



A GEOMORFOLOGIA DO TECNÓGENO E SUAS RELAÇÕES COM O ROMPIMENTO DA BARRAGEM FUNDÃO (MARIANA, MINAS GERAIS)

THE GEOMORPHOLOGY OF TECHNOGENE AND ITS RELATIONSHIPS WITH FUNDÃO DAM FAILURE (MARIANA, MINAS GERAIS)

Laís Carneiro Mendes

Universidade Federal de Juiz de Fora
Rua José Lorenço Kelmer, s/n – Campus Universitário –
Bairro São Pedro – CEP: 36036-900 – Juiz de Fora – MG.
E-mail: lais.mendes15@hotmail.com

Miguel Fernandes Felipe

Departamento de Geociências - Universidade Federal de Juiz de Fora
Rua José Lorenço Kelmer, s/n – Campus Universitário –
Bairro São Pedro – CEP: 36036-900 – Juiz de Fora – MG.
E-mail: miguel.felippe@ufjf.edu.br

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:

10/2016

Data de Aprovação:

12/2016

Resumo

As significativas alterações provocadas pela ação humana no ambiente resultaram na proposição de um novo período geológico intitulado Tecnógeno ou Quinário. Os depósitos tecnogênicos são criados pela acumulação de material de variadas formas e composições, resultantes do descarte das atividades humanas, e são capazes de modificar a dinâmica geomorfológica e ambiental. O foco deste trabalho consiste na

interpretação de imagens de satélite após o rompimento da barragem de Fundão (Mariana-MG), discutindo, com base em uma revisão bibliográfica sobre a Geomorfologia Tecnogênica, as consequências da tragédia.

Palavras-chave: Tecnógeno; Ação antrópica; Planície fluvial; Barragem Fundão.

Abstract

The significant changes caused by human action on the environment resulted in the proposal of a new geological period called Technogenic or Quinary. The technogenic deposits are created by the accumulation of materials of several shapes and compositions, resulting from the discarding of human activities, and are able to change the geomorphological and environmental dynamics. The focus of this work is the interpretation of satellite images after the collapse of Fundao dam (Mariana, Minas Gerais, Brazil), discussing, based in a bibliographic revision about Technogenic Geomorphology, the consequences of the tragedy.

Keywords: Technogenic; Human actuation; Fluvial plain; Fundão dam.

1. Introdução

O ser humano é considerado por muitos como um agente geológico e geomorfológico, pois é capaz de alterar e de produzir processos da dinâmica superficial e, a partir disso, alterar as formas do relevo e gerar depósitos correlativos. Porém, ele se diferencia dos demais agentes geológico-geomorfológicos, uma vez que é capaz de escolher entre alternativas. É um ser que sofre as influências da natureza, mas também tem a capacidade de agir sobre ela. Portanto, a partir de suas ações, o homem transforma o meio, e também se transforma em decorrência das mesmas ações (PELOGGIA e OLIVEIRA, 2005).

É em função disso que o homem pode ser considerado um agente geológico-geomorfológico de caráter novo e diferenciado, pois possui a capacidade de fazer novas combinações das propriedades e do modo de ser da natureza, gerando novos modos de funcionamento conforme suas necessidades e intenções. Assim, “[...] sua ação sobre eles pode ser (e frequentemente é) mais intensa que os processos naturais equivalentes (PELOGGIA e OLIVEIRA, 2005, p. 1-2).

No dia cinco de novembro de 2015, ocorreu no Brasil um dos maiores exemplos dessa capacidade do homem de alterar a dinâmica geomorfológica e geológica de um ambiente: a ruptura de um barramento com rejeitos de mineração no município de Mariana-MG. A mineradora Samarco, responsável pela barragem, produz minério de ferro para utilização na fabricação de aço. A empresa é controlada pela Vale e pela companhia anglo-australiana BHP Billiton e opera em Minas Gerais e no Espírito Santo.

