

VI-067 - ANÁLISE MULTITEMPORAL DA ÁREA AFETADA PÓS- ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO E CARACTERIZAÇÃO DO REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO

Flávio Luiz Santos Soares⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pelo Centro Universitário de Belo Horizonte – UNIBH. Operador em Processos de Mineração pela Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG) / Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI).

Magno André Oliveira⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pelo Centro Universitário de Belo Horizonte – UNIBH. Mestrando em Engenharia Geotécnica pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Professor adjunto do Centro Universitário de Belo Horizonte – UNIBH.

Alan Rodrigues Teixeira Machado⁽³⁾

Doutor em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor adjunto do Centro Universitário de Belo Horizonte – UNIBH.

Naiara Cristina de Almeida⁽⁴⁾

Engenheira Química pelo Centro Universitário de Belo Horizonte – UNIBH.

Nayara Assumpção Duarte⁽⁵⁾

Engenheira Química pelo Centro Universitário de Belo Horizonte – UNIBH.

Endereço⁽¹⁾: Rua Nossa Senhora da Consolação, 648 – Ouro Minas – Belo Horizonte - MG - CEP: 31870-250 - Brasil - Tel: +55 (31) 99175-5854 - e-mail: flavioluizsoares1@gmail.com

RESUMO

As alterações relacionadas ao equilíbrio ecológico e o impacto gerado pelas atividades humanas, estão intimamente ligadas ao desenvolvimento tecnológico. No mundo, o segmento minerário denota elevada representatividade para o setor econômico. E, seus impactos são iminentes, por exemplo, tem-se o rompimento da barragem de Fundão que causou alterações no meio físico, biótico e socioeconômico devido ao carreamento de rejeito a jusante da barragem. Neste contexto, o presente trabalho, tem por objetivo realizar o mapeamento da área afetada, bem como caracterizar amostras da lama que atingiu o distrito de Bento Rodrigues, por meio de ensaios morfológicos e químicos. Para tanto, utilizou-se o programa ArcGis 10.2.2, uma vez que o mesmo fornece uma plataforma para avaliação espacial, gerenciamento, mapeamento e modelagem. Os ensaios morfológicos e químicos foram realizados com amostras coletadas conforme procedimento da ABNT NBR 10007/04. Posteriormente, o material coletado foi homogeneizado e quarteado. A análise morfológica foi realizada por meio das micrografias obtidas em um Microscópio Eletrônico de Varredura da marca HITASHI, modelo TM 3000, com detectores de elétrons retroespalhados. E, o estudo da composição química foi realizado por espectrometria de absorção atômica e ICP_OES/ICMS. As micrografias obtidas mostram a presença de cristais em distintos tamanhos e formas que variam, em média, de 0,1 a 1 mm. Além disso, foi observado colorações distintas que podem ser associadas a presença de óxidos de hematita e/ou magnetita. Ademais, puderam-se observar partículas que indicam materiais argilosos, esses contam com feições microestruturais de “crostas ou preenchendo cavidades”. Os ensaios químicos revelaram um percentual de 97,85 e 1,27 de Fe e Al, respectivamente. Outros elementos foram registrados em percentagens menores. Conclui-se que o rejeito é impactante ao ambiente por apresentar concentração de contaminantes, que causam danos a flora, a fauna e o homem. Ademais, o rejeito estudado tem afetado pontualmente o ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Análise Multitemporal Geoespacial, Caracterização do Rejeito, Impacto do Rejeito.

1 INTRODUÇÃO

Dentro do empreendimento minerário o rejeito é a matéria mais difícil de ser controlada, porque o material que é liberado da planta de beneficiamento é constituído por uma parte sólida e densa com partículas maiores (*underflow*) e outra líquida, formada por um conjunto de água e partículas finas (*Overflow/lama*). Além disso, outros produtos utilizados no processo de beneficiamento do minério podem ser encontrados. Esses materiais,

após saírem da planta de beneficiamento são conduzidos por dutos e dispostos em barragem (VALADÃO, ARAUJO, 2007).

As barragens de rejeitos são estruturas que visam dispor o material proveniente do beneficiamento de forma controlada. Atualmente, as metodologias mais aplicadas para a construção de barragem de rejeito empregam um dos seguintes métodos: jusante (*downstream*), montante (*upstream*) ou de linha de centro (CHAVES, 2012). Apesar da existência dos fatores de segurança e metodologias na construção de barragens mais seguras, na maioria das vezes é utilizado o modelo de menor custo (VALADÃO, ARAUJO, 2007). Esse fator aliado à má operação dos processos pode comprometer a estrutura da barragem (ARAÚJO, 2006). Assim, tal empreendimento fica vulnerável, caso medidas de controle e manutenção da barragem não sejam tomadas (IBAMA, 2015; ARAÚJO, 2016).

