jusante. Na Tabela 5, pode-se observar que a mediana em Cachoeira de Óculos (logo após a retenção dos materiais mais grossos na represa da UHE Candonga) se situava em 18 μm , já no dia 07/11/2016. Mais a jusante, no trecho encerrado pelas UHE's Baguari e Aimorés, entre os dias 09 e 12/11/2016, este diâmetro se reduzia a valores entre 7 e 9 μm e chegava ao intervalo 3 a 6 μm no trecho limitado pelas UHE's Aimorés e Mascarenhas. Paralelamente, a análise das curvas granulométricas da sequência de dias do evento em apreço, mostrou que as areias foram quase totalmente retidas a partir da represa da UHE Baguari, legando, para os trechos de jusante, uma composição granulométrica do material em suspensão cada vez mais concentrada na faixa de siltes finos a muito finos (Classificação Granulométrica da American Geophysical Union) e mostrando um crescimento notável da proporção em argilas.

Com este conjunto de informações, além dos resultados de medições e levantamentos não divulgados mas que com certeza devem existir e aumentar em volume e qualidade, considerando a relevância social, política e jurídica da questão em análise e, conseqüentemente, da árdua tarefa de operar a revitalização da bacia, pode-se entrever direções de trabalho que permitam uma contribuição bastante relevante no processo de identificação das ações técnicas a serem incorporadas a qualquer plano de recuperação e reabilitação ambiental regional, principalmente no que diz respeito à revitalização da calha fluvial e sua biota.

5 – CONSIDERAÇÕES DO MOMENTO

O rompimento da barragem de contenção de rejeitos da SAMARCO constitui um acidente geotécnico cujas conseqüências hidrogeomorfológicas irão constituir-se em um dos melhores exemplos práticos para a geomorfologia aplicada, bem como para uma nova percepção da viabilização ambiental dos projetos de mineração. Do ponto de vista social e ambiental, ele reflete, claramente, o despreparo de todos os níveis de gestão territorial e sua fraca conexão com as esferas científicas e acadêmicas. Isto se refletiu na adoção de soluções emergenciais que lhes foram indicadas sem que apresentem a devida adequação à mitigação dos processos focados. É de se notar que raramente a Torre de Babel acadêmica foi tão prolixa e, ao mesmo tempo, desconexa.

Quanto às causas do acidente, elas associam, provavelmente, vários fatores. Discute-se o acidente à luz de erros técnicos e de gestão, em meio aos quais não podemos descartar a contribuição dos abalos sísmicos ocorridos naquele dia. Não é de hoje que abalos sísmicos ocorridos no Quadrilátero Ferrífero têm motivado discussões a respeito da necessidade de um projeto de monitoramento efetivo, não somente sísmico como também geodésicos, conforme propomos após o sismo com Magnitude 3,3 que sacudiu a região de Belo Horizonte e Nova Lima em 08/07/2005. É o caso de se pensar, por outro lado, se o maior erro não tem sido o próprio fato de permitir a localização

deste conjunto de barragens (onde o risco de liquefação já lhe é inerente) em uma área de comprovada mobilidade neotectônica e atividade sísmica desde o Século 19, ainda com magnitudes estimada mais elevadas que as da atualidade.

Quanto à propagação dos efeitos hidro-geomorfológicos ao longo da bacia do rio Doce, eles permitem identificar trechos onde os processos envolvidos variaram e continuarão variando em intensidade e modalidade, em função tanto da compartimentação geomorfológica regional, como da segmentação do canal fluvial afetado em trechos propensos à retenção dos sedimentos e outros mais adaptados ao trânsito dos mesmos. O Trecho 1 de canal fluvial analisado, situado entre a Barragem do Fundão e a UHE de Candonga deve concentrar atenções especiais, pois ele se comporta, também, como um reservatório de sedimentos desprotegidos frente às enxurradas dos próximos verões que poderiam transferi-los para as calhas fluviais. Há de considerar, porém, que se trata de materiais de densidade elevada e sujeitos a cimentação relativamente rápida, devido à sua característica ferruginosa. Acredita-se que técnicas simples de contenção usando os pedaços de troncos e galhos grossos acumulados pela enchente de lama deveriam criar razoáveis condições para a sua retenção nas margens até que uma proteção arbustiva tenha tempo de virar realidade.

Por fim, fica claro, também, que este trabalho não constitui um estudo geomorfológico completo sobre o assunto, mas uma contribuição oportuna a um esforço de compreensão e informação mais objetivo, que poderia servir de base a uma avaliação mais profunda assistida por meios técnicos e temporais mais adequados.

Qualquer que seja o modelo de gestão do processo de revitalização a ser adotado, ele somente alcançará resultados positivos se envolver estudos racionais do ponto de vista científico e sérios do ponto de vista puramente técnico.

BIBLIOGRAFIA:

ANA, 2016. Análise preliminar sobre a qualidade d' água e seus reflexos sobre os usos da água. Próton Doc nº 139/2016. *In:* www2.ana.gov.br, Acessado em 15/02/2016.

Amplo, 2010. Consolidação de informações ambientais e elaboração de cenários de sensibilidade ao longo da Estrada de Ferro Vitória na Minas/EFVM. Belo Horizonte-MG, Amplo Engenharia e Gestão de Projetos/Vale-AS, Julho de 2010, DVD-Rom.

Barbosa, G.V. & Kohler, H.C. 1981. O sistema lagunar do Parque Estadual do rio Doce (MG). Boletim Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Minas Gerais, Belo Horizonte, n.2, 1981, p. 37 - 46.

BRASIL, 1983. Levantamento de Recursos Naturais. Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra. V. 32, Folha SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro, IBGE, 1983. 775 p.

BRASIL, 1987. Levantamento de Recursos Naturais. Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra. V. 34, Folha SE 24 Rio Doce. Rio de Janeiro, IBGE, 1987. 554 p.

CPRM/ANA, 2015a. Monitoramento especial da bacia do rio Doce. Relatório 1-Acompanhamento da onda de cheia. CPRM, Belo Horizonte-MG, Dezembro 2015. *In:* www.cprm.org.br, Acessado em 13/02/2016.

CPRM/ANA, 2015b. Monitoramento especial da bacia do rio Doce. Relatório 2-Geoquímica. CPRM, Belo Horizonte-MG, Dezembro 2015. *In:* www.cprm.org.br, Acessado em 13/02/2016.

Coelho, A.L.N. 2007. Alterações hidrogeomorfológicas no médio-baixo rio Doce/ES. Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Tese de Doutorado, 2007, 227 p.

Consorcio Ecoplan-Lume, 2010a. Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce e planos de ações para as unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do rio Doce. Contrato Nº 043/2008 – IGAM, Vol. 1-Relatório Final, 2010. 472 p. *In:* www.cbhdoce.org.br, acessado em 15/01/2016.

Consorcio Ecoplan-Lume, 2010b. Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce e planos de ações para as unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do rio Doce. Contrato Nº 043/2008 – IGAM, Vol. 2- Anexos ao Relatório Final, 2010. 262 p.*In*: www.cbhdoce.org.br, acessado em 15/01/2016.

Cupollilo, F. Diagnóstico hidroclimático da bacia do rio Doce. Belo Horizonte-MG. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, UFMG. 2008, 153 pp.

DNOS, 1982. Prevenção e controle das enchentes do rio Doce. Relatório do Grupo Interministerial de Trabalho para Realizar Estudos para a Prevenção e o Controle das Enchentes do Rio Doce. Rio de Janeiro, D.N.O.S., 226 p.

Dominguez, J.M.L.; Bittencourt, A.C.S.P. e Martin, L. 1981. Esquema evolutivo da sedimentação quaternária nas feições deltaicas dos rios São Francisco (SE-AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). Revista Brasileira de Geociências, nº. 11, 1981, p. 225-237.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa, 1999. 412p.

GORCEIX, H. 1884. Bacias terciárias d'água doce nos arredores de Ouro Preto (Gandarela e Fonseca), Minas Gerais, Brasil. Anais Esc. Min. Ouro Preto, v. 3, Ouro Preto/MG, p.75-92, [1884].

IGAM, 2015. Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais do Rio Doce no estado de Minas Gerais. Acompanhamento da Qualidade das Águas do Rio Doce após o Rompimento da Barragem da Samarco no Distrito de Bento Rodrigues – Mariana/MG. Belo Horizonte, 2015.

Meis, M.R.M de, 1977. As unidades morfoestratigráficas neoquaternárias do médio vale do rio Doce. Anais da Academia Brasileira de Ciências, V. 49, nº. 3, 1977, p. 443-459.

Mello, C.L. 1997. Sedimentação e tectônica cenozoicas no Médio vale do Rio Doce (MG, Sudeste do Brasil) e suas implicações na evolução de um sistema de lagos. São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, tese de Doutorado, 1997. 275 p.

Mioto, J.A. 1993. *Sismicidade e zonas sísmicas do Brasil*. Rio Claro-SP, IGCE/UNESP, Tese de doutoramento, 1993, 2 volumes.

Pflug, R. 1969. Das Überschüttungsrelief des Rio Doce, Brasiliens. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N. F., n.13, 1969, p.141 -162.

Saadi, A. 1991. Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais: tensões compressivas, descontinuidades crustais e morfogênese. Belo Horizonte-MG, IGC/UFMG. (Tese para provimento de cargo de Professor Titular), 1991, 300 p.

Saadi, A. 1996. Hipótese sobre a estruturação tectônica cenozóica da margem sudeste do Cráton do São Francisco. In: *39º Congresso Brasileiro de Geologia*, Salvador-BA, setembro de 1996. *Boletim de Resumos Expandidos*..., vol. 5, 1996, p. 443-446.

Saadi, A. 2001. Risco Sísmico na Bacia do Rio Doce. Relatório Técnico elaborado para o Convênio ANEEL-FUMEC, no âmbito d “AAI dos Aproveitamentos Hidrelétricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce”, 10 pp.

Saadi, A.; Costa, N.B.O.R. e Campos, J.K.F. 1992. Geomorfologia aplicada ao controle ambiental da expansão urbana do Vale do Aço. In: Simpósio “Situação Ambiental e Qualidade de Vida na RMBH e Minas Gerais”, Anais, 2º, ABGE, Belo Horizonte-MG, 1992. P. 149-152.

Soares, P.C. e Landim, P.M.B. 1977. Contribuição ao estudo do Delta do Rio Doce: aspectos geomorfológicos. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, 17 (34), 1977. P 47-58.

Souza, C.J.O. 1995. Interpretação morfotectônica da bacia do rio Doce. Belo Horizonte-MG, Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Geografia/Geografia e Análise Ambiental, Dissertação de Mestrado, 1995. 144 p.

Souza, C.J.O. &Saadi, A. 1994. Contribuição à geomorfologia da bacia do rio Doce. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 6º, São Paulo-FFLCH/USP, *Anais*...1994, pp. 157-161.

Strauch, N. (Dir.) 1955. A bacia do rio Doce: estudo geográfico. Rio de Janeiro, IBGE, 1955, 199 p.

Suguio, K. & Kohler, H.C. 1992. Quaternary barred lake systems of the Doce River (Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v.64, n. 2, 1992, p. 183 - 191.

USP, 2015. Tremores de terra ocorridos em Mariana/Bento Rodrigues, MG, nodia 05/11/2015. Centro de Sismologia da USP, Relatório, 06 de novembro de 2015. 7 p., In: <http://www.sismo.iag.usp.br>, acessado em 11/11/2015.

Vasconcelos, S.G. 2002. Geomorfologia e urbanização do Vale do Aço: as planícies e a cidade de Ipatinga-Minas Gerais. Belo Horizonte-MG, Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Geografia/Geografia e Análise Ambiental, Dissertação de Mestrado, 2002. 108 p.

Vasconcelos, S.G. e Saadi, A. 2003. O Quaternário do Médio Rio Doce: aporte da morfodinâmica e do aluvionamento na confluência dos rios Piracicaba e Doce. *In*: II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa/IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário/II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibérica. 5 p.

Vieira, F. 2015. Entre a informação e a desinformação: a difícil análise de um acidente ambiental de magnitude nacional sem precedentes. Informativo da Associação Brasileira de Ciência Ecológica e Conservação/ABECO, n°. 3, Outubro a Dezembro de 2015.

Cenário histórico, quadro fisiográfico e estratégias para recuperação ambiental de Tecnossolos nas áreas afetadas pelo rompimento da barragem do Fundão, Mariana, MG.

Historical scenario, physiography and strategies for environmental rehabilitation of the landscape affected by the Fundão Dam breaking accident at Mariana, Minas Gerais State.

Carlos Ernesto G. Reynaud Schaefer¹, Eliana Elizabet dos Santos², Caetano Marciano de Souza³, José Damato Neto⁴, Elpídio Inácio Fernandes Filho⁵, Caroline Delpupo⁶

RESUMO

Uma análise do contexto histórico, ainda que muito preliminar, indica a continuidade de processos geradores de passivo da exploração mineral que remontam aos tempos de colonização. O desastre motiva e urge a busca por formas mais sustentáveis de mineração, conjugando o imperativo econômico às necessidades e demandas sociais e ambientais, tornando um desafio o exercício de conciliação a ser buscado. Tal parece ser um cenário absolutamente impositivo agora, para todos os atores envolvidos. O simplismo de apontar culpados, num teatro tão complexo de causas e efeitos possíveis e factuais, parece-nos temerário num primeiro momento. O quadro fisiográfico onde se insere a Barragem do Fundão revela diversos fatores que predis põem a eventos de rompimento e deslizamentos: solos rasos, relevo muito declivoso e drenagem encaixada e fortemente controlada por falhas e fraturas, sismicidade regional ponderável, combinada à heterogeneidade litológica, em que se alternam substratos muito alteráveis com outros muito resistentes; alterações hidrológicas causadas pelo rebaixamento de lençol. Um conjunto razoável de atributos naturais que ressaltam riscos potenciais. Face ao imenso passivo gerado, medidas reparadoras ou alternativas técnicas podem ser buscadas, e no que tange aos solos afetados, verdadeiros tecnossolos, algumas

¹ Professor Titular Pedologia e Geomorfologia, UFV, MG

² Doutoranda Departamento de Solos, UFV, MG

³ Professor Associado, Departamento de Fitotecnia, UFV, MG

⁴ Doutorando, Departamento de Fitotecnia, UFV, MG

⁵ Professor Associado, Geoprocessamento, Departamento de Solos, UFV, MG

⁶ Pos-Doutora, Departamento de UFV, MG

estratégias são propostas neste trabalho. Sua aplicabilidade e possíveis adaptações só serão conhecidas através de pesquisa, que se possa traduzir em rápida e segura reversão dos ambientes afetados para um estado minimamente restaurado, com potencial agropecuário e ecológico mais próximos de uma condição ideal.

Palavras-chave: tecnossolos, mineração de ferro, restauração ambiental

ABSTRACT

The analysis of the historical context of the Fundão Dam accident, albeit much preliminary, indicates the continuity of processes that generate mining liabilities that go back to the times of colonization. The disaster motivates and urges the search for more sustainable forms of mining, combining the economic imperative with social and environmental needs and demands, making the reconciliation exercise a challenge to be sought. This seems to be an absolutely imposing scenario now for all the actors involved. The simplicity of pointing legal liability in such a complex theater of possible and factual causes and effects seems reckless at first. The physiographic features of the Fundão Dam reveals several factors that predispose to the breakage and landslide events: shallow soils, deep weathering, very steep slope and deep drainage incision, strongly controlled by faults and fractures; significant regional seismicity, combined with lithological heterogeneity; very weatherable substrates alternating with very resistant ones; hydrological and hydrographic changes caused by the lowering of the water table and changing drainage patterns. A large combination of natural attributes that highlight potential risks. In view of the immense liability generated, remediation measures or technical alternatives can be sought. With regard to the affected soils, true technosols, some strategies are proposed in this work. Its applicability and possible adaptations will only be known through research, which can translate into a quick and safe reversion from the affected environments to a minimally restored state, with agricultural and ecological potential closer to an ideal condition.

Keywords: technosols, iron mining, environmental restoration

Quadro histórico da degradação ambiental na região

Desde o século XVII e na infância da Capitania de Minas, a economia mineira centrou-se em grande parte na exploração mineral. Neste sentido, como bem destaca Filgueiras (2007), tal atividade dependia, e ainda depende, de conhecimentos científicos precisos em diversas disciplinas: quais sejam química, mineralogia, geologia, hidrologia, metalurgia, engenharia de minas. De um saber garimpeiro inicialmente puramente empírico, nos aluviões e rios auríferos, passou-se pouco a pouco a uma técnica mineradora, passando-se então às grupiarias, montes e veios, de ouro ou de diamantes. A mineração sempre foi uma atividade cercada do imponderável, e influenciada por muitas variáveis complexas.

Em 5 de Novembro de 2105, às 15:30 horas, a Barragem de contenção de rejeitos do Fundão rompeu-se, espalhando uma gigantesca avalanche ou onda de lama com mais de 34 milhões de m³ por todo o eixo do sistema hidrográfico do Gualaxo do Norte, Carmo e Rio Doce, parte do qual represado na UHE de Candonga. Neste acidente, de proporções inéditas, repetia-se uma lógica inaugurada desde os tempos coloniais. Na *Minas Gerais* setecentista, a prática da mineração já se valia do desmonte e represamento das águas (Gonçalves, 2007), tanto para por a seco o cascalho rico, quanto para desviar as águas nas *levadas* (canais), permitindo lavar o minério nos altos. Era uma atividade de escala mais local. Lamas geradas nesses ciclos antigos se espalharam e dispersaram, menos concentradas, por todos os rios da Capitania, como pode ser visto ao longo das cabeceiras do Carmo e do Rio das Velhas, onde até hoje se vêem pilhas de cascalhos abandonados nas planícies devastadas pela busca do ouro. Tal degradação minerária itinerante, denunciada pioneiramente por Vieira Couto (1799) como insustentável, só evoluiria muito lentamente até as fases derradeiras do ciclo do ouro.

Em 1769, um português radicado no Arraial da Piedade, já requisitava permissão real para abrir-se uma fábrica de ferro em Minas, reconhecendo a opulência ferrífera das terras mineiras (*apud* Gonçalves, 2007). Quando se pensou o aproveitamento do ferro, notadamente tão abundante, advertiu o ouvidor José Francisco Pessanha (em 1777) uma preocupação claramente ambiental: *“ocorre-me porém o grande inconveniente do consumo da madeiras para subsistir a fábrica de ferro, visto não haver carvão de pedra”*. Somente o Intendente dos Diamantes, Sr. Câmara, já em 1814, obteria pela primeira vez o ferro gusa, fundido em alto forno, na fábrica do Morro do Pilar, em que se empregou técnicas afro-brasileiras. Era o embrião da siderurgia brasileira.

Com o tempo, e o advento e desenvolvimento da economia mineral ferrífera, outros problemas ganhariam maior relevo. Um deles, o que fazer dos imensos rejeitos gerados na escala gigantesca da exploração? No beneficiamento a úmido, o que fazer da lama: como e onde barrá-la. Minerar é gerar passivos, o que é incontornável, e cercado de riscos. Sedimentos decorrentes da atividade minerária já se acumulavam nos rios e montanhas de Minas desde o final dos seiscentos, generalizando nos setecentos. Foi o Rio do Carmo, em suas nascentes em Mariana, o primeiro grande garimpo de ouro do Brasil. Parece um destino recorrente e previsível que tenha sido na primeira bacia explorada que tenha ocorrido o maior desastre conhecido. Não é invenção moderna.

Neste trabalho buscou-se coligar os fatos e repercussões associados ao acidente da Barragem do Fundão, em Mariana, procurando ilustrar aspectos fisiográficos pouco discutidos, bem como avançar na proposição de algumas estratégias de recuperação ambiental possíveis. Caminhos existem, e já estão sendo buscados. O destino mineral do território das Minas Gerais é inquestionável; urge conciliar seus ricos ganhos com sistemas mais seguros, que possam minimizar os riscos. Evitá-los, de todo, não parece factível.

Um quadro fisiográfico que predispõe a fenômenos de movimentação da massa de solos

Geologia e Geomorfologia

A região mais afetada, do sistema Gualaxo do Norte-Carmo, compreende parte importante das cabeceiras do Rio Doce, cuja bacia se estende por mais de 83.400 km², dos quais 86% em MG e apenas 14% no ES (CPRM, 2015). A barragem de contenção de rejeitos do Fundão se localizava num grande anfiteatro de sopé montanhoso, que recebe as águas de diversos córregos e nascentes formadores dos Rios Gualaxo e do Carmo, entre o Bloco Montanhoso do Caraça e a Serra de Antônio Pereira e o Alto de Conta História (Figura 1). A região possui três compartimentos de Relevo principais, discutidos na seção seguinte, dentro de uma ênfase geoambiental e geossistêmica. O quadro geológico e geomorfológico regional foi bem sintetizado pelos trabalhos coligidos de Strauch (1955); RADAMBRASIL (1983; 1987) Souza e Saadi (1994) e Souza (1995), que representam importantes balizamentos para a discussão deste trabalho (Figura 1). Na parte superior, predomina um relevo estrutural, com cristas montanhosas, escarpas e restos erodidos de Planaltos elevados, constituindo o Bloco Quadrilátero Ferrífero, com altitudes que atingem 2.000 m, com forte controle geotectônico das sequências Arqueanas e Paleoproterozoicas. Este compartimento forma os contrafortes dos afluentes da margem esquerda da Bacia do Rio Doce (Rio do Carmo, Piracicaba, Santo Antônio, etc). Estes rios entalharam vales profundos, bem encaixados, ou mesmo cânions, seccionando em linha W/E as estruturas tectônicas NE/SW, principais (Figuras 1 e 2; Tabela 1).

Logo abaixo deste compartimento, tem-se uma zona de Cristas Alinhadas que conectam os Blocos elevados ao mar de morros, a jusante. Representa um geoambiente de transição, sendo o mais instável de todos. Ali se situam os sistemas de barragens de rejeito (Figura 2) afetados pelo desastre.

Imediatamente a jusante, ocorre um Planalto Dissecado de 600-900 metros, embasado em rochas metamórficas, principalmente gnaisses e xistos, com dissecação homogênea de aparência geral de “mares de

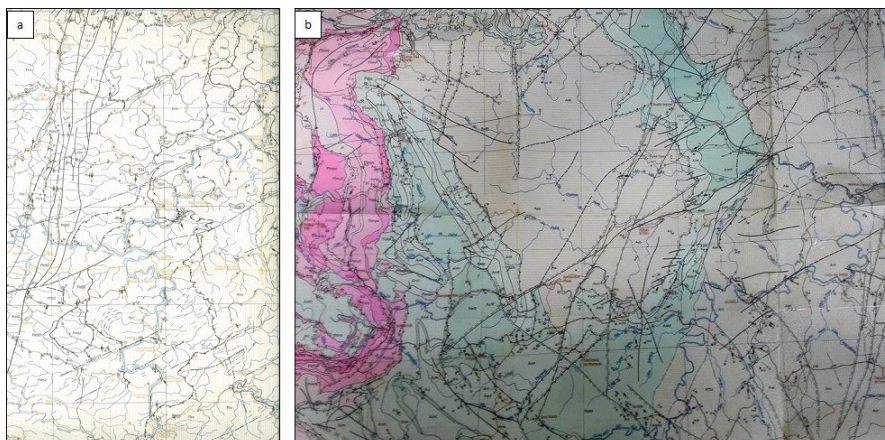


Figura 1: Esboço geológico da área de estudo segundo (a) CPRM (1993) e (b) DORR (1959).

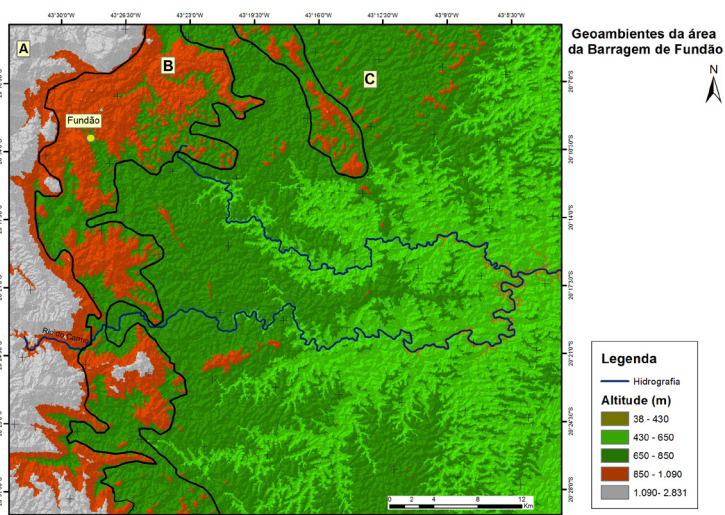


Figura 2: Modelo Digital de Elevação da área de estudo e Geoambientes Escarpas e Serras na Borda Leste do Quadrilátero Ferrífero (A); Cristas Alinhadas e Encostas dissecadas do Planalto Superior, com Vales Encaixados (B); e Marres de Morros e Colinas (C).

Unidade Geoambiental	Escarpas e Serranias da Borda Leste do Quadrilátero Ferrífero	Cristas Alinhadas e Encostas dissecadas do Planalto Superior, com Vales Encaixados	Marres de Morros e Colinas
Geologia/tectônica	Quartzitos, Itabiritos, Cangas e Quartzito-Xistos; zona de sismicidade regular	Filitos, cloritaxistos e platôs de cangas; zona de sismicidade regular	Gnaisses, xistos profundamente alterados (saprolitos profundos)
Relevo	Escarpado, controlado pela estrutura; vales encaixados e profundos	Cristas e encostas alinhadas	Dissecação homogênea em saprolitos em Morros e colinas; zona deprimida
Solos	Afloramentos rochosos (canga, quartzitos) ou Neossolos Litólicos	Cambissolos Húmicos, Distróficos e Neossolos Litólicos	Cambissolos Distróficos e Latossolos Vermelho-Amaros Distróficos, com Cambissolos nas calhas dos Rios do Carmo e Doce
Uso e Cobertura	Complexo Rupestre	Pastagens e amplos Remanescentes fragmentados de Mata Atlântica	Pastagens e Capineiras e plantio nos terraços fluviais
Hidrologia	Rios encaixados sob controle geotectônico, falhas e fraturas, encachoeirados; ausência de planícies/terraços significativos	Canais retilíneos, encaixados, com terraços muito incipientes; drenagem controlada pela geotectônica, mas com início de desenvolvimento de planícies e alvéolos	Canais meandantes, trechos com terraços e planícies marginais, ou moderadamente encaixadas. vales mais amplos, remansos e lagoas marginais

Tabela 1: Unidades Geoambientais da área afetada pela Barragem do Fundão.

morros”, embora algumas áreas possuam cristas mais salientes, em rochas mais resistentes.

Mais a leste, fora da área destacada em tela, inicia-se a depressão do Médio Rio Doce, com relevos colinosos e suavizados de altitudes variando de 600 a menos de 170 metros na região de Governador Valadares. Essas colinas e morrotes são embasadas predominantemente por gnaisses do Complexo Piedade, cuja área central foi rebaixada tectonicamente, onde o Rio Doce forma um mundo de lagos.

O curso do Rio Gualaxo do Norte, no setor da barragem do Fundão, é totalmente adaptado às falhas ou contatos geológicos de grande extensão (Figura 2), perfeitamente ilustradas no Mapa da CPRM (1993), Folha Mariana. Uma grande falha de empurrão controla os baixos cursos dos córregos Santarém, Mirandinha e Quebra Vara, que confluem para a planície aluvial de Bento Rodrigues. Os corpos de minério de Ferro explorados são paralelos a estas estruturas rúpteis, que devem ter controlado sua gênese. Uma comprovação é que o minério é sobreposto por espessa capa de canga laterítica retrabalhada (CPRM, 1993), sugerindo certa inversão de relevo. Na área adjacente, tem-se a Bacia Terciária do Fonseca, claramente soerguida no Quaternário. Uma movimentação recente, portanto. A direção das falhas (NW/SE) coincide com a direção dos contatos, exacerbando fraquezas estruturais antigas.

O esvaziamento do minério nas cavas adjacentes às barragens devem impor fluxos hidrológicos novos, esvaziamentos ou infiltrações de aquíferos, ou alívios de carga. Tudo isso tem efeitos pouco previsíveis e raramente monitorados. Esta zona intercala rochas de resistências ao intemperismo muito desiguais: quartzitos, quartzitos ferruginosos e xistos sericíticos do Paleoproterozoico, além de itabiritos profundamente decompostos e cobertos de canga. E clorita xistos e quartzitos Arqueanos (Grupo Nova Lima). Estas rochas formam os relevos mais acidentados e erodidos. Mais abaixo, os gnaisses tonalíticos e rochas granitizadas dominam os mares de morros mais homogêneos, com rochas muito mais alteradas e um domínio geológico mais estável.

Em síntese, a simples locação da barragem denuncia riscos potenciais, mas difíceis de prever com alguma certeza. Além disso, trata-se de zona sísmica, reconhecida há muito desde Gorceix (1884), e corroborado por Saadi (1996, 2001), em extenso estudo técnico regional, bem como Mello (1997), explicando a gênese das lagoas do médio Rio Doce. Assim, o sismógrafo da USP detectou seis sismos de baixa magnitude, entre 13:00 e 16:00, com epicentros localizados nas imediações da Barragem (USP, Folha de São Paulo, 6 Nov). Alguns precedem o rompimento.

Hidrografia

O sistema hidrográfico possui setores claramente diferenciados pela progressiva redução da declividade, com valores superiores a 0,5% no trecho superior, decrescendo para 0,1% na região de Barra Longa até Candonga. No Geoambiente mais elevado, acima da barragem, os rios são fortemente encaixados, possuindo correntes de alta energia e praticamente sem planícies fluviais significativas. A Barragem do Fundão fica localizada num anfiteatro erosivo apertado, nos sopés das Serras do Batatal e do Coqueiro, que conectam o Bloco Montanhoso do Caraça a Serra de Antônio Pereira. Área naturalmente instável, pelo forte gradiente topográfico. Cicatrizes de deslizamentos de grande magnitude ocorrem em todas as encostas. Denunciam uma suscetibilidade a movimentos de massa de causas naturais. Os Cambissolos (solos rasos) dominantes contribuem muito para isso. No Geoambiente seguinte, mesmo com a redução da declividade, boa parte dos rios corre sobre substrato rochoso, e as planícies estão restritas a alvéolos reduzidos, onde a sedimentação é muito limitada. Um desses alvéolos, o maior e mais espreado, ficava Bento Rodrigues. Ali o efeito da avalanche foi devastador. Os rios são encaixados, e correm sob forte controle geotectônico. Os depósitos de lama da barragem foram abrigados nas encostas e sopés de morros e cristas, sendo altamente instáveis. Nos mares de morros, geoambiente seguinte, os rios já possuem declividades menores (0,1%) com acentuação de meandros e vales de fundo mais plano, onde se desenvolvem planícies mais amplas, e terraços, que abrigaram boa parte da lama que desceu, até a Barragem de Candonga.

Observa-se o padrão florestado original, e drenagens meandantes controladas por falhas e fraturas, condicionando os fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais. Toda essa paisagem foi rapidamente suprimida, e substituída por um sistema deposicional artificial, com forte carga sedimentar em curto prazo, suportada pelo barramento e pelas sucessivas elevações. Para agravar o quadro, ocorre ainda um gigantesco volume de lama remanescente (cerca de 2 milhões de m³, ou 10% do volume que efetivamente desceu até Candonga),

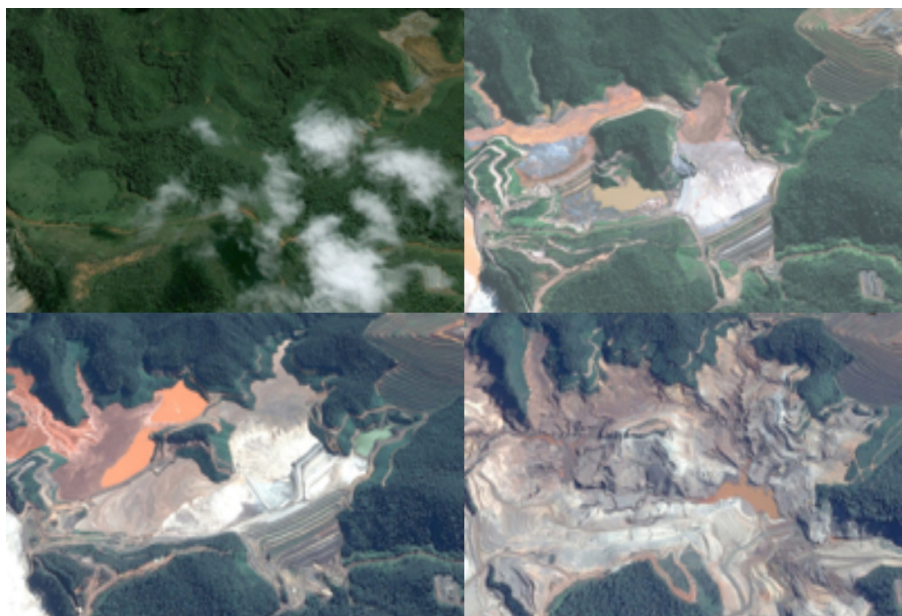


Figura 3: Sequencia cronológica de imagens da área da Barragem de Fundão, na data imediatamente anterior à sua implantação (2005), e sua ampliação sucessiva (2011, 2015) até os momentos seguintes ao desastre (Dez 2015) respectivamente.

retido precariamente nos taludes e depressões internas na barragem esvaziada, cujo melhor destino parece ser um rápido preenchimento que o recobra totalmente, permitindo recompor a configuração da microbacia original. Em seguida, deve-se proceder uma recomposição edáfica, com topsoil argiloso e adição de matéria orgânica, com revegetação da cobertura de Mata de Candeia, típica da região. Com isso, evitar-se-á a reincidência de processos erosivos. Um modelo esquemático detalha melhor a proposição do cenário de recuperação ambiental (Figura 4).