A tragédia provocou 19 mortes e enormes prejuízos às cidades, povoados e áreas rurais ao longo de todos os cursos hídricos afetados em aproximadamente 500 km. Há a estimativa de que foram lançados cerca de 60 milhões de m³ de rejeitos de mineração que causaram o recobrimento de planícies aluviais e o assoreamento de muitos trechos dos cursos d’água afetados. Através da mídia foram divulgadas informações que a lama é composta de água, areia, ferro, resíduos de alumínio, manganês, cromo, e suspeita-se da presença de mercúrio. As substâncias anteriormente citadas causam danos à saúde humana, danos a qualidade da água dos mananciais atingidos, asfixiam e contaminam espécies aquáticas e eliminam microorganismos do fundo do rio, além de comprometer as margens dos canais que foram soterradas por rejeitos (FELIPPE et al. 2016). Por tudo isso, o rompimento de barragem Fundão, vem sendo considerado por diversos órgãos e agências de risco o maior desastre ambiental da história do Brasil (FELIPPE et al. 2016).

O presente artigo tem por objetivo estabelecer a relação entre esse acontecimento e a Geomorfologia Tecnogênica através da interpretação de imagens de satélite, ressaltando o papel do ser humano como agente modificador da paisagem.

2. Tecnógeno

A ação do homem sobre a natureza, através de suas atividades produtivas, tem gerado efeitos geológicos, incluindo efeitos geomorfológicos, que se acumulam em quantidade e se diversificam em qualidade, a ponto de ter sido proposta a designação de um novo período geológico para caracterizar tal época: o Quinário ou Tecnógeno (PELOGGIA, 1997). Tal proposição aparece nas pesquisas científicas a partir da década de 1980 por meio dos trabalhos dos soviéticos Chemekov (1982 apud MACHADO, 2013) e Ter-Stepanian (1988 apud MACHADO, 2013), em que a ação humana como agente geológico é preponderante ou influente em alguns processos na superfície terrestre.

Conforme Oliveira et al. (2005), o Tecnógeno corresponde a uma época do Quinário, período geológico que sucederia o Quaternário na escala do tempo geológico. O Quinário é marcado justamente pela modificação dos aspectos físicos do planeta pelo homem, o qual passa a se configurar em importante agente geológico-geomorfológico condicionador de processos, formas e gênese de depósitos correlativos. O Tecnógeno seria o período em que a atividade humana se diferencia qualitativamente da atividade biológica na modelagem da Biosfera, causando processos (Tecnogênicos) cujas intensidades superam os processos naturais (OLIVEIRA, 1990).

Segundo Peloggia (1997), a ação humana sobre a natureza tem consequências referíveis a três níveis de abordagem, em relação a formas, processos, formações e depósitos superficiais do ambiente geológico, os níveis seriam: i) na modificação do relevo e alterações fisiográficas da paisagem, por exemplo, retificações de canais fluviais, terraplanagem, voçorocas, áreas erodidas, áreas mineradas etc.; ii) em alterações na fisiologia das paisagens, como a criação, indução, intensificação ou modificação do comportamento de processos da dinâmica externa (incremento da erosão e da carga sedimentar correlativa, escorregamentos em geral, infiltração e escoamento, drenagem pluvial e fluvial, taxas de sedimentação, fluxos subterrâneos etc.), de porte comparável aos resultantes de variações climáticas ou efeitos tectônicos; e nas áreas urbanas, resultando em uma outra organização da fisiologia da paisagem criada pelo construtivismo; iii) na criação de depósitos superficiais correlativos, comparáveis aos quaternários, os quais vão se constituir em marcos estratigráficos. O conjunto desses níveis de ação denomina-se tecnogênese (PELOGGIA, 1997).

O relevo tecnogênico abrange os modelados cujo agente geomórfico é o ser humano. Esse relevo é resultante da alteração da fisiografia das paisagens pela morfotecnogênese (PELOGGIA, 1998). Do ponto de vista de Peloggia (1998), os modelados tecnogênicos são conjuntos de formas de relevo produzidos direta ou indiretamente pela ação humana, que podem ocorrer de forma conjunta e associada como, por exemplo, o relevo tecnogênico urbano, ou podem ocorrer como formas isoladas. Em termos genéticos, distinguem-se formas de degradação que são resultantes de processos tecnogênicos degradativos, como terrenos rampados e vertentes ravinadas ou

formas resultantes de processos agradativos como aterros, morrotes artificiais e planícies aterradas (PELOGGIA e OLIVEIRA, 2005).