O impacto ambiental e social causado pelo rompimento de uma barragem é de difícil mensuração. Para exemplificar, pode-se citar o rompimento da barragem de rejeito de minério de Ferro (barragem de Fundão), da empresa SAMARCO, no dia 05 de novembro de 2015, que atingiu o subdistrito pertencente ao município de Mariana – MG, denominado Bento Rodrigues (BAETA, *et al.*, 2015; IBAMA, 2015). O acidente trouxe consequências adversas para o meio físico, biótico e socioeconômico, principalmente para a população que residia em Bento Rodrigues que foi drasticamente afetada pela corrente de lama de rejeito que “varreu” o povoado, com o derramamento de aproximadamente trinta e quatro milhões de m³ de rejeito. Essa quantidade de rejeito afetou também outras cidades, a jusante de Bento Rodrigues ao longo do rio Doce, até desaguar no oceano Atlântico, uma extensão de mais de 600 km (MPF, 2016; IBAMA, 2015).

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo avaliar por meio de análise temporal geoespacial o impacto sobre os elementos naturais e antrópicos da superfície de Bento Rodrigues, Mariana – MG, após o rompimento da barragem de Fundão. Também foi objetivo avaliar a composição do rejeito coletado em Bento Rodrigues.

2 METODOLOGIA

2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para o georeferenciamento da área de estudo dispôs-se do GPS Garmin – modelo *eTrex*[®] 10 e as coordenadas de referência obtidas foram: Latitude: 20°14'10.96"S/ Longitude: 43°25'8,84"O. Localizado no subdistrito de Bento Rodrigues, Mariana – MG (Figura 1).

O Clima da região conforme a classificação de *Köppen-Geiger* (1936, *apud* MENDONÇA; OLIVEIRA, 2007; SÁ JÚNIOR, 2009) é Cwb –tropical de altitude. O solo da região conforme dados do IBGE (2001) é identificado como LVA21 – Latossolo Vermelho-Amarelo, distrófico + distroférico, o que representa uma boa quantidade de ferro presente neste tipo de solo. Essa característica é devido à formação geológica do local, composta por rochas ígneas e sedimentares que estão associadas à formação do Quadrilátero Ferrífero. O tipo de rocha local é composto por itabirito, dolomito, quartzito e outros (MACHADO; SILVA, 2010; ROESER, H.; ROESER, P., 2010; CPRM, 2014).