Acidentes do tipo suscitam questões mais imediatas, vinculadas à forte degradação da paisagem: rios, planícies fluviais, terraços áreas rurais habitadas, estruturas, pontes animais, coletividades, zonas urbanas e todo um modo de vida e um tecido social descontinuado ou irremediavelmente perdido. Neste sentido, convém refletir que a

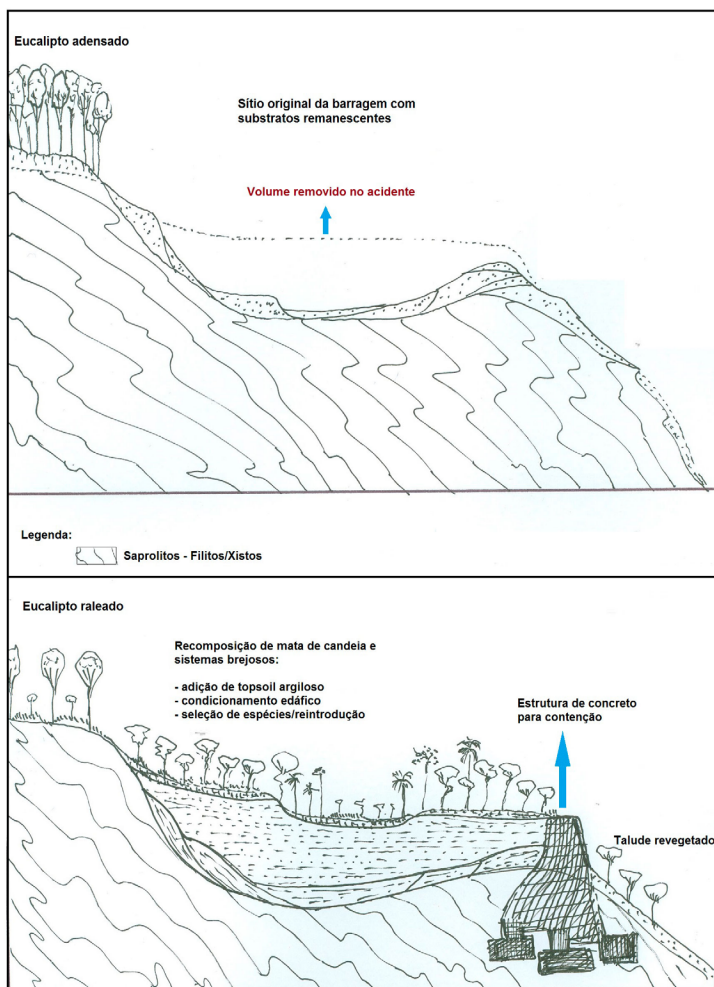


Figura 4: Cenário atual do sítio da Barragem do Fundão (A) e após o enchimento proposto e plano de recomposição da microbacia e paisagem associada (B); (A) a linha pontilhada ilustra o volume de material que extravazou a barragem, bem como o grande volume de lama ainda retido nos taludes e depressões em seus limites, exacerbando fenômenos erosivos; (B) após a contenção estruturada da nova barragem, a paisagem será recomposta com deposição de topsoil argiloso e condicionamento edáfico (químico, físico e biológico), reintroduzindo espécies da Mata de Candeia, típica do entorno. O plano prevê a contenção total do material remanescente, e a restauração ecossistêmica ampla, à partir de um desenho experimental, a ser conduzido previamente.

própria região onde se localizam as barragens apresenta um quadro impróprio para sua escolha inicial para locação: sismicidade histórica comprovada (SAADI, 2001), zona geológica extremamente falhada, com falhas inversas e de baixo ângulo, relevo acentuado, com rios fortemente encaixados, solos rasos sobre mantos de intemperismo de profundidade variável (rasos nos quartzitos; profundos, nos filitos e xistos).

O quadro preliminar do desastre permite desvendar o quadro ambiental complexo, plano de fundo para uma melhor compreensão dos fatos, em que se sobrepõem condicionantes fisiográficos desfavoráveis, e um certo descontrole de processos de execução e fiscalização. Um conjunto de imagens que comparam o quadro fisiográfico anterior e posterior ao evento, permitem ilustrar e detalhar aspectos importantes (Figura 5)

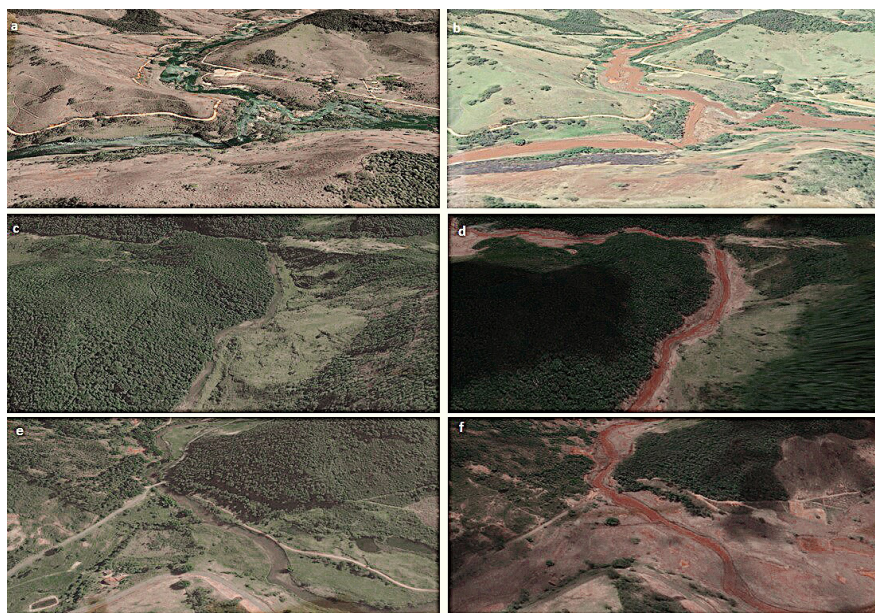


Figura 5: Imagens de satélite da área de estudo antes e depois o desastre. Encontro do Rio do Carmo com Rio Doce, em setembro de 2011 (a) e 11 de novembro de 2015 (b). Matas Ciliares em junho de 2015 (c) e novembro de 2015 (d). Ponte do Rio Gualaxo do Norte em junho de 2015 (e) e 12 de Novembro de 2015 (f).

Em meio à miríade de problemas que decorrem, é próprio de uma tragédia como essa uma reflexão sobre nosso papel na natureza, e do quão vulnerável estamos a eventos de desastre que trazem consequências imponderáveis sobre tantas facetas socioambientais. Em termos práticos, o desastre da Barragem do Fundão evidenciou a morte e a destruição em sua face mais temível: muitas vidas humanas perdidas, milhares de animais aquáticos e terrestres mortos, uma Bacia Hidrográfica essencial para Minas e Espírito Santo, diretamente e fortemente afetada em sua integridade ambiental. A ruptura repentina gerou o deslocamento de uma onda desproporcional de rejeito que galgou a barragem de Santarém, a jusante, e desceu de forma avassaladora pelos rios Gualaxo e Carmo até atingir a barragem de Candonga, onde boa parte ficou represada, após extravasar um volume ainda gigantesco, mas preso à calha do rio Doce. Neste trecho de montante desde a barragem e Candonga, por mais de 95 km, boa parte das margens dos terraços baixos, até 4 metros de altura, e toda planície fluvial e leito menor foram recobertos ou assoreados por um imenso volume de rejeito, atingindo profundidade máxima de até 200 cm de material, além de galhos e restos orgânicos mais leves (Figura 6).

Toda essa dimensão trágica é, contudo, indutora imediata da busca de soluções técnicas e medidas práticas que podem alavancar o processo de recuperação. Para tanto, numa primeira etapa é preciso mensurar e conhecer o desastre em todas suas facetas e detalhes. Num plano mais óbvio e imediato, águas e leito menores dos rios foram diretamente impactados, e estudos hidrológicos, sedimentológicos e de ictiofauna foram imediatamente implementados. Em suas margens, porém, o rastro de destruição da onda de rejeitos criou um ambiente inóspito, inteiramente novo: uma antiga planície fluvial outrora intensamente cultivada ou pastejada, e agora recoberta por um lençol de sedimentos estranhos à Bacia, que suprimiram as áreas ribeirinhas mais nobres, onde o uso consolidado com cultivo de roças e pastagens representavam o panorama típico. Além disso, os poucos fragmentos residuais de Mata Atlântica ripária, já tão empobrecidos, agora reduzidos e sem conectividade.

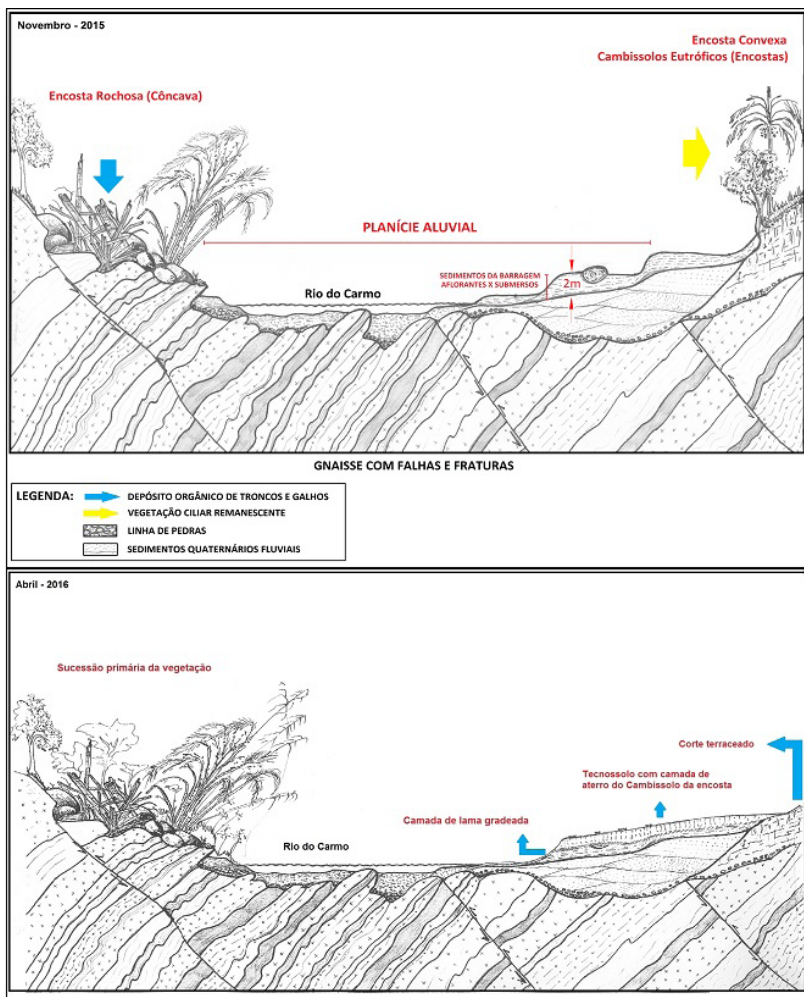


Figura 6: Perfil esquemático do depósito de lama proveniente do rompimento da barragem e Tecnossolos em seu estágio zero de evolução - cenário imediatamente após o desastre (Novembro – 2015). Corte e aterro das encostas vizinhas para promover a formação de um novo terraço e Tecnossolo com melhores características físicas e químicas (Depósito de Cambissolo sobre lama gradeada). Cenário atual quatro meses após o desastre (Abril – 2016). Fazenda Porto Alegre. Fonte: Schaefer et al. (2016).

Nossa abordagem enfatiza os aspectos dos solos das zonas ribeirinhas afetadas do sistema Gualaxo - Carmo - Doce, mais severamente afetado. O enfoque escolhido é o cenário e destino da imensa quantidade de rejeito que extravasou o leito menor dos rios e ocupou suas margens, até atingir Candonga, nela grande parte do rejeito foi represada. Sua dimensão, sua quantificação e sua repercussão ambiental, serão o destaque. Um rejeito complexo: areia, silte, argila e restos orgânicos – tudo junto e misturado, com pouca seleção. A abordagem escolhida parte da premissa de que o conceito de Tecnossolos pode balizar a busca de soluções para fatos tão pouco comuns aos problemas habituais de recuperação de solos degradados. Um rejeito complexo: areia, silte, argila e restos orgânicos – tudo junto e misturado, com pouca seleção, e natureza mineralógica única, decorrente de resíduos de mineração e seu tratamento.

Tal aporte repentino resultou no completo desaparecimento e assoreamento das várzeas mais baixas e em profundas mudanças nos terraços, que foram enterrados por volume de sedimentos “tecnogênicos” de origem minerária gerando um quadro degradado onde tecnossolos são a nova realidade. Tecnossolos praticamente estéreis, em forte contraste com os antigos Neossolos Flúvicos, Gleissolos e Cambissolos, na maioria eutróficos, que sustentavam a paisagem ribeirinha, e hoje truncados e enterrados. Neste novo cenário, tem-se uma oportunidade para acompanhar, de maneira pioneira, transformações pedogenéticas em um novo solo artificial, desprovido de estrutura e com teores muito baixos de matéria orgânica.

A natureza da lama

Ao longo do trecho impactado pela deposição, foram procedidas coletas de material de sedimento e dos solos artificiais e outros afetados, e procedidas análises de rotina química e física (EMBRAPA, 1997), para uma primeira visão da fertilidade natural já relatadas por Schaefer et al. (2016), e discutidas a seguir. Embora tais análises sejam usualmente destinadas ao diagnóstico da fertilidade e à prescrição

de corretivos e adubação, servem também como indicadores da qualidade ambiental do solo artificial criado pelo desastre.

De maneira geral, a lama depositada como Tecnossolo é quimicamente pobre, embora os problemas físicos pareçam maiores que os químicos para a recuperação ambiental. Os valores de densidade do solo ao longo de todo o trecho ribeirinho, determinados logo após o desastre, mostraram faixa variável de 0,94 a 2,38 g/cm³ com média de 1,41 g/cm³ (Tabela 2). Os valores extremos são muito altos e a situação aparentemente se agravou com a passagem da estação chuvosa e quente (verão), quatro meses após o desastre, pois houve assentamento e selamento do solo (*hard-setting*) formando uma crosta duríssima à penetração.

A densidade do solo (lama) foi extremamente variável com média de 1,41 g/cm³ em superfície e 1,54 g/cm³ na lama enterrada com valores de desvio padrão de 0,53 a 0,52, respectivamente (Tabela 2). A densidade de partícula é bem mais elevada pela natureza do minério de ferro que possui alta massa específica 2,75 g/cm³ (superfície) 2,80 g/cm³ (enterrada) e menor desvio padrão 0,29 g/cm³ e 0,23 g/cm³, respectivamente (Tabela 2).

O material de lama possui CTC muito baixa, sendo praticamente destituído de carga elétrica negativa, como pode ser avaliado pelo ΔpH positivo (diferença entre pH KCl e pH em H₂O) que indica um substrato com carga líquida positiva, típico de materiais oxídicos muito intemperizados e semelhantes à solos e materiais de canga ferrífera do Quadrilátero (Schaefer et al., 2015) (média pH KCl = 6,25, média pH em água = 5,69). Os valores de pH tendem a ser relativamente elevados não devido à presença de bases (Ca, Mg), que é baixa, mas sim à aproximação do Ponto de Carga Zero dos óxidos de Ferro (próximo da neutralidade), que predominam nesses substratos tão intemperizados (Tabela 2).

Já os solos enterrados (Neossolos Flúvicos e/ou Cambissolos) mostram valores de pH em água bem maiores que pH KCl, e portanto, CTC e carga líquida negativa. A CTC média da lama é muito baixa (2,96) e os solos do entorno possuem valores maiores,

com destaque para os Cambissolos das encostas. O Alumínio trocável é praticamente nulo em todos os solos e o teor de MO foram baixos e pouco variáveis, tendo em vista que os solos adjacentes foram “truncados” pela erosão antes da deposição da lama, perdendo todo o horizonte A mais rico em matéria orgânica. A lama possui teor de P extraível por Melich mais alto (média 9,34 mg/dm³) que os Cambissolos/ Argissolos (5,38 mg/dm³) e menores que os Neossolos Flúvicos/Gleissolos (11,05 mg/dm³). São teores relativamente altos, e devem refletir a intensa mistura do material com os solos superficiais arrastados pela erosão na passagem da onda de lama. Os teores de Na são maiores na lama, e devem refletir efeitos do tratamento do minério.

Tabela 2: Quadro síntese de Análises químicas e físicas de 65 amostras de lama e solos afetados pelo desastre. Adaptado de Schaefer et al. (2016).

Análises		Tecnossolo (lama)		Neossolo Flúvico		Cambissolo	
		Média	Desvio Pad.	Média	Desvio Pad.	Média	Desvio Pad.
pH	H ₂ O	5,69	0,19	5,65	0,19	5,77	0,15
	KCl	6,25	1,25	4,91	0,6	4,6	0,3
P	mg/dm ³	9,34	3,48	11,05	24,5	5,38	3,97
K		18,43	22	15,87	12,32	46,67	62,81
Na		11,61	11,98	5,23	4,62	4,88	8,91
Ca ²⁺		1,45	0,69	1,61	0,99	1,76	1,44
Mg ²⁺	cmol _c /dm ³	0,34	0,48	0,57	0,43	0,48	0,37
Al ³⁺		0,016	0,07	0,07	0,15	0,14	0,22
H+Al		1,06	1,33	1,53	1,07	3,28	1,23
CTC (T)		2,96	2,09	3,78	1,54	5,67	2,3
MO	dag/kg	0,91	1,54	0,85	0,69	1,42	1,03
P-rem	mg/L	28,68	11,07	29,57	11,2	24	9,4
Fe	mg/dm ³	499,2	476,01	610,3	528,28	604,72	556,04
Pb		0,41	0,44	0,73	1,38	1,57	1,45
Areia Grossa	kg/kg	0,16	0,18	0,24	0,21	0,26	0,08
Areia Fina		0,33	0,19	0,36	0,21	0,2	0,08
Silte		0,32	0,18	0,16	0,1	0,14	0,07
Argila		0,18	0,17	0,23	0,19	0,39	0,11
Dens. Solo	g/cm ³	1,41	0,53	–	–	–	–
Dens. Solo		1,54	0,42	–	–	–	–
profundidade		2,75	0,29	–	–	–	–
Dens.Part		2,8	0,23	–	–	–	–
Dens.Part.							
Profundidade							

No campo, observa-se um intenso e generalizado selamento superficial, agravado pela erosão preferencial do material fino, mais dispersável, deixando um substrato residual rico em areia fina e silte, altamente compactado (*hard-setting*), constituindo um entrave à recuperação natural sem alguma intervenção. Quase cinco meses após o desastre, a lama compactada permanece em um cenário fisicamente pobre à revegetação (Figura 7).



Figura 7: Paisagem da área em estudo no mês do desastre (a e b) e cinco meses depois (c e d).

Medidas de recuperação e cenário prognóstico nas áreas cultivadas

Para exemplificar os processos de recuperação em curso, escolheu-se a maior área de Technossolos, de cerca de 11 ha de terra de várzea soterrada pela “lama”, pertence à fazenda Porto Alegre, voltada à pecuária leiteira de alto rendimento, com muitas instalações de currais e ordenhas severamente afetadas pela inundação e soterramento. Imediatamente após o acidente, o proprietário

solicitou junto à SAMARCO o empenho na redução imediata dos prejuízos e foi traçado um plano de recuperação das áreas atingidas. Foi sugerido pelo grupo da UFV que o material tecnogênico (lama) fosse recoberto com uma camada de solo fértil oriunda do entorno, o que foi imediatamente implementado com apoio da SAMARCO. Foi realizada gradagem prévia da lama que se encontrava assentada e selada, com uma camada de 10 cm de solo solto para permitir romper o selamento natural do material de alta densidade e resistente à penetração. Após essa etapa de gradagem, foi depositado cerca de 50 cm de solo fértil devidamente sistematizado e nivelado, permitindo recompor o terraço original (Figura 3). Os resultados finais parecem muito promissores e revelam a exequibilidade de estender a prática à boa parte da área afetada.

Nas encostas onde foi desaterrado o material de solo eutrófico, foi evitada a exposição do saprolito e tomadas medidas de recomposição dos taludes para minimizar os processos erosivos. Já estão sendo implantadas pastagens e capineiras nos locais, e estamos iniciando a montagem de um experimento para comparar os Tecnossolos e os diferentes tratamentos para sua recuperação produtiva. Para isso, a propriedade destinou uma área experimental para que a UFV realize ensaio de acompanhamento das mudanças físicas, químicas e biológicas com diferentes tratamentos de material, com e sem sobreposição do solo. O projeto trabalha com a dimensão conceitual de Tecnossolos, ou seja: solos que se desenvolvem de substratos decorrentes da atividade antrópica, inclusive da mineração, e que podem sofrer intervenções visando a recuperação da qualidade.

Para ser considerado um Tecnossolo, o solo artificial deve conter mais de 20% de material tecnogênico nos primeiros 100 cm (IUSS Working Group WRB 2006), e embora sejam mais comuns em áreas urbanas, tem sido cada vez mais detectados em larga escala em áreas rurais, onde representam as maiores áreas contaminadas do planeta (ROSSITER, 2007). Uma das principais aplicações dos estudos de Tecnossolos tem sido sua recuperação para permitir o uso sustentável e livre de riscos maiores. Assim, estudos diagnósticos dos tecnossolos da área afetada, fornecem o modelo ideal para sua recuperação, como denotam estudos recentes com ênfase na Matéria Orgânica (ZIKELI et al., 2002; HOWARD e OLSZEWSKA, 2010) transformações minerais e geoquímicas (UZAROWICZ e SKIBA,

2011); recuperação de estrutura e funções ecológicas (MONSERIE et al., 2009; SERE et al., 2010).

Restaurar Vegetação nas Áreas de Preservação Permanente

Além dos Tecnossolos gerados pelo desastre, e perdas de áreas cultivadas, houve uma perda igualmente significativa da vegetação nas áreas de preservação permanentes (APP's) no trecho estudado. Segundo IBAMA (nota técnica) houve destruição parcial ou total de 1469 ha ao longo de 77 km de cursos d'água, em boa parte APP's. O avanço da gigantesca onda de lama logo após o desastre praticamente devastou ou arrancou a totalidade de indivíduos arbóreos mais próximos à calha dos rios com exceção dos bambuzais que se curvaram ou quebraram sem sofrer arranque total. O soterramento concomitante do solo, banco de semente e plantas mais jovens ou de menor porte, comprometeu severamente a sucessão vegetal. Áreas mais críticas irão necessitar de um amplo e integrado Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). Neste sentido, o cercamento das áreas ribeirinhas já afetadas pode auxiliar sobremaneira a recuperação da vegetação ciliar aberta pelo desastre, considerando ainda um contexto anterior pouco vegetado. Quatro meses depois, contudo, o simples cercamento e isolamento de acesso aos animais às áreas afetadas pelo desastre, se mostrou eficaz para a recuperação, mesmo que de forma incipiente da área. Tais medidas se associadas a outras intervenções diretas que acelerem e facilitem a sucessão inicial representam grande potencial de recuperação para a área em estudo. A prioridade deve ser dada a espécies nativas de rápido crescimento, típicas de sucessão inicial, que permitam criar (ou recriar) os gradientes ambientais dos solos preexistentes, facilitando a entrada de espécies mais tardias da Mata Atlântica, com capacidade para sustentar a fauna ribeirinha igualmente arrasada pelo desastre. Todo um trabalho com espécies facilitadoras deve ser buscado, a fim de se identificar as espécies de maior resiliência e adaptação aos Tecnossolos gerados. Em termos de suprimento de recursos, estudos de performance comparada da sucessão vegetal nos dois cenários de Tecnossolos (com e sem lama exposta), devem ser realizados. A conexão dos Fragmentos deve ser buscada para facilitar a reintrodução de espécies localmente extintas. Imaginar uma restauração ecológica ao nível pré-desastre, com

heterogeneidade ambiental prístina, talvez não seja realmente factível, dada a complexidade das perdas correlatas de todo o sistema afetado (macrofauna, mesofauna, solos, nascentes, afluentes menores). Contudo, os paradigmas da restauração ecológica contemporâneo visam, substancialmente, a integridade, resiliência e sustentabilidade dos ecossistemas (Martins et al., 2105). Assim, a área em estudo, notadamente no trecho Candonga – Fundão, representa grande potencial de aplicação de técnicas de recuperação de áreas degradadas destinadas a tais finalidades. Ressalta-se que uma característica marcante das regiões intertropicais do planeta é sua capacidade de recuperar-se ante distúrbios; nesse mister, a ciência de solos pode ser uma grande mediadora que concilie os imperativos da recuperação, em suas dimensões física e biótica, de forma mais integrada e harmoniosa. O exercício de recuperação ambiental na área em estudo por si só representa diversos benefícios às comunidades locais, independentemente de seu alcance, haja vista a magnitude do desastre. Por fim, frutos positivos como lições educativas desta tragédia, perdurarão como modelo de superação brasileiro para situações de igual complexidade.

Corrigindo o passivo a partir de outros resíduos da cadeia produtiva

Além das técnicas de correção física e química dos tecnossolos gerados, alternativas podem ser buscadas. Trabalho desenvolvido em conjunto pelo doutorando José Damato Neto e UFV parte do pressuposto de que é possível integrar a cadeia de produção de ferro e aço, da qual fazem parte a mineração, a produção de carvão e a siderurgia, de tal forma que os diferentes setores integrantes da cadeia compartilhem, entre si, a busca de soluções de problemas e passivos ambientais inerentes à mesma. Para estes pesquisadores, a siderurgia do ferro e do aço é dependente basicamente de dois segmentos: mineração (produção do minério de ferro como fonte deste elemento) e carbonização (produção de carvão vegetal usado como fonte energética e como redutor do ferro) (Figura 8). Todos os setores da economia, que formam a base da cadeia produtiva, geram resíduos. Assim, a questão levantada é: seria possível que o

segmento produção de carvão e a siderurgia possam ser agentes na recuperação das áreas atingidas pela mineração e/ou seus rejeitos? Ou, mais especificamente, a siderurgia e a produção de carvão poderiam auxiliar na recuperação das áreas de Tecnossolos resultante do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana/MG?

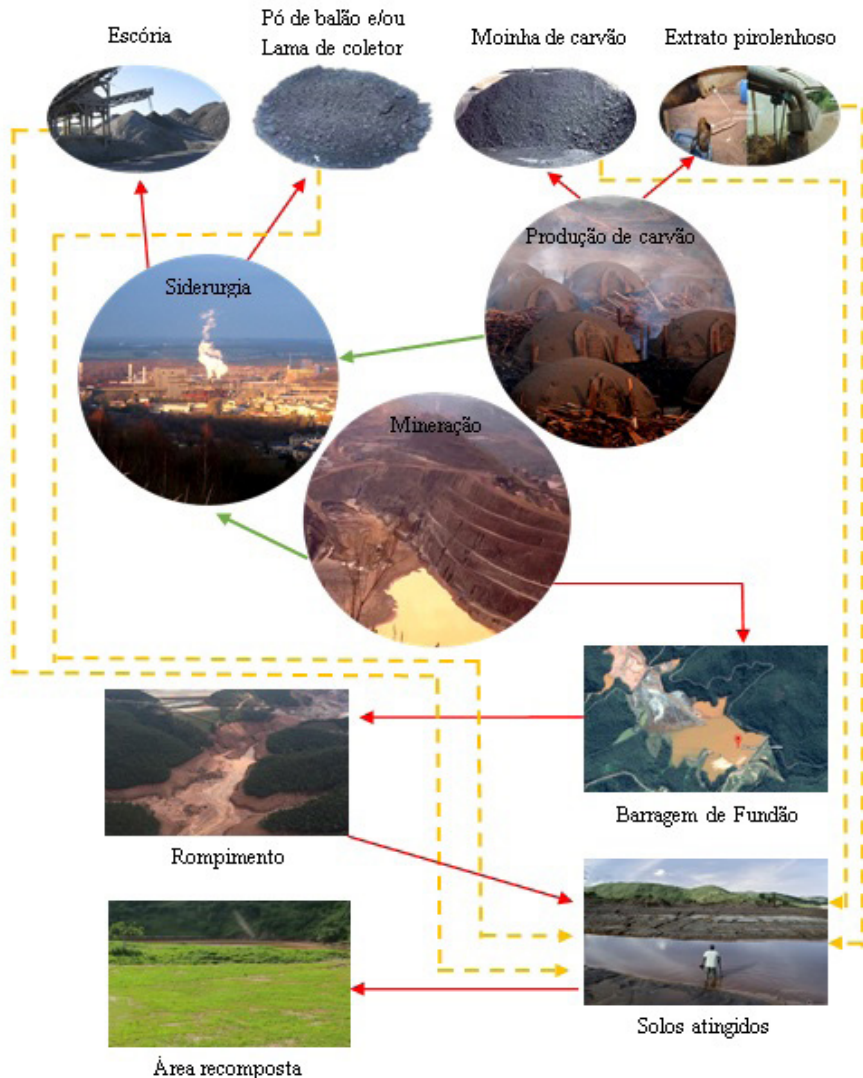


Figura 8: Integração entre o setor siderúrgico e de produção de minério e carvão vegetal e suas respectivas gerações de resíduos.

O crescimento industrial tem provocado a geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Embora a palavra “resíduo” possa subentender que o material seja de má qualidade, em muitas situações os resíduos apresentam potencial para uso em outras atividades, auxiliando inclusive na conservação do ambiente (pela diminuição da necessidade de extração de produtos naturais) e na economia de fontes de energia, por exemplo.

Os tecnossolos (materiais de solo) formados ao longo da área afetada, à semelhança da grande maioria dos solos brasileiros, apresentam baixa fertilidade natural, necessitando de correção de acidez e de aportes externos de nutrientes. A utilização de “materiais não convencionais” torna-se promissora, devido à crescente elevação dos custos para aquisição e aplicação de corretivos e fertilizantes minerais, que levam os agricultores a procurar meios diferenciados de manejo agrícola, com intuito de reduzir despesas.

Entre os materiais resultantes de processos industriais, com potencial de uso na recuperação de áreas degradadas, como no caso em questão, podem ser citados o extrato pirolenhoso, a moinha de carvão, a escória siderúrgica, o pó de balão e a lama de coletor. Resultantes do processo de produção de carvão vegetal, o extrato pirolenhoso e a moinha de carvão apresentam grande capacidade de condicionar o solo, favorecendo o desenvolvimento das plantas além de apresentar efeito significativo no aumento do enraizamento. Por parte da siderurgia, a escória siderúrgica, o pó de balão e a lama de coletor são os resíduos mais importantes em volume. Representam fontes de nutrientes essenciais, carbono orgânico e de silício, sendo as escórias siderúrgicas corretivos da acidez do solo, apresentando ainda vantagens comparativas ao uso dos calcários naturais. O pó de balão e a lama de coletor obtiveram liberação ambiental de uso em Minas Gerais pela Deliberação Normativa COPAM 115/2008.

Ao longo dos anos, vários trabalhos de pesquisa foram feitos e vários resultados positivos do uso destes materiais, foram encontrados, tanto no Brasil, quanto no exterior. O extrato pirolenhoso foi estudado por uma série de pesquisadores podendo-se citar entre eles os trabalhos de Myasaka (2001), que obteve melhorias nos atributos físicos e químicos

dos solos, aumento na população microbiana (entre eles actinomicetes e fungos micorrízicos) favorecendo a disponibilização dos nutrientes para as plantas. Gomes *et al.* (1991) relatam que obtiveram melhor enraizamento e crescimento de mudas quando fizeram uso de moinha de carvão em substrato. As escórias siderúrgicas, por seu turno, cujos componentes neutralizantes da acidez são os silicatos de cálcio e de magnésio, apresentam comportamento semelhante aos calcários no que se refere à correção da acidez do solo (GOMES *et al.*, 1965; CAMARGO, 1972). Esses materiais podem ser até mais eficientes que os calcários devido à maior solubilidade dos silicatos comparada à dos carbonatos, além de fornecerem o elemento silício, entre outras vantagens. Lima (2003) relatou que o uso de pó de balão na agricultura promoveu aumento do teor de nutrientes no solo, enquanto Silva (2007) verificou que a aplicação de pó de balão e lama de coletor não resultaram, em seu experimento, em alterações na qualidade das águas superficiais e subterrâneas, e nem nos teores de elementos contaminantes, tanto no solo quanto nas coleções hídricas superficiais e subterrâneas.

Desta forma, a proposta de Souza e Damato Neto prioriza a sinergia e fortalecimento dos agentes envolvidos na cadeia produtiva do ferro e do aço, utilizando resíduos das atividades de carbonização e siderúrgica na recuperação do Tecnossolo resultante do rompimento da barragem de Fundão (Mariana/MG).

O Brasil detém um dos maiores complexos siderúrgicos instalados na América Latina, com destaque para a antiga Companhia Siderúrgica Belgo Mineira (hoje grupo Arcelor), a ACESITA (atualmente APERAM) e a USIMINAS. Para dar suporte ao segmento desta forte atividade, estão associadas empresas de mineração, com destaque para a Companhia Vale, SAMARCO, entre outras, e empresas reflorestadoras, que cultivam eucalipto para fornecer matéria-prima, tanto para as indústrias de produção de carvão (para as siderurgias), quanto para celulose. Todo esse complexo industrial é responsável por grande parte das exportações brasileiras de minério de ferro e aço, sendo, portanto, de grande importância para a região onde

estão instaladas (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010), para o estado de Minas e, evidentemente, para o Brasil.

A atividade de mineração, produção de carvão e siderurgia são setores muito importantes para a Companhia Vale e são dependentes uns dos outros. Assim, este trabalho visa ainda utilizar resíduos finos de carvão (moinha de carvão, pó de balão e lama de coletor como “finos de carvão”); extrato pirolenhoso; e escória siderúrgica para recuperação dos solos atingidos pela lama da Barragem de Fundão da mineradora SAMARCO.

O experimento deverá ser conduzido segundo algumas diretrizes. Primeiro, a área afetada será subdividida em 3 subáreas, respeitando a granulometria do material depositado. Nesses 3 ambientes serão retirados no total 120 amostras (40 amostras/ambiente) para análises de rotina físicas e químicas (EMBRAPA, 1997). Os dados obtidos serão sistematizados, estabelecendo-se comparações entre o solo da camada superficial em condição original (solo original sob sedimento) e do sedimento depositado (Tecnossolo). Posteriormente, serão conduzidos 3 experimentos, sequencialmente.

Experimento 1: Incubação do Tecnossolo com finos de carvão e extrato pirolenhoso

Serão coletados 200 kg de material de solo de cada área selecionada. A partir das análises químicas, será realizado o cálculo da correção de acidez, utilizando para isso a escória siderúrgica disponível no mercado (Agrosilício, Silifértil, etc...). Serão **utilizados vasos contendo 2 kg** do material de solo com a acidez devidamente corrigida, onde serão variadas doses de fino de carvão (0, 25, 50, 100 e 200 megagrama ha^{-1}) e de extrato pirolenhoso (0; 1, 2,5; 5 e 10 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$). O arranjo experimental será conduzido em delineamento inteiramente casualizado do tipo fatorial. O experimento 1 terá, portanto, 25 tratamentos com 3 repetições, totalizando 75 parcelas amostrais para cada subárea. Como existem 3 subáreas haverá, no total, 225 unidades experimentais. Essas unidades serão distribuídas

aleatoriamente sobre uma bancada em uma casa de vegetação, onde ficarão incubadas mantendo-se a umidade em 70% da capacidade de retenção de umidade.