Os registros geológicos gerados pelos processos tecnogênicos agradativos formam os depósitos tecnogênicos. O ponto fundamental, inclusive na classificação, ordenação e hierarquização dos tipos de depósitos, é ter-se claro que o pacote sedimentar é um registro geológico gerado pela atividade humana (PELOGGIA e OLIVEIRA, 2005).

Conforme Ter-Stepanian (1988 apud MACHADO, 2013), os depósitos tecnogênicos são caracterizados por sua grande variedade, feições diferenciadas, diversidade de composição e grande variação de espessura, os quais caracterizam uma classe genética independente, embora possam ser traçadas de forma relacionada com depósitos naturais. Alguns depósitos acumulam grande quantidade de matéria orgânica, geralmente resíduos urbanos e outros de matéria inorgânica como os derivados de resíduos de materiais de construção e restos de mineração.

Dentre as classificações apresentadas para os depósitos tecnogênicos, Machado (2013) afirma que a maioria dos trabalhos no Brasil e no mundo enfoca as classificações propostas por Chemekov (1983), Fanning e Fanning (1989) e a proposta elaborada por Oliveira (1990).

A classificação proposta por Chemekov em 1983 destaca onze tipos principais de depósitos, que, na visão de Peloggia (1998, p. 81) são os seguintes:

Depósitos de pilhas aterradas (dumped), de aterramento de depressões (filled), mistos ou agrotécnicos, aluviação artificial (washed up), dragagem (rewashed), obras de terra (construction), camadas cultivadas (cultural layers), deposição em reservatórios (precipitação), assoreamento de canais (linear aggradation), depósitos naturais com componentes tecnogênicos (technogenically changed) e sedimentação natural em reservatórios (technogenically caused) (Peloggia, 1998, p. 81).

A classificação de Fanning e Fanning (1989 apud PELOGGIA, 1998), apresenta quatro tipos de depósitos tecnogênicos baseados principalmente em sua composição, sendo:

Materiais “Úrbicos” (inglês, urbic) compostos de detritos urbanos (tijolo, pedras, vidros, plásticos, etc.) e materiais terrosos; Materiais “Gárbicos” (inglês, garbage) compostos de materiais detríticos com lixo orgânico predominantemente em condições anaeróbias; Materiais Espólicos (inglês, spoil) materiais terrosos escavados e redepositados em aterros com pouca quantidade de detritos; Materiais Dragados, resultantes de dragagens de cursos d’água (Peloggia, 1998, p. 74).

O trabalho de Oliveira (1990) aponta uma simplificação na classificação de depósitos tecnogênicos em função de sua genética, as quais são: construídos (aterros, corpos de rejeitos, etc.); induzidos (assoreamento, aluviões modernos, etc.); modificados (depósitos naturais alterados por efluentes, adubos, etc.).

Essas classificações, apesar de suas diferenciações ou simplificações, estão baseadas no trabalho de Ter-Stepanian (1988), que descreve os depósitos pela sua composição orgânica, inorgânica, terrígena ou heterogênea (MACHADO, 2013).

3. O rompimento da barragem Fundão

No dia cinco de novembro de 2015, por volta das 15:30h, ocorreu a ruptura de um barramento com rejeitos de mineração no município de Mariana-MG. As informações iniciais eram de que duas barragens de nomes Fundão e Santarém, da mineradora Samarco, no distrito de Bento Rodrigues, a 35 km do centro do município de Mariana tinham se rompido (Folha de São Paulo, 06 de novembro de 2015). Porém, no dia 16 de novembro, a Samarco confirmou que apenas a barragem de Fundão se rompeu. Na verdade, o rompimento de Fundão provocou o vazamento dos rejeitos que passaram por cima da barragem de Santarém, que teve sua estrutura afetada (G1, 17 de novembro de 2015).