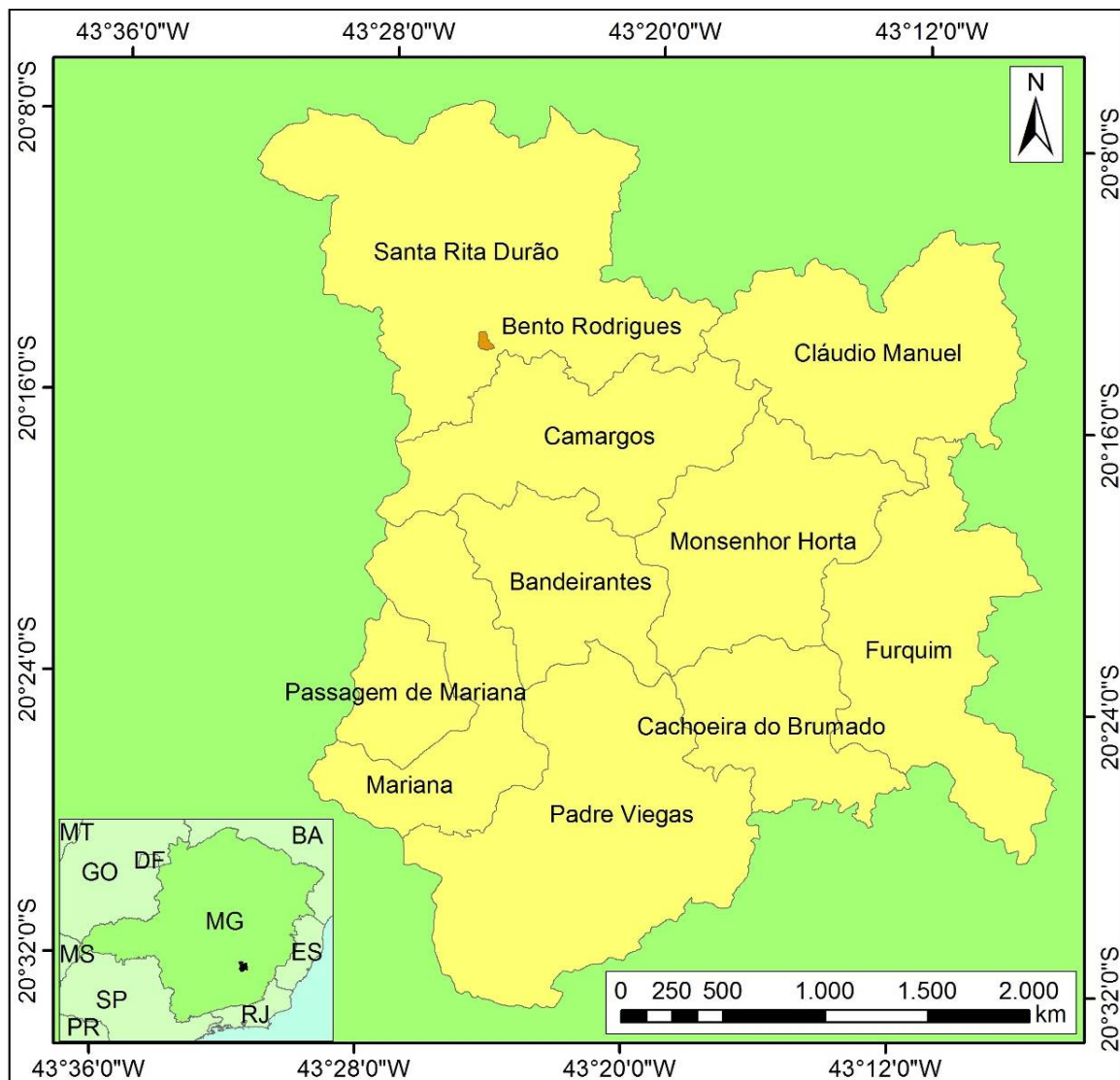


Figura 1: Localização de Bento Rodrigues Subdistrito de Mariana – MG. Datum: Sirgas 2000/ Sistema de Coordenadas: GCS Sirgas 2000. Fonte – IBGE, 2010.

2.2 COLETA DA AMOSTRA DE REJEITO

Seguindo os procedimentos recomendados pela ABNT NBR 10007/04, foram coletadas amostras do rejeito sobre o solo das áreas adjacentes do subdistrito de Bento Rodrigues, no dia 12 de dezembro de 2015 (Figura 2). As amostras foram coletadas no ponto determinado pela coordenada $20^{\circ}14'27.05''$ S e $43^{\circ}25'5.22''$. Para caracterização, as amostras foram homogêneas e quarteadas até atingir 10g. As mesmas permaneceram em estufa para secagem a 105°C , por 24h. Em seguida, o material foi macerado com uso de um pistilo e gral (DEDAVID, GOMES, MACHADO, 2007). Em seguida, realizou-se a análise morfológica do rejeito, através da técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV. As microfotografias foram obtidas através do Microscópio eletrônico de varredura da marca HITASHI, modelo TM 3000, com detectores de elétrons retroespalhados. A composição química foi investigada por meio da espectrometria de absorção atômica e técnicas multielementares como ICP OES (espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente) e ICP-MS (espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente).



Figura 2: Povoado de Bento Rodrigues após o rompimento da barragem.