Amostras serão retiradas com 30, 60 e 90 dias após a instalação do experimento e nelas serão realizadas as análises físicas e químicas.

Experimento 2: Avaliação de espécies de plantas utilizando o tratamento que apresentou melhor resultado no experimento 1

Em outros 200 kg de material de solo de cada área selecionada, em função da análise química e dos resultados do experimento 1, será feito o cálculo da correção de acidez e sua correção utilizando para isso a escória siderúrgica disponível no mercado (Agrosilício, Silifertil, etc...). Será feita a adubação química conforme a exigência da espécie em teste e, evidentemente, aplicação das quantidades de finos de carvão e extrato pirolenhoso obtidas no experimento 1. Neste material, serão cultivadas 6 espécies (braquiária, capim vetiver, grama batatais, mucuna preta, lab lab e amendoim forrageiro). Este experimento será conduzido em ambiente protegido em vasos com 2 kg em 5 repetições. As parcelas experimentais serão distribuídas aleatoriamente sobre uma bancada. O arranjo experimental será conduzido em delineamento inteiramente casualizado. As unidades experimentais serão mantidas por 90 dias mantendo a umidade em 70% da capacidade de retenção de água, redistribuindo semanalmente as mesmas sobre a bancada. Ao final dos 90 dias, serão plantadas as espécies acima citadas. Esta fase do experimento será monitorada a partir de fotos de topo das unidades experimental, sendo a fotografia utilizada para quantificação da área foliar, até a produção de sementes quando pertinente ou quando da completa cobertura do solo caso não haja produção destas. Ao final, a parte aérea será cortada e dela será obtida o peso úmido e seco. O sistema radicular será retirado do material do solo e terá medido seu comprimento e quantificados seu peso úmido e peso seco.

Validação no campo

Será reprisada no campo, em área de 1 ha para cada subárea, o melhor resultado obtido nos experimentos 1 e 2. O experimento será acompanhado quinzenalmente quantificando a evolução de ocupação da área através de fotografias. Esse acompanhamento acontecerá até que as plantas utilizadas produzam novas sementes (isto se a planta escolhida produzir sementes). As sementes serão amostradas e será determinado seu poder de germinação de acordo com as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1980).

Espera-se que o uso de resíduos possa se mostrar uma medida prática efetiva e economicamente viável, que poderá complementar os processos de recuperação física dos tecnossolos, permitindo recuperações mais rápidas e efetivas das áreas afetadas, e aplicações inovadoras de estratégias.

Considerações Finais

Uma análise do contexto histórico, ainda que muito preliminar, indica a continuidade de processos geradores de passivo da exploração mineral que remontam aos tempos de colonização. O desastre motiva e urge a busca por formas mais sustentáveis de mineração, conjugando o imperativo econômico às necessidades e demandas sociais e ambientais, tornando um desafio o exercício de conciliação a ser buscado. Tal parece ser um cenário absolutamente impositivo agora, para todos os atores envolvidos. O simplismo de apontar culpados, num teatro tão complexo de causas e efeitos possíveis e factuais, parece-nos temerário num primeiro momento.

O quadro fisiográfico onde se insere a Barragem do Fundão revela diversos fatores que predis põem a eventos de rompimento e deslizamentos: solos rasos, relevo muito declivoso e drenagem encaixada e fortemente controlada por falhas e fraturas, sismicidade regional ponderável, combinada à heterogeneidade litológica, em que se alternam substratos muito alteráveis com outros muito resistentes; alterações hidrológicas causadas pelo rebaixamento de lençol. Um conjunto razoável de atributos naturais que ressaltam riscos potenciais.

Face ao imenso passivo gerado, medidas reparadoras ou alternativas técnicas podem ser buscadas, e no que tange aos solos afetados, verdadeiros tecnossolos, algumas estratégias são propostas neste trabalho. Sua aplicabilidade e possíveis adaptações só serão conhecidas através de pesquisa, que se possa traduzir em rápida e segura reversão dos ambientes afetados para um estado minimamente restaurado, com potencial agropecuário e ecológico mais próximos de uma condição ideal.

Referências Bibliográficas

BRANDALISE, L. A. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB; Carta Geológica, Carta Metalogenético-Previsional da Folha Ponte Nova (SF.23-X-B-II), escala 1:100.000, Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte. 1991.

BRASIL, 1983. Levantamento de Recursos Naturais. Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra. V.32, Folha SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro, IBGE, 1983. 775 p.

BRASIL, 1983. Levantamento de Recursos Naturais. Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra. V.34, Folha SE 24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro, IBGE, 1983. 775p.

CAMARGO, A.P. Influência da granulometria de três materiais corretivos na neutralização da acidez do solo. Piracicaba, SP. ESALQ/USP. 1972. 59p. Dissertação de Mestrado.

CAMARGO, A.P. Influência da granulometria de três materiais corretivos na neutralização da acidez do solo. Piracicaba, SP. ESALQ/USP. 1972. 59p. Dissertação de Mestrado.

CONSELHO DE POLÍTICA AMBIENTAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS [COPAM]. Deliberação Normativa COPAM nº 115 de 23 abril. 2008. Dispõe sobre a aplicação agrícola do resíduo siderúrgico, denominado pó de balão, em áreas de plantio de florestas homogêneas de *Eucalyptus* sp., abril 2008.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME; Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce e planos de ações para as unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do rio Doce. Volume I, Relatório Final, Minas Gerais. Ano: 2010.

CPRM. Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Mariana – Folha SF.23-XB-1. Estado de Minas Gerais. Escala 1:100.000. Org. por Orisvaldo Ferreira Baltazar e Frederico Ozanam Raposo. Brasília, DNPM/CPRM. 196 p. 1993.

DORR II, John Van N.; et al. Esboço Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Publicação Especial. DNPM, Rio de Janeiro, n. 1, 25 nov. 1959

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Brasília, 1997. 212p. (EMBRAPA CNPS. Documentos, 1).

FILGUEIRAS, Carlos A. L. A ciência e as Minas Gerais do Setecentos. In: RESENDE, Maria Efigênia Lage de; VILLALTA, Luiz Carlos (Orgs.). **As Minas Setecentistas**. Belo Horizonte: Autêntica; Companhia do Tempo, 2007. p. 159-186

GOMES, A. G.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H. G. Comportamento de escórias de siderurgia como corretivo da acidez do solo. Bragantia, Campinas, v.24, n.15, p. 173-179, 1965.

GOMES, J.M.; COUTO, L.; BORGES, R.C.G.; FONSECA, E.P. Efeitos de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis*. Revista Árvore, Viçosa, v.15, n.1, p.35-42, 1991.

GONÇALVES, A. L. 2007: “As técnicas de mineração nas Minas Gerais do século XVIII”, In: RESENDE, Maria Efigênia Lage de; VILLALTA, Luiz Carlos (Orgs.). **As Minas Setecentistas**. Belo Horizonte: Autêntica; Companhia do Tempo, 2007. p. 159-186

GORCEIX H. 1884. Bacias Terciárias d’ água doce nos arredores de Ouro Preto (Gandarela e Fonseca), Minas Gerais, Brasil. Anais. Esc. Minas de Ouro Preto, v.3, Ouro Preto/MG, p.75-92, [1884].

IGAM, 2015. Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais do Rio Doce no estado de Minas Gerais. Acompanhamento da Qualidade das Águas do Rio Doce após o Rompimento da Barragem da Samarco no Distrito de Bento Rodrigues – Mariana/MG. Belo Horizonte, 2015.

IUSS WORKING GROUP WRB. World reference base for soil resources 2006. World Soil Resources Reports n. 103. FAO, Rome. 2006.

LIMA, M.S.M. Avaliação das características agrônômicas do pó-de-balão gerado no sistema de limpeza de gás do alto-forno a carvão vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Minas, 2003. 88p.

MARTINS, S.V. ; RODRIGUES, R.R. ; GANDOLFI, S.; CALEGARI, L. 2009. Sucessão Ecológica: fundamentos e aplicações na restauração de ecossistemas florestais. In: S.V. Martins (editor), Ecologia de Florestas Tropicais do Brasil, pp 19-39.

MEIS, M.R.M de, 1977. As unidades morfoestratigráficas neoquaternárias do médio vale do rio Doce. Anais da Academia Brasileira de Ciências, V.49, nº.3, 1977, p. 443-459.

MIOTO, J. A. 1993. Sismicidade e Zonas Sismogênicas do Brasil. Rio Claro-SP, IGCE/UNESP, Tese de doutoramento, 1993, 2 volumes.

MIYASAKA, S.; OHKAWARA, T.; NAGAI, K.; YAZAKI, H.; SAKITA, M.N. Técnicas de produção e uso do Fino de Carvão e Licor Pirolenhoso. In: Encontro de processos de proteção de plantas, 1., 2001, Botucatu. Controle ecológico de pragas e doenças: resumo... Botucatu: APAN, 2001. p.161-176.

MONSERIE MF, WATTEAU F, VILLEMIN G, OUVRARD S, MOREL JL (2009) Technosol genesis: identification of organo-mineral associations in a young Technosol derived from coking plant waste materials. J Soils Sediment 9:537–546. doi:10.1007/s11368-009-0084-y

ROSSITER, D. G. Classification of Urban and Industrial Soils in The World Reference Base for Soil Resources. In: Journal of Soil and Sediments 7 (2), 2007. p. 96 -100.

SAADI, A. 1991. Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais: tensões compressivas, descontinuidades crustais e morfogênese. Belo Horizonte-MG, IGC/UFGM (Tese para provimento de cargo de Professor Titular), 1991, 300p.

SAADI, A. 2001. Rico Sísmico na Bacia do Rio Doce. Relatório Técnico elaborado para o Convênio ANEEL-FUMEC, no âmbito d “AAI dps Aproveitamentos Hidrelétricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce”, 10 pp.

SAADI, A.; COSTA, N.B.O.R.; CAMPOS, J.K.F.1922. Geomorfologia aplicada ao controle ambiental da expansão urbana do Vale do Aço. In: Simpósio “Situação Ambiental e Qualidade de Vida na RMBH e Minas Gerais”, Anais, 2º, ABGE, Belo Horizonte-MG, 1992. p.149-152.

SCHAEFER, C.E.G.R, CANDIDO, H.G.; CORREA, G.R.; PEREIRA, A.; NUNES, J.A.; SOUZA, O.F.F.; MARINS, A.; FERNANDES FILHO, E.; KER, J.C. 2015. Solos desenvolvidos sobre Canga Ferruginosa no Brasil: uma revisão crítica e papel ecológico de termiteiros. In: Geossistemas Ferruginosos do Brasil (org. F.F Carmo & L. Y. Kamino, Edi. Int Pristino.) pp. 77-102.

SILVA, C.S.W. Avaliação ambiental decorrente do uso agrícola de resíduos do sistema de limpeza de gases de uma indústria siderúrgica a carvão vegetal. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa – UFV, para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia, 2007. 110p.

SOUZA, C.J.O; SAADI, A. 1994. Contribuição à geomorfologia da bacia do Rio Doce. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 6º, São Paulo-FFLCH/USP, Anais.1994, pp.157-161.

STRAUCH, N.(Dir) 1995. A bacia do rio Doce: estudo geográfico. Rio de Janeiro, IBGE, 1995,199P.

USP, 2015.Tremores de terra ocorridos em Mariana/Bento Rodrigues, MG, no dia 05/11/2015. Centro de Sismologia da

USP, Relatório, 06 de novembro de 2015. 7 P., In: <http://www.sismo.iag.usp.br>, acesso em 11/11/2015.

UZAROWICZ L, SKIBA S (2011) Technogenic soils developed on mine spoils containing iron sulphides: mineral transformations as an indicator of pedogenesis. *Geoderma* 163:95–108

VIEIRA, F. 2015. Entre a informação e a desinformação: a difícil análise de um acidente ambiental de magnitude nacional sem precedentes. Informativo da Associação Brasileira de Ciência Ecológica e Conservação/ABECO, n°.3, Outubro a Dezembro de 2015.

ZIKELI S, JAHN R, KASTLER M (2002) Initial soil development in lignite ash landfills and settling ponds in Saxony-Anhalt, Germany. *J Plant Nutr Soil Sci* 165:530–536.

**O maior desastre ambiental brasileiro: de Mariana
(MG) a Regência (ES).
The biggest Brazilian environmental disaster: from
Mariana (MG) Regency (ES).
El mayor desastre ambiental brasileño: De Mariana
(MG) a laregencia (ES).**

Danielle Letícia da Silva, Matteus Carvalho Ferreira, Maria Rita Scotti¹

RESUMO

Em 5 de novembro de 2015 ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos minerários de Fundão (Mariana/MG), bem como de parte da barragem de Santarém, ambas pertencentes à empresa de mineração Samarco. Este rompimento, cuja vazão foi de mais de 55 milhões de metros cúbicos de rejeito de mineração, caracterizou o maior desastre ambiental do Brasil. O ferro é o metal mais utilizado do mundo, sendo extraído da natureza sob a forma de minério. Durante seu processamento, é utilizado o sistema de flotação catiônica reversa, que ocorre em pH alcalino (entre 10 e 10,5). Neste sistema, a precipitação do minério de ferro é promovida pela adição de amido, enquanto a flotação do material restante na ganga (rejeito) é promovida pela adição de aminas. Estas últimas são altamente corrosivas e potencialmente tóxicas aos sistemas biológicos. O rompimento da barragem de rejeitos gerou impactos na qualidade e disponibilidade da água, vegetação ripária, fertilidade e microbiota do solo. Estes impactos foram ocasionados tanto pelo acúmulo de sedimentos, quanto pela sua toxicidade (em especial devido à presença de aminas, que elevaram o pH da água e do solo). Os impactos sobre a mata ciliar são passíveis de recuperação, desde que sejam utilizadas técnicas adequadas de contenção física e estabelecimento de vegetação que seja simultaneamente tolerante à toxicidade das aminas e capaz de promover a agregação do solo.

Palavras-chave: Barragem de rejeitos de mineração, impacto ambiental, aminas, recuperação de áreas degradadas.

¹ Bióloga, doutora, professora e pesquisadora da Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha - Belo Horizonte – MG.

ABSTRACT

On November 5, 2015 occurred the collapse of the mining tailings dam of Fundão (Mariana/MG), as well as part of the Santarém dam, both belonging to the mining company Samarco. This disruption, which flow rate was more than 55 million cubic meters of mining tailings, led to the largest environmental disaster in Brazil. Iron is the most used metal in the world, being extracted from nature in the form of iron ore. During the iron ore processing, it is used the reverse cationic flotation system, which occurs at alkaline pH (between 10 and 10.5). In this system, the precipitation of iron ore is promoted by the addition of starch, while the flotation of the gangue remaining material (tailing) is promoted by the addition of amines. The latter are highly corrosive and potentially toxic to biological systems. The disruption of these tailings dams has generated impacts on the quality and availability of water, on the riparian vegetation, as well as on the soil fertility and microbiota. These impacts were caused both by the accumulation of sediments, as by its toxicity (especially due to the presence of amines, which raised the soil and water pH). The impacts on the riparian vegetation can be recovered if they are used appropriate techniques of physical restraint and the correct vegetation, which must be both tolerant to the amines toxicity, as able to promote soil aggregation.

Keywords: Dam mine waste, environmental impact, amines, recovery of degraded areas.

Descrição do desastre ambiental

No dia 5 de novembro de 2015 começou a ocorrer o maior desastre ambiental da história do Brasil e o maior do mundo relacionado a barragens de rejeito: o rompimento da barragem de rejeitos minerários de Fundão no município de Mariana (MG) e de parte da barragem de Santarém (Figura 1), pertencentes à empresa de mineração Samarco, empresa controlada pela BHP Billiton Brasil Ltda. e pela Vale S.A. (Samarco, 2016).

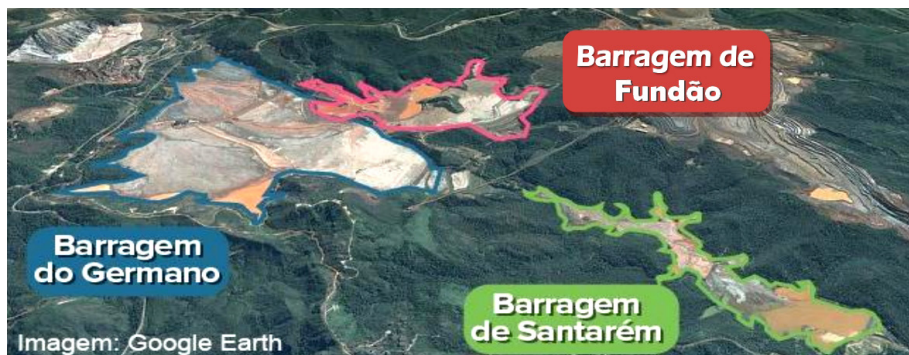


Figura 1: Barragens de Fundão, Germano e Santarém. (Adaptado de Governo de Minas Gerais, 2016).

O rompimento da barragem deu vazão a mais de 55 milhões de metros cúbicos de rejeito do processo de beneficiamento do minério de ferro (Governo de Minas Gerais, 2016). Tal volume, equivalente a um cubo com aproximadamente 400 metros de lado, causou a morte de 18 pessoas e o desaparecimento de uma, e impactou diretamente o Rio Gualaxo do Norte, Rio do Carmo e Rio Doce, bem como os fragmentos de mata ciliar. Atingiu um total de 39 municípios limítrofes desde Mariana (MG) até a foz na vila de Regência no município de Linhares (ES) (Figura 2). Além disso, parte dos rejeitos foi carreada ao Oceano Atlântico impactando diversas praias na região e alterando o ecossistema marinho.

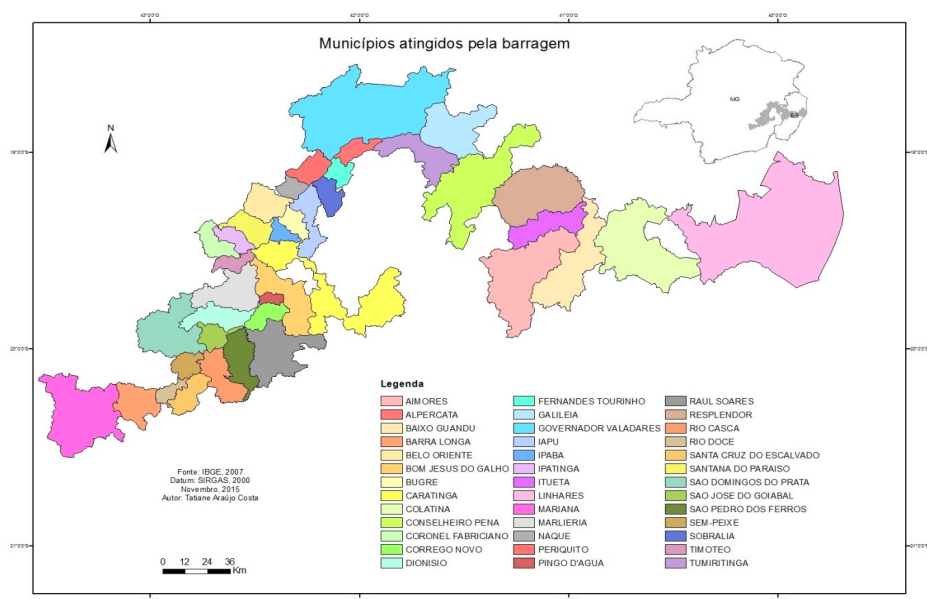


Figura 2: Localização dos municípios afetados pelo rompimento das barragens. (Fonte: Tatiane Araújo Costa, 2015).

O beneficiamento de minério

O ferro é o metal mais utilizado do mundo, sendo extraído da natureza sob a forma de minério, o qual é rico em óxidos de ferro. Diferentes etapas podem ser empregadas na extração do ferro, a depender da qualidade do minério. Minérios de alto teor normalmente são submetidos a etapas de cominuição e classificação. Por outro lado, para a extração a partir de minérios pobres é necessária sua concentração, o que eleva os custos operacionais do processo (Figura 3) (Araújo *et al.*, 2008). Os minérios de ferro podem ser concentrados por meio das seguintes técnicas: gravíticas, magnéticas ou flotação.

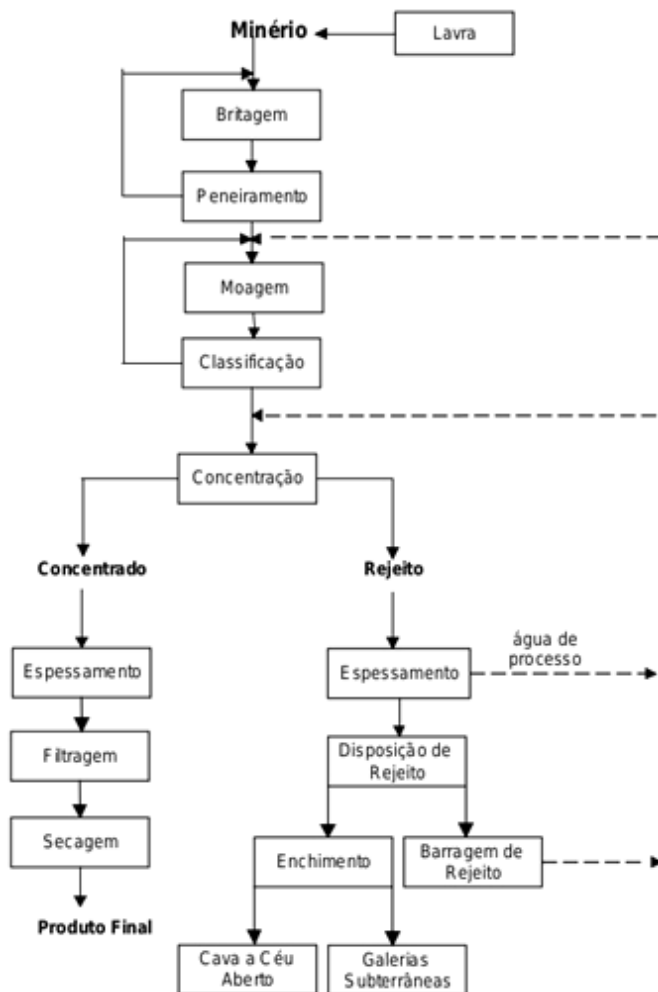


Figura 3: Fluxograma típico do processamento mineral. (Fonte: Tavares, 2009).

O sistema de flotação baseia-se na diferença de capacidade de umedecimento dos diferentes minerais. As partículas variam entre aquelas com afinidade pela água (hidrofílicas) e aquelas que são repelidas por ela (hidrofóbicas). Se uma mistura de partículas hidrofílicas e hidrofóbicas é suspensa em água e aerada, aquelas hidrofóbicas tendem a prender-se às bolhas de ar e então flutuar até

a superfície, permanecendo retidas na camada de espuma formada na interface água-ar. Isto torna possível sua remoção como um produto separado. As partículas hidrofílicas, que apresentam menor tendência a se aderir às bolhas de ar, permanecem em suspensão e podem ser carregadas separadamente daquelas hidrofóbicas (Figura 4). Em condições naturais tanto as partículas de hematita quanto as de quartzo são hidrofílicas. Alguns tratamentos químicos podem ser empregados a fim de alterar a polaridade das moléculas, de acordo com a finalidade do processo. (Darling, 2011).

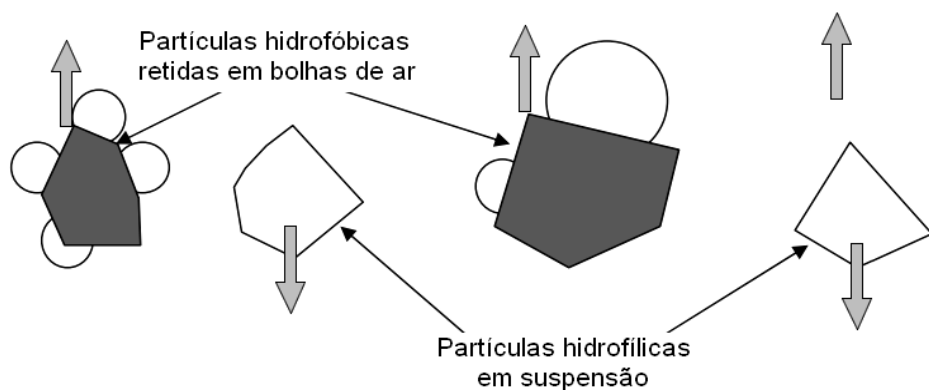


Figura 4: Comportamento diferencial de partículas hidrofóbicas e hidrofílicas em suspensão aquosa aerada. Partículas hidrofóbicas se fixam às bolhas de ar, que tendem à flutuar até a superfície; enquanto partículas hidrofílicas tendem a permanecer na suspensão aquosa e, eventualmente, decantar (Adaptado de Darling, 2011).

A flotação catiônica reversa tem sido utilizada pela Samarco desde o final da década de 1970. Este sistema ocorre em meio aquoso, consistindo na precipitação do minério de ferro e flotação do material restante na ganga (rejeito), que contém barita (BaSO_4), hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), silte, argila, quartzo (SiO_2) e outros minerais. Para que tal separação ocorra, alguns reagentes devem ser adicionados ao sistema. Os principais deles são o amido, utilizado como depressor dos minerais de ferro, e as aminas (éter mono-amina e éter di-amina; Figura 5), sendo que estas exercem as funções de coletor dos minerais de quartzo e de estabilizador da espuma através da flotação (Batisteli,

2007; Mark, 2012). As aminas são os únicos coletores catiônicos usados industrialmente. Sua ionização ocorre em solução aquosa por protonação. Os coletores catiônicos são adsorvidos e dessorvidos de forma rápida e fácil. Em função disso, são menos seletivos que os coletores aniônicos e mais afetados por modificadores de coleta. Sua aplicação típica é na flotação de não-metálicos, tais como o quartzo (no beneficiamento do itabirito), silicatos, aluminosilicatos, óxidos, talcos e micas (Houot, 1983; Lima, 1997).

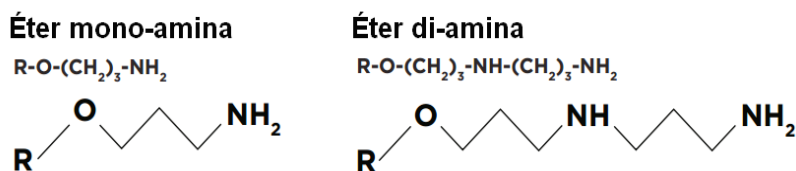


Figura 5: Éter mono-amina e éter di-amina, utilizadas em sistemas de flotação reversa (Fonte: Clariant, 2016).

A reação de flotação reversa ocorre em pH alcalino, geralmente entre 10 e 10,5. Sob essas condições, a sílica apresenta carga negativa e a amina é adsorvida na superfície do quartzo, formando uma espuma, a qual é removida na parte superior das máquinas de flotação e constitui o rejeito de mineração. O amido é adicionado como depressor para evitar que o óxido de ferro seja flotado, uma vez que ele também se torna negativamente carregado no pH do sistema. As moléculas de amido adsorvidas na superfície da hematita fazem com que essas partículas sigam o fluxo da água, sendo removidas na parte inferior das máquinas de flotação, constituindo o concentrado (Luz, 1998; Araújo *et al.*, 2008).

Com a escassez de minérios ricos em ferro, há uma necessidade crescente de utilização de minérios pobres. Isto tem levado a um aumento na quantidade de aminas utilizadas nos últimos anos pela Samarco para a flotação do minério (Samarco, 2009; Samarco, 2013) (Figura 6). Consequentemente, há também um aumento da quantidade desse composto nas barragens de rejeito.

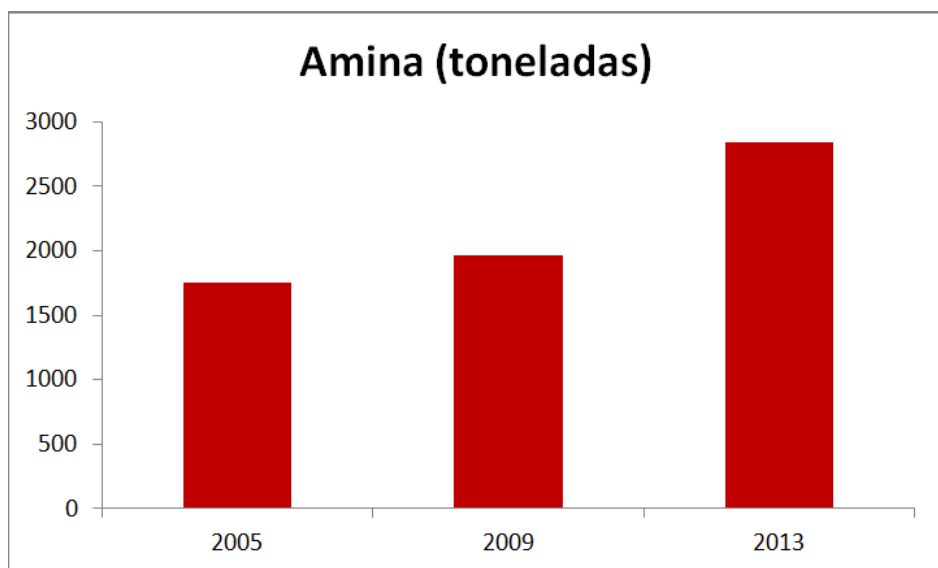


Figura 6: Consumo específico de amina entre os anos de 2005 e 2013 pela mineradora Samarco (Fonte: adaptado de Samarco, 2009; Samarco, 2013).

O comportamento das aminas nas barragens de rejeitos - especialmente no que diz respeito à sua degradação e aos produtos gerados - ainda não é completamente compreendido. Portanto, não é possível dimensionar com precisão o impacto gerado pelo rompimento destas barragens (Araújo *et al.*, 2010).

Diagnóstico dos Impactos ambientais

O impacto causado pelo rejeito pode ser observado em imagens de satélite como na figura 7. Nela é possível identificar o material pela coloração roxa em contraste com a azul dos corpos d'água não afetados. O maior impacto ocorreu na região entre Mariana e a Usina Hidrelétrica de Candonga (município de Rio Doce), em um trecho de 77 km de drenagem. O rejeito recebido pelas calhas estreitas em declividade do Ribeirão Santarém e Rio Gualaxo do Norte

favoreceu o aumento da energia cinética, ocasionando o arraste de toda a vegetação e áreas urbanas na planície de inundação. A Usina Hidrelétrica Candonga (UHE) também teve papel na retenção de grande parte do material carreado dos municípios e vegetações afetadas (Figura 8), além de contribuir para a redução da energia cinética do rejeito extravazado.

É importante ressaltar que em certos locais, como no encontro do Rio Gualaxo do Norte com Rio do Carmo, houve movimento contracorrente do rejeito devido ao seu grande volume e energia cinética, impactando vários quilômetros da região a montante. Este movimento contracorrente ocorreu em outros afluentes de menor porte, provavelmente comprometendo a qualidade da água e a biodiversidade. Como este impacto não é visualizado pelas imagens de satélite, sua extensão global pode estar sendo subestimada.

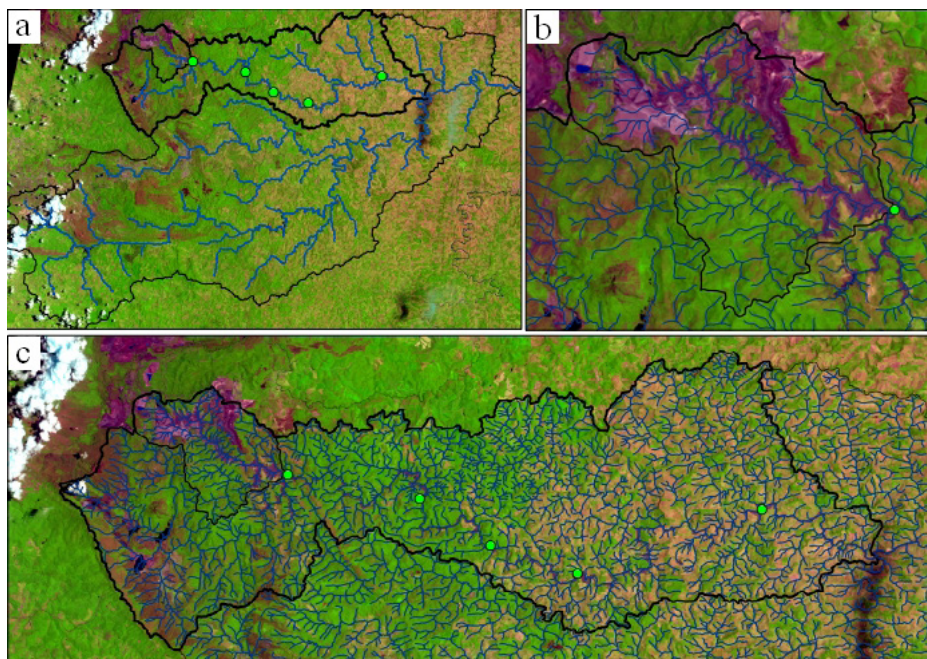


Figura 7: Imagens de satélite das áreas afetadas pelo rejeito. (a) Bacia do Rio Doce; (b) Bacia do córrego Santarém; (c) Bacia do Rio do Carmo. Em (b) e (c) percebe-se o caminho dos rejeitos pela coloração roxa em contraste com a azul dos corpos d'água não afetados. (Fonte: Adaptado de USGS, 2015).

Dentre os principais fornecedores de aminas comercialmente disponibilizadas, destacam-se os produtos da empresa Clariant®, os quais são utilizados em sistemas flotação reversa e que, de acordo com suas fichas técnicas, são aminas altamente corrosivas e potencialmente tóxicas, com possibilidade de danos irreversíveis por inalação, em contato com a pele e por ingestão. Além disso, as medidas de controle para derramamento ou vazamento incluem: manter as pessoas afastadas (a fim de evitar inalação) e não permitir que o produto atinja águas superficiais, subterrâneas ou de canalização (Clariant, 2009).



Figura 8: Material carreado depositado na Usina Hidrelétrica Candonga. (Fonte: Autoria própria).