Após a tragédia, a empresa suspendeu as atividades de mineração na região. O governo do estado de Minas Gerais embargou o licenciamento de funcionamento da empresa, que não pode extrair minério até o cumprimento de exigências de segurança (Folha de São Paulo, 06 de novembro de 2015). A Bowker Associates - consultoria de gestão de riscos relativos à construção pesada, nos Estados Unidos - em parceria com o geofísico David Chambers calculou com base no tamanho da barragem, que foram lançados o volume de 60 milhões de m³ de rejeitos (EBC Agência Brasil, 15 de janeiro de 2016).

O distrito de Bento Rodrigues, localizado a 2,5 km do barramento, foi o mais atingido pelo fluxo dos sedimentos, sendo completamente destruído (BBC Brasil, 10 de novembro de 2015). Outras seis localidades de Mariana também foram atingidas pela lama, que deixou 19 mortos e centenas de desabrigados.

Após atingir o município de Mariana pelos córregos do Fundão e Santarém, os rejeitos de mineração chegaram ao Rio Gualaxo do Norte, passaram pelo rio do Carmo e atingiram o rio Doce (FIGURA 1). A partir daí, além de toda a destruição e prejuízos incalculáveis ao meio ambiente, a tragédia passou a deixar as cidades que dependem do rio Doce para o abastecimento urbano, sem distribuição de água. Segundo a revista Brasil de Fato (16 de novembro de 2015) Governador Valadares-MG, o maior município da bacia do Rio Doce, com 280 mil habitantes, foi o mais afetado. Mesmo a 300 km de Mariana, em laudo preliminar da água realizado pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), foi encontrado um nível de turbidez oitenta vezes maior do que o tolerável, além de níveis de ferro que chegaram a superar treze mil vezes o tratável. Esta condição insalubre do rio fez com que o abastecimento de água fosse cortado no dia 8 de novembro; dois dias depois, a prefeita Elisa Costa declarou estado de calamidade pública. No sábado, 14 de novembro, o governador de Minas Gerais, Fernando Pimentel, anunciou o uso de um coagulante que permite o tratamento da água. A substância facilita a separação da lama e da água, permitindo assim que ela seja filtrada e volte a ser potável. O abastecimento de água voltou no dia 16 de novembro (Brasil de Fato, 16 de novembro de 2015).

A lama com os rejeitos de mineração chegou ao Oceano Atlântico no dia 22 de novembro e se espalhou por grandes extensões no litoral do Espírito Santo, atingindo, inclusive, o

arquipélago de Abrolhos, localizado no sul da Bahia, a 250 km da foz do rio Doce, o que teria sido verificado visualmente por técnicos do Ibama durante sobrevoo realizado no dia 07 de janeiro de 2016 (UOL notícias, 07 de janeiro de 2016).

A prefeitura de Linhares, município onde se localiza a foz do Rio Doce, interditou as praias de Regência e Povoação após a chegada da lama. A população dessas localidades vive da pesca e do turismo e teve as atividades prejudicadas com a água barrenta que avança no mar (Brasil de Fato, 23 de novembro).

As proporções desse desastre ainda estão sendo estudadas. Diversos órgãos governamentais e grupos de pesquisadores já divulgaram relatórios preliminares sobre a situação do rio, com base em, dentre outros dados, amostras de água e amostras de rejeitos.

Esse incidente é um claro exemplo da capacidade do homem de alterar o meio em vive, causando imensuráveis impactos ao ambiente, uma enorme mudança na disposição de canais fluviais e na geomorfologia, e gerando os depósitos correlativos.

4. Procedimentos metodológicos

A área escolhida para esse estudo foi a área imediatamente à jusante da barragem Santarém, passando por Bento Rodrigues, que é subdistrito de Santa Rita Durão, pertencente a Mariana – MG. Nessa zona, passam os córregos de Santarém e Gualaxo do Norte, os primeiros cursos d'água atingidos pelo rompimento da barragem. Pelas imagens de satélites, é possível notar que nessa região a deposição de rejeitos de minério ocorreu de forma mais extensa.



FIGURA 1: Bacia Hidrográfica do Rio Doce – Primeiros canais afetados. Fonte: bases cartográficas ANA, IBGE, IGAM.