2.3 MODELAGEM DA SUPERFÍCIE AFETADA PELO REJEITO

A fase de inventário sobre a área constou com a busca de bases cartográficas nacionais, estaduais e municipais que definiam os limites do subdistrito e seus elementos naturais. Posteriormente, foram realizadas visitas técnicas no local para detalhamento da paisagem com a finalidade de subsidiar a identificação dos fragmentos de flora e seus respectivos biomas e demais elementos da área. A área demarcada para estudo seguiu o contorno do setor censitário realizado pelo IBGE (2010), na escala de 1:50.000 e ajustes através de imagens atuais do Google Earth (2015), totalizando 51,75 ha. Após a realização dessa especificação, foi criado um *buffer* de 2 km (1855,1 ha) ao redor da delimitação censitária de Beto Rodrigues totalizando uma extensão de 1906,85 ha. Para a modelagem e análise multitemporal da superfície, utilizou-se duas imagens distintas produzidas pelo satélite *LANDSAT 8 – OLI/TIRS* dos dias 11 out. 2015 (anterior ao rompimento da barragem de fundão) e 12 nov. 2015 (posterior ao rompimento). Essas foram adquiridas no site da NASA – USGS (2016), e possuem resolução espacial de 30 m de 8 bits e composição de cor em RGB (*Red, Green, Blue*). Em seguida, os dados foram tratados através do *software* ArcGis® 10.2.2, realizou-se as correções nas resoluções das imagens de 30 m para 15 m. A categorização das imagens de satélite, conforme o uso e ocupação do solo do povoado, foi realizada utilizando o método de classificação supervisionada de Máxima Verossimilhança (MAXVER) ou método de classificação de *pixel a pixel* (MELLO, *et al.*, 2012). Para tanto, foram selecionadas amostras para cada feição identificada, como vegetação nativa e pastagem. Outras feições como bem feitorias, solo exposto e afloramento rochoso foram agrupados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As figuras 3 e 4 mostram os resultados do uso e ocupação do solo de Bento Rodrigues antes e após o rompimento da barragem de Fundão, respectivamente. O índice *Kappa* do primeiro mapa apresentou o valor de 0,530 e do segundo 0,403, o que atribuiu uma boa qualidade a estes (Gasparini, *et al.*, 2013). No entanto, ao realizar a comparação entre as imagens, observa-se que dos 1906,85 há (*buffer* 2 km), o rejeito de minério de ferro ocupou aproximadamente 281,6 ha, um percentual correspondente de 14,8%, em relação a primeira imagem. E, quando é avaliado a área do limite urbano (51,75 ha) apenas 14 ha não foi atingido, ou seja, aproximadamente 73% do povoado foi destruído pela corrente de rejeito (Figura 4). O que causou sérios danos sociais, econômicos e morais para as famílias que ali residiam.