A partir de visitas à área afetada e análise técnica de diferentes relatórios (IBAMA, 2015; Governo de Minas Gerais, 2016; SEMAD, 2015; EMBRAPA, 2015; IGAM, 2015), foram compilados os seguintes impactos ambientais:

- Qualidade e disponibilidade da água
 - Assoreamento dos corpos d'água: este assoreamento é visível (Figuras 8, 9), mas ainda não há registro da quantificação do material assoreado nem dentro da calha, nem na mata ciliar. O rejeito está depositado sobre a mata ciliar, alterando geomorfologicamente a bacia.
 - Acúmulo de sedimentos instáveis nas margens, com ravinamentos profundos, favorecendo intenso processo erosivo e lixiviação (Figura 10).
 - Contaminação química por éter-aminas potencialmente tóxicas, oriundas do processo de flotação catiônica reversa do beneficiamento de minério de ferro da mineradora Samarco, responsável pela imiscibilidade do rejeito nas drenagens.
 - Elevada turbidez se encontra presente nas águas em valores superiores ao permitido pela legislação (DN COPAM 01/2008).
 - Contaminação pelos metais: arsênio, (provavelmente oriundo da arsenopirita presente nas áreas mineradas), ferro, manganês, cobre, chumbo, magnésio e alumínio em valores superiores aos estabelecidos na legislação (CONAMA 357/2005).
 - Ressuspensão dos sedimentos estabilizados nas partes mais profundas no leito desses rios, aumentando para níveis tóxicos a concentração de metais pesados, tais como o mercúrio. Este efeito pode ser amplificado especialmente no período chuvoso.
 - Perda drástica de biodiversidade da fauna e flora, ainda não quantificada.



Figura 9: Rio Gualaxo do Norte com leito visível devido ao assoreamento.(Fonte: Autoria própria).

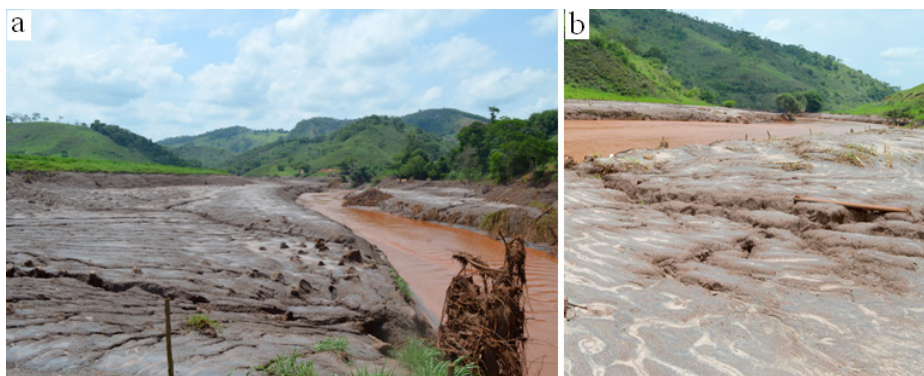


Figura 10: Processo de ravinamento. (a): Margens do Rio Gualaxo do Norte; (b) Margens do Rio do Carmo. (Fonte: Autoria própria).

- Impactos no solo e fertilidade
 - Sedimento de composição granulométrica com cerca de 90% de areia e silte e apenas 10% de argila, implicando em baixa capacidade de trocas catiônicas e, portanto, baixa fertilidade.
 - Compactação do material depositado nas margens, baixa porosidade e presença de concreção ferruginosa quando ressecado (Figura 10), o que gera uma barreira física muito resistente ao crescimento radicular vegetal e ambiente anaeróbico para os micro-organismos.
 - Baixa coesão e características higroscópicas, que propiciam o surgimento e agravamento dos processos erosivos.
 - Ausência de estrutura do solo, baixa fertilidade devido ao déficit de cátions disponíveis, de matéria orgânica e de argila.
 - Presença de valores elevados de ferro, manganês e alumínio.
 - Valores de arsênio superiores ao limite permitido pela legislação (CONAMA 454/2012).
 - Resultados ainda não publicados por nossa equipe, bem como dados da EMBRAPA (Governo de Minas Gerais, 2016) evidenciam uma alteração do pH da mata ciliar de 4.5 para 8.9, prejudicando as atividades celulares de plantas, animais e micro-organismos.
 - Presença de grande quantidade de aminas potencialmente tóxicas aos sistemas biológicos e toxicidez de amônio, conforme estimado na barragem de Fundão (Mroczkowski, Stuczyński, 2006).

- Impactos na vegetação ripária
 - Entre as barragens de Fundão e Santarém até o trecho do Rio Gualaxo do Norte próximos ao Rio do Carmo estima-se perda de 560,35 ha de vegetação, sendo 384,71 ha de Mata Atlântica.
 - Na área subsequente do Rio Gualaxo do Norte até a foz do Rio Doce estima-se perda de 1026,65 ha de vegetação, sendo 126,37 de Mata Atlântica.
 - Total de 1587 ha de vegetação perdida, sendo 511,08 ha de Mata Atlântica. (Figura 11).

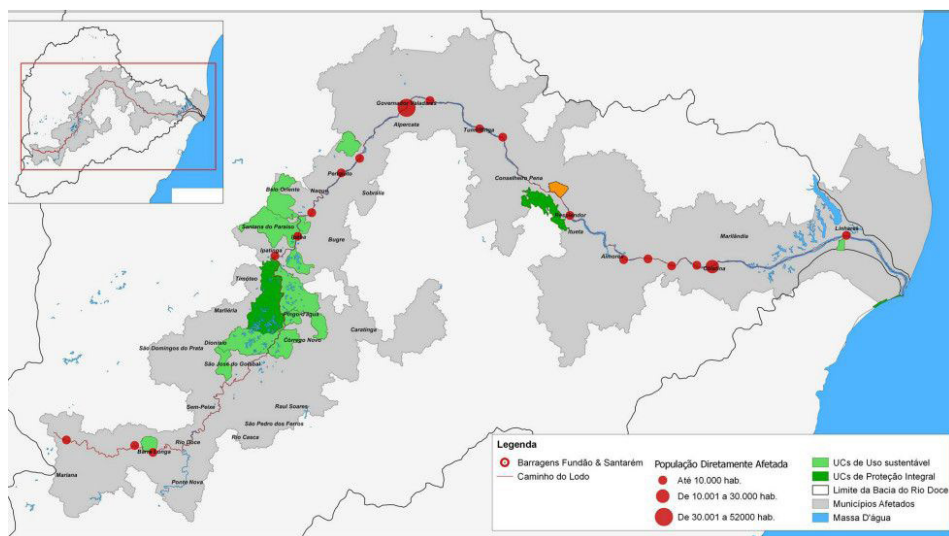


Figura 11: Vegetação impactada em pelo rompimento da Barragem de Fundão.
 Fonte: BBC (Disponível em: <bbc.com/portuguese/noticias/2015/12/151201_dados_mariana_cc>; acessado em 25/02/2016).

- Impactos na microbiota do solo e da água

Resultados preliminares baseados em quantificação de material genético microbiano mostraram que houve drástica redução da população microbiana nas águas e solos atingidos pelo rompimento da Barragem de Fundão. Provavelmente isto se deve à toxicidade causada pelo pH alcalino, necessário ao funcionamento do sistema de flotação reversa utilizado no beneficiamento do minério. Nestas condições, a população microbiana do solo é consideravelmente reduzida, já que o acúmulo da éter-amina no solo o torna tóxico para o crescimento vegetal e da microbiota (Mroczkowski, Stuczyński, 2006; Mehrer, Mohr, 1989).

Proposições de recuperação da mata ciliar

Os impactos sobre a mata ciliar são passíveis de recuperação. O material depositado às margens dos rios atingidos pelo rompimento da Barragem do Fundão é instável e sujeito à erosão por ravinamento. Sendo assim, a recuperação da mata ciliar exige técnicas de contenção física adequadas para a estabilização do processo erosivo, aliadas ao estabelecimento de uma vegetação que exerça as funções simultâneas de tolerância à toxidez das aminas e que seja capaz de ancorar o solo com seu sistema radicular, promovendo a agregação do mesmo. A indicação das técnicas e espécies vegetais mais adequadas para contenção do processo erosivo dependerá do conhecimento do grau e extensão da deposição de sedimentos, bem como da toxicidade deste material. A mitigação do impacto da toxicidade prevê a degradação das aminas presentes do rejeito.

A recuperação destes impactos deverá remediar e reabilitar, com relativo sucesso, a funcionalidade da mata ciliar com espécies nativas. Porém, as previsões são menos otimistas quando se considera o uso futuro da mata ciliar para fins agrícolas ou de produtos para consumo humano.

Mata Ciliar da Bacia do Rio Doce: Estado da Arte em abril de 2016

Ações de plantio com espécies herbáceas e mesmo arbóreas exóticas estão sendo feitas na mata ciliar da Bacia do Rio Doce, empiricamente, à revelia do entendimento científico. Como as espécies e procedimentos utilizados não são aqueles recomendáveis, corre-se o risco de geração novos impactos, cujas dimensões são imprevisíveis.

Para os ensaios empíricos de recuperação da mata ciliar, a empresa Samarco promoveu a contratação um consórcio de empresas de engenharia, que estão fazendo as seguintes ações ao longo de toda a mata ciliar dos Rios Gualaxo do Norte e Rio do Carmo:

1 - Plantio de espécies de uso agrônômico através de sementes. Como é possível perceber (Figura 12), as espécies plantadas não conseguiram se estabelecer, já que não houve cobertura do sedimento, nem sua estabilização. Ressalta-se a inadequação das espécies e procedimentos para a recuperação de uma mata ciliar. Uma vez que essa ação não foi bem-sucedida, outras ações estão sendo realizadas.

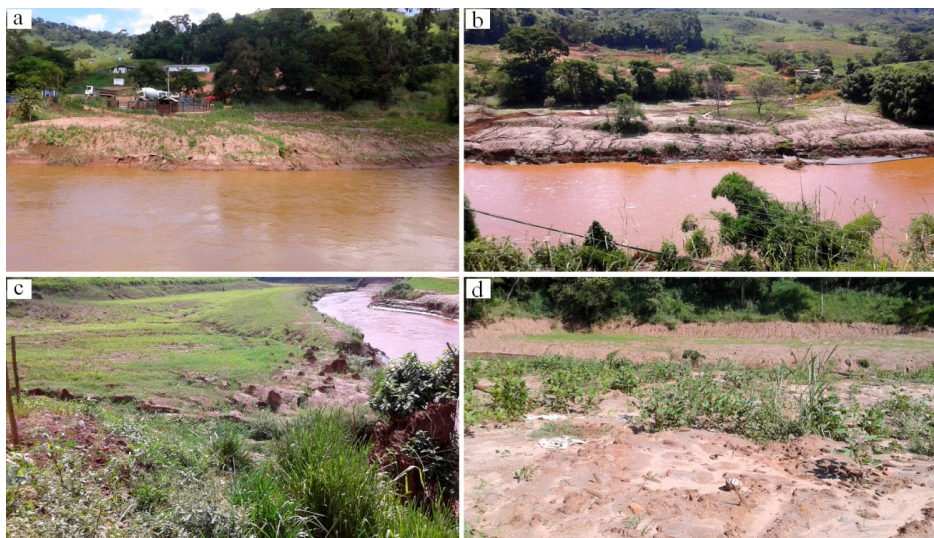


Figura 12: Ações de plantio realizadas pelas empresas contratadas pela Samarco nas matas ciliares dos Rios Carmo (a, b) e Gualaxo do Norte (c,d).

- 2 – Remoção mecânica de sedimentos depositados na área de mata ciliar. O rejeito oriundo da barragem que foi depositado nas matas ciliares está sendo removido através de maquinário (figura 13 a).
- 3 – Transporte de sedimentos através de caminhões (figura 13 b).
- 4 – Deposição do material transportado pelos caminhões em pilhas (figura 13 c e d).

O acondicionamento de material contaminado em pilhas é uma técnica de remediação utilizada na bioengenharia e que pode ser bem-sucedida, desde que sua realização seja tecnicamente correta, salientando-se a escolha do local de alocação da pilha e a impermeabilização total da área, evitando-se a contaminação do lençol freático e corpos hídricos superficiais.



Figura 13: Remoção de sedimento da área de mata ciliar, transporte de material por caminhões e alocação do material em pilhas. Remoção do sedimento nas margens do rio (a), transporte de material para pilhas (b), construção das pilhas (c,d).

5 - Desmatamento de áreas preservadas de porte arbóreo, incluindo áreas de topo de morro. A figura 14 (a, b, c e d) mostra uma ação de desmatamento das empresas supramencionadas ao longo do Rio Gualaxo do Norte. As figuras 14 (c e d) evidenciam a presença de maquinário realizando a intervenção.

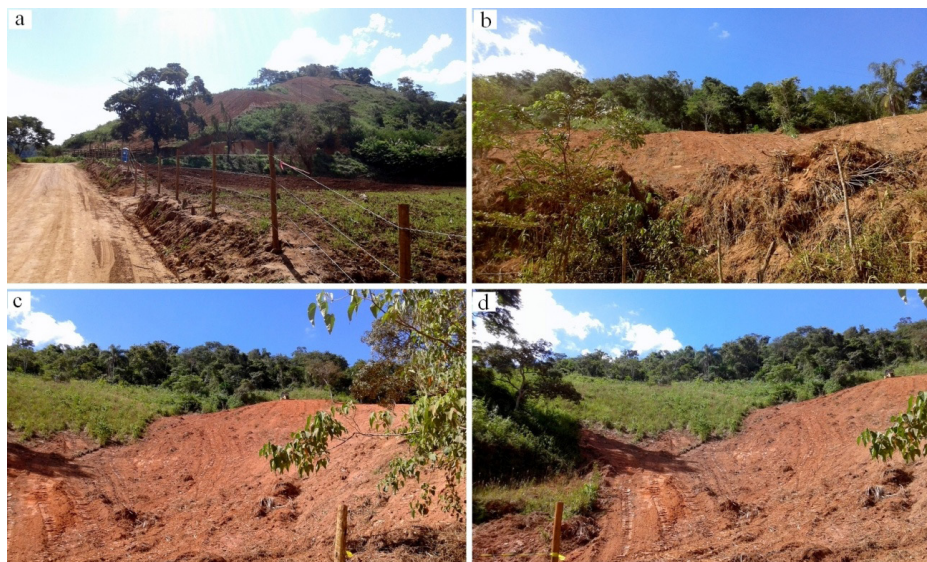


Figura 14: Desmatamento de áreas preservadas, incluindo topos de morros, ao longo do Rio Gualaxo do Norte (02/04/2016).

6 - Aterramento, preparo do solo e drenagem. É possível perceber que diferentes pontos das matas ciliares estão recebendo solo (cor escura) de outra origem (Figura 15 a, b). O preparo do solo para plantio inclui técnicas de drenagem, conforme observado na figura 15c. Na figura 16 é possível observar diferentes ações e técnicas de



Figura 15: Aterramento, preparo e drenagem na área de plantio. Destaca-se o uso de solos exógenos (a, b) para aterramento e a presença de drenagem a área de plantio (c).

intervenção que vêm sendo empregadas na tentativa de recuperação das matas ciliares. Entre elas, salienta-se na figura 16:

- Plantio sem sucesso (no centro);
- Depósito do sedimento retirado, da área de mata ciliar, perpendicularmente ao Rio do Carmo (cor clara, no centro);
- Presença de caminhão para transporte de material (ao fundo, à esquerda);
- Deposição e aterramento da zona ripária com solos exógenos (cor escura, à direita);
- Presença de maquinário pesado (ao fundo, à esquerda e à direita).



Figura 16: Preparo do solo e plantio em matas ciliares. Nota-se a diferença de coloração entre o solo impactado pelo rejeito e aquele que foi alocado para a mata ciliar, a utilização de técnicas de drenagem e a presença de maquinários utilizados no preparo do solo. Também é possível perceber a presença de uma área em cujo plantio não foi bem sucedido.

Faz-se necessário saber a origem do solo (cor escura) no aterramento da área de mata ciliar, bem como a comprovação da existência de licenças para a realização do desmatamento que vem ocorrendo nas áreas preservadas de topo de morro no Rio Gualaxo do Norte (figura 14).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, D.M., Yoshida, M.I., Takahashi, J.A., Carvalho, C.F., Stapelfeldt, F. (2008). Reciclagem de aminas na flotação de minério de ferro. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 61(4): 455-460.

Araújo, D.M., Yoshida, M.I., Carvalho, C.F., Stapelfeldt, F. (2010). Biodegradation studies on fatty amines used for reverse flotation of iron ore. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 64:151-155.

Batisteli, G.M.B. (2007). Amina residual na flotação catiônica reversa de minério de ferro. Universidade Federal de Minas Gerais. 90p. (Dissertação de Mestrado).

Clariant. (2009). Flotigam 2835-2 (Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos em acordo com a NBR-14725).

Clariant. (2016). Disponível em [http://www.clariant.in/C12575E4001FB2B8/vwLookupDownloads/Iron%20Ore.pdf/\\$FILE/Iron%20Ore.pdf](http://www.clariant.in/C12575E4001FB2B8/vwLookupDownloads/Iron%20Ore.pdf/$FILE/Iron%20Ore.pdf), acessado em 16/03/2016.

CONAMA (2005). Resolução CONAMA Nº 357/2005. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>, ACESSADO EM 20/03/2016.

Darling, P. (2011). *SME Mining Engineering Handbook*. 3rd Edition. Englewood: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 1984 p.

DN COPAM 01/2008 (2008). Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Disponível em <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>, acessado em 19/03/2016.

EMBRAPA. (2015). Avaliação dos impactos causados ao solo pelo rompimento de barragem de rejeito de mineração em Mariana, MG: Apoio ao plano de recuperação agropecuária. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*. Dezembro de 2015.

Governo de Minas Gerais (2016). Relatório: Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG. *Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional, Política Urbana e Gestão Metropolitana, Minas Gerais*, 287 p.

Houot, R. (1983). Beneficiation of Iron Ore by Flotation - Review of Industrial and Potential Applications. *International Journal of Mineral Processing*. 10:183-204.

IBAMA. (2015). Laudo técnico preliminar impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Novembro de 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2007). Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/sirgas/principal.htm>>, acessado em 28/03/2016.

IGAM. (2015). Monitoramento da qualidade das águas superficiais do Rio Doce no Estado de Minas Gerais: relatório técnico acompanhamento da qualidade das águas do Rio Doce após o rompimento da barragem da Samarco no distrito de Bento Rodrigues – Mariana/MG. Novembro de 2015.

Lima, R.M.F. (1997). Adsorção de Amido e Amina na superfície da Hematita e do Quartzo e sua Influência na Flotação. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 238p.

Luz, A. B., Costa, L., Possa, M., Almeida, S. (1998). Tratamento de Minérios. Rio de Janeiro, CETEM/CNPq.

Mark, M.A. (2012). Froth Flotation of Iron Ores. *International Journal of Mining Engineering and Mineral Processing*. 1:56-61.

Samarco. (2009). Relatório Anual de Sustentabilidade, 124 p.

Samarco. (2013). Relatório Anual de Sustentabilidade, 57 p.

Samarco. (2016). Disponível em <<http://www.samarco.com>>, acessado em 10/03/2016.

SEMAD. (2015). Instituto Estadual de Florestas. Monitoramento da cobertura vegetal na área do rompimento das barragens da Samarco, Município de Mariana, Distrito de Bento Rodrigues, Minas Gerais. Dezembro de 2015.

Tavares, L.M.M. (2009). Apostila Processamento de Recursos Minerais I.

USGS. (2015). United States Geological Survey, disponível em <<http://www.usgs.gov>>, acessado em 10/03/2016.

**O desastre de Mariana e suas consequências sociais,
econômicas, políticas e ambientais: porque evoluir
da abordagem de Gestão dos recursos naturais para
Governança dos recursos naturais?**

**Mariana's disaster and its social, economic, political
and environmental consequences: why to evolve from
Management of natural resources to the Governance
approach?**

**El desastre de Mariana y sus consecuencias sociales,
econômicas, políticas y ambientales: ¿Porque evolu-
ir Del nivel de Gestión para Governança de los recur-
sos naturales?**

Francisco Antônio Rodrigues Barbosa^{1*}, Paulina Maria Maia-Barbosa¹, Andrea Maria Amaral Nascimento², Arnola C. Rietzler¹, Maione W. Franco¹, Thecia Alfenas Paes¹, Mariana Reis², Karen Ann F. Moura¹, Marcela França Dias², Marcelo de Paula Ávila², Lucas Antonio G. de Oliveira¹

1 Laboratório de Limnologia, Ecotoxicologia e Ecologia Aquática - LIMNEA - Departamento de Biologia Geral - ICB/UFMG

2 Laboratório de Genética de Microrganismos - Departamento de Biologia Geral - ICB/UFMG

* Professor Titular de Ecologia/Limnologia - Coordenador do Projeto PELD-CNPq/UFMG e Vice-Coordenador do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Recursos Minerais, Água e Biodiversidade- INCT-Acqua

RESUMO

Neste artigo é apresentada uma síntese dos impactos causados pelo rompimento da barragem de rejeitos do Fundão sobre a bacia do Rio Doce e suas consequências sociais, econômicas, políticas e ambientais. São apresentadas evidências destes impactos nos ecossistemas aquáticos representativos da bacia do Rio Doce, a partir de dados e análises obtidos de quatro pontos de amostragem e medições previamente selecionados desta bacia. É também objeto de análise a estrutura e o funcionamento do Sistema de Gestão de Recursos Naturais adotado pelo Ministério do Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Amazônia Legal-MMA. Esta análise visa demonstrar suas limitações na solução de problemas ambientais e justificar a mudança deste nível para o estado de Governança dos recursos naturais, como alternativa para lidar com a complexidade e necessidades atuais e com as diferentes dimensões da Governança dos recursos naturais. Finalmente, são propostas algumas sugestões para mitigar os impactos e promover mudanças estruturais e funcionais importantes nas ações antrópicas na bacia. Neste sentido, é sugerido o status de bacia hidrográfica dedicada a conservação e uso sustentável dos recursos naturais, para o que será necessário a implementação de novos arranjos nos diferentes segmentos sociais, econômicos, políticos e ambientais desta bacia.

Palavras-chave: impactos antrópicos; rompimento de barragem; bacia do Rio Doce; consequências; sistema de gestão e sistema de governança de recursos naturais; bacia hidrográfica dedicada a conservação.

ABSTRACT

We present a synthesis of the impacts of the Fundão tailing dam failure, Rio Doce watershed. We emphasize their social, economic, political and environmental consequences. Evidence of such impacts on four representative sites of this watershed is presented. The structure and functioning of natural resource management by the Brazilian Ministry of Environment (MMA) is also analyzed. It aims to demonstrate limitations in solutions of environmental problems and propose governance of natural resources in its different, complex and necessary dimensions. Finally, suggestions to mitigate impacts and promote structural and functional changes in anthropogenic actions are made. In this context, a watershed status involving conservation and sustainable use of natural resources is suggested. Adjustments are suggested in all segments for implementation of the governance approach.

Keywords: anthropogenic impacts; Rio Doce watershed; social, economic, political and environmental consequences; management of natural resources; governance of natural resources; watershed dedicated to conservation

Palabras-clave: impactos antrópicos; cuenca del Rio Doce; consecuencias sociales, económicas, políticas y ambientales; sistema de manejo de recursos naturales; sistema de Gubernancia; cuenca hidrográfica dedicada a la conservación.

O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO: A TRAGÉDIA ANUNCIADA

O rompimento da barragem do Fundão (Samarco/BHP-Billiton/Vale) em 5 de novembro 2015 e os eventos e impactos que se seguiram foi o maior desastre da mineração no país e, provavelmente, o maior desastre ambiental ocorrido no Brasil. Alguns números veiculados à época suportam este adjetivo: um volume de lama da ordem de 40 bilhões de litros, impactos notados em toda a extensão do rio (c. 853 km!) e posteriormente em toda a região da foz e zona costeira do Espírito Santo, 19 mortes confirmadas aproximadamente 320.000 pessoas afetadas, inclusive boa parte delas sem abastecimento de água por um período considerável, provavelmente perda de biodiversidade, inclusive de espécies endêmicas embora ainda não avaliada.

Pensando em ações/recursos para mitigar os impactos deste mega desastre, merecem destaque os números apontados, como o lucro das empresas nos últimos 2 anos de c. US\$1,245 bilhão, gastos das prefeituras para atendimentos e ações emergenciais da ordem de R\$150 milhões e proposta de formação de um fundo de US\$20 bilhões, ao longo de 10 anos, para cobrir despesas com recuperação de áreas, socorro às vítimas, indenizações, que promove disputas entre os segmentos envolvidos: atingidos, governos locais, ministério público e as empresas envolvidas. Tudo isso junto é bastante complexo e faz deste desastre o melhor atestado da falência do sistema de gestão vigente no país e a urgente necessidade de sua substituição por um sistema moderno e eficiente de governança dos recursos naturais. Este sistema permitiria ações integradas nos níveis local, regional e nacional dos diferentes atores envolvidos direta e indiretamente neste desastre. Esta é a tese central que pretendemos comprovar ao longo deste artigo.

Quais as possíveis causas deste desastre?

Quem vem acompanhando as notícias percebe, claramente, não haver ainda consenso sobre o que teria causado um desastre de tais proporções. A empresa responsável alega não ter havido qualquer indicação prévia de que este rompimento iria acontecer, embora admita que aumentou a produção de minério para o que seria inevitável a produção de mais rejeitos a serem acumulados no sistema de barragens construído para este fim. Teria sido o resultado de mais chuvas na região? Uma consequência indireta de abalos sísmicos frequentes? Excesso de confiança no sistema de monitoramento implantado? Negligência no monitoramento das condições da barragem de rejeitos?

Difícil responder agora, mas no futuro deveremos saber a verdade! A última notícia divulgada é que houve a “liquefação dos rejeitos” pelo excesso de água armazenada na barragem de rejeitos e com isto a sua estrutura foi irremediavelmente alterada resultando no seu rompimento. Tecnicamente isto deveria ter sido previsto e o desastre evitado mas... foi tão simplesmente negligência no monitoramento? Excesso de confiança e fé que isto não aconteceria? Não podemos dizer com certeza, não estávamos lá nem participamos das manobras e ações rotineiras da empresa, mas o fato que seis pessoas foram indiciadas e deverão responder pela responsabilidade técnica do desastre nos mostra, claramente, que este poderia sim ter sido evitado! Na verdade, a decisão de instalar a barragem de contenção de rejeitos a montante da localidade de Bento Rodrigues e Barra Longa foi mesmo uma decisão errada possivelmente justificada por razões prioritariamente econômicas e com pouca ou nenhuma consideração aos aspectos sociais, históricos, ambientais e de segurança!

Evidências (algumas) dos impactos causados pelo rompimento da barragem do Fundão em Mariana-MG

Ao longo de semanas ficamos todos perplexos com a escala do desastre causado pelo rompimento da barragem do Fundão: um mar de lama rio abaixo, levando tudo o que encontrava no caminho, desde pessoas, plantações, bois, cavalos, porcos e cabritos até lixo, entulho e tudo mais existente no seu trajeto alterado pelos 40-60 milhões de metros cúbicos de lama! Muito triste ver peixes se debatendo, tentando respirar e cada vez mais sendo enterrados nesta lama! Pequenas centrais hidrelétricas tiveram sua barragem de água substituída por rejeito e lama. Também desapareceram moluscos, plantas aquáticas, vegetação ribeirinha e até o limo das pedras que serve de alimento para os animais aquáticos. A paisagem geral ao longo do rio que transbordava era do tipo “lunar” mais evidente ainda pelo brilho escuro do minério de ferro em suspensão e que se depositava instantaneamente, tamanha sua concentração na água. Na medida em que se depositava e secava ia cobrindo o leito, as margens, as áreas do entorno. Chegando em Barra Longa vindo de jusante, impossível não se emocionar com a extensão e o deserto de lama depositada pelo Ribeirão do Carmo, importante afluente da margem esquerda do Rio Doce logo abaixo do epicentro do desastre.

Alguns resultados de medições feitas em pontos representativos da bacia atestam a degradação da qualidade da água, dos sedimentos e da bacia hidrográfica, como um todo (ver por ex. Relatórios técnicos do IGAM-MG). Um exemplo de medições feitas em quatro pontos de amostragem na água de afluentes e no Rio Doce em novembro e dezembro de 2015, exceto para o ponto de Governador Valadares (15/11/2015) pelo grupo de pesquisas do LIMNEA/ICB-UFMG é mostrado na Tabela 1 abaixo:

Elemento (mg L ⁻¹)	Pontos de coleta de amostras			
	Ref.	Barra Longa	Rio Casca	Gov. Val.
Al _{dis.}	0, 222	0,236	0,240	0,786
Cd _{total}	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Co _{total}	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Cu _{dis.}	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Fe _{dis.}	0,298	0,106	0,088	0,957
Mg _{total}	1,514	2,159	2,006	2,300
Mn _{total}	0,028	1,535	1,588	0,727
Ni _{total}	<LQ	<LQ	0,002	<LQ
Hg _{total}	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ

LQ: limite de Quantificação; Ref. Córrego Água Fria

Os níveis destes elementos nos sedimentos são consideravelmente mais elevados (>1 ordem de grandeza) e esta diferença é extremamente importante do ponto de vista da contaminação ambiental já que deverá permanecer no ambiente por um período de tempo consideravelmente mais longo. Como um exemplo, registramos as concentrações de mercúrio na água as quais estiveram abaixo do limite de detecção (2,5 µg L⁻¹) em todos os pontos amostrados, sendo 2,0 µg L⁻¹ o valor de referência para esse elemento segundo a Res. 357/2005 do CONAMA. Para o sedimento porém, os resultados do ponto Governador Valadares mostraram concentrações maiores que o valor de referência para sedimento dragado nível 1 (170 µg kg⁻¹). Chama atenção a diferença de sólidos totais encontrados nos pontos impactados em comparação ao ponto de referência, um afluente do Rio Carmo em Barra Longa não atingido pela lama (Figura 2).

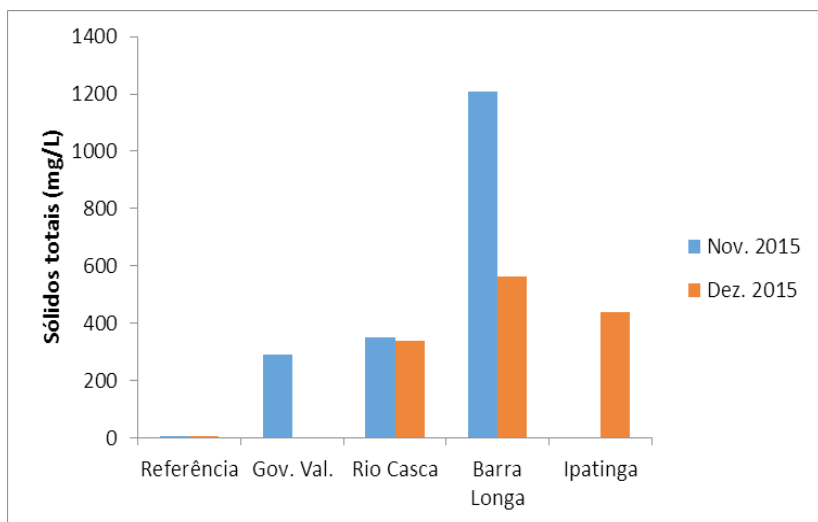


Figura 2. Sólidos totais nos pontos amostrados em duas coletas após o desastre.

Testes de laboratório visando definir o grau de toxicidade da água e dos sedimentos a diferentes organismos foram realizados. Assim, foi avaliada a exposição a diferentes diluições da água impactada pelo rejeito (0, 10, 20, 50 100%) de dois pontos da bacia: Referência (Córrego Água Fria) e Barra Longa (Rio do Carmo), comparando-se uma espécie de Cyanobacteria (*Microcystis novacekii*) e uma espécie de Chlorophyceae (*Chlorella vulgaris*). No ponto Barra Longa a exposição a apenas 10% de rejeito já mostrou redução significativa do crescimento após 96 horas.

Os testes com *Chlorella vulgaris* mostraram não existir qualquer efeito no crescimento desta espécie em todas as concentrações testadas. Estes resultados permitem concluir que a água afetada pelo rejeito exerceu influência no crescimento de *M. novacekii*, mas não foi possível perceber tal efeito em *C. vulgaris*.

A composição e diversidade das comunidades bacterianas de sedimento e água dos pontos amostrados foram investigadas, usando abordagem independente de cultivo. Análise da beta diversidade revelou que as comunidades bacterianas do sedimento e da água foram claramente separadas entre os rios impactados pela lama e o Córrego Água Fria (Referência). Destaca-se que a comunidade bacteriana do Córrego Água Fria foi consideravelmente a mais dissimilar das comunidades. Além disso, a análise taxonômica baseada no gene de rRNA 16S mostrou a presença de grupos taxonômicos exclusivos do Córrego Água Fria ou dos rios impactados. Estes resultados enfatizam a importância da comunidade bacteriana e seus padrões de diversidade e distribuição, como indicadora de qualidade do ecossistema aquático.

Foram também realizados testes de toxicidade com organismos zooplancônicos, tendo sido avaliado o efeito das concentrações de rejeito sobre a eclosão de ovos de resistência de *Daphnia ambigua*, um microcrustáceo da Ordem Cladocera, mantidos em água de cultivo de organismos zooplancônicos em condições de laboratório. Não foram observadas diferenças significativas nas taxas de eclosão dos ovos de resistência mantidos para eclodir nas águas coletadas nos diferentes pontos em novembro 2015 indicando, portanto, não haver efeito de toxicidade da água destes ambientes na eclosão dos ovos de resistência.

Outros testes de toxicidade conduzidos com amostras de água coletadas em novembro e dezembro de 2015 não mostraram efeito agudo à *Daphnia similis*. Entretanto, apresentaram efeito crônico à *Ceriodaphnia silvestrii* na 2ª campanha para o ponto de amostragem Barra Longa (P2).

Quanto às amostras de sedimento das duas campanhas, verificou-se efeito de toxicidade crônica para o ponto Rio Casca em novembro de 2015 e para todos os pontos de amostragem, incluindo o ponto de referência em dezembro de 2015. A comparação dos resultados dos

testes de toxicidade crônica utilizando o teste Bonferroni (Toxstat 3.0), mostrou, portanto, efeito crônico aos organismos zooplancônicos expostos a amostras da bacia do Rio Doce, tanto para água quanto para sedimento, evidenciando uma degradação das condições ambientais e particularmente da qualidade das águas da bacia.

A (crise) da gestão ambiental no Brasil

De certa maneira estamos meio que “acostumados” a ouvir que o Brasil tem uma legislação ambiental das mais avançadas do mundo, o que certamente nos enche de orgulho/vaidade. No entanto, observando alguns aspectos da área ambiental no Brasil, como é o caso por exemplo do saneamento básico, fica evidente que embora a legislação ambiental possa ser avançada, a aplicação da lei (reinforcement of the law) é completamente deficiente e limitada. Assim, o total de municípios com coleta de esgoto e fossa séptica chegou a 41,9% em 2013, aumentando de 63,3% para 64,3%; no caso da coleta de lixo, as residências atendidas aumentaram 3,2% em 2013, em comparação a 2012, passando de 56,6 milhões para 58,4 milhões e totalizando 89,8% de habitações. Apesar destes avanços, o Brasil trata apenas 37,4% dos esgotos coletados (PNAD, 2014) e como consequência direta disto não menos que 60% das internações hospitalares se devem a doenças de veiculação hídrica, com destaque para as chamadas diarreias.