Essa área se localiza no contexto morfoestrutural Unidade Alto Rio Doce, que abrange toda área a montante da confluência dos rios Doce e Piracicaba, e é marcado por serras e cristas em domínio do complexo Gnáissico-Magmático (COELHO, 2009). Com relação ao clima, segundo a classificação climática de Köppen, o clima predominante na área de estudo é o Cwa, que se trata de um clima temperado úmido com inverno seco e verão quente, essa característica é típica de locais aonde o inverno é bastante rigoroso (para padrões brasileiros) e o verão com bastantes chuvas.

Para execução desse trabalho foram realizadas interpretações de imagens orbitais, técnicas de interpretação visual de imagens de satélite ou de fotointerpretação que fazem parte do sistema de análise de dados em sensoriamento remoto. Essas análises podem ser desenvolvidas por diferentes técnicas, como a fotointerpretação a e fotogrametria (PANIZZA e FONSECA, 2011). A fotointerpretação, segundo Panizza e Fonseca (2011, p. 30) “é a identificação e a determinação de objetos por meio de fotografias, produzindo informações qualitativas”. Já a fotogrametria “obtem medidas precisas de objetos, extraindo das fotografias informações geométricas e quantitativas” (PANIZZA e FONSECA, 2011, p. 30). Essas técnicas são meios bastante utilizados para apreensão e de estudo da paisagem e são aplicadas nas mais diversas temáticas.

Essa pesquisa foi realizada com a utilização do software Google Earth Pro, através da ferramenta do programa “adicionar polígono”, sendo contornada toda a área de depósito de rejeitos.

O Google Earth Pro possui uma ferramenta que mostra imagens históricas, que funciona como uma linha do tempo. Com a utilização dessa ferramenta, escolheu-se uma imagem anterior ao rompimento da barragem, em que foi possível delimitar, também com a ferramenta “adicionar polígono” as áreas onde existiam os canais fluviais e seus depósitos naturais.

A plataforma Google Earth Pro não é a mais indicada para realização de cálculos de área, mas como o rompimento da barragem Fundão é algo recente, ainda não foram disponibilizadas com baixo custo as imagens de satélite de alta resolução posteriores ao acontecimento.

5. Resultados iniciais

Como já dito anteriormente, a área escolhida para estudo sofreu um grande aporte de rejeitos de minério, gerando acúmulos de proporções catastróficas. Essa área fica imediatamente a jusante da barragem de Santarém, localizada a jusante da barragem de Fundão, que se rompeu.

Os materiais depositados, constituem-se em depósitos correlativos que podem ser classificados, segundo a classificação proposta por Oliveira (1990), em depósitos tecnogênicos construídos, originados da remobilização de depósitos tecnogênicos construídos (os quais englobam aterros, corpos de rejeitos, dentre outros). Pela classificação de Fanning e Fanning

(1988), são classificados como depósitos espólicos; na proposição de Chemekov (1983) seriam depósitos de agradação linear derivados de pilhas aterradas.

A Figura 2 apresenta a espacialidade dos depósitos tecnogênicos em comparação com a situação pretérita (Figura 3). A linha vermelha mostra o contorno do depósito de sedimentos e a linha branca mostra os canais de drenagem fluvial.



FIGURA 2: Área de estudo no dia 11 de novembro de 2015. Fonte: Imagem gerada a partir da plataforma Google Earth Pro.



FIGURA 3: Área de estudo no dia 20 de julho de 2015. Fonte: Imagem gerada a partir da plataforma Google Earth Pro.

A Figura 2 mostra a área estudada no dia 11 de novembro de 2015 e a Figura 3 mostra a mesma área em um momento anterior ao rompimento da barragem Fundão, mais precisamente no dia 20 de julho de 2015. É possível através da leitura comparativa das duas imagens identificar

onde se localizava o distrito Bento Rodrigues, bem como as áreas onde existiam pastagens, plantações e matas.

Ao comparar as duas imagens, percebe-se a expressiva modificação da morfologia do baixo vale, com uma área de 2,82km² sendo recoberta pelos depósitos tecnogênicos, em função da enorme quantidade de material estéril depositado. Os canais fluviais foram assoreados e isso suscitará uma nova morfologia para esses canais. Além disso, a área estudada possuía uma pequena comunidade bastante voltada para atividades rurais, portanto havia criação de animais e plantações. Tudo isso foi modificado pelo rompimento da barragem, que inutilizou tais áreas.