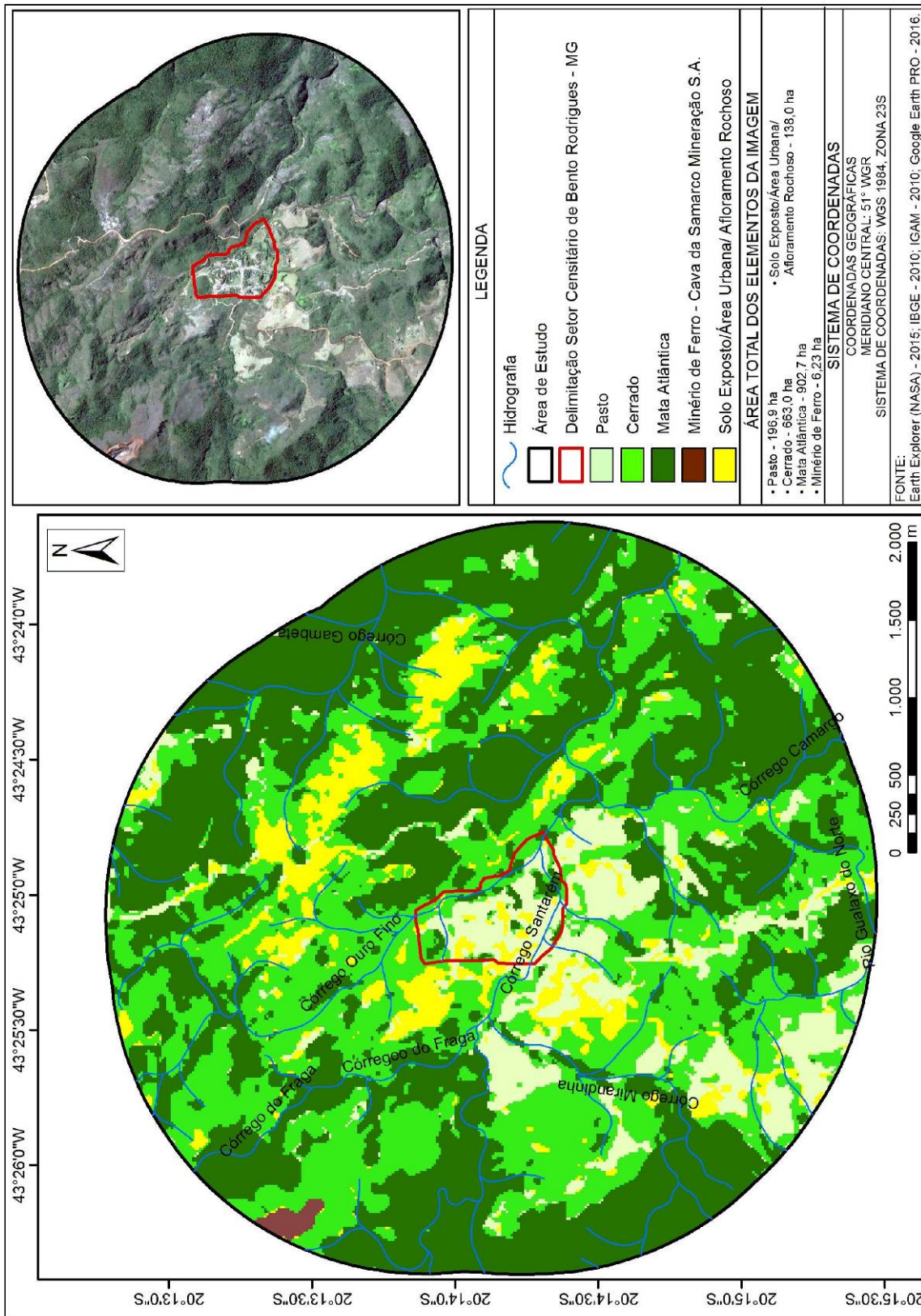


Figura 3: Mapa de uso e ocupação de Bento Rodrigues, subdistrito de Mariana – MG, anterior à data do rompimento da barragem de Fundão da mineradora Samarco S.A. (Imagem de satélite do dia 11 de outubro de 2015).