Este talvez seja um bom exemplo para explicar a estrutura e funcionamento da gestão ambiental no Brasil. O Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, o popularmente conhecido MMA, pode ser considerado “do 2º Escalão” senão pela sua importância no dia-a-dia da política brasileira, mas principalmente pelo seu orçamento e pela falta de clareza e entendimento nacional das suas políticas e ações.

Estruturalmente, o MMA está calcado na Lei Federal 9.433/97, a chamada “Lei das Águas” que definiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos e como mecanismos de ação o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH), composto pelo conjunto de instrumentos jurídicos e administrativos que permitem a gestão dos recursos hídricos a partir da adoção da bacia hidrográfica como a unidade básica de gestão. Ressalte-se que este foi um importante avanço dotar o país de uma unidade básica de gestão.

O SNGRH é composto, basicamente, dos seguintes instrumentos de gestão:

- Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH
- Secretaria de Recursos Hídricos –SRH/MMA
- Agência Nacional de Águas – ANA/MMA
- Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos – CERH
- Secretarias Estaduais de Recursos Hídricos – SERH
- Comitês de bacias hidrográficas - CBHs
- Agências de bacias hidrográficas - ABHs

E para exemplificar o caráter “moderno” e atual de nosso sistema de gestão estão listadas abaixo as atribuições dos comitês de bacias hidrográficas, órgãos colegiados formados por representantes da comunidade, usuários de água e representantes de governo e que tem a Agência de Bacia como sua secretaria executiva (Art. 38):

- i) Promover o debate sobre as questões relacionadas aos recursos hídricos e fazer articulações entre as entidades intervenientes;
- ii) Arbitrar conflitos;
- iii) Aprovar o Plano de Recursos Hídricos e acompanhar sua execução;
- iv) Estabelecer mecanismos de cobrança;
- v) Estabelecer critérios e promover rateios de custos das obras de uso múltiplo e interesse comum.

Como se pode ver, pelo menos em tese, as atribuições acima listadas são verdadeiramente atuais e absolutamente pragmáticas, o que não quer dizer na prática que o sistema funcione bem e que temos conseguido resolver os maiores problemas ambientais relacionados aos ambientes aquáticos e seus recursos, particularmente a conservação da sua biodiversidade. O Brasil tem hoje não menos que 1.173 espécies ameaçadas de extinção, sendo 698 espécies terrestres e mamíferos aquáticos (Port. MMA nº 444/2014), 475 peixes e invertebrados aquáticos (Port. MMA nº 445/2014) – Fonte: (<http://www.icmbio.gov.br/portal/comunicacao/noticias/4-destaques/6658-mma-e-icmbio-divulga-novas-listas-de-especies-ameacadas-de-extincao.html>).

Durante os anos 80, técnicos e especialistas brasileiros perceberam a necessidade de criar um sistema integrado e descentralizado de gestão. A dupla dominialidade da água entre os níveis federal e estadual criou muitas indefinições quanto ao papel de cada um. A maioria dos estados carece de capacidade técnica em aspectos cruciais para a operacionalização das decisões dos comitês, tais como a implantação de sistemas relativos à outorga, às informações, ao monitoramento e à fiscalização (Abers e Jorge, 2005).

As principais causas que têm impedido o funcionamento deste sistema nacional de gestão serão discutidas no próximo tópico, que procura demonstrar porque precisamos, urgentemente, mudar de um sistema de gestão para uma Governança Ambiental no Brasil.

Governança em substituição a Gestão: lidando com a complexidade das questões ambientais

A capacidade de uma população garantir acesso a quantidades de água com qualidade aceitável para garantir a saúde humana e dos ecossistemas em uma bacia hidrográfica e garantir proteção à vida e à propriedade contra desastres naturais - enchentes, deslizamentos, queda de barreiras, secas – (IHP/2012/IHP-VIII/1) é a essência

da chamada segurança hídrica que constitui uma questão central das políticas públicas e uma possibilidade concreta de respostas aos desafios locais, regionais e globais, como definido pela UNESCO (2012).

O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) através da iniciativa “Water Governance Facility” lançada em 2014 propôs uma nova abordagem a qual chamou “Governança da Água” para definir o conjunto dos sistemas político, social, econômico e administrativo que, direta ou indiretamente, afeta o uso, desenvolvimento e manejo dos recursos hídricos e a oferta dos serviços de água para a sociedade. Neste conjunto de sistemas, o setor água é parte de um conjunto maior que engloba o desenvolvimento de ações sociais, políticas, econômicas e que é portanto afetado por decisões externas.

Em síntese, governança da água diz respeito a: i) Formulação, estabelecimento e implementação de políticas de água, legislação e instituições e ii) Clarificação dos papéis de governos, sociedade civil, setor privado e suas responsabilidades com relação a propriedade, manejo e administração dos recursos hídricos e serviços, destacando: diálogo inter-setorial, parcerias e resolução de conflitos, direitos sobre água e licenças, papel das mulheres no manejo da água, quantidade e padrões de qualidade, burocracia e corrupção, regulação de preços e subsídios e incentivos fiscais e créditos.

De acordo com a iniciativa “Water Governance Facility (2014)” para se implementar uma Governança da Água é necessário a interação de quatro dimensões – social, que tem como escopo o desenvolvimento de ações que garantam o uso equitativo dos recursos hídricos, a dimensão econômica, que deverá garantir seu uso eficiente, a dimensão política, que deve cuidar para que sejam disponibilizadas oportunidades democráticas iguais sobre estes recursos e a dimensão ambiental, responsável por garantir meios e modos para o uso sustentável dos recursos hídricos. Atuando simultaneamente e de maneira sinérgica

estas quatro dimensões retratam a complexidade e níveis de atuação requeridos para lidar com este recurso universal, complexidade esta não necessariamente considerada pela abordagem vigente da Gestão de Recursos Hídricos, que frequentemente considera situações específicas atuando em níveis distintos.

O desastre de Mariana ocorrido em 5 de novembro de 2015 tem sido visto pelos diferentes atores envolvidos (ministério público, empresas, órgãos ambientais, organizações não-governamentais e sociedade em geral) sob esta óptica da Gestão específica de problemas a níveis local (impactos sobre as localidades de Bento Rodrigues e Barra Longa, por exemplo) ou impactos na faixa costeira do Espírito Santo. Numa visão de Governança da água a nível da bacia hidrográfica do Rio Doce estes impactos e suas consequências seriam analisados simultaneamente segundo as quatro dimensões acima descritas com possibilidades de resultar em propostas de ações certamente mais efetivas e com melhores chances de solução dos problemas detectados.

Propostas de recuperação para a bacia do Rio Doce: a Governança da água a nível de bacia hidrográfica

É inegável a extrema urgência da adoção de ações concretas para solucionar o estado de carência absoluta dos diretamente atingidos pelo rompimento da barragem do Fundão: só em Bento Rodrigues > 600 pessoas perderam tudo! Suas casas, seus pertences/valores, seus documentos, suas perspectivas! É urgente dar-lhes uma nova Bento Rodrigues, melhor equipada, mais bonita, com reais possibilidades de ajudar a estas pessoas a retomar suas vidas, voltar a sonhar! Isto implica em casas, escolas, hospitais, comércio, igrejas, lazer, oportunidades! Assim posto, fica evidente a necessidade de ações integradas a níveis local, regional, nacional já que as decisões, os recursos, a vontade política e a definição de ações emergenciais e continuadas deverão ser tomadas nestes níveis e de forma coordenada e praticamente simultânea. A escolha do melhor local para a instalação da nova Bento Rodrigues, por exemplo, deverá considerar aspectos sociais, econômicos, políticos e ambientais, já que dependerá dos recursos naturais existentes (água, terra fértil), dos recursos financeiros para a

aquisição da nova área e instalação dos novos equipamentos urbanos e da decisão política de tomar estas iniciativas.

Este é contudo apenas um exemplo de ações localizadas (município de Bento Rodrigues) e portanto ainda muito acanhado e simplista se comparado ao que precisa ser feito a nível de toda a bacia do Rio Doce. Estamos falando em 83.400 km², 853 km de extensão do rio, uma área maior que toda a França ou Bélgica, a 3ª maior bacia hidrográfica de Minas Gerais, que abriga os maiores projetos siderúrgicos do país, as maiores plantas de produção de celulose e com 3,5 milhões de habitantes distribuídos em > 230 municípios, a mais importante bacia hidrográfica totalmente incluída no sudeste! Deste total, 86% de sua área estão em Minas Gerais e 14% no Espírito Santo o que torna o Rio Doce um rio nacional. Como pensar e agir considerando toda esta área, todas as diferenças não somente entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo mas diferenças internas em cada um destes estados? Numa visão ecológica/ambiental nos parece considerar as sub-bacias formadoras do Rio Doce a melhor abordagem, já que permite considerar não somente as diferenças sociais, econômicas, políticas dos municípios envolvidos como também as diferenças no estado de conservação e uso dos recursos naturais.

A figura 3 mostra as principais sub-bacias formadoras da bacia do Rio Doce e dá um exemplo simples não apenas da área mas sobretudo das grandes diferenças a serem consideradas e que foram afetadas direta e/ou indiretamente pelo desastre de Mariana. A escolha por esta abordagem de sub-bacias é também a melhor possibilidade não somente de avaliar o grau dos impactos advindos do rompimento da barragem como muito provavelmente a melhor oportunidade de se planejar ações concretas para a recuperação e conservação da biodiversidade da bacia. Apenas a título de exemplo, vale citar a existência no trecho médio da bacia, do Parque Estadual do Rio Doce-PERD, a maior unidade de conservação do bioma Mata Atlântica em Minas Gerais, que abriga não menos de 60% da biodiversidade conhecida deste bioma! E vale destacar também o grande potencial

Tanto o Parque Estadual do Rio Doce-PERD como outras áreas preservadas na bacia deverão ser a fonte natural para a obtenção destas espécies. Em Minas Gerais destacamos a Reserva Biológica do Caraça, a Estação Biológica do Tripuí, a Estação Biológica de Caratinga e áreas selecionadas da sub-bacia do Rio Santo Antônio, principalmente no que diz respeito a ictiofauna. Certamente que a definição de quais espécies deverão ser translocadas destas áreas será conhecida após concluída a avaliação crítica do que se perdeu com o desastre, etapa esta ainda a ser iniciada com as atividades de diagnóstico e a realização de novos inventários das áreas atingidas. É evidente a importância ecológica das áreas de conservação acima listadas não só pelo seu potencial como fonte de espécies mas como áreas de conservação essenciais para a biodiversidade local e regional. Para exemplificar esta importância, indicamos abaixo alguns números conhecidos da biodiversidade existente no PERD.

Das 260 espécies de mamíferos conhecidas para a Mata Atlântica, 30% estão presentes no PERD onde são conhecidas 7 espécies de Primatas! Das 325 espécies de aves da Mata Atlântica 47% estão no PERD, das 78 espécies de peixes da bacia do Rio Doce, 24 (30%) estão no PERD (Godinho, 1996), onde também foram registradas 481 spp. de cianobactérias e microalgas (Barros et al., 2013), 58 Famílias de organismos bentônicos (Marques e Barbosa, 2001) e 64% das 551 espécies de organismos do zooplâncton conhecidas para Minas Gerais. Das c. 20.000 espécies de plantas existentes na bacia do Rio Doce, 1.129 espécies foram registradas no PERD. Merece destaque o registro recente de 1 espécie nova de peixe para o PERD – *Australoheros perdi* (Teleostei: Labroidae: Cichlidae) por Ottoni et al. (2011).

Infelizmente, há que se destacar diferentes ameaças a esta expressiva biodiversidade existente no PERD, através principalmente da constante ameaça de fogo e o resultado nefasto das introduções de espécies exóticas, intencionais ou não, a partir dos anos 1970: 1 espécie de planta, 2 espécies de moluscos, 7 espécies de peixes

e até 1 espécie de Primata! Como resultado destas introduções a biodiversidade local/regional está consideravelmente ameaçada e como um exemplo recente, foi registrada a extinção local de 7 espécies de peixes! (Fragoso-Moura et al., 2016).

Por fim, mas não menos importante, é preciso considerar que a participação das comunidades residentes ao longo da bacia é essencial para o sucesso de qualquer proposta de recuperação da área. Para a implantação de um programa de monitoramento da qualidade da água numa área tão extensa é preciso criar uma rede de colaboração entre o cidadão comum e os cientistas. Esta rede, que poderá envolver como voluntários professores e seus alunos, líderes comunitários, “cientistas amadores, dentre outros, permitirá a coleta de uma quantidade maior de dados ao longo de toda a área e sem custos adicionais. A participação do cidadão comum em projetos científicos (*Citizen Science*, UNEP Year Book, 2014), tem crescido muito e constitui uma combinação da pesquisa ambiental com a educação sobre o ambiente.

Projetos desenvolvidos em parceria com a comunidade tem contribuído para o aumento do conhecimento científico e para o processo educativo, já que permitem que o cidadão comum compreenda o que é ciência e como os ambientes funcionam. Monitoramento da qualidade ambiental, observações sobre um determinado grupo de organismos ou da biodiversidade de uma determinada área, o aparecimento de espécies exóticas, são exemplos de projetos que podem ser bem sucedidos quando desenvolvidos em parceria com a sociedade. É claro que o sucesso destes projetos depende de um bom planejamento, do comprometimento da população com os objetivos propostos e, principalmente, da continuidade das ações propostas.

Um exemplo pioneiro de Citizen Science desenvolvido na bacia do Rio Doce ainda na década de 1990, por equipe multidisciplinar da UFMG, como um dos desdobramentos do projeto PADCT/CIAMB foi o treinamento de um grupo de pessoas de nível médio para atuarem

como monitores da qualidade da água – Monitores Ambientais – em pontos estratégicos da bacia do Rio Doce, particularmente na sub-bacia do Rio Piracicaba, durante o desenvolvimento do projeto. Estas pessoas receberam um treinamento intensivo e suporte teórico-prático para realizarem medições de parâmetros de qualidade de água, as quais eram repassadas para integrantes do projeto para serem interpretadas e incorporadas a uma rede de informações sobre a qualidade da água e qualidade ambiental da bacia.

Numa sociedade tecnológica como a atual, o compartilhamento dos dados pode ser feito quase que em tempo real via smartphones, redes sociais, websites. Monitores ambientais de hoje podem ser muito mais efetivos que os da década de 1990 e possivelmente sua contribuição se dará não apenas de maneira mais abrangente mas também com maiores chances de influenciar pessoas e mudar comportamentos!

Propostas de ações para a recuperação da biodiversidade da bacia do Rio Doce

- i) Realização de um amplo estudo-diagnóstico para identificar o grau/extensão do impacto sobre os ecossistemas, suas biotas e os processos mantenedores (ex. produção primária, ciclagem de nutrientes, metabolismo aquático, etc);
- ii) Considerando o conhecimento acumulado pelos programas de pesquisa (exs. PADCT/CIAMB, PELD/CNPq-UFGM, INCT-*Acqua*/CNPq/FAPEMIG) na bacia do Rio Doce é possível identificar e priorizar tributários essenciais para a re-colonização da biodiversidade desta bacia. Um estudo anterior de Vieira (2006) sugeriu o trecho do alto Rio Sto. Antônio como área importante para conservação, corroborando os estudos de Áreas Prioritárias para Conservação dos Peixes de Minas Gerais (Costa et al 1998; Drummond et al 2005). Segundo documento divulgado por Carlos Bernardo Mascarenhas Alves em 29/11/2015 –“A Tragédia do Rio Doce e seus Peixes: o que se tem dito e a

necessidade de boa informação” está em tramitação um Projeto de Lei (PL 3082/2015) para tornar esse trecho da bacia como Rio de Preservação Permanente, o que deverá limitar, consideravelmente, as atuais ameaças e expansão de empreendimentos de mineração e implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Além disso, na área ocorrem quatro espécies ameaçadas da bacia do Rio Doce e outras tantas nativas, de onde podem ser retiradas matrizes para propagação artificial e repovoamento das áreas afetadas;

- iii) Outros aspectos, não relacionados diretamente ao desastre, mas essenciais para a conservação dos tributários deverão ser considerados, destacando-se por ex. poluição por esgotos e erosão;
- iv) Ações: mapeamento por satélite das áreas atingidas; avaliação da carga de esgotos; análises físicas e químicas da água (nutrientes, metais, OD, pH, cond. e outras; avaliação da biodiversidade aquática (bactérias, cianobactérias, fitoplâncton, perifíton, zooplâncton, bentos, peixes; testes eco-toxicológicos com distintos organismos-teste (fito, zoo; ovos de resistência do zooplâncton);
- v) Considerando que o Parque Estadual do Rio Doce (PERD) detém c. 60% da biodiversidade da Mata Atlântica é razoável supor que esta Unidade de Conservação terá importância destacada para a recuperação da biodiversidade desta bacia hidrográfica, incluindo os processos básicos de sua manutenção;
- vi) Ações: avaliar qual a proporção das espécies do PERD é possível de ser utilizada na recuperação da área degradada do entorno. Avaliar bancos de dados anteriores e realizar novos inventários e monitoramentos dos tributários;

O que deverá ser feito para utilizar a biodiversidade remanescente para a recuperação de toda a bacia?

Para responder a esta questão, é nosso entendimento que, numa 2ª etapa, deverão ser realizados estudos específicos visando a recuperação das áreas criticamente degradadas e apresentadas propostas específicas de recuperação e conservação, dos quais o estudo realizado por Vieira (2006) na sub-bacia do Rio Santo Antonio constitui um exemplo

concreto para subsidiar ações de recuperação e conservação da biodiversidade da bacia do Rio Doce, no que tange particularmente a sua ictiofauna.

Concluindo e adotando uma visão moderna e efetiva de conservação de ecossistemas/paisagens e de uso sustentável de sua biodiversidade, salientamos que o grande desafio da sociedade será propor a adoção do *status* de “Bacia Hidrográfica Dedicada à Conservação e Uso Sustentável de seus recursos para a bacia do Rio Doce, que seria a 1ª bacia hidrográfica brasileira a receber este status.

Este desafio significa adotar e promover as interações necessárias entre as dimensões essenciais para a “Governança da água e dos recursos naturais” a saber: dimensão social, dimensão econômica, dimensão política e dimensão ambiental. Ao fazer isto, novos arranjos locais, regionais e nacionais deverão ser implementados o que permitirá uma efetiva Governança da água e dos recursos naturais com reais possibilidades de sucesso e aplicação. Com isto, não apenas o setor de mineração deverá mudar completamente suas formas atuais de ação e adequação as normas de proteção e uso sustentável dos recursos naturais, como todos os demais setores e atividades da sociedade moderna farão esta mudança, o que resultará na adoção verdadeira de uma abordagem, prática e ações sustentáveis. Este será, talvez, o ganho maior e mais positivo deste desastre anunciado!

Uma nova mineração: o futuro que queremos para Mariana e o Brasil

A posição brasileira na produção mineral global é digna de nota: exporta níquel, magnésio, caulim, vermiculita, cromo, ouro, é auto-suficiente em calcário, diamante industrial, titânio, cobre, tungstênio e talco. Importa fosfato, diatomita e zinco e tem uma dependência externa de carvão mineral, potássio, enxofre e terras raras. No período 2000-2011 sua produção mineral total cresceu 550% alcançando nada menos que US\$ 50 bilhões! (www.ibram.org.br). A mineração está para Minas Gerais provavelmente como os queijos e os vinhos

estão para a França. Na verdade podemos incluir também para Minas Gerais os queijos! Atualmente, mesmo com a grande queda no preço do minério de ferro e portanto ter um menor peso na balança comercial, a mineração ainda é atividade de destaque para o país e particularmente para Minas Gerais, como demonstra o nome deste importante estado da Federação.

Esta importância econômica tem contudo um grande passivo ambiental, passivo este iniciado com a exploração do ouro já no século XVIII: não havia então qualquer preocupação com as questões ambientais, nem se pensava em contaminação das áreas mineradas! Certamente que esta situação vem mudando desde o início dos anos 1970 e hoje temos uma legislação ambiental muito mais abrangente e eficiente. A legislação existe, mas a fiscalização ineficiente é um grande obstáculo para sua aplicação. Assim, ainda continuam a existir transgressões e práticas ambientalmente inadequadas com resultados muito nefastos para a qualidade ambiental e conservação dos recursos naturais.

Um bom exemplo das mudanças ocorridas pode ser visto na proposta inicial do INCT-Acqua ao tomar como uma de suas perguntas norteadoras “como compatibilizar a produção mineral com a conservação da água e da biodiversidade”. Para responde-la o INCT-Acqua propõe uma mudança do paradigma “água é um produto indispensável e valioso para a indústria da mineração” para uma visão da água como um ambiente, resultado de amplas interações entre a matriz físico-química, a biota e os processos associados que garantem a manutenção da biodiversidade de um dado ecossistema e/ou região.

Tal mudança de paradigma permitiu a proposta de uma nova visão para a mineração que passa a considerar não uma dada mina específica mas um território mineral, o qual deverá ser ambientalmente manejado. Esta nova visão deve ser a visão norteadora da nova mineração pretendida, mineração esta que deverá permitir i) uma antecipação dos impactos em lugar de sua remediação; ii) integração do manejo dos recursos hídricos com a pesquisa e desenvolvimento; iii) a conciliação

das atividades minerárias com a conservação dos recursos naturais e iv) adoção de um manejo integrado dos recursos hídricos. Tais aspectos constituem a essência da aplicação da abordagem Governança do Território Mineral, garantida pela interação das dimensões social, econômica, política e ambiental, anteriormente referidas.

Agradecimentos

Os autores agradecem as contribuições de Marcelo Augusto de Resende Costa e Thais Soares da Silva pela realização das análises de água e sedimentos, a Izabela Cristina Dias Vaz pela manutenção dos cultivos de cianobactérias e microalgas, a Claudinéia Lizieri dos Santos pelas contribuições para os experimentos de toxicidade com cianobactérias e microalgas e a Ilma A.B. de Souza pelas coletas de água e sedimento no ponto de Governador Valadares. Somos particularmente gratos a Juliano de Freitas Siqueira e Gabriela Lanna de Carvalho Siqueira, por permitirem nossas amostragens de água e sedimentos no Córrego da Água Fria-Fazenda Jurumirim, em Barra Longa-MG, utilizadas como referência para nossas medições.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abers, R. e Jorge, K. D. (2005). Descentralização da gestão da água: Por que os comitês de bacia estão sendo criados? *Ambiente & Sociedade*, Vol. VIII nº. 2 jul./dez.

Barros, C. F. de A., Santos, A. M. M., Barbosa, F. A. R. (2013). Phytoplankton diversity in the middle Rio Doce lake system of southeastern Brazil. *Acta Botanica Brasílica* (Impresso), v. 27: 327-346.

Brasil-IBGE/PNAD 2014.

Costa, M.R.C.; Herrmann, G., Martins, C. S., Lins, L.V. & Lamas, I.R. (orgs.) (1998). Biodiversidade em Minas Gerais: um Atlas para sua conservação. Belo Horizonte, Fundação Biodiversitas, 94 p. Ilust.

Drummond, G. M., Martins, C. S., Machado, A. B. M., Sebaio, F. A. & Antonini, Y. (2005). Biodiversidade em Minas Gerais: um Atlas para sua conservação. 2ª. Ed., Belo Horizonte, Fundação Biodiversitas. 222p.

Fragoso-Moura, E. N., Oporto, L. T., Maia-Barbosa, P. M., Barbosa, F. A. R. (2016). Loss of biodiversity in a conservation unit of the Brazilian Atlantic Forest: the effect of introducing non-native fish species. *Braz. J. Biol.*, 76 (1): 18-27.

Godinho, A. L. (1996). *Peixes do Parque Estadual do Rio Doce*. Belo Horizonte: IEF/UFMG.

Marques, Maria Margarida ; Barbosa, F. A. R. (2001). Biological quality of waters from an impacted tropical watershed (middle Rio Doce basin, southeast Brazil), using benthic macroinvertebrate communities as an indicator. *Hydrobiologia* (The Hague), v. 457, n.1/3: 69-76.

Otoni, F. P., Lezama, A. Q., Triques, M. L., Fragoso-Moura, E. N., Lucas, C. C. T., Barbosa, F. A. R. (2011). *Australoherosperdi*, new species (Teleostei: Labroidae: Cichlidae) from the lacustrine region of the Doce River Valley, southeastern Brazil, with biological information. *Vertebrate Zoology*, 61 (1): 137-145.

Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios-PNAD-IBGE 2014. Publi. 18/09/2014.

Portaria MMA nº 444, de 17 de dezembro de 2014

Portaria MMA nº 445, de 17 de dezembro de 2014

(<http://www.icmbio.gov.br/portal/comunicacao/noticias/4-destaques/6658-mma-e-icmbio-divulga-novas-listas-de-especies-ameacadas-de-extincao.html>).

UNEP Year Book (2014). Emerging issues update: realizing the potential of citizen Science.

UNDP- (2014). Water Governance Facility.

Vieira, F. (2006). A ictiofauna do Rio Santo Antônio, bacia do Rio Doce, MG: proposta de conservação. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre – ICB/UFMG – Tese de Doutorado, 101 p.

Metakflex - o cimento de argilas: Novo produto e nova receita para a eliminação de barragens de estéreis na mineração⁽¹⁾

Metakflex - cement of clays: new product and new revenue plus the elimination of tailings dams in mining

Evandro Moraes da Gama¹,
Ricardo Álvares de Campos Cordeiro²,
Tamiris Seerig³

RESUMO

Com a natural exaustão das jazidas com altos teores, os recursos minerais apresentam-se mais pobres em elementos aproveitáveis e, em consequência, os percentuais de estéreis são crescentes. O sistema de barragem de estéreis, o método de disposição mais usado nas minerações do Brasil e de todo o mundo, sempre foi questionado pelos impactos ambientais e ocupação de grandes superfícies. Passou a ser, também, muito combatido devido aos potenciais riscos à vida humana, após os recentes rompimentos de unidades no estado de Minas Gerais, Brasil. Até a própria existência da atividade de mineração tem sido debatida mesmo sendo essencial à vida humana. Portanto, há a necessidade de criação de alternativas viáveis e seguras para a disposição de estéreis. Um processo de calcinação rápida (*flash*), com pequeno tempo de residência, aplicada solos argilosos, estéreis francos e estéreis de barragens, aumenta substancialmente as superfícies específicas das partículas desses materiais e, em consequência, produz cimento pozolânico de altíssima resistência mecânica e de baixo custo. Esse processo foi testado, com sucesso, em várias amostras de estéreis e estéreis de várias mineradoras brasileiras. Testes especiais foram feitos principalmente em estéreis das barragens da Mina de Minério de ferro. Esse cimento é denominado Metakflex e é patenteado no Brasil e em vários países. O Metakflex pode ser usado na aglomeração de minérios, rações animais, fertilizantes, em bases de estradas, enchimento de minas subterrâneas, construções residenciais e em várias outras aplicações de construção. Fábricas do Metakflex podem ser instaladas próximas às mineradoras visando o mercado para

¹ Professor Departamento de Engenharia de Minas da UFMG, Engenheiro de Minas – Geólogo de Engenharia. *E-mail*<evandrodagama@gmail.com>

² Engenheiro Senior – Consultor. *E-mail*<ricardocordeiro@hotmail.com>

³ Engenheira de Minas – Mestrando. *E-mail* <tamirisseerig2@gmail.com>

esse produto, mas também gerando cimento para mistura com o próprio rejeito excedente. O rejeito a ser misturado ao Metakflex pode, por exemplo, estar sob a forma de *pastamineral* gerada pela sedimentação em espessador especial. A mistura do cimento Metakflex com a pasta mineral permite que os estéreis sejam dispostos em pilhas mesmo em período de alta pluviometria. As barragens de estéreis poderão ser completamente eliminadas com o aumento na segurança e a redução drástica da área de disposição. A venda do Metakflex poderá cobrir os custos de disposição do rejeito excedente.

PALAVRAS-CHAVE: Metakflex; argilas; barragens; estéreis

ABSTRACT:

With the natural exhaustion of reserves with high contents, mineral resources have become poorer in exploitable elements and, consequently, the percentages of waste are increasing. The tailings dam system, the disposal method most widely used in mining in Brazil and around the world, has always been questioned by environmental impacts and occupation of large surfaces. It became also combated because of the potential risk to human life, following recent disruptions units in Minas Gerais State, Brazil. Even the existence of the mining activity has been debated even being essential to human life. So there is the need to create viable and safe alternatives for tailings disposal. A flash calcination with short residence time applied in clays and fine tailings substantially increases the specific surface of the particles of these materials and produces cement high mechanical strength and low cost. This process has been tested successfully in several samples of tailings and waste from several Brazilian mining. Special tests were performed mainly in tailings from Mina de Minério de ferro dams. That cement is named Metakflex and is patented in Brazil and other countries. The Metakflex can be used in the agglomeration of ores, animal feed, fertilizers, road bases, filling underground mines, residential buildings and in various other construction applications. Metakflex factories can be installed close to the mines targeting the market for this product, but also generating cement to mix with tailings surplus. The tailings to be mixed with Metakflex can be in the form of mineral paste generated by sedimentation in special thickener. The mixture of Metakflex cement with mineral paste allows the tailings are disposed in piles even in high rainfall period. The tailings dams can be completely eliminated with increased security and the drastic reduction of disposal area. The sale of Metakflex can cover the disposal costs of tailings surplus.

KEYWORDS: Metakflex; clays; dams; tailings

1 INTRODUÇÃO

Além da natural exaustão das jazidas com altos teores e, em consequência, com percentuais de estéreis crescentes, os solos argilosos lateríticos correspondem a aproximadamente 40 % da superfície continental do planeta. Esse solo é o capeamento de várias reservas minerais, tais como: itabirito, calcário, bauxita, fosfato, dentre outras, além de ser o estéril a ser removido para as atividades necessárias à lavra.

Estudos sobre as propriedades dos solos argilosos, estéreis francos e estéreis de barragens mostraram que, através de processo inovador baseado em uma rápida calcinação, os solos e estéreis desenvolvem importantes propriedades tais como: aumento da superfície específica e do índice de pozolanicidade do material, transformando-o em um aglomerante ativo. As características dos estéreis de usinas de beneficiamento de itabirito, calcário, bauxita, fosfato e outras são praticamente as mesmas dos solos lateríticos, mas com a vantagem de se apresentarem totalmente desagregadas ou britadas e moídas e, portanto, na faixa de tamanho adequada ao uso na calcinação rápida, sem custos adicionais de cominuição.

Conforme já dito neste artigo, esses estéreis argilosos usualmente são sedimentados em espessadores convencionais e diretamente dispostos em barragens, onde são estocados permanentemente, constituindo-se em passivo ambiental e risco permanente devido a potenciais rompimentos dos maciços dessas barragens. A calcinação rápida (*flash*), entretanto, necessita que a sua alimentação seja precedida de secagem. Por sua vez, os equipamentos de secagem, por questões operacionais e econômicas, exigem que suas alimentações tenham o mínimo possível de água. Pois, quanto menor a umidade da alimentação, a operação de secagem fica mais eficiente e, também, mais barata. Os estéreis argilosos sedimentados em espessadores convencionais (*underflow*) não podem ser alimentados em secadores, pois estão com percentagem de sólido máxima de 40%, em peso, ou cada tonelada de rejeito carrega 1,5 m³ de água. Então, para a calcinação *flash* de

estéreis argilosos ser feita na usina de beneficiamento, em operação contínua, haverá a necessidade de esse rejeito ser, previamente, filtrado, com % de sólido entre 10% e 20%, ou sedimentado em espessadores de pasta, com % de sólido entre 60% e 70%, para deixá-lo em condições de alimentação no secador e, em seguida, no forno de calcinação *flash*. Estéreis argilosos filtrados e *underflow* de espessadores de pasta se apresentam prontos para serem, também, dispostos em pilhas de estocagem. Importante observar que, nos capítulos seguintes, as condições específicas para alimentação desses estéreis argilosos, filtrados ou como pasta, em secadores e forno flash, bem como para disposição em pilhas de estocagem, serão descritas, pois cada caso apresenta particularidades para preparação e essas descrições fazem parte dos objetivos deste artigo.

Esse artigo apresenta, então, uma nova tecnologia de calcinação suportada por metodologia de caracterização inovadora, que pode gerar novos produtos e rendas na mineração e, se combinada com métodos de preparação e disposição de estéreis, garantir a eliminação de barragens de estéreis. O resultado imediato é a transformação de estéreis e estéreis argilosos em produtos com qualidades físico-químicas estáveis e de grande resistência mecânica. Essas qualidades mostram que esses produtos podem ser usados como ligantes de alta resistência, passíveis de ser utilizados como base e sub-base para estradas, adição em concretos, argamassas, materiais cerâmicos, fabricação de briquetes e de britas, aglomerantes para pelotas e insumos agrícolas e outros produtos, sendo que esses podem ser utilizados no mercado nacional e internacional. Podem ser usados pela própria mineração em diversas aplicações e, principalmente, para acelerar a estabilidade desses estéreis dispostos, filtrados ou em forma de pasta, em pilhas, eliminando-se totalmente o uso de barragens.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Obtenção do Metakflex

2.1.1 Origem do Metakflex

O prefixo meta, de origem grega, indica mudança e significa “além de”. Cientificamente, esse prefixo é utilizado para denotar a última hidratação de uma série (GAMA et al, 2002). No caso do metacaulim e demais metaminerais a principal mudança que ocorre é a desidroxilação, advinda da “queima” por período definido. Entre 100°C a 200°C, esses materiais perdem a água absorvida. A temperatura em que a caulinita e demais metaminerais perdem água por desidroxilação é entre 500°C a 900°C. Esse processo térmico de ativação do mineral é conhecido como calcinação.

Além de desidroxilação, a caulinita mantém a estrutura do cristal na ordem bidimensional, sendo o produto conhecido como metacaulim (GAMA et al, 2002). A chave no processo de produção do metacaulim, como um material com propriedades pozolânicas, é atingir uma desidroxilação completa, mas sem, no entanto, queimar integralmente o material. A exposição térmica, além do ponto e do tempo definidos, irá resultar na sinterização e na formação de mulita, que não tem propriedades reativas (GAMA et al, 2002). Verificou-se que a calcinação flash aplicada a outros metaminerais obtém produtos com as mesmas propriedades aglomerantes da metacaulinita, produto denominado de Metakflex.

Para obter sucesso neste processo é necessário que seja feito um controle de temperatura do tempo de exposição e da qualidade do material (químico, granulométrico e mineralógico) (GAMA et al, 2002). Há, em consequência da calcinação *flash*, um enorme aumento da superfície específica das partículas, que pode atingir 20 m²/g ou até mais.