6. Conclusão

O rompimento da barragem de Fundão é uma das maiores amostras da capacidade do ser humano de modificar os aspectos físicos do planeta. É exemplo da importância do homem como agente geológico-geomorfológico condicionador de processos, formas e gênese de depósitos correlativos. Sendo assim, o acontecimento pode ser considerado um evento tecnogênico.

A área estudada foi a que recebeu primeiramente a “avalanche” de rejeitos de minério, causando a devastação de matas, pastos, plantações e do povoado de Bento Rodrigues, gerando um enorme depósito de rejeitos, como mostrado nas imagens. Vislumbra-se uma modificação de toda a dinâmica fluvial da região e de todos os canais afetados, inclusive, alterando a quantidade de sedimentos que o rio transporta, intensificando, portanto, o processo de formação de depósitos ao longo de todo rio Doce.

A partir desse acontecimento, é extremamente necessário estudar a nova dinâmica geomorfológica da bacia, principalmente nos cursos d'água atingidos pelos rejeitos de minério, em função da grande magnitude e das inúmeras transformações que ocorreram e que ainda irão ocorrer em decorrência do rompimento da barragem.

Referências

COELHO, A. L. N. Bacia Hidrográfica do Rio Doce (MG/ES): uma análise socioambiental integrada. **Revista Geografica**, nº 7, p.131-146, 2009.

EBC Agência Brasil. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-01/desastre-em-mariana-e-o-maior-acidente-mundial-com-barragens-em-100-anos>>. Acesso em: 01 de setembro de 2016.

G1 Rompimento de barragem em Mariana: perguntas e respostas. Disponível em: <http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2015/11/rompimento-de-barragens-em-mariana-perguntas-e-respostas.html>. Acesso em: 01 de setembro de 2016.

MACHADO, C. A. A pesquisa de depósitos tecnogênicos no Brasil e no mundo. **Revista Tocantinense de Geografia**, Araguaína (TO), Ano 01, no 02, p. 15-35, jan - jun, 2013.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRANNSTROM, C; NOLASCO, M. C.; PELOGGIA, A. U. G.; PEIXOTO, M. N. O.; COLTRINARI, L. Tecnógeno: registros da ação geológica do homem. In: SOUZA et al. (Ed.) **Quaternário do Brasil**. São Paulo: ABEQUA/ Holos. No prelo, 2005.

OLIVEIRA, A. M. S. Estudos sobre o Tecnógeno do Brasil. **I Encontro de Tecnólogos**. ABEQUA, 2005. Disponível em: <http://www.abequa.org.br/mostra_sessao.php?sessao=27>. Acesso em: 22 de julho de 2016.

PANIZZA, A. C.; FONSECA, F. P. Técnicas de interpretação visual de imagens. CEOUSP- Espaço e Tempo. São Paulo, p. 30 – 43, 2011.

PELLOGIA, A. U. G. A ação do homem enquanto ponto fundamental da geologia do Tecnógeno: proposição teórica básica e discussão acerca do município de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**. 27(3). p. 257-268, set. 1997.

_____ A magnitude e a frequência da ação humana representam uma ruptura na processualidade geológica na superfície terrestre? **Geosul**, 14(27): 54- 60. Edição especial do II Simpósio Nacional de Geomorfologia, Florianópolis, nov. 1998.

PELOGGIA, A. U. G.; OLIVEIRA, A. M. S. Tecnógeno: um novo campo de estudos das geociências. **I Encontro de Tecnólogos**. ABEQUA, 2005. Disponível em: <http://www.abequa.org.br/mostra_sessao.php?pageNum_editoria=2&sessao=27>. Acesso em: 22 de julho de 2016.

UOL Notícias. Ibama: Lama da Samarco pode ter chegado a Arquipélago de Abrolhos. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2016/01/07/lama-da-samarco-chega-a-abrolhos-no-sul-da-bahia.htm>>. Acesso em: 01 de setembro de 2016.