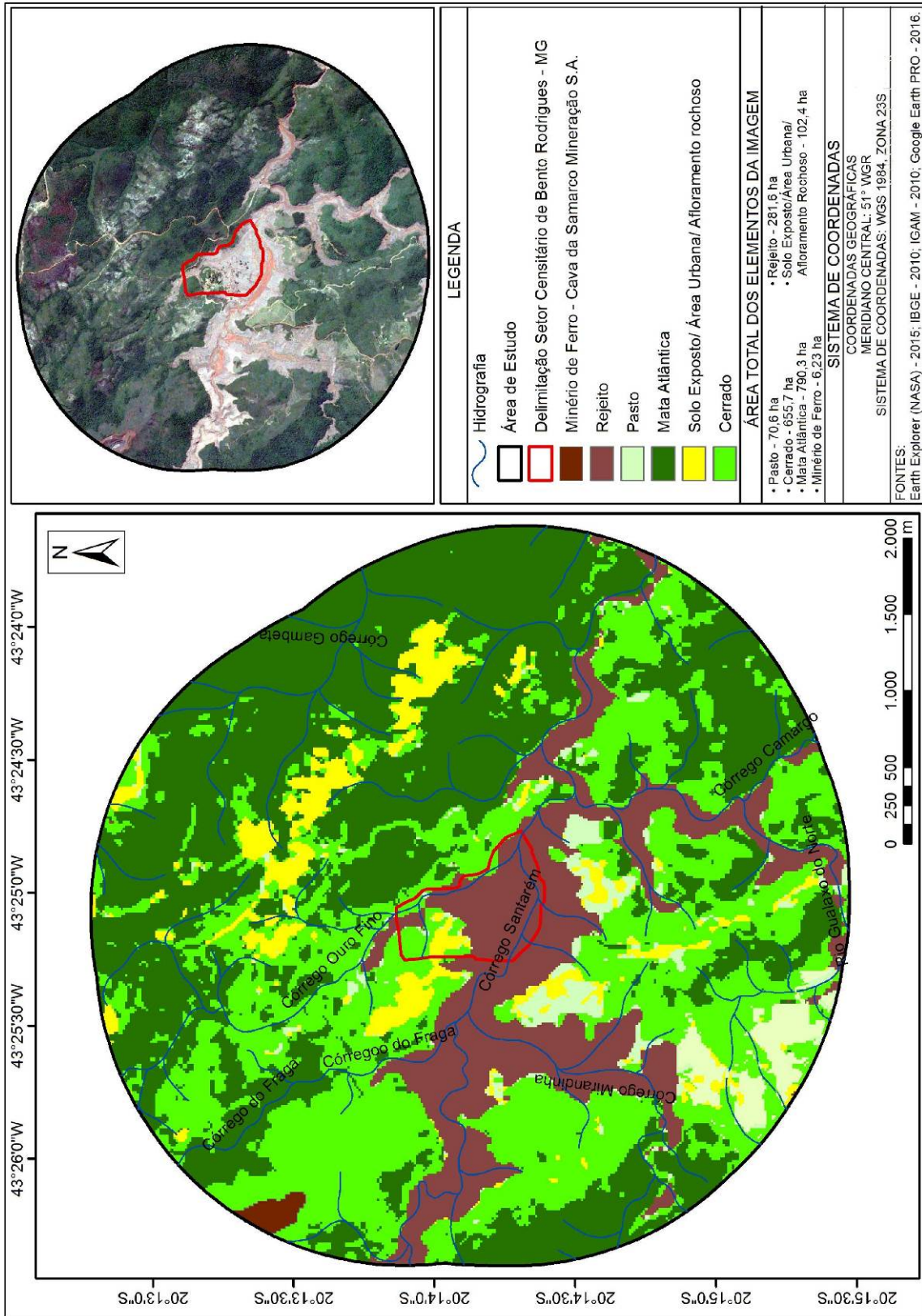


Figura 4: Mapa de uso e ocupação de Bento Rodrigues, posterior ao rompimento da barragem de Fundão da mineradora Samarco S.A. (Imagem de satélite do dia 12 de novembro de 2015).

A tabela 1 apresenta os valores em hectares (ha) das classes definidas para a análise anterior ao rompimento da barragem de Fundão e o total da área atingida pelo rejeito para cada item. O percentual de degradação foi calculado para cada classe. Ressalta-se que 6,23 ha são da feição representada pela cava da mineradora Samarco S.A.

Tabela 1 - Dados quantitativos da área afetada pelo rejeito de minério de ferro da barragem de Fundão.

CLASSES	ÁREA TOTAL PRESERVADA (ha)	ÁREA AFETADA (ha)	PERCENTUAL DEGRADADO (%)
Pasto	196,90	126,30	64,14
Cerrado	663,00	7,30	1,10
Mata Atlântica	902,70	112,40	12,45
Solo Exposto/ Área Urbana/ Afloramento Rochoso	138,00	35,60	25,80
Total	1900,60	281,60	14,82

Ao analisar a tabela, além das bem feitorias atingidas, o resultado mais expressivo no estudo foi a destruição de parte da superfície ocupada por pastagem (64,14%).

Os mapas também possibilitam visualizar os cursos de água mais atingidos, observa-se que o córrego Santarém, o córrego Mirandinha e o Rio Gualaxo do Norte foram afetados drasticamente. Esses propiciaram o carreamento dos sedimentos para outros corpos hídricos e continuam a favorecer essa dispersão através da lixiviação do rejeito presente em suas margens. O material carreado juntamente com o rejeito, representa um expressivo passivo ambiental dos cursos d' água, pois dos aproximados 1565,7ha identificados na caracterização multitemporal, 119,7ha de mata nativa foi suprimida e depositados no leito e margens dos cursos d'água. O que corresponde cerca de 111 campos de futebol (INMETRO, 2006).

O ensaio por meio da Microscopia eletrônica de Varredura (MEV) mostrou de forma qualitativa a morfologia dos minerais presentes, a partir de suas geometrias e absorção/refletâncias ao laser que cada tipo de material possui (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007, LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010). A caracterização morfológica revelou a presença de cristais de minerais, incluído a hematita e a magnetita, minerais com granulometrias de aproximadamente 0,1 a 0,6 mm – figura 5.

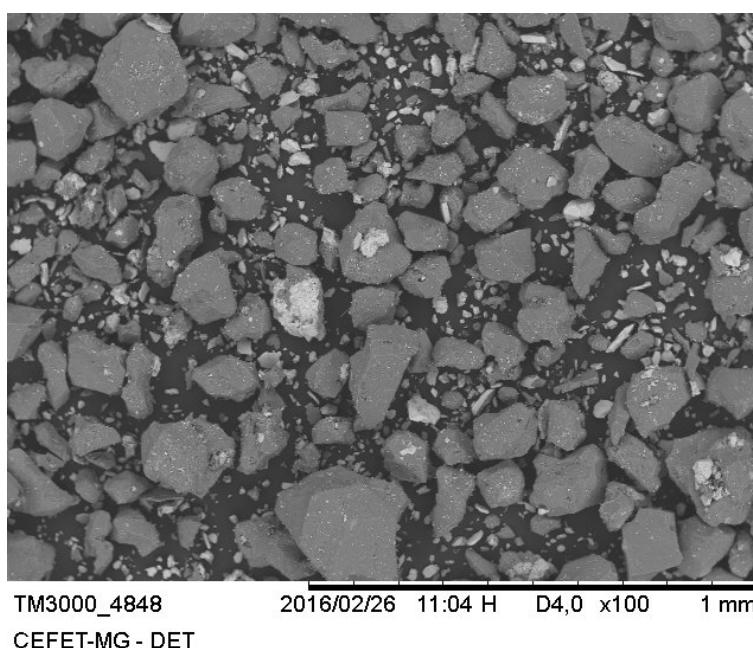


Figura 5 – Micrografia do rejeito da barragem de Fundão depositada sobre o solo do distrito de Bento Rodrigues, Mariana – MG. Colocar a imagem completa! A parte inferior foi cortada