2.1.2 O Sistema de Calcinação Rápida (Flash)

Conforme já explicado anteriormente neste artigo, o processo de calcinação rápida (*flash*) aplicado em argilas e estéreis finos aumenta substancialmente as superfícies específicas das partículas desses materiais e, em consequência, produz cimento de altíssima resistência mecânica e de baixo custo. Esse cimento é denominado Metakflex e é patenteado no Brasil e em vários países.

O sistema de calcinação *flash* conta com unidade piloto no Brasil, instalada no município de Pedro Leopoldo (MG) e tem sistema industrial projetado e em funcionamento em alguns países. A calcinação flash industrial foi desenvolvida pela empresa francesa Demeter Technologies e é composto de transportador pneumático onde o material é recuperado por ciclones. A concepção industrial é modular, podendo o conjunto ser transportado como uma carreta atrelada a um cavalo mecânico, não necessitando de fundação ou montagens especiais. A Figura 1 mostra uma vista lateral do sistema, com os componentes moega e conversor de alimentação, desagregador e secador, pré-câmara de calor, calcinador, resfriadores com ciclones e silo de estocagem. A instalação é transportada facilmente assim como os acessórios. Na Figura 2 é apresentado, as instalações da Planta Piloto em Pedro Leopoldo.

2.1.3 Testes Piloto de Calcinação Rápida (Flash)

O processo foi testado, com sucesso, em várias amostras de estéreis e estéreis de várias mineradoras brasileiras. Testes especiais foram feitos principalmente em estéreis das barragens da Mina de Minério de ferro. Atualmente, os testes são feitos nas instalações da planta piloto em Pedro Leopoldo (MG). Primeiramente, é feita, em laboratórios nacionais, caracterização mineralógica, química e granulométrica da amostra. Em seguida, cada amostra é testada em bancada para primeira avaliação das qualidades aglomerantes.

Em seguida, testes piloto de calcinação flash são feitos e os produtos são caracterizados em ensaios padronizados de resistência e de características para cada uso específico.



Figura 1 – Calcinador Flash Demeter Technologies

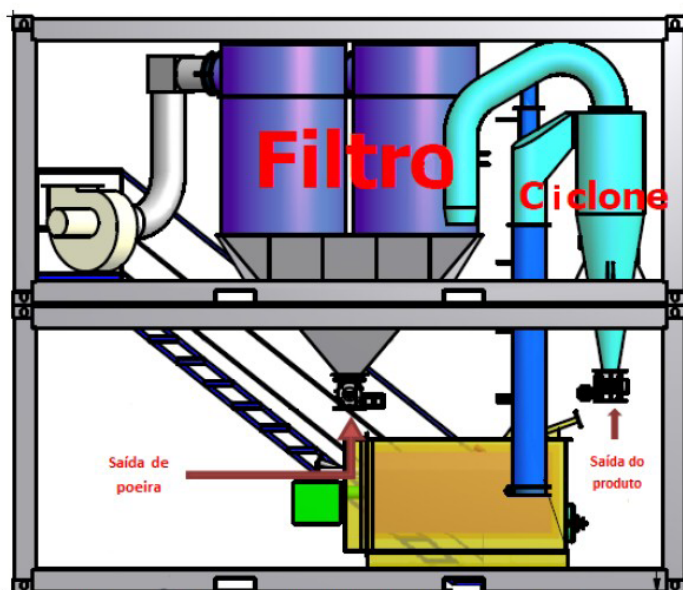


Figura 2 – Instalações da Planta Piloto em Pedro Leopoldo (MG)

A seguir, na tabela 1, resultados de testes feitos com amostras de estéreis de Mina de Mineiro de ferro.

Tabela 1 – Resultados de Testes com Amostras de Estéreis				
Amostra Idade (dias)	Resistência à Compressão (MPa)			
	1	2	3	30
Metabásica	7,1	11,0	12,1	15,1
Filito	5,9	8,9	10,6	10,7

A seguir, na tabela 2, resultados de testes feitos com amostras de estéreis de calcário.

Tabela 2 – Resultados de Testes com Amostras de Estéreis de calcário				
Amostra Idade (dias)	Resistência à Compressão (MPa)			
	1	2	3	30
Capeamento Argiloso solo laterítico vermelho	10,1	18,9	22,8	35,1
Capeamento Argiloso solo laterítico Amarelo	12,5	21,5	25,6	40,7

2.2 Preparação do Rejeito de Usina de Tratamento para a Calcinação Flash

É importante ressaltar que a calcinação *flash* para produção de Metakflex usa os estéreis argilosos finos <200mesh (0,074 mm), isto é, as lamaz, que são materiais coloidais, de alta perda ao fogo, refratários a quaisquer métodos de tratamento de minério, de difícil sedimentação e filtração, que, hoje, não se prestam a quaisquer utilizações industriais e cujo destino final é somente a disposição em barragens. Isto é, representam somente trabalho e custos.

Há, portanto, distinção dos estéreis não argilosos, com tamanhos acima de 200 mesh, que são facilmente sedimentados em espessadores

convencionais, que chegam a apresentar underflow de até 65% de sólidos e podem ser filtrados em filtros a vácuo horizontais com excelente eficiência e com umidade final de até aproximadamente 12%. Esses estéreis não argilosos não são adequados à produção do Metakflex, mas podem ser facilmente dispostos em pilhas depois de filtrados.

Conforme informado anteriormente neste artigo, esses estéreis argilosos de usinas de concentração de minérios são oriundos de tratamento a úmido, trazem grande quantidade de água e não podem ser alimentados diretamente no sistema de calcinação flash. O sistema atual de desaguamento adotado na quase totalidade dos sistemas de tratamento de estéreis argilosos no Brasil e em muitos países, que é feito em espessador convencional, produz underflow com percentagem de sólido até 40%, em peso, que é adequado para a disposição em barragens de estéreis, mas não é suficientemente desaguado para a alimentação em um sistema de calcinação flash. Então, é necessário que o rejeito seja desaguado até a percentagem de sólidos ou umidade de 6% para ser operacionalmente viável a sua alimentação no sistema industrial de calcinação flash desenvolvido pela Demeter Technologies. Para a obtenção dessa umidade, dois sistemas de desaguamento devem ser avaliados:

- Filtração a vácuo, para obtenção de umidade entre 10% e 20%;
- Sedimentação em espessador de pasta, para obtenção de percentagem de sólido entre 60% e 70%.

Laudriault (2002), na Figura 3 apresenta um gráfico esquemático da tensão de ruptura em função do adensamento da mistura sólido-líquido, no qual são observados distintos estados possíveis: polpa, polpa de alta densidade, pasta e torta. Também são indicados alguns dos equipamentos utilizados nas tarefas de desaguamento, bombeamento e filtragem dessas misturas sólido-líquido, os regimes

e velocidades de fluxo possíveis e as características de segregação das partículas sólidas.

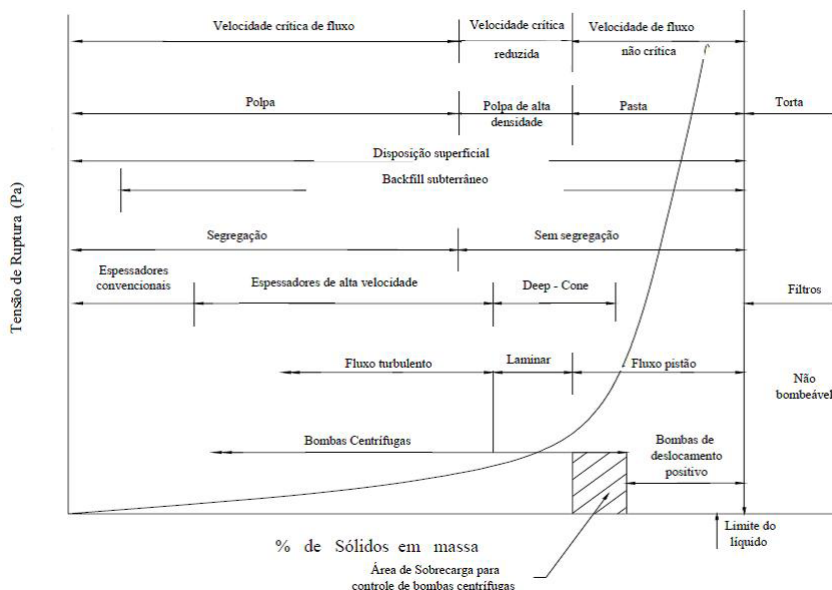


Figura 3 – Tensão de Ruptura: polpa, polpa de alta densidade, pasta e torta (Laudriault, 2002)

Ambos os processos de desaguamento permitem que o rejeito, torta filtrada ou pasta, seja já disposto em pilha de estocagem, sem necessidade de barragem de estéreis. As pastas são bombeadas por bombas de deslocamento positivo e as tortas de filtros não podem ser bombeadas.

Os estéreis filtrados podem ser, em alguns casos, mais adequados para a disposição direta em pilhas e, também, para a calcinação flash. Entretanto, é um processo que pode ser difícil em certos casos, pois a filtração de alguns minerais argilosos e muito finos pode não ser muito eficiente e apresentar algumas restrições ou problemas operacionais em equipamentos industriais do sistema de filtragem. Tem que ser transportado por correias ou caminhões e, em períodos de alta pluviometria, o trânsito e a descarga de caminhões pode ser difícil em pilhas de disposição de estéreis argilosos.

No caso de espessador de pasta, polpas com praticamente todos os minerais argilosos, com poucas exceções, formam pasta e essa pode ser depositada diretamente em pilhas de estocagem. A pasta pode ser transportada por bombeamento, o que, em algumas circunstâncias, tem grande importância operacional.

A estocagem de pasta em pilhas em períodos de alta pluviometria pode exigir alguns cuidados e projetos especiais. Ressalta-se, que, neste artigo, é proposto o uso do Metakflex para resolver também essas restrições de disposição da pasta em períodos de alta pluviometria. Então, os dois sistemas de desaguamento terão que ser avaliados e comparados, em OPEX, CAPEX e eficiência operacional, em cada caso, para cada tipo de rejeito e cada região.

A seguir, uma avaliação resumida de cada processo de desaguamento.

2.2.1 Filtração e Transporte de Estéreis Argilosos

2.2.1.1 Filtração – Conceito Geral

Há muitos tipos de filtros, mas a filtração de minérios muito finos, como é o caso dos estéreis argilosos para a produção de Metakflex é feita mais comumente em escala industrial em filtros a vácuo verticais ou em filtros prensa, como mostrado na Figura 4. Atualmente, os estéreis argilosos não são considerados produtos e não compensam gastos com essa operação. Na maioria dos casos, no Brasil e no mundo, a tecnologia de filtração é usada quase que exclusivamente para produtos que já são comercializados e geram receitas. Então, a filtração a vácuo em filtros verticais ou em filtros prensa de estéreis argilosos é considerada viável tecnicamente, mas não é, ainda, uma operação industrial tradicional e corriqueira na mineração, principalmente para grandes volumes de estéreis argilosos.

Depois de filtrados, os estéreis argilosos, com umidade provavelmente entre 15% e 20%, não apresentam condições para bombeamento e devem ser transportados por caminhões ou correias transportadoras e descarregados em pilhas para disposição final. O transporte por



Figura 4 – Filtros – Vertical a Vácuo e Prensa

correia transportadora para disposição em pilhas exige estocagens do rejeito argiloso filtrado em silos intermediários, correias e sistemas de empilhadeiras, que também não são consideradas, ainda, operações industriais tradicionais na mineração, principalmente para projetos de grande porte.

O transporte por caminhões, descarregamento e disposição em pilhas de estéreis argilosos filtrados é operação industrial que pode ser considerada tradicional na mineração, havendo, entretanto, algumas restrições operacionais em função da alta aderência desses estéreis às superfícies dos equipamentos e dificuldade de tráfego de caminhões sobre as pilhas formadas pelos estéreis. Em épocas chuvosas, essas restrições naturais dos estéreis argilosos filtrados se acentuam e podem tornar difícil, em algum momento, as operações.

Portanto, a filtração, transporte e disposição em pilhas de estéreis argilosos de grandes volumes tem potencial para ser viabilizada economicamente, pois existe tecnologia de filtração disponível, ressaltando-se que o manuseio e a disposição devem ser, caso a caso, estudadas e desenvolvidas para busca de soluções de engenharia em relação às questões e potenciais problemas aqui apontados.

Para a calcinação flash, o rejeito argiloso filtrado já apresenta umidade bem próxima da exigida pela secagem do sistema da Demeter Technologies.

2.2.1.2 Filtração – Fluxograma com Metakflex

A mistura com Metakflex não necessitará ser feita para a disposição da torta em pilhas de disposição. Porém, estará prevista a produção do Metakflex diretamente da torta e venda para as diversas aplicações, conforme o fluxograma da Figura 5 a seguir.

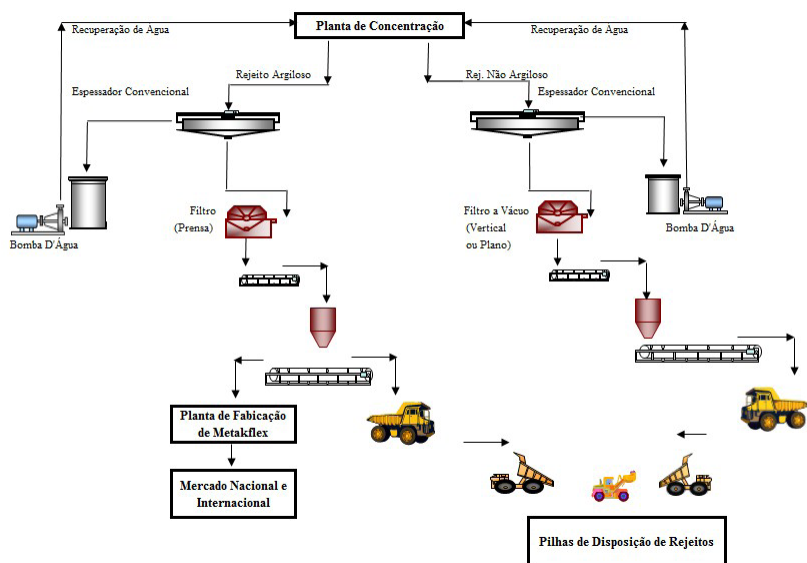


Figura 5 - Filtração – Fluxograma com Metakflex

2.2.2 Sedimentação em Espessador de Pasta

2.2.2.1 Visão Geral - Pasta

Conforme trabalhos de Jewell (2002) e de Araujo e colaboradores (2003), uma pasta mineral pode ser conceituada como um sistema coloidal que se apresenta como um fluido homogêneo, no qual não ocorre a segregação granulométrica das partículas, e que, se disposto de forma suave em superfícies estáveis, não apresenta drenagem significativa de água. Sua conformação e consistência durante sua disposição podem ser avaliadas através dos métodos:

- Teste de cone ou cilindro (teste de “Slump”);
- Teste de calha (teste de Flume.).

O aspecto visual de uma pasta mineral pode ser observado na Figura 6, considerando diferentes adensamentos, conforme registrou (Jewell, 2002) na indústria mineral da Austrália.



Figura 6 – Pasta Mineral

As características do comportamento das pastas são devidas ao adensamento dos sólidos, fazendo que, a partir de uma determinada porcentagem de sólidos, não haja segregação das partículas sólidas na mistura. Como resultado, podem ser obtidos ângulos de disposição mais elevados (faixa de 2% até 5%) do que ao utilizar polpas de underflow de espessadores convencionais, representando um ganho importante em termos de volumes a serem dispostos, sobretudo para grandes áreas, características das disposições em barragens (Araujo et al., 2003).

É importante destacar que dentre as propriedades de uma pasta para a disposição dos estêreis adensados, destacam-se: tensão de ruptura da pasta; altura de Slump, determinada através do teste de Slump; ângulo de repouso, determinado através do teste de Flume ou Calha; viscosidade da mistura sólido-líquido; resistência à compressão determinada através de um ensaio mecânico de tensão (deformação e permeabilidade da pasta com o uso de permeâmetros especiais). A Figura 7 apresenta os ângulos possíveis para a disposição de uma polpa de alta densidade e para uma pasta mineral, em uma visão de caráter qualitativo, em vários tipos de terreno (Laudriault, 2002).

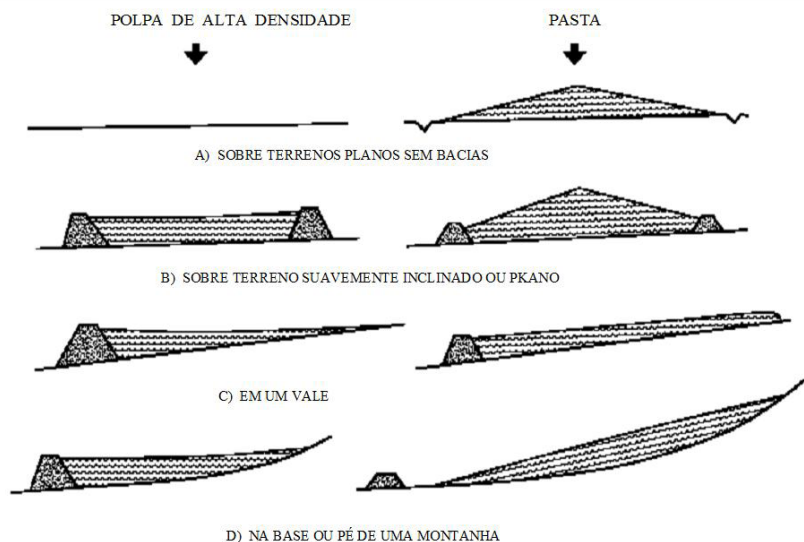


Figura 7 – Ângulos de disposição - Polpa de Alta Densidade e Pastas

2.2.2.2 Espessadores de Pasta

Os equipamentos para a geração de pasta são espessadores com características especiais, conforme mostra a Figura 8.



Figura 8 – Deep Cone Paste Thickeners/EIMCO

Os espessadores de pasta, como mostra a Figura 9, já são tradicionais na indústria mineral de grande porte do mundo, principalmente em regiões mais secas e que exigem maior recuperação de água de processo.



Figura 9 – Deposição de Pasta - Sistema de Torres de Deposição
Fonte: FLSmidth (Dorr-Oliver Eimco)

2.2.2.2 Pasta Com Metakflex

Em minas subterrâneas, o aumento de taxa de extração e mitigação do meio ambiente tem como designação técnica o termo anglo saxônio backfill. O backfill é o mais abrangente método de controle estabilidade do estrato subterrâneo. É possível controlar ou mesmo impedir o colapso da cavidade subterrânea lavrada quando o backfill é adequadamente compactado para suportar as tensões induzidas pela lavra e as tensões remanescentes do maciço rochoso. O backfill é normalmente usado se os métodos de suporte convencionais e /ou a quantidade de pilares torna a lavra deficitária economicamente, ou mesmo para recuperação final de pilares remanescentes, ocasionando uma melhor recuperação do mineral lavrado. Na sua essência o backfill reduz a área das superfícies rochosas expostas em todos os estágios das escavações.

O uso do backfill depende de alguns fatores:

- A disponibilidade de material inerte usualmente produzido nos processos de concentração ou decapeamento.
- Se a superfície livre criada pela escavação como o teto, capa, lapa, pilar, etc não tem estabilidade a longo prazo ou mesmo natural podendo ser necessário o uso de um cimento.

De uma forma geral o backfill é usado para minas em final de operação, entretanto, com os recentes avanços dos preenchimentos hidráulicos com polpas minerais adensadas (pastas ou tortas de filtros), tem sido usado concomitantemente com as operações de lavra subterrânea, não necessariamente em exaustão.

Nessas minas subterrâneas, a pasta ou torta de filtro são misturadas com cimento para enchimento subterrâneo (pastefill). Sofrá e Boger (2002) mostram que o pastefill é uma pasta preparada com estéreis da mineração para preenchimento de cavidades subterrâneas e que melhora as propriedades de suporte da estrutura, permitindo reduzir a disposição superficial dos estéreis. Esses estéreis devem ser primeiramente espessados para formar a pasta e normalmente, são misturados com pequenas quantidades de aglomerantes (cimentos 3% a 5%) para incrementar suas características de resistência. A pasta flui através de um duto com a ajuda da gravidade e após é disposta no local de deposição para fazer o preenchimento subterrâneo.

O pastefill pode ser feito com a adição de Metakflex em substituição ao cimento comum. Então, a proposta aqui apresentada é aproveitar a tecnologia de pastefill para ajudar na disposição de estéreis argilosos em pilhas a céu aberto.

O principal parâmetro é a resistência da pasta e sua estabilidade física e química ao longo do tempo. Esta resistência depende das características mineralógicas intrínsecas dos minerais e cimento Metakflex utilizado, das dimensões das superfícies rochosas expostas, da forma como que o pastefill é depositado, das proteções de drenagens

de águas pluviais, dos diques de contenção para formação dos bancos das pilhas, etc.

A proposta, então, será a deposição da pasta misturada ao Metakflex nos momentos e períodos em que a deposição natural da pasta exigir maior estabilidade e resistência. Preferencialmente, a pasta deverá ser depositada sem a adição de Metakflex, mas com a disponibilidade de mistura ao Metakflex quando houver necessidade para que a pasta depositada ganhe resistência mais rapidamente.

De uma forma geral esta resistência varia entre 1MPa e 4 MPa dependendo do tipo do cimento utilizado e da granulometria do pastefill. Quanto mais uniforme for a granulometria, mais adensado e mais resistente será o pastefill. No entanto, a obtenção dessa resistência por adensamento e adição de cimento depende de testes específicos, equipamentos e porcentagens de um Metakflex adequadas. A resistência a ser adquirida pela pasta e o respectivo tempo necessário dependem dos fatores de exigências da operação de disposição, que poderão variar de acordo com as condições operacionais, topográficas, pluviométricas e outras.

Preliminarmente, as características da pasta com Metakflex deverão seguir aproximadamente os parâmetros de preenchimentos cimentados em lavra subterrânea, que utiliza areias e finos de estéreis. Este método depende de:

- Densidade (normalmente as polpas e pastas devem conter com 70% de sólidos e cimento entre 3 a 10%).
- Tempo de cura que é função do tipo de cimento.
- Quantidade de cimento que é função da solicitação de suporte geomecânico, ou seja, da resistência desejada. Em linhas gerais a resistência aumenta em até três meses com a cura.

De acordo com cada caso, na disposição de pasta em pilhas a céu aberto os parâmetros deverão ser adaptados e avaliados para as condições específicas.

Os parâmetros resistência à compressão uniaxial, coesão e ângulo de atrito são parâmetros básicos para a estabilidade de taludes de barragens. Trabalhos recentes realizados nos Laboratórios de Tecnologia de Rochas - LTR e Tratamento de Minérios do Departamento de Engenharia de Minas da UFMG testaram pastas minerais aditivadas com o Metakflex, como mostrado na Figura 10.

	Metakflex de Pisolito pasta pura	Paste fill com 5% de Metakflex de Pisolito	Metakflex de Siltito pasta pura	Paste fill com 5% de Metakflex de Siltito	Metakflex de ROM pasta pura	Paste fill com 5% de Metakflex de ROM
Resistência à compressão (KPa)	6270	408	6940	570	4250	520
Desvio	1170	53	1270	76	570	34
Coesão (KPa)	770	37	1000	76	570	63
Ângulo de atrito (°)	63,43	69,44	57,72	60,75	59,93	62,65

Figura 10 – Parâmetros de Resistência - Metakflex Puro e com Pasta

A apresentação slump e teste de flume com pasta pura e adição de metakflex, é mostrado na Figura 11, dados dos Laboratórios de Tratamento de Minérios e Tecnologia de Rochas - LTR do Departamento de Engenharia de Minas da UFMG.

	Paste fill puro	Paste fill com 5% de Metakflex de Pisolito	Paste fill com 5% de Metakflex de Siltito	Paste fill com 5% de Metakflex de ROM
Slump (%) de abatimento	50	52,6	46	61
Flume – (calha) Ângulo (°)	6	7	7,3 a 8,6	7,80
Porcentagem de sólidos	50,2	50,2	51,2	-
Porcentagem de água	49,8	49,8	48,8	-
Densidade (t/m ³)	1,51	1,70	-	-

Figura 11 – Testes Slump e Flume - Metakflex Puro e com Pasta

Os resultados acima mostram claramente que as pastas minerais podem ter suas propriedades de resistência e ângulo de deposição melhorada pela simples adição de Metakflex. Cada rejeito argiloso deverá passar pelos mesmos testes citados acima e outros que se mostrem necessários para a definição de seus respectivos parâmetros de resistência e de características físicas e geotécnicas.

2.2.2.3 Fluxograma Proposto - Pasta Com Metakflex

A mistura com Metakflex necessitará ser feita para a disposição da pasta em pilhas de disposição quando houver períodos chuvosos. A produção do Metakflex para vendas diretas como cimento, a sua mistura com a pasta e a disposição da pasta em pilhas estão no fluxograma da Figura 12 a seguir.

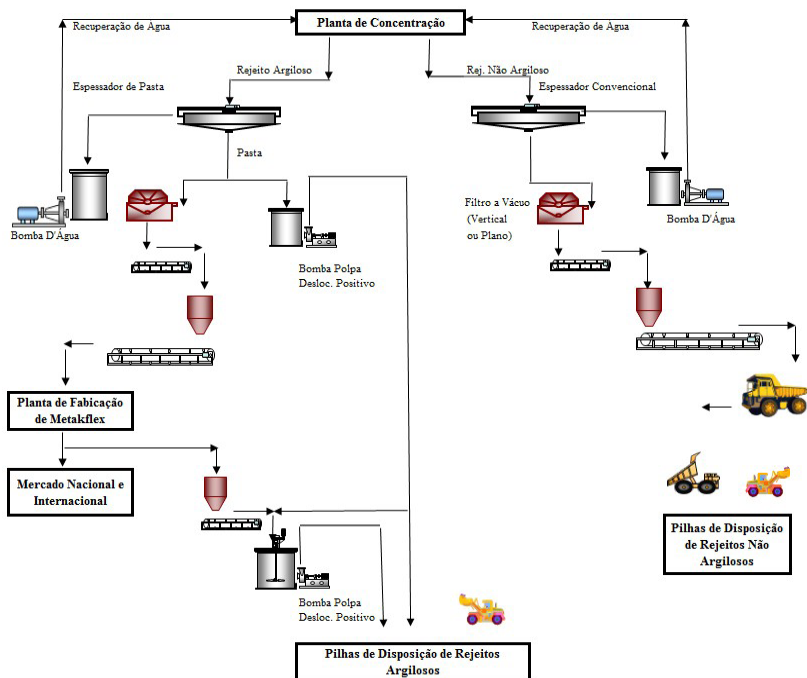


Figura 12 - Pasta – Fluxograma com Metakflex

3 DISCUSSÃO

O adensamento de estéreis finos ou argilosos por filtração ou sedimentação em espessadores de pasta pode ser feita com o uso de equipamentos e tecnologias já consolidadas na indústria mineral mundial. O transporte de torta tem que ser feito por caminhões e o de pasta pode ser feito por bombas de deslocamento positivo, mas são operações totalmente viáveis conforme foi demonstrado. Não há dúvida quanto à viabilidade de disposição de torta em pilhas e a disposição de pasta é somente questionada por alguns especialistas quando enfrenta períodos chuvosos. Entretanto, são tecnologias com OPEX e CAPEX maiores se comparados ao espessamento em espessadores convencionais e disposição em barragens. A tecnologia de produção do Metakflex já é usada industrialmente e há equipamentos de porte industrial disponíveis no mercado, bem como está disponível no Brasil laboratório para testes de bancada e piloto, que permite simular e testar a qualidade do Metakflex e estimar os custos de produção para cada tipo de matéria prima.

Porém, a tecnologia de produção do Metakflex abre potencial para a utilização comercial desses estéreis finos ou argilosos, com geração de novas receitas, que podem cobrir esses custos mais elevados e, ainda, gerar lucros. A pasta pode ser misturada ao Metakflex, como é feito há décadas nos sistemas de backfill de minas subterrâneas, em épocas chuvosas e acelerar a consolidação da mesma nos bancos das pilhas a céu aberto, eliminando essa dúvida levantada por alguns especialistas. Portanto, todas as tecnologias citadas neste artigo estão disponíveis no mercado nacional ou internacional em escalas de bancada, piloto e industrial.

4 CONCLUSÕES

A transformação de rejeito argiloso de mineração em produto gerador de receita e, ao mesmo tempo, promover a eliminação do sistema de barragem de estéreis mostra que o uso de Metakflex associado ao

sistema de produção de pasta ou torta de filtro pode ser um caminho muito promissor para a mineração atual. O sistema proposto elimina os grandes riscos apresentados pelas estruturas de barragens.

Ao criar um novo produto com os estéreis argilosos, cria a abertura para o desenvolvimento de suas aplicações e entrada de novas receitas. Em função do aumento gradativo dos mercados, há a criação de potencial para a cobertura dos novos custos com o tratamento de estéreis e, com a consolidação dos novos produtos, poderão ocorrer até novos lucros, além daqueles obtidos com a venda dos produtos minerais.

A grande e quase ilimitada utilização do cimento Metakflex permitirá o desenvolvimento de grande mercado, pois o Metakflex, produzido de estéreis argilosos de minerações, tem, com certeza, custos muito menores em relação aos cimentos calcários disponíveis no mercado nacional e internacional.

A segurança da disposição desses estéreis em pilhas a céu aberto em substituição às barragens é um benefício adicional de imensurável valor, pois, com certeza, evitará as trágicas consequências dos rompimentos dos maciços das barragens de polpas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

Gama E.M.*et all* (2014).Moderna planta piloto de aglomeração a frio de finos de minérios de ferro empregando disco pelotizador scarabaeus-1000. *Contribuição técnica ao 44º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

Gama E.M., Gomes A.M., Vieira C.B. (2014).Aproveitamento de capeamento de minas de minério de ferro através de processo de calcinação flash para produção de ligante de alta resistência. *Contribuição técnica ao 44º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

Gama, EM.(2008); inventor; Universidade Federal de Ouro Preto, Cessionário.Processo de preparação de metakflex aglomerante de alta resistência de produtos e processos que venham a utilizar metakflex. Brasil patente no Brasil PI 0604142-6A. 22 de Abril de 2008.

Gama, EM.*et all*(2014). Planta piloto de produção de Metakflex e seu uso como aglomerante no pelotamento de minério de ferro. A ser publicado no Anais do 2º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro da ABM. Belo Horizonte, Setembro de 2014.

Silva, GS. (2014). Calcinação flash de lamaz de barragem de rejeito para a produção de metakflex e o seu emprego como aglomerante no pelotamento deconcentrados de minérios itabiríticos. Proposta de monografia de final de curso de engenharia metalúrgica. Universidade Federal de Ouro Preto. 59p. 2014.

TU Bergakademie Freiberg; Haver Engineering GmbH,. Meißen/Deutschland – Germany. 2014. Disponível em: <<http://www.haverengineering.de>>

Acesso em: 21 julho 2016.

Albuquerque L.H., Gomes R.C (2005). Revista Solos e Rochas Volume 1.

Araujo, A. C., Valadão, G. E. S., Hernández, C. A. O. (2004). Novas Alternativas para Disposição dos Estéreis: É Possível se Quebrar Alguns Paradigmas? XX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Florianópolis, v.2. p.169 – 176.

Gama, E. M., Gomes, A. M., Valadão, G. E. S., GALERY, R., HERNÁNDEZ, C. A. (2004). Estéreis de Mineração Transformados em Pozolana de Alta Reatividade Meta Caulim. III Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto - III Congresso Brasileiro de Mina Subterrânea, 2004, Belo Horizonte. CDROM.

Gama, E. M. (2003) patente FR98001149 . PI 9809941-8.

Jewell, R. (2002). Paste & Thickened Tailing (P&TT), (2002) Australian Mining Industry. High Density & Paste 2002 Seminar, Santiago - Chile, Apresentações digitais.

Jung, S. J., Biswas, K., (2002). Review of Current High Density Paste Fill and its Technology. Mineral Resources Engineering, Idaho. USA, Vol. 11, No. 2, p. 165-182.

Laudriault, D. (2002). The Surface Disposal of Industrial Waste: Slurry Placement v/s High Density Slurry Placement v/s Placement as a Paste. High Density & Paste 2002 Seminar, Santiago - Chile, Digital presentations. Santiago, 2002.

Mitchell, R J et al Geotech Journal (1982). vol 19 pp 14-28.

Rice, S. (2002). Dewatering Tailings for Surface . Tailings Management. High Density & Paste 2002 Seminar, Santiago - Chile, apresentações digitais.

Richard Jewell (2003). Centre of Geomechanics . Austrália.

Sofrá, F., Boger, D. V. (2002). Environmental Rheology for Waste Minimisation in the Minerals Industry. Chemical Engineering Journal, n.86, p. 319-330.

Van Deventer, J.S.J., Luckey, G. C. Sustainability in the Minerals Industry: Threat or Opportunity? (2003) XXII International Mineral Processing Congress, Cape Town . Africa do Sul, p. 29-30.

Territórios e patrimônios na lama das negociações: desafios para a museologia comunitária na Barragem de Fundão

Territories and heritage in the mud of negotiation: challenges for community museology at the Fundão

Territorios y patrimonio en el fango de las negociaciones: desafios a la museología comunitaria en la presa Fundão

Marcia Arcuri¹, Paulo Otávio Laia², Rodrigo Suñer³

RESUMO

Este ensaio propõe uma reflexão sobre os processos de salvaguarda e gestão do patrimônio cultural impactado pelo rompimento da Barragem de Fundão (Samarco/Vale/BHP Billinton), ocorrido no município de Mariana – MG, em novembro de 2015. A discussão enfoca os bens arqueológicos, históricos e paisagísticos de áreas dos distritos de Bento Rodrigues, Paracatu e Gesteira que foram destruídas pelo desastre e reúne informações obtidas em diferentes contextos do debate sobre a “recuperação” e salvaguarda dos bens culturais impactados. Os conceitos apresentados seguem a perspectiva museológica, em diálogo com referenciais teóricos dos campos da arqueologia, antropologia, sociologia e história. São abordadas discussões sobre os patrimônios culturais “esquecidos”, “selecionados”, “apropriados” ou “ressignificados”, temas que ganharam espaço notável nos estudos das Ciências Humanas e das Ciências Sociais Aplicadas a partir de meados dos anos 1980. O texto visa, por fim, questionar os moldes em que estão sendo conduzidos alguns processos de resgate do patrimônio cultural desses distritos e alertar para a

¹ Professora Adjunta do Departamento de Museologia da Universidade Federal de Ouro Preto Pesquisadora do Laboratório de Pesquisas em Arqueologia, Patrimônio e Processos Museológicos Comunitários (LAPACOM) e do Laboratório de Estudos Interdisciplinares sobre Tecnologia e Território do Museu de Arqueologia e Etnologia da USP (LINTT/MAE/USP).