A presença dos óxidos de ferro pode ser confirmada a partir de feições microestruturais (figuras 6A e 6B), pois a hematita demonstra microporos (figura 6A – indicativo 1) e a magnetita uma forma bem preservada, aparentemente lisa (figura 6B – indicativo 2) (SANTOS, 2002). Além disso, a cristalografia da hematita possui uma forma trigonal romboédrica. A figura 6B também apresenta uma morfologia semelhante indicada pelo número 1. Já a magnetita possui forma dodecaédrica malformada, como é designado na figura 6B, destacada pelo número 2 (KLEIN, DUTROW, 2012). Na figura 7, observa-se partículas claras agregadas a outros minerais. Essas partículas podem ser atribuídas aos minerais de sílica por possuírem feições microestruturais como formação de agregados e porosidade (REBELO, NASCIMENTO, CORRÊA (2015).

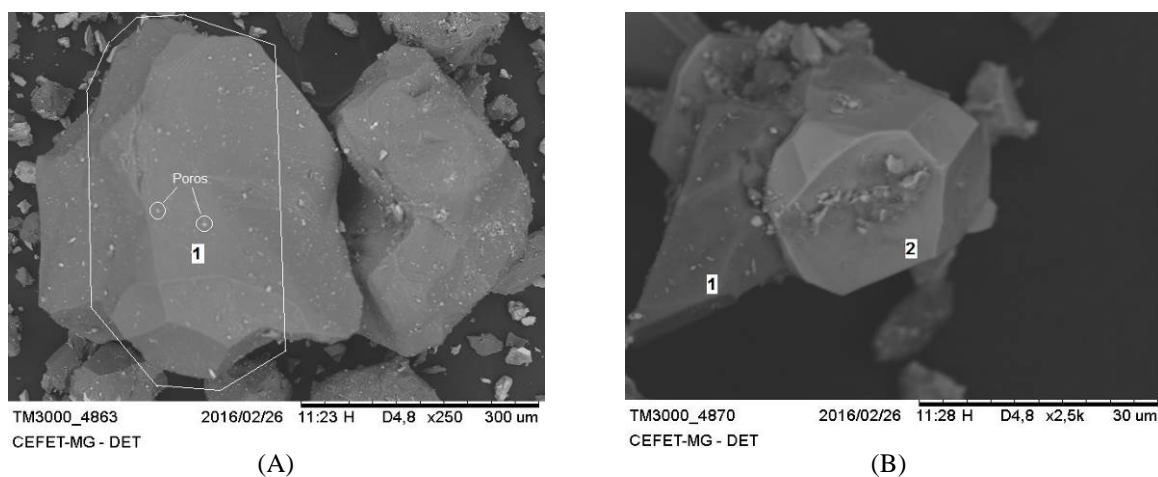


Figura 6: Amostra de rejeito do subdistrito. (A) ilustra a feição trigonal romboédrica identificada na amostra, com a identificação (1) que é característico da hematita (Fe_2O_3); (B) percebe-se a forma dodecaédrica malformada dada pelo número 2 da magnetita (Fe_3O_4).