² Graduando em Museologia Pesquisador do Laboratório de Pesquisas em Arqueologia, Patrimônio e Processos Museológicos Comunitários (LAPACOM)

³ Doutor em Arqueologia pelo Museu de Arqueologia e Etnologia da USP

necessidade de promover o protagonismo das populações atingidas nas discussões sobre suas memórias e no projeto de musealização do território impactado.

PALAVRAS-CHAVE: Museologia Comunitária, Arqueologia, Patrimônio Cultural, Território, Memória

ABSTRACT

This essay aims to discuss the procedures related to cultural heritage preservation and management after the disruption of Fundão Dam (Samarco/Vale/BHP Billinton), Mariana - MG, on November 2015. It focuses on the archaeological, historic and landscape cultural “resources” of Bento Rodrigues Paracatu and Gesteira, districts which were most severely impacted by the disaster. The conceptualization follows a museological perspective, in dialogue with theoretical frameworks of archaeology, anthropology, sociology and history fields. Issues as the “forgotten”, “selected”, “appropriate” or “reinterpreted” cultural heritage are at stake. It presents a critique of the way cultural heritage “rescue” is being conducted in those districts and draw attention to the need to promote the role of the communities directly affected by the disaster in the discussions about their memories and in the project of musealizing the impacted territory.

KEY WORDS: Community Museology, Archaeology, Cultural Heritage, Territory, Memory

RESUMEN

Este ensayo propone una reflexión sobre los procedimientos de salvaguardia y gestión del patrimonio cultural afectado por la interrupción de la presa Fundão (Samarco / Vale / BHP Billiton), que se produjo en el municipio de Mariana - MG, en noviembre de 2015. La discusión se centra en los bienes arqueológicos, históricos y paisajísticos de los distritos Bento Rodrigues, Paracatu y Gesteira que fueron destruidas por el desastre. Recopila información obtenida en diferentes contextos del debate sobre la “recuperación” de los bienes culturales afectados. Los conceptos que se presentan siguen la perspectiva museológica, en diálogo con los marcos teóricos de los campos de la arqueología, la antropología, la sociología y la historia. El texto enfatiza discusiones sobre el patrimonio cultural “olvidado”, “seleccionado” o “resignificado”, cuestiones que han ganado espacio notable en los estudios de Humanidades y Ciencias Sociales a partir de mediados delos

años ochenta. Cuestiona, por fin, la forma en que se están llevando a cabo los procesos de rescate del patrimonio cultural de estos distritos y llama la atención sobre la necesidad de promover el protagonismo de las comunidades directamente afectadas en las discusiones acerca de su memoria y del proyecto de musealización del territorio impactado.

PALABRAS CLAVE: Museología Comunitaria, Arqueología, Patrimonio Cultural, Territorio, Memoria

Introdução

Tudo muda de verdade quando a história profunda [a longa duração], começa a fluir, pouco a pouco, em outro sentido; quando uma ruptura profunda se instala lentamente, enorme greta onde é tragada a história ardente que os homens vivem no dia-a-dia.

Fernand Braudel

Este ensaio tem o objetivo de refletir sobre os processos de salvaguarda e gestão do patrimônio cultural desencadeados a partir do rompimento da Barragem de Fundão, no município de Mariana – MG, ocorrido no dia cinco de novembro de 2015. A perspectiva da reflexão é museológica e o foco recai sobre os bens culturais arqueológicos, históricos e paisagísticos das áreas destruídas pelo desastre, nos distritos marianenses de Bento Rodrigues e Paracatu, e no distrito de Gesteira, pertencente ao município de Barra Longa. Os dados apresentados foram reunidos a partir do contato com diferentes atores envolvidos nesses processos, de forma que a discussão se pauta, em parte, em informações obtidas a partir de falas públicas, publicadas pela grande mídia ou absorvidas de relatos individuais de pessoas contatadas pelos autores. Dois eventos foram particularmente importantes para a reunião de informações oficiais, uma audiência pública realizada em Mariana, no dia 19 de abril deste ano e o *Seminário de Balanço de Seis Meses do Desastre da Samarco*, organizado pela Fundação

Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) em parceria com outras seis entidades⁴. O texto também inclui relatos colhidos em visita técnica ao distrito de Gesteira (município de Barra Longa) realizada por Paulo Otávio Laia.

Ciente da impossibilidade de “reparação” justa aos danos socioambientais acarretados pelo descontrole do empreendimento minerador da SAMARCO/Vale/BHP Billiton, a discussão proposta elenca questões relativas ao patrimônio cultural dos territórios⁵ imediatamente atingidos a jusante da barragem, especificamente nos distritos marianenses de Bento Rodrigues e Paracatu de Baixo; e Gesteira, distrito de Barra Longa. É necessário pontuar, porém, que o desastre arrasou a vida dos habitantes de uma área muito maior, incluindo as cidades Rio Doce e Santa Cruz do Escavado, afora todas as áreas contaminadas da bacia do Rio Doce e do litoral do Espírito Santo. Trata-se de vasta região que hoje é testemunho da imensurável fragilidade vivida pelas populações direta e indiretamente atingidas pelo desastre.

Memórias, patrimônios e representações: lembranças do esquecimento

Nas duas últimas décadas a produção acadêmica promoveu um debate intenso acerca dos patrimônios culturais “esquecidos”, além daqueles “selecionados”, “apropriados” ou “ressignificados”. São temas que ganharam espaço notável nos estudos das Ciências Humanas e das Ciências Sociais Aplicadas realizados no Brasil, alcançando

⁴ A realização do seminário contou com a parceria do United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR), da Rede de Pesquisadores em Redução do Risco de Desastres no Brasil (RP-RRD-BR), do Grupo Política, Economia, Mineração, Ambiente e Sociedade da Universidade Federal de Juiz de Fora (PoEMAS/UFJF), do Grupo de Estudos e Pesquisas Socioambientais da Universidade Federal de Ouro Preto (GEPSA/UFOP), do Grupo de Estudos em Temáticas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais (GESTA/UFMG) e da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

⁵ A conceituação do termo “território” conta com vasta bibliografia, abrangendo diferentes entendimentos que variam entre perspectivas do direito e da soberania, outras de viés mais econômico e ainda aquelas que privilegiam aspectos culturais. Optamos por adotar o conceito de território como espaço habitado ou reconhecido a partir das relações, materiais e subjetivas, que determinada população estabelece com o meio.

especial amadurecimento nas reflexões dos campos da museologia, da arqueologia e da antropologia a partir de meados dos anos 1980. Atentos às interfaces entre tais áreas de conhecimento, destacaram-se alguns autores, como Ulpiano Toledo Bezerra de Meneses (1984), José Reginaldo Gonçalves (1996), Maria Cristina de Oliveira Bruno (1995), Mário Chagas (1995), Manuel Ferreira de Lima Filho (2001), Pedro Paulo de A. Funari (2001), Fabiola Andrea Silva (2002), Manuelina Cândido Duarte (2003), Regina Abreu (2005), Marcia Bezerra (2006), Cornélia Eckert (2006), Yara Mattos (2007), Lúcio Meneses Ferreira (2008a), Aline Vieira de Carvalho (2008), Carla Gibertoni Carneiro (2009), Camila Moraes Wichers (2010) e Andrea Dias Vial (2015), entre tantos outros que poderiam estar aqui citados⁶. No debate internacional, a crítica sobre a parcialidade dos conceitos de patrimônio, memória e da concepção pós-moderna de bens culturais – na sua relação com o neocolonialismo das políticas hegemônicas – tornou-se referencial nos trabalhos de Deetz (1977), Nora (1984), Halbwachs (1992), Néstor García Canclini (1989), Pollack (1989), Huyssen (2000), Meskell (2002), Hamilakis (2005), Žižek (2007), e particularmente na arqueologia vem sendo muito debatida nos textos de Holtorf (2007), Ruibal (2008), Gnecco (2009), Connerton (2009) e Orser (2010).

A discussão promoveu novos olhares, capazes de entender como os bens culturais, de natureza material e imaterial, constroem significados e ressignificações na representação pública de identidades individuais e coletivas sobre territórios plurais, dinâmicos e em acelerada transformação. Tornou-se mais compreensível aos pesquisadores das disciplinas afins da antropologia, por exemplo, que as representações étnicas ou grupais são permeadas por uma teia de relações que deve ser observada de forma contextual, cujas especificidades não podem ser ignoradas. Conforme colocado pelo antropólogo Clifford Geertz:

“O conceito de cultura que eu defendo, (...) é essencialmente semiótico. Acreditando, como Max Weber, que o homem é um animal amarrado a teias de significados que ele mesmo teceu, assumo a cultura como sendo essas teias e sua análise;

⁶ Optamos por referenciar apenas um trabalho de cada autor citado, em ordem cronológica de publicação, apesar de muitos deles apresentarem vasta produção sobre a temática em questão.

portanto, não como uma ciência experimental em busca de leis, mas como uma ciência interpretativa, à procura do significado.”(Geertz 1973:15).

Por esta perspectiva de cultura, os sítios arqueológicos e suas inserções nas paisagens podem ser entendidos como “agentes” construtores nessa teia de significados, pois são espaços com elevado potencial de apropriação social, naturalmente articuladores de memórias e representações. São inumeráveis os estudos de caso, em esfera nacional e internacional, que atestam a apropriação comunitária do patrimônio arqueológico como recurso para o fortalecimento do vínculo com o território. Em processos de homologação ou proteção de terras indígenas, em áreas que apresentam conflitos fundiários entre comunidades tradicionais e as múltiplas facetas da exploração capitalista da terra, bens culturais arqueológicos tornaram-se ativos na esteira das negociações patrimoniais, particularmente em processos de licenciamento ambiental. Há de se considerar, porém, a particularidade do caso aqui em questão. Muitos dos antigos componentes históricos e paisagísticos do patrimônio cultural das áreas atingidas pelo rompimento da Barragem de Fundão tornaram-se, em um só golpe, “bens arqueológicos”, ao serem soterrados pela lama.

Gosto amargo no Rio Doce: o “balanço de seis meses”

Nos dias 05 e 06 de maio de 2016 foi realizado, no município de Mariana, o seminário *O Desastre da Samarco: balanço de seis meses de impactos e ações*. O evento, além de articular pesquisas e ações em andamento, visava pactuar o compromisso de reivindicar a inclusão das populações atingidas na esfera das negociações referentes às indenizações e reparações sobre os danos socioambientais causados sobre as áreas direta e indiretamente atingidas pelo rompimento da Barragem de Fundão. Evocou-se a necessidade de se pautar uma agenda pelo não esquecimento da dimensão dos impactos sobre a vida das populações que ali habitam ou habitavam, no sentido da urgência de se repensar modelos de desenvolvimento mais horizontais e menos predatórios. Ao final das apresentações, que reuniram

representantes das comunidades atingidas, de entidades de interesse da sociedade civil, do poder público, de acadêmicos e de gestores de entidades de fomento à pesquisa, foi publicada a Carta do Rio Doce - Watu(06/05/2016), documento do qual destacamos dois trechos:

“Passados seis meses do rompimento da Barragem de Fundão, da Samarco/Vale/BHP Billiton, o desastre se perpetua em uma crise crônica, sentida diariamente para além dos impactos imediatos, visíveis e mensuráveis. Desde o dia 05 de novembro de 2015, pessoas e comunidades ao longo da Bacia do Rio Doce continuam sofrendo, dentre vários fatores, por restrição de acesso à água de qualidade, por impedimento de desempenharem atividades econômicas e sociais, por terem a saúde fragilizada, por verem seus modos de vida territorializados profundamente transformados a ponto de comprometerem a sua reprodução social e pela inadequação de ações institucionais que desconsideram suas necessidades e direitos fundamentais. Tais efeitos, e seus desdobramentos, se manterão presentes na realidade da região ainda por muitos anos, perenizando a tragédia...

(...) Logo após o rompimento da barragem, o Estado de Minas Gerais publicou a Lei no 21.972/2016, que define os prazos máximos para a concessão das licenças ambientais, independente da análise dos Estudos de Impacto Ambiental pelos órgãos de monitoramento. No mesmo período, o Senado aprovou o Projeto de Lei no 654/2015, de autoria do Senador Romero Jucá (PMDB/RR), que seguia as mesmas linhas gerais. Ainda, a Comissão de Constituição e Justiça do Senado aprovou a PEC no 65/2012, de relatoria do Senador Blairo Maggi (PR/MT), que define que a mera apresentação de um estudo prévio de impacto ambiental já autorizaria a execução de obras, que, nesses termos, não poderão ser suspensas ou canceladas a

não ser em face de fatos supervenientes. Tais decisões institucionais... representam flagrante retrocesso na legislação ambiental.”

O texto da carta, na sua íntegra, é cirúrgico. Alerta para a necessidade de se observar as múltiplas faces de um problema que pode ser equivocadamente interpretado por ópticas disciplinares isoladas. Algumas tendem aos interesses econômicos que observam o potencial da mineração no território mineiro; outras atentas à biodiversidade ou à diversidade sociocultural da mesma região. Os argumentos podem ser cientificamente justificados, as políticas públicas podem alegar uma representatividade regional ou nacional; porém, algumas questões permanecem à margem do discurso oficial: é ainda possível defender que a mineração é a exclusiva vocação econômica dessas áreas? Quantos “territórios” estão em jogo? Quem vive aos pés das barragens?

As comunidades de Bento Rodrigues (distrito de Mariana) e Gesteira (distrito de Barra Longa), sofreram marcas profundas decorrentes do rompimento da barragem. Lama e poeira são marcas que permanecem e permanecerão incrustadas em todos os tipos de corpos, vivos ou mortos. O barro tóxico enterrou edificações, a biodiversidade da flora e fauna e, fatalmente, pessoas. A poeira hoje se deposita cotidianamente nos pulmões e nas memórias de seus habitantes.

Os distritos mais atingidos pelo rompimento da Barragem de Fundão possuíam cerca de 300 anos de história. Nesse espectro temporal a presença da Samarco é efêmera, mas sua mineração predatória conseguiu dar fim à história local de mineração. Sucessivas gerações que ali viveram constituíram a identidade desses lugares que vieram da agricultura familiar e da mineração manual durante séculos. As primeiras capelas de Bento Rodrigues e Paracatu foram construídas por volta de 1718 e 1730, respectivamente. Foram reconhecidas por seu valor histórico e cultural muito antes do desastre. Estudos realizados nessas localidades também haviam identificado sítios arqueológicos que foram arrasados pela lama. Em um aparente paradoxo, o desastre formou novos sítios arqueológicos, tema que será retomado adiante.

Diante da profundidade histórica que compõe o patrimônio cultural de Bento e Paracatu, talvez a tarefa mais árdua seja mapear o patrimônio cultural intangível igualmente devastado pelo mar de lama e as lembranças que chegam como vagas periódicas.

“Desde o dia 05 de novembro meu filho, de quatro anos, é outra criança. De menino doce e tranquilo tornou-se birrento, nervoso...”

A fala de Maria do Carmo Dangelo, moradora de Paracatu, nos diz muito sobre as transformações em curso na vida dos atingidos. Seu pai, de oitenta e quatro anos e também desabrigado, viu-se obrigado a deixar para trás o lugar das memórias, a antiga Paracatu.

“No meu desespero para tirar meus pais de casa antes que a lama passasse [o que viria a acontecer por volta das dez da noite chegando à altura do telhado], ouvia deles que nada aconteceria, afinal eles ali estavam há cinquenta anos e muitas enchentes já tinham ocorrido [a casa tinha uma fundação própria para enfrentar as cheias]..., eu não precisava de preocupar...”

A resistência dos pais de Maria do Carmo em acreditar em seu relato sobre o que aconteceria a qualquer momento era natural, afinal em Bento não tocaram as sirenes. Viver ao pé de uma barragem de rejeitos havia se tornado parte do cotidiano das pessoas desde o dia em que lhes foi noticiado que assim seria. Transformações que haviam sido justificadas como necessárias, e que se impuseram a um território já há muito habitado. Assim como depoimento de Maria do Carmo, são inúmeros os relatos, as queixas, os movimentos em busca de orientação, de soluções para a retomada da vida cotidiana... hoje apenas uma lembrança. Seis meses após a passagem da avalanche de lama, o saldo apresenta-se como um crescente de dias marcados por imagens concrecionadas do território distante, no caso dos desabrigados, ou pela experiência diária do convívio com o horizonte

de lama, com o cheiro amargo dos rejeitos e com a nuvem de poeira levantada pelas centenas de carros, máquinas e trabalhadores que seguem movimentando-se em um território que para muitos se tornou estranho, sem os antigos lugares de memória, objeto do desafeto. Maria do Carmo clamou, “... quero voltar a sonhar; não quero voltar para lá”.

Bento: terra arrasada?

No dia 19 de abril de 2016 foi realizada a primeira audiência pública organizada pelo Conselho Municipal do Patrimônio Cultural de Mariana (COMPAT) com o intuito de anunciar e discutir com as populações atingidas a abertura do processo de tombamento provisório da Igreja de Nossa Senhora das Mercês (não restou quase nada da capela de São Bento), em Bento Rodrigues; e da Igreja de Santo Antônio, de Paracatu. A proposta de tombamento se deu por iniciativa conjunta do COMPAT e do Ministério Público Estadual. O coordenador da Promotoria de Justiça de Defesa do Patrimônio Histórico, Cultural e Turístico de Minas Gerais, Marcos Paulo de Souza Miranda, apresentou a complexidade e a fragilidade da situação, defendendo que o tombamento do patrimônio cultural serviria como um instrumento de proteção que poderia ser estendido por toda a área destruída das comunidades de Bento e Paracatu. Em entrevista veiculada um dia após a audiência, a presidente do COMPAT, Ana Cristina de Souza Maia, também defendia que o tombamento seria uma forma de “preservar os lugares onde as pessoas viveram, criaram a família e enterraram seus mortos”⁷.

Ainda na audiência, a fala do promotor público abriu espaço a todos os tipos de reivindicações, apresentadas pelos atingidos. Sem exceção, eles se dirigiam ao representante da Samarco retomando problemas de todas as escalas e ordens em relação ao descumprimento das obrigações e indenizações que deveriam ser assumidas pela empresa. As questões específicas referentes ao patrimônio cultural permaneceram longínquas diante de tantos problemas habitacionais, fundiários, de saúde física e psíquica que se repetiam nas falas dos moradores.

⁷ Acessado em <http://www.em.com.br/app/noticia/gerais>, no dia 20/04/2016.

Elas voltaram à tona apenas no final da audiência, quando se tornou público o desconhecimento das autoridades presentes, tanto do IPHAN quanto do Ministério Público Estadual de Minas Gerais, de que a Samarco já iniciara a construção do chamado “dique quatro”. Estrutura prevista para ser construída na parte baixa de Bento Rodrigues, o dique quatro foi uma alternativa apresentada pela Samarco para reforçar as estruturas de contenção dos rejeitos que, segundo relatórios ambientais, seguem vazando para a bacia do Rio Doce. A construção do dique quatro significaria, também, o alagamento daquilo que restou da área central de Bento e um passo definitivo no sentido de declará-lo como “terra arrasada”. Ainda anterior, porém, é a disputa pelos direitos fundiários da família que é proprietária do terreno escolhido para a construção daquele dique, cuja representante estava presente na audiência e afirmou que sua família sequer tinha sido contatada, apesar de haver relatos de antigos moradores sobre a movimentação das máquinas em sua propriedade. A audiência pública de 19/06/2016 parece ter provocado uma mescla de esperança e inconformismo entre os participantes. Não há dúvida de que a divulgação de informações fortaleceu alguns coletivos engajados em exigir a justa responsabilização pelos fatos, além do acesso às informações e à área atingida. Este é um movimento que tem crescido em esfera local e regional, que conta com o intenso trabalho que vem sendo conduzido pelas promotorias públicas municipal e estadual, bem como pelo MAB (Movimento de Atingidos pelas Barragens).

Há de se refletir, contudo, sobre os processos de patrimonialização e a escala de protagonismos envolvidos. Para fundamentar essa reflexão, serão aqui analisados conceitos dos campos da arqueologia, da museologia e da antropologia, assim como a relação entre eles. Tal escolha se apoia nas circunstâncias observadas e na necessidade de se discutir criticamente os processos que já estão em curso. O primeiro deles é o “resgate do patrimônio cultural” e o entendimento arqueológico dos bens em subsuperfície enterrados pela lama. O segundo é a proposta que vem sendo discutida de criação de um

memorial, ou alternativamente, de um museu de território, e as bases conceituais da problemática gerada pelo alijamento das populações atingidas dos espaços em que se dão as ações patrimoniais em curso.

O caso Gesteira: cerceamento do acesso aos bens sacros que “se tornaram arqueológicos”

Em visita realizada nos dias 08 e 09 de abril ao distrito de Gesteira, localizado a 8,2 Km do município de Barra Longa (Imagem 1), Laia⁸ teve a oportunidade de conversar com um membro da equipe de arqueologia da Arcadis Logos, empresa responsável pelo monitoramento arqueológico das ações de remoção da lama das áreas diretamente atingidas pelo desastre nos distritos de Gesteira, Bento Rodrigues e Paracatu. Encontra-se no escopo do trabalho arqueológico identificar possíveis ocorrências de bens culturais, ações que cumprem determinação do Ministério Público Estadual de Minas Gerais por meio da aplicação de Termo de Ajuste de Conduta (TAC).



Imagem 01 – Trajeto entre a cidade de Barra Longa e o distrito de Gesteira – Minas Gerais.
Fonte: Google Earth – 2016.

⁸ A visita foi realizada por pesquisadores da UFOR, do IFMG e da UFMG que integram o Grupo GEPSA, atendendo ao convite realizado pelo morador Sérgio (Papagaio) e pelo coordenador estadual (MG) do Movimento de Atingidos por Barragens – MAB, Thiago Alves.

De acordo com relatos dos moradores de Gesteira, algumas peças foram resgatadas de dentro da Igreja Nossa Senhora da Conceição, por iniciativa dos próprios moradores, que guardaram as mesmas em suas residências. Posteriormente o acervo resgatado pelos moradores foi reunido pelo pároco local⁹. Na ocasião da visita técnica, a Igreja de Nossa Senhora da Conceição (Imagem02) encontrava-se cercada por tapumes de metal e, de acordo com o arqueólogo responsável, nenhum trabalho interventivo havia sido realizado no local até aquele momento. A lama atingiu uma altura de 1,80m em relação à base da edificação. Ao lado da Igreja, a Escola Municipal Gustavo Capanema teve a cobertura arrancada com o impacto da lama. Apenas 30% de sua estrutura permanecia acima da superfície. Assim como a edificação da Escola, moradias foram completamente tomadas pela lama (Imagem 03).



Imagem 02 -Panorama da Igreja de Nossa Senhora da Conceição e ao lado a Escola Municipal Gustavo Capanema. Povoado de Gesteira (Barra Longa – MG).
Foto: Paulo Otávio Laia

⁹ Ainda segundo os moradores, parte da imaginária teria sido levada à Igreja Matriz de São José, na sede municipal de Barra Longa, e outra a Mariana, onde passaria por higienização e restauro.



Imagem 03 - Ruína de edificação no povoado de Gesteira (Barra Longa – MG)

Foto: Paulo Otávio Laia

A visita a Gesteira levou a um diagnóstico similar àquele observado na audiência pública de Mariana, testemunhando os processos enfrentados cotidianamente desde o rompimento da barragem, que envolvem uma multiplicidade de atores e decisões, mas não alcançam o diálogo necessário com as comunidades atingidas. Em reunião realizada entre os pesquisadores do GEPSA, o representante do MAB e a comunidade paroquial de Gesteira, os moradores queixaram-se da falta de acesso à área da Igreja cercada, não compreendendo as razões do acautelamento, por exemplo. Uma moradora relatou, também, que seu marido havia presenciado o início do resgate de um “*anjo querubim*” de grandes dimensões, mas teria sido afastado pela equipe que trabalhava no local, por motivo de segurança. Estes depoimentos apontam certa dissociação entre os agentes “oficiais” de salvaguarda e a população local.

As circunstâncias geradas pelo rompimento da barragem de Fundão merecem especial atenção, porque tornam evidente a demanda de aproximação entre o conceito e a prática. Se por um lado é possível entender as diretrizes de salvaguarda e os procedimentos adotados em campo – atendendo aos dispositivos da legislação vigente – é

também necessário reconhecer o distanciamento das ações em curso dos paradigmas teórico-conceituais adequados a contextos tradicionais e comunitários.

Conforme já mencionado, atualmente os arqueólogos contam com uma profusão de estudos de casos e resultados de pesquisas conduzidas internacionalmente que conferem solidez ao debate teórico e fundamentam as chamadas “arqueologias do presente”, preocupadas em entender a materialidade da violência, valorizar as histórias de resistência, discutir o conceito de colonialidade e questionar marcos de um imperialismo contemporâneo. Como aponta Ferreira (2008a):

“A cultura material, mesmo a do mais remoto passado, pode servir aos diferentes grupos sociais para criar e valorizar identidades culturais. Ela é capaz de mediar relações políticas e sociais, de fortalecer hierarquias e poderes, legitimando-as por meio de testemunhos materiais que lhes dão sustentação (...) [Nesse sentido], quais são as vozes políticas que clamam pela salvaguarda do patrimônio e pela legitimidade de interpretação sobre o passado? E, especialmente, como os grupos subalternos se inserem nas políticas de representação do patrimônio?”

O “novo contexto arqueológico” que surgiu do rompimento de uma barragem construída pela Samarco/Vale/BHP Billinton, para além da destruição de sítios arqueológicos que ali se encontravam antes do desastre, configura-se como o “mar de lama” em que foram lançadas as demandas comunitárias que reivindicam sua inserção nos processos de “resgate” de memórias. Esse contexto apresenta-se como enorme desafio à gestão do patrimônio cultural, à prática arqueológica e às ações museais. Demanda a aproximação entre os atores influentes na esteira das negociações políticas e os atingidos. O principal obstáculo talvez não seja criar metodologia adequada ao resgate de bens culturais enterrados pelo barro concrecionado, quando as estratigrafias e os contextos deposicionais nos falam mais sobre as angústias do presente

do que das idiossincrasias do passado. Se as marcas das perdas forem apagadas, ou “lavadas”, o “patrimônio arqueológico” em questão não poderá respirar em meio à lama tóxica; pelo contrário, será apropriado como memória da desigualdade social, da violência e do desarrimo. Se for, por outro lado, assumido como evidência de um evento – termo caro à arqueologia – surgirá a oportunidade de se recriar um outro lugar de memória, passo essencial para a construção do árduo e longo processo de (re)territorialização.

Antes de aprofundar essa discussão, porém, é necessário lembrar a profundidade conceitual e histórica em que está assentado o debate sobre a pertinência de se estabelecer distinções entre os campos da materialidade e da imaterialidade do patrimônio cultural; tema intrinsicamente ligado ao processo de constituição do marco regulatório à gestão, e que em muito estimulou o debate acadêmico dos últimos vinte anos.

Fronteiras conceituais no marco legal: memória de quem?

Como apontado pelos antropólogos Manuel Ferreira de Lima Filho e Regina Abreu (2007), desde a promulgação do Decreto Lei 25 de 1936¹⁰, assistimos à prevalência de uma visão mais materialista do patrimônio cultural. O projeto de constituição da SPHAN, encabeçado por Rodrigo Mello Franco de Andrade, sufocara partes importantes do anteprojeto elaborado por Mario de Andrade, de cunho mais culturalista e antropológico. Foi apenas quando Aloísio Magalhães assumiu a presidência do IPHAN em 1979, trazendo na bagagem seu protagonismo na criação do Centro Nacional de Referência Cultural (CNRC), que saberes e fazeres tradicionais, imensuráveis na materialidade do patrimônio, passaram a ganhar força nos olhares da instituição. Entretanto, o redirecionamento da óptica patrimonial seria, em parte, comprometido pelo falecimento de Magalhães, em 1982. Os processos de inventário, registro e tombamento de bens culturais seriam fortalecidos, de fato, somente a partir dos

¹⁰ O Decreto Lei 25 de 1936 criou a Secretaria de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, instituição que mais tarde seria transformado no Instituto Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

anos 2000, com a promulgação do Decreto nº3551 de 2000¹¹, que colocava em ação o artigo nº216 da Constituição Federal de 1988¹². Naquele momento foi finalmente absorvida, no marco legal brasileiro, a reflexão crítica que também se consolidava, internacionalmente, a partir das diretrizes da UNESCO para o marco regulatório de proteção do patrimônio imaterial, oficializadas em 2001. De todo modo, considerada a importância da ampliação das categorias de patrimônio no espectro das ações de proteção, gestores passaram a enfrentar a problemática dos recortes que permeiam toda e qualquer “... prática de tombamento, de acordo com a qual são necessários critérios que possibilitem escolhas daquilo que deve ser preservado” (Lima Filho e Abreu 2007:35).

Lima e Abreu, assim como outros autores da coletânea *Antropologia e Patrimônio Cultural: Diálogos e Desafios Contemporâneos* (Lima Filho, Eckert e Beltrão 2007), questionam os limites definidos pela falsa dicotomia traçada entre a materialidade e imaterialidade do patrimônio, evidenciando os desafios ante à arbitrariedade dos processos de escolha, mesmo nos casos de justo reconhecimento de saberes e fazeres do chamado patrimônio “intangível”. Um exemplo dessa arbitrariedade, por exemplo, recai sobre o conceito de “conhecimento tradicional” que, pela ótica do multiculturalismo, pode se tornar ferramenta perigosa na legitimação de discursos nacionalistas, bem como de políticas econômicas e litistas que sustentam a categoria de “direitos difusos”. Abreu, em outro artigo publicado no mesmo livro, lembra que:

¹¹ Institui o Registro de Bens Culturais de Natureza Imaterial que constituem patrimônio cultural brasileiro.

¹² Dispõe sobre os bens de natureza material e imaterial, tomados individualmente ou em conjunto, portadores de referência à identidade, à ação, à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira.

“Para se legislar sobre a matéria e tomando-se como base o conceito de “conhecimento tradicional”, a intenção é identificar e proteger comunidades produtoras de conhecimentos singulares, específicos e únicos, seja na área da etnobotânica, seja na área da produção da arte e do artesanato. Mais uma vez, prevalece a idéia de proteção do “saber-fazer” (...) Ao iniciar o novo milênio, percebemos claramente que o campo do Patrimônio Cultural apresenta-se como um campo de conflitos e de interesses contraditórios... Podemos assinalar pelo menos duas mudanças significativas: a organização da sociedade civil e a afirmação do conceito antropológico de cultura com a conseqüente naturalização da noção de diversidade cultural. Paralelamente, novas forças vêm-se impondo, provocadas pelo tema da biodiversidade e da biotecnologia, o que complexifica mais ainda o debate.”(Abreu 2007:280-281)

O trecho acima aponta a problemática dos interesses conflitantes, quando o assunto gira em torno dos direitos individuais, coletivos, públicos, privados, autorias ou de patentes, nas esferas das cadeias produtivas. Na perspectiva da legislação, essa problemática ainda inclui o agravante do desequilíbrio entre os instrumentos de gestão pública dos recursos ecológicos e culturais da União. Talvez esse seja um dos motivos pelos quais o debate sobre a indissociabilidade dos componentes materiais do patrimônio cultural foi particularmente estimulado e apropriado pelos meios acadêmicos. Atentos à afinidade conceitual entre os campos da antropologia, da arqueologia, da museologia e da história, muitos pesquisadores optaram por reunir e comparar dados etnográficos, arqueológicos e históricos para qualificar a discussão. Na outra margem do rio, profissionais da gestão pública do patrimônio cultural, bem como aqueles atuantes nos projetos de caráter preventivo de impactos sobre os bens socioambientais, trilharam caminhos paralelos de identificação, registro e preservação de

bens culturais coletivos de todas as naturezas, raramente aproximando suas metodologias dos paradigmas interdisciplinares alcançados pelo referencial teórico. Assim, hoje a sociedade brasileira se vê diante da necessidade de refletir sobre suas múltiplas formas de compreender o patrimônio cultural, frente a um legado controverso: em parte as ações de patrimonialização legitimam a diversidade de formas de ocupação e uso do território (alertando sobre as especificidades e os interesses e das identidades locais e regionais); por outro lado, parte expressiva dos “agentes do patrimônio” segue arraigada nos velhos processos de construção de “uma memória nacional”.

Considerado esse descompasso entre a teoria e a prática, é justo lembrar, por outro lado, os avanços alcançados no sentido de aproximá-las. Como já discutido, o diálogo entre acadêmicos e gestores do patrimônio intensificou-se no Brasil a partir dos anos 1980. Com o objetivo de defender as diretrizes da constituição de 1988 para a democratização do acesso à educação e ampliação da noção de “herança cultural”, foram criadas ferramentas didáticas para se trabalhar o conceito de diversidade cultural. Em certa medida, tem-se que assumir que esse processo promoveu o paradoxal fortalecimento de políticas hegemônicas que se acobertaram sob as asas conceituais do multiculturalismo. Hoje, passadas duas décadas, enfrentamos dificuldades em nos livrar da homogeneidade de certas categorias alavancadas pela bandeira multicultural. Não obstante, é importante dar crédito ao fato de que sem ela, talvez, não se teria conquistado um olhar mais atento aos espaços legítimos de construção da gestão participativa nas políticas públicas.

Naquele contexto de formulação de novas práticas de gestão patrimonial, a arqueologia, a antropologia e a museologia tornaram-se esferas de produção de conhecimento indispensáveis à discussão das identidades territoriais, por lidarem com dados que explicitam o direito à memória local, esta muitas vezes dissonante do discurso sobre a “memória nacional”. No contexto de produção das ciências modernas de fins do século XX e início do século XXI, essas disciplinas encontraram, em sua própria maturação, o desafio da aplicabilidade

dos modelos e paradigmas teóricos. Tornava-se necessário criar espaço para o dinamismo das ressignificações, o que não agradava certas correntes teóricas. Talvez essa seja a conjuntura em que a museologia passou a assumir seu papel político, fortalecendo sua veia de Ciência Social Aplicada. Vale lembrar, inclusive, a convergência desta tomada de posição com os fundamentos sociológicos clássicos.

“O tipo de ciência social no qual estamos interessados é uma ciência empírica da realidade concreta. Nosso alvo é o entendimento da singularidade característica da realidade na qual nos movimentamos. Desejamos entender, por um lado, a relação de importância cultural, de acontecimentos singulares em suas manifestações contemporâneas e, por outro, a causa de serem historicamente dessa forma e não de outra.” (Weber apud Loewith 1978:45)

Os desafios para se construir processos participativos de gestão do patrimônio cultural hoje transcendem as críticas aos conceitos de identidade ou memória nacional. Questões que muitos defendem ser de interesse global, tais como as atividades de mineração, “a renovação” da matriz energética, o equilíbrio climático, as políticas de combate à fome e as demandas por avanços do conhecimento das indústrias farmacêuticas procuram tornar legítimos os processos de desterritorialização, em detrimento dos impactos irreparáveis que causam nas populações de baixa renda, nas comunidades tradicionais, àqueles que vivem à margem dos lucros.

Nas últimas décadas somaram-se dados de pesquisa que questionam a relação entre a magnitude dos impactos socioambientais e o grau de desenvolvimento econômico alcançado nas áreas diretamente afetadas por grandes empreendimentos. No rol de ações sustentadas pelo marco regulatório de avaliação, mitigação e compensação dos impactos ou danos irreparáveis ao patrimônio cultural, em específico, foram empregadas quantias consideráveis no “resgate” ou na preservação dos bens culturais. Indaga-se, porém, qual seria o saldo nesta equação?

Será a memória passível de mensuração?

Pensar as possíveis respostas para tais perguntas é, também, entender a mudança de paradigma ocorrida nas formas atuais de se reconhecer “o patrimônio”. Esta é uma discussão em que se encaixa na ideia do *presentismo*, de François Hartog (2003). Obviamente, ressignificar nossa compreensão do patrimônio nacional, a partir dos já referenciados paradigmas atuais, é um processo que pouco se aproxima da conjuntura da França atual, objeto de análise do autor. Por outro lado, a articulação dos referenciais sincrônicos e diacrônicos nos permite entender a dialética relação entre memória e patrimônio, uma relação que, em última instância, é definidora das noções de pertencimento e de identidade.

O maior desafio que vem sendo enfrentado pelos gestores do patrimônio cultural parece ser encontrar caminhos em que prevaleça o enraizamento e a ressignificação dos laços identitários de diferentes grupos, na sua relação com um território comum. Gerar **ações** eficazes que atendam aos diferentes atores e aos interesses conflitantes em um mesmo território requer a manutenção de olhares atentos às especificidades do contexto e às trajetórias marcadas pelo processo histórico. Na tarefa de compreender os processos que desencadeiam continuidades, transformações ou rupturas com o passado remoto de um determinado local, a arqueologia e a museologia talvez sejam parceiros ideais.

O tombamento provisório e as controvérsias sobre a musealização de Bento e Paracatu: da desterritorialização das memórias à “objetificação cultural”

Como já visto, a audiência pública realizada em Mariana no dia 19 de abril de 2016 teve por objetivo apresentar e discutir a proposta de tombamento provisório das ruínas das capelas de Bento Rodrigues e Paracatu para a comunidade de atingidos. E, conforme também mencionado, estão em foco neste ensaio os processos de “resgate” e musealização do patrimônio cultural daquelas localidades, em especial seus componentes histórico, arqueológico e paisagístico. Parte da

problemática a ser discutida recai sobre as dimensões conceituais e metodológicas implicadas na criação de um memorial, ou de um museu de território, que por natureza são equipamentos culturais muito distintos e que pressupõem processos de institucionalização fundamentados em óticas diametralmente opostas.



Imagem 04 - Bairro arruinado de Bento Rodrigues, Mariana – MG.

Foto: Felipe Floresti (Fonte: super.abril.com.br/ciência - consultado em 27/05/2016)



Imagem 05 - Detalhe de parede de domicílio em ruínas. Bento Rodrigues, Mariana – MG.

Foto: Avener Prado (fontes: folha.uol.br/o-caminho-da-lama – consultado em 27/05/2016)

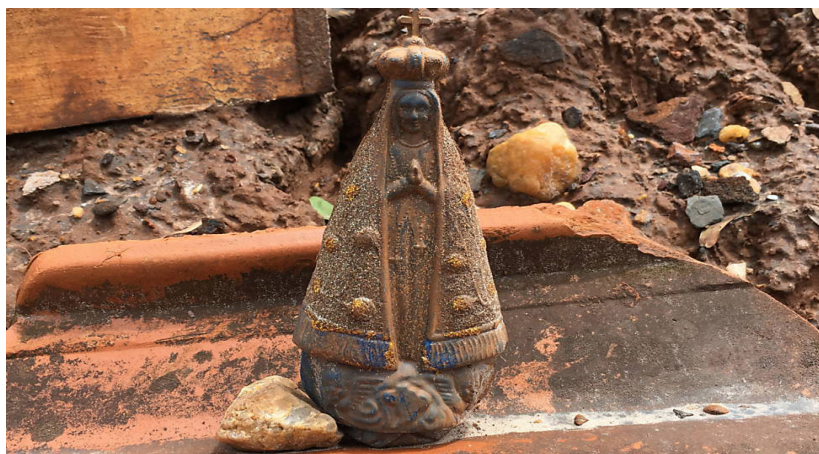


Imagem 06 - Imaginária resgatada da lama. Bento Rodrigues, Mariana - MG
Foto: Tadeu Jungle (Fonte: folha.uol.br – consultado em 27/05/2016)

Quando se compara o patrimônio cultural em destroços de Bento e Paracatú com as Torres Gêmeas de Nova York ou campos de concentração nazistas, na perspectiva de se criar um Memorial que nos lembrem dos crimes cometidos, assume-se que o principal público desta ação é a população mundial. De fato, é importante não se deixar esquecer que, nesse sentido, o memorial se torna uma importante ferramenta de luta ideológica. Porém, quando pensado o contexto específico aqui em questão, é preciso indagar: Que tipo de vínculo com a memória pode ser suscitado a partir do contexto em que hoje se encontram as áreas destruídas pelo rompimento da Barragem de Fundão? Como lidar com a polissemia dos bens culturais soterrados pela lama? Quais as leituras que podem ser feitas das imagens reproduzidas nas imagens quatro, cinco e seis?

Michael Pollack entende o campo da memória social como palco de permanentes disputas que incidem diretamente sobre a dinâmica entre a lembrança e o esquecimento (Pollack apud Abreu 2007:265). Seria importante indagar, seguindo esta linha de raciocínio, quem decidirá o que lembrar e o que esquecer do cotidiano que antecedeu e sucedeu ao dia 05 de novembro de 2016? Para as populações diretamente atingidas pelo rompimento da Barragem de Fundão, talvez a memória subjetiva do trauma não seja individualmente

escolhida. A boneca infantil, a foto na parede, o emblema com a mascote do time de futebol ou a santa tornaram-se, na materialidade dos recursos patrimoniais, símbolos de perdas individuais e familiares. Pela perspectiva comunitária, porém, o que esses bens testemunham é a realidade presente da inacessibilidade a tantas outras memórias da identidade comum a todos eles, uma identidade construída a partir de um território que se foi. Por isso, falar da memória de um território para comunidades desterritorializadas é um desafio permeado de enorme complexidade. Promover lembranças nostálgicas da perda talvez não seja o caminho ideal para se trabalhar a memória a partir de um lugar “outro”.

Como defendia Waldisa Russio Guarnieri (1989), “o museu é, e sempre será, um agente da utopia”. Razão pela qual caminhos a serem escolhidos não podem ser os mais fáceis, ou mais rápidos. Como implantar um museu de território em um contexto onde a população que ali vivia há muitas gerações perdeu a batalha para uma única vertente vocacional, aquela conhecida pela sigla P4P (Projeto Quarta Pelotização)¹³?

Para entender o contexto em que surgiram os conceitos de museus de território, museus de percurso, museus comunitários ou ecomuseus é necessário mergulhar na história da formação do campo disciplinar. A museologia percorreu, ao longo do século XX, uma trajetória de fortes transformações conceituais e paradigmáticas, afastando o campo museal da vertente evolucionista dos museus enciclopédicos do século XIX. No Brasil, a política de promoção de uma “identidade nacional” nasceu das celebrações do centenário da independência – contexto em que foi criado o Museu Histórico Nacional do Rio de Janeiro – edificando os pilares que, ainda hoje, sustentam em parte o marco legal de proteção do patrimônio cultural e as diretrizes do Plano Nacional de Cultura. Desde a realização do Primeiro

¹³ De acordo com o Relatório Anual de Sustentabilidade da Samarco, o “Projeto Quarta Pelotização” significou um crescimento de suas estruturas em 98%, em 2013, com um objetivo de alcançar no ano seguinte a meta de crescimento da capacidade de produção em 37% - 30,5 milhões de toneladas de pelotas de minério de ferro ao ano (Fonte: Relatoweb.com.br, consultado em 18/05/2016).

Congresso Nacional de Museus, ainda na década de 1950, o campo museal foi, passo a passo, ocupando posição central na discussão de identidades culturais, enfrentando o duplo e quase paradoxal desafio de encontrar soluções adequadas à aplicação das políticas públicas de gestão do patrimônio cultural e, ao mesmo tempo, refletir teórica e conceitualmente sobre os contextos históricos e sociais a partir dos quais se praticaram colecionamentos, foram criadas instituições e foram eleitos os chamados “bens culturais da memória nacional”.

Com práticas que serviram de fontes ao debate acadêmico, os museus também exerceram protagonismo institucional (mesmo que nem sempre reconhecidos como tal), pois são, e sempre foram, espaços naturalmente orientados à sociedade, e por isso articuladores de memórias e representações sociais (Mattos 2007). Em *Antropologia dos Objetos: Coleções, Museus, Patrimônios*, José Reginaldo dos Santos Gonçalves nos lembra que o museu é entendido:

“...como o *locus* de cruzamento de uma série de relações de ordem epistemológica, social e política, configurando-se em áreas estratégicas de pesquisa e de reflexão para o entendimento das relações sociais, simbólicas e políticas entre diversos grupos e segmentos sociais, em especial aqueles que se fazem presentes nos contextos coloniais e pós-coloniais” (Gonçalves 2005:11).

Instituições lideradas por intelectuais influentes e engajados na formulação de políticas públicas, os museus exerceram, assim como as universidades, importante papel político em processos de descolonização conceitual e de reconhecimento de demandas sociais que viriam a resultar na já mencionada revisão do marco legal de preservação do patrimônio cultural, material e imaterial. Obviamente foram articulações que não dependeram apenas das instituições e intelectuais brasileiros, envolvendo quase todos os países da América

Latina. A *Declaração de Santiago*¹⁴(1972) e a *Declaração de Caracas*¹⁵ (1992) tornaram-se, para a museologia, pedras fundamentais que ainda hoje norteiam as ações dos museus comunitários, ecomuseus, museus de território, museus de percurso.

A *Declaração de Santiago* definira novos paradigmas às ações dos museus, em plena era das ditaduras sul-americanas. Ali nasceu o conceito de *Museu Integral* (Varine-Bohan 1972:2007). O museu deixa de ser um espaço sobre um determinado segmento social ou populacional, para se tornar uma instituição destinada a proporcionar à comunidade uma visão de conjunto dos bens materiais e imateriais do território em que se inserem a comunidade e o seu museu. Com este novo olhar, o museu sai de seu papel catalizador, para se afirmar a partir de movimentos articuladores e promotores de ações “extra-muro”, sendo entendido enquanto potente instrumento de mudança social e desenvolvimento local (Franco, Vial e Arcuri 2010). Vinte anos mais tarde a *Declaração de Caracas*, reforça os princípios definidos em Santiago do Chile, estabelecendo um pacto entre os países signatários pela incorporação da cultura como “consciência do particular, do local, em uma espécie de contrapartida à globalização”. Pela perspectiva antropológica, as diretrizes propostas em ambos documentos pressupõem a compreensão de que as escalas e valores que definem o patrimônio são muito variáveis e muitas vezes até contraditórias.

“a noção de patrimônio com a qual nos habituamos está diretamente relacionada a uma concepção linear de tempo (...) Nas chamadas sociedades tradicionais, o tempo é representado como resultado de uma espessura e de uma densidade espaciais, um tempo do eterno retorno, ou tempo cíclico, relacionado à observação dos fenômenos da natureza” (Abreu 2007:264).

¹⁴ Documento firmado no âmbito do encontro do Conselho Internacional de Museus (*International Council of Museums – ICOM*), realizado em Santiago do Chile, em 1972.

¹⁵ Trata-se da realização do seminário *A Missão dos Museus na América Latina Hoje: Novos Desafios*, em Caracas 1992, por iniciativa da UNESCO, do Escritório Regional de Cultura para América Latina e Caribe (ORCALC), e do Comitê venezuelano do Conselho Internacional de Museus (ICOM), com o apoio do Conselho Nacional de Cultura (CONAC) e da Fundação do Museu de Belas Artes da Venezuela (http://www.revistamuseu.com.br/legislacao/museologia/decl_caracas.asp).

Territórios rurais, habitados por comunidades que dependem da agricultura familiar, enquadram-se na categoria das chamadas sociedades tradicionais, ainda que indivíduos dessas populações também participem das cadeias de produção de escala global, na qualidade de operários. A subjetividade cotidiana, nesses casos, está fortemente vinculada ao que ali nasce, cresce e morre. Não na relação predatória com a terra. Nesse sentido, pensar e reconstruir a memória do território requer, nesses casos, incorporar essa espessura, essa densidade espacial que retorna ciclicamente ao “lugar”. É nessas condições que se consegue estabelecer a tríade homem (sociedade) / objeto (patrimônio) / cenário (museu) (Guarnieri 1981). Sendo assim, nos casos de Bento Rodrigues e Paractu, o processo de musealização do território tombado dependeria, preliminarmente, do estreitamento do vínculo cotidiano das comunidades com o espaço (re)apropriado. O que se levantou até o momento, paradoxalmente, é que a gestão desse território vem excluindo, desde o desastre, o protagonismo dos atingidos.

Se a musealização dos territórios de Bento e Paracatu for a vontade das populações atingidas, será oportuno redirecionar os vetores de “recuperação” do patrimônio cultural e seguir os pressupostos metodológicos a este tipo de ação museal. Processos de implantação de museus de território são lentos e não prescindem do fortalecimento de agentes e equipamentos culturais locais (o que nos contextos em questão, ainda é algo difícil de se vislumbrar).

Qualquer ação museal proposta a uma comunidade socioeconomicamente frágil, mesmo em etapas iniciais de diagnóstico ou inventário participativo, dá vazão a fluxos contínuos de expectativas e demandas. Assim, os primeiros passos nesse sentido, por mais que desejados por todas as partes, devem estar muito bem calçados. A caminhada é longa.

De modo geral, pode-se afirmar que experiências de programas bem sucedidos nesta área (dos chamados museus “não tradicionais”) demonstram a importância de se seguir um protocolo atento às etapas sucessivas e intransponíveis de um processo longo, até que

se alcance a definição do perfil institucional, do modelo de gestão, a institucionalização, a operação, e a sustentabilidade econômica do museu. Apenas como exemplo, destaca-se a necessidade de:

- Realizar movimentos de aproximação, escuta e sensibilização mútua (dos proponentes e público alvo das ações museais propostas) para a definição de uma causa;
- Caso seja a escolha das comunidades, definir e pactuar agenda de ações continuadas, entendidas como realização de oficinas, rodas de conversa, diagnósticos e inventários participativos, ações de mobilização de atores, identificação de lideranças e formação de agentes multiplicadores;
- Fortalecer os canais de comunicação e divulgação que atendam ao programa de sensibilização comunitária (por exemplo via rádio, uma vez que muitos dos agentes interessados não estão presentes nas primeiras etapas de sensibilização e diagnóstico);
- Definir e pactuar agenda de ações voltadas à discussão do perfil institucional e do modelo de gestão institucional a ser criado, identificando a vocação para futuros membros de conselhos consultivos e deliberativos;
- Definir e pactuar agenda de ações voltadas à formação de produtores culturais junto às comunidades, que possam futuramente assumir a gestão da instituição, capacitando-os para criar autonomia para gerir os recursos financeiros da instituição, criando independência na relação com os poderes público e privado;
- Criar grupos presenciais e virtuais de discussão e monitoramento da execução das agendas propostas;
- Realizar o mapeamento detalhado de ações em curso que apresente potencial de parceira e possam ter interface com atividades propostas pelos programas voltados à identificação, proteção, gestão e difusão do patrimônio cultural;

- Promover a articulação institucional com outras instituições culturais e museológicas, bem como o estudo de viabilidade para o desenho das ações a serem propostas em Plano Museológico;
- Detalhar os programas e ações museais a constarem de Plano Museológico;
- Instaurar um Conselho do Museu.

Algumas considerações

Por sua natureza, a arqueologia preventiva que acompanha os empreendimentos de macro escala realizados no Brasil vem há anos despertando dos solos da união, registros que estiveram enterrados durante décadas, séculos, milênios. Se, por um lado, esse processo significou acesso a quantidade expressiva de dados antes inacessíveis¹⁶, por outro o compasso das retroescavadeiras forçou muitos arqueólogos a efetuarem prospecções e resgates em velocidade conflitante com as metodologias científicas adequadas à pesquisa arqueológica. Ademais, na primeira década do século XXI, o resultado da pressão capitalista vivida no âmbito das consultorias de licenciamento ambiental foi, de modo geral, uma prática arqueológica muito distante do reconhecimento da polissemia do registro arqueológico. Com o passar dos anos, porém, a pressão exercida pelas demandas comunitárias levou arqueólogos dos campos acadêmico e preventivo a refletir sobre essa ausência, fortalecendo o debate nos fóruns regionais e nacionais. Hoje pode-se considerar que o campo alcançou certo avanço, mesmo que tímido, uma vez que a inclusão de representantes comunitários nas pesquisas tornou-se premissa básica à elaboração de projetos para solicitação de portaria de pesquisa em áreas indígenas, quilombolas ou com a presença de outros grupos definidos pela Constituição Federal de 1988 como “populações tradicionais”. Já no campo museológico, pode-se afirmar que as novidades apresentadas pelos paradigmas conceituais da nova museologia

¹⁶ Quando comparados o número de portarias de autorização de pesquisas arqueológicas expedidas antes e depois da publicação da Portaria Iphan nº 230, observa-se o aumento exponencial de pesquisas realizadas a partir de 2002.

levaram a certo alijamento entre as práticas realizadas nos chamados museus tradicionais (históricos, de arte, de ciências, etc.) e aquelas de cunho comunitário, características dos ecomuseus, museus de percurso, museus de território ou museus comunitários, instituições que privilegiam o protagonismo das populações vinculadas aos “patrimônios esquecidos” e dão especial atenção nas ações em contextos “extra muros”.

Hoje, o maior desafio enfrentado pelas práticas arqueológicas e museológicas de avaliação ou mitigação de impactos sobre o patrimônio cultural parece estar no reconhecimento das polissemias e ressignificações contemporâneas dos bens culturais. É necessário reconhecer que a obtenção de licenças ambientais para grandes empreendimentos acarreta processos de desterritorialização geradores de sucessivas transformações na identidade do território impactado. Esse efeito (da desapropriação de moradores e chegada de novos atores desvinculados do lugar) causa desdobramentos nas áreas indiretamente atingidas pelos empreendimentos, assim englobando número ainda mais expressivo de indivíduos e comunidades que presenciam mudanças profundas nos seus modos de vida. Muitas vezes essas populações “indiretamente atingidas” acabam por enfrentar grau semelhante de perda ou fragilidade, quando comparadas com aquelas que são desapropriadas.

Os casos dos distritos de Bento Rodrigues, Paracatu e Gesteira apresentam-se, neste cenário, como contextos agravados na perspectiva das transformações futuras sobre o território de entorno das áreas cobertas pela lama. No campo da experiência e da memória das populações atingidas, ainda se faz presente a ameaça de um empreendimento gerador de angústia, de medo. Nesse sentido, para que o território volte a ser reconhecido como promotor de crescimento a todos, são necessárias mudanças profundas na forma predatória com que parte dos atores ali presentes lida com o ambiente.

O fortalecimento de noções de pertencimento, do vínculo com o lugar, só é possível a partir do engajamento de relações permanentes

com o território, possibilitando sua apropriação cultural como “um conceito de valor” (Weber apud Cohn 1978:98). Trata-se, em termos weberianos, de uma problemática que reflete as múltiplas formas de “dominação” fundamentadas sobre a “apropriação legítima e diferenciada de bens materiais ou simbólicos escassos (Roth apud Cohn 1979:90). Trazida ao universo das áreas diretamente atingidas pelo rompimento da Barragem de Fundão, essa reflexão remete às múltiplas esferas de interação social com o meio construídas a partir de escalas de valores incompatíveis. Para as comunidades desterritorializadas, a materialidade do território soterrado pela lama passa a ser testemunho das relações conflitantes entre sua forma tradicional de vida e a apropriação predatória da natureza.

As instituições do patrimônio ainda lidam com a difícil tarefa de incorporar novas formas de gestão, que assegurem o respeito às frágeis conquistas da sociedade plural, na contramão das forças que sustentam o trágico espaço de tramitação da PEC 65/2012. Neste processo de desmantelamento de direitos constitucionais, não parece haver saída alternativa a tornar ação aquilo que ainda se restringe ao campo da reflexão. Ao tratar questões que vinculam memória, patrimônio e direitos humanos, devemos lembrar que sempre estaremos “sob o fogo cruzado” dos interesses conflitantes de um modelo de sociedade que legitima a verticalidade (Ferreira 2008b). Por isso, ações de musealização devem partir da premissa de que não basta resgatar a memória, é necessário criar espaço para que ela se manifeste espontaneamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, R. M. R. M. (2005) Museus etnográficos e práticas de colecionamento: antropofagia dos sentidos. *Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional*, 3: 101-125.

Abreu, R. M. R. M. (2007) Patrimônio cultural: tensões e disputas no contexto de uma nova ordem discursiva In: Lima Filho, M. F, Echert, C,

Beltrão, J, (Orgs.) Antropologia e patrimônio cultural: diálogos e desafios contemporâneos. Blumenau: Nova Letra, 263-287.

Bezerra de Meneses, U. T. (1984) Identidade cultural e patrimônio arqueológico. *Revista do Patrimônio*, 20: 33-36.

Bezerra, M., Lima Filho, M. F. (2006) *Os caminhos do patrimônio no Brasil*. Goiânia: Alternativa, 2006:183-190.

Braudel, F. (1992) *Escritos sobre a história*. São Paulo: Perspectiva, 289p.

Bruno, M. C. O. (1995) *Musealização da Arqueologia: um estudo de modelos para o Projeto Paranapanema*. Tese de Doutorado. **São Paulo: FFLCH/USP.**

Carta do Rio Doce – Watu. www.cpqrr.fiocruz.br/pg/o-desastre-da-samarco-balanco-de-seis-meses-de-impactos-e-acoas/ (consultado em 18/05/2016).

Cândido Duarte, M. M. (2003) Introdução. *Cadernos de Sociomuseologia* 20: 17-36.

Carneiro, C. G. (2009) *Ações educacionais no contexto da arqueologia preventiva: uma proposta para a Amazônia*. Tese de Doutorado. São Paulo: Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade de São Paulo.

Carvalho, A. V. de (2008) Quilombo de Palmares, os múltiplos olhares arqueológicos. In: Carrara, Maria Teresa (org.) *Continuidad y cambio cultural en arqueologia historica. Actas del III Congreso Nacional de Arqueologia Historica*: 43-48.

Chagas, M. (1995) Entre mortos e feridos: A construção do discurso preservacionista em dois intelectuais do patrimônio. *Porto Arte*, 6.

Chagas, M. (1995) Entre mortos e feridos: A construção do discurso preservacionista em dois intelectuais do patrimônio. *Porto Arte*, 6(10): 87-99.

Cohn, G. (1979) Crítica e resignação: fundamentos da sociologia de Max Weber. São Paulo: TA Queiroz

Connerton, P. (2009) *How modernity forgets*. Cambridge: Cambridge University Press.

Declaração de Santiago (1972). Mesa Redonda de Santiago do Chile – *International Council of Museums* (ICOM). www.ibermuseum.org/wp-content/uploads/.../Publicacion_Mesa_Redonda_VOL_I.pdf (consultado em 18/06/2016).

Declaração de Caracas (1992). International Council of Museums (ICOM). www.revistamuseu.com.br/legislacao/museologia/decl_caracas.asp (consultado em 18/06/2016).

Deetz, J. (1977) *In small things forgotten. An archaeology of Early American Life*. Nova York: Anchor.

Eckert, C. (2006) As fraturas sociais dos processos de transformação: o lugar do patrimônio. *Iluminuras*, 8 (18): 1 -12.

Ferreira, L. M. (2008a) Patrimônio, pós-colonialismo e repatriação arqueológica. *Ponta de Lança: Revista Eletrônica de História, Memória & Cultura*, 2 (2): 37-62.

Ferreira, L. M. (2008b) Sob fogo cruzado: arqueologia comunitária e patrimônio cultural. *Revista Arqueologia Pública*, 3 (1): 81-92.

Franco, M. I. M., Vial, A. D., Arcuri, M. M. (2010) *Master Plan do Museu Amazônia Madeira Mamoré*. Porto Velho: Santo Antônio Energia, 236p.

Funari, P. P. A. (2001) Os desafios da destruição e conservação do patrimônio cultural no Brasil. *Trabalhos de antropologia e etnologia*, 41, (1): 23-32.

García Canclini, N. (1989) *Culturas híbridas: Estrategias para entrar y salir de la modernidad*. México: Grijalbo.

Geertz, C. (1973). *The interpretation of cultures: Selected essays*. New York: Basic Books.

Gnecco, C. (2009) Caminos de la Arqueología: de la violencia epistémica a la relacionalidad. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Humanas*, 4 (1): 15-26.

Gonçalves, J. R. dos S. (1996) *A retórica da perda: os discursos do patrimônio cultural no Brasil*. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 200p.

Gonçalves, J. R. dos S. (2005) Ressonância, materialidade e subjetividade: as culturas como patrimônios. *Horizontes antropológicos*, 11 (23): 15-36.

González Ruibal, A. (2008) Time to destroy. An archaeology of supermodernity. *Current Anthropology*, 49 (2): 247-279.

Guranieri, W. R. (1981) Museological Working Papers Documents. *Interdisciplinarity in Museology*, Stockholm, ICOM, International Committee for Museology/ICOFOM, Museum of National Antiquities, 2, p. 56-57.

Guarnieri, W. R. (1989) Museu, Museologia, Museólogos e Formação. *Revista de Museologia*, 1(1). 1: 7-11.

Halbwachs, M.; Coser, L. A. (1992) *On collective memory*. Chicago, University of Chicago Press.

Hamilakis, Y. (2005): Whose world and whose archaeology? The colonial present and the return of the political. *Archaeologies*, 1 (2): 94-101.

Hartog, F. (2003) Tempo, história e a escrita da história: a ordem do tempo. *Revista de História*, 148: 9-34.

Holtorf, C. (2007) *Archaeology is a brand!: the meaning of archaeology in contemporary popular culture*. Oxford: Archaeopress.

Huyssen, A. (2000) Seduzidos pela memória: arquitetura, monumentos, mídia. Rio de Janeiro: Aeroplano.

Lima Filho, M. F. (2001) *O desencanto do oeste*. Goiania: Editora da UCG.

Lima Filho, M. F. e Abreu, R. M. R. M. A (2007) Antropologia e o patrimônio cultural no Brasil. In: Lima Filho, M. F., Eckert, C., Beltrão, J. (Orgs.) *Antropologia e patrimônio cultural: diálogos e desafios contemporâneos*. Blumenau: Nova Letra: 21-43.

Lima Filho, M. F., Eckert, C., Beltrão, J. (Orgs.) (2007). *Antropologia e patrimônio cultural: diálogos e desafios contemporâneos*. Blumenau: Nova Letra.

Mattos, Y. (2007) Museus e o sentido universal do patrimônio. *Revista Museu*, 18: 1-3.

Meskell, L. (Ed.) (2002) *Archaeology under fire: nationalism, politics and heritage in the Eastern Mediterranean and Middle East*. London: Routledge.

Mingnolo, W. D. (2000) The many faces of cosmo-polis: Border thinking and critical cosmopolitanism. *Public Culture*, 12 (3): 721-748.

Moraes Wichers, C. A. (2010) *Museus e antropofagia do patrimônio arqueológico: caminhos da prática brasileira. 2010*. Tese de Doutorado. Lisboa: Departamento de Museologia da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias.

Nora, P. (Org.) (1984) *Les lieux de mémoire*. Paris: Gallimard.

Orser, C. E. (2010) Twenty-first century historical archaeology. *Journal of Archaeological Research*, 18 (2): 111- 150.

Pollak, M. (1989) Memória e identidade social. *Estudos Históricos*, 5 (10): 3-15.

Relatório Anual de Sustentabilidade da Samarco. Relatoweb.com.br (consultado em 18/05/2016).

Silva, F. A. (2002) Mito e arqueologia: a interpretação dos Asurini do Xingu sobre os vestígios arqueológicos encontrados no parque indígena Kuatinemu-Pará. *Horizontes antropológicos*, 8 (18):175-187.

Varine-Bohan (1973) Un musée «éclaté»: le Musée de l'homme et de l'industrie. *Museum International*(Ed. Francaise), 25 (4): 242-249.

Vial, A. D. (2015) *Patrimônio Integrado e a Prática Museológica*. Tese de Doutorado. São Paulo: Departamento de História da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP.

Žižek, S. (2007) *En defensa de la intolerancia*. Buenos Aires: Sequitur.

Weber, M. Ação social e relação social. In: MARTINS, J. de S.; FORACCHI, M. M. (Comp.) *Sociologia e sociedade*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978.

www.em.com.br/app/noticia/gerais (consultado em 20/04/2016).

NORMAS DE PUBLICAÇÃO

Instruções aos Autores

- 1 – Os manuscritos enviados à Revista Arquivos poderão ser redigidos em Português, Inglês ou Espanhol com resumo em uma das outras línguas.
- 2 – Os manuscritos serão submetidos à apreciação do Conselho Editorial e Científico, que se reserva o direito de aceitar ou recusar os trabalhos submetidos.
- 3 – Reserva-se à revista o direito de fazer modificações nos manuscritos para fins de uniformização editorial. O material gráfico deverá ser entregue em arquivo digital aberto.
- 4 – Os manuscritos publicados na revista passarão a ser da sua propriedade editorial mediante a transferência de direitos autorais.

Sobre a apresentação dos manuscritos

Os manuscritos devem ser encaminhados em CD, utilizando o programa “Word for Windows”, para textos, legendas, notas e bibliografias, fonte “Times New Roman”, estilo normal, tamanho 12, digitados em espaço 1,5mm. O CD será acompanhado por duas vias impressas em papel padrão A4, com margens de 2,5mm. A não ser casos especiais, devem limitar-se a 30 laudas, incluindo as páginas preliminares, texto, agradecimentos, referências e ilustrações;

Todas as imagens devem ser enviadas em jpeg, em alta resolução:

Utilizar o Excel para tabelas:

Utilizar 4 cm de recuo na citação.

Todo manuscrito deverá ter a seguinte estrutura e ordem:

a) páginas preliminares:

Página 1: Título e subtítulo – português, inglês e espanhol;

Autor(es) – nome completo acompanhado da profissão, titulação, cargo, função e instituição, endereço postal e eletrônico do autor responsável pela correspondência;

Indicação da categoria do artigo: Pesquisa, revisão teórica, artigo reflexivo e relatos de experiências.

Página 2: Título do artigo em português

Resumo e palavras-chave (português, inglês e espanhol. O resumo deve conter até 250 palavras, com espaçamento simples em fonte com tamanho 10.

Página 3: a partir desta página apresenta-se o conteúdo do manuscrito precedido pelo título em português.

b) Texto – introdução; desenvolvimento; conclusões ou considerações finais.

c) Agradecimentos (opcional);

d) As citações e referências bibliográficas devem seguir as seguintes normas:

. O sobrenome do autor vem primeiro, seguido do nome. O sobrenome escrito em minúsculas após a letra inicial. No caso de haver vários autores, a indicação “& al.” será colocada quando houver mais de 3 autores. A data da publicação vem em terceiro lugar, entre parênteses. Um título de livro ou de revista, de uma dissertação ou tese, vem em itálico. O título de artigo (em periódico) ou comunicação (em Atas de congresso) vem escrito em caracteres normais.

No caso de periódico, indica-se, depois do nome deste, o volume, e a seguir o fascículo (se for o caso) entre parênteses, seguido de dois pontos e da paginação. Solicitamos que indique o número de páginas dos livros. No caso de periódico veiculado apenas pela Internet, indicar a data de consulta e o endereço, o localizador de recursos uniformes (URL).

Quando não há indicação de volume, indicar a paginação da forma seguinte: “Belo Horizonte, 257 p.” Quando não se tratar da primeira edição, indicar, após a data (“2ª ed”; ou “3ª ed”. etc.).

Quando não houver autor, a localização do livro se faz pelo título

(não levando em conta eventual artigo); por exemplo “Grutas de Minas Gerais (As)”, publicado sem nome de autor, será colocado na letra “C”.

Exemplos:

Artigo publicado em revista:

Abrahamson, W.G., Mccrea, K.D., Whitwell, A.J., Vernieri, L.A. (1991). The role of phenolics in goldenrold ball gall resistance and formation. *Biochemical Systematics and Ecology*. 19 (8): 615-622. (novembro)

Livro ou tese:

Jensen, W.A. (1962). *Botanical histochemistry: principles and practice*. San Francisco: W.H. Freeman, 408 p.

Capítulo em livro coletivo:

Isaias, R.M.S., Oliveira, D.C. (2011). Gall Phenotypes Product of Plant Cells Defensive Responses to the Inducers Attack. In: Mérillon, Jean Michel; Ramawat, Kishan Gopal. (Org.) *Plant Defence: Biological Control*. 1ed. New York: Springer, p. 273-290.

Para Atas de Congresso

Machado, M.M.M., Ruckys, U.A., CACHÃO, M. (2011). Pontos de interesse geoturístico no Parque das Mangabeiras, Quadrilátero Ferrífero-Brasil. **in:** *Actas del I° Simposio de Geoparques y Geoturismo en Chile*, 1: 71-74, Melipeuco. Santiago: Sociedad Geologica de Chile.

Sobre o encaminhamento dos manuscritos

Os manuscritos devem ser enviados acompanhados de ofício de encaminhamento contendo nome do(s) autor(es), endereço para correspondência, e-mail, telefone e fax, e declaração de colaboração na realização do trabalho e autorização de transferência dos direitos autorais para a Revista Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico.

Para os manuscritos resultados de pesquisas envolvendo apoios financeiros estes deverão estar claramente identificados e o(s) autor(es) deve(m) declarar, juntamente com a autorização de transferência de autoria, não possuir(em) interesse(s) pessoal, comercial, acadêmico, político ou financeiro no manuscrito.

Os manuscritos devem ser enviados para:

Revista Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico
Assessoria de Comunicação
Rua Gustavo da Silveira, nº 1035 – Bairro Santa Inês
Belo Horizonte – MG – Brasil
CEP: 31.080-010 Fone: 55(31) 3409.7607
E-mail: arquivos@mhnbj.ufmg.br