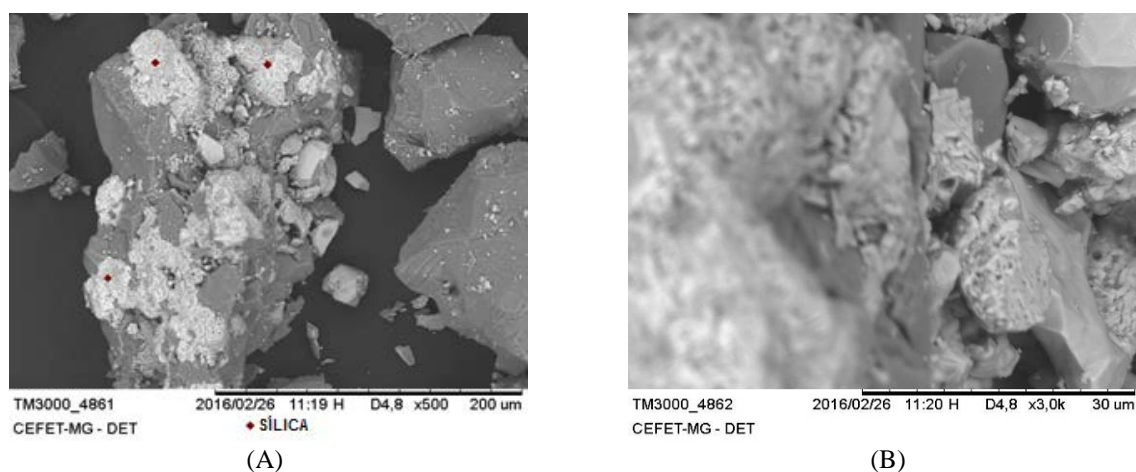


Figura 7: (A) representa minerais de sílica agregados a outros minerais. E, (B) demonstra as porosidades existentes na sílica.

O estudo da composição química do rejeito revelou a presença dos seguintes elementos: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn e Zr. O teor de ferro (Fe) foi o mais elevado correspondendo a de 97,85%, seguido do alumínio (Al) com 1,27% e do manganês (Mn) 0,25%. Esse resultado corrobora com aquele apresentado por Spier (2006), que em seu ensaio geoquímico realizado no Quadrilátero Ferrífero, relata uma maior concentração desses elementos, principalmente em rochas de itabirito. Também vale a pena mencionar a presença de elementos em percentagens menores que de acordo com Freire, *et al.* (2012), estão associados a fertilidade do solo como o magnésio (Mg), cálcio (Ca), potássio (K) e sódio (Na). Ademais, os resultados obtidos estão abaixo do permitido por lei para prevenção e/ou investigação de contaminação dos solos naturais, porém o Fe e Al, não possuem valores de prevenção. No entanto, os teores de

Fe, Al e Mn, apresentaram valores altos e como esses se encontram dispersos sobre o solo de Bento Rodrigues, a lixiviação por chuvas pode aumentar ainda mais os teores desses nos corpos d'água da região.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios demonstraram a importância de se caracterizar o impacto causado pelo rompimento da barragem de Fundão, a fim de se conhecer os danos causados no ambiente. Neste contexto, foi possível quantificar a área afetada do entorno através das imagens de sensoriamento remoto, o que possibilitou demonstrar a devastação ocorrida no subdistrito e de seu entorno, o que afetou não somente o meio antrópico, mas a flora local e consequentemente a fauna. Ademais, foi possível identificar os constituintes químicos presentes no rejeito. Por fim, tais resultados alertam para os cuidados que devem ser tomados por parte das mineradoras, de modo a ter um maior controle de suas barragens e a busca constata de soluções adequadas e/ou inovadoras para dispor seus rejeitos, reduzindo os riscos ambientais que essas apresentam.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAUJO, C. B. de. Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro. **COPPE/UFRJ**. Rio de Janeiro - RJ, p. 133, 2006. Disponível em <<http://goo.gl/eEkmsX>>. Acesso em: 18 mai. 2016. ISSN 1809-4422.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.007: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: **ABNT**, 2004.
3. BAETA, J.; *et al.* Rompimento de barragem soterra distrito de Mariana; há mortes. 2015. **O Tempo**, Belo Horizonte – MG, pág. 03, 05 nov. 2015.
4. BRASIL. **Mapa de Solos do Brasil. Escala 1:5.000.000**. 2001. Disponível em <<https://goo.gl/erz0SZ>>. Acesso em: 04 ago. 2016.
5. _____. MPF – Ministério Público Federal. Procuradoria da República nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. **Ação Civil Pública** - Rompimento da barragem fundão, da ACP proposta pelo poder público e do termo de transação e ajustamento de conduta. 2016. Autos nº: 60017-58.2015.4.01.3800/69758.61-2015.4.01.3400.
6. CHAVES, A. P. Manuseio de sólidos granulados. 2 ed. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2012. 250 p. ISBN: 978-85-7975-045-8.
7. CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, escala 1:1.000.000**. 2014. Disponível em <<http://goo.gl/oOPA2f>>. Acesso em: 04 ago. 2016.
8. DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. **EDIPUCRS**, Porto Alegre, p. 60, 2007. ISBN: 978-85-7430-702-2.
9. FREIRE, F. M.; *et al.* Sistema de produção: fertilidade de solos. 8º ed. **Embrapa Milho e Sorgo**, 2012. Disponível em <<http://goo.gl/8fHdJz>>. Acesso em 30 ago. 2016. ISSN 1679-012X.
10. GASPARINI, K. A. C.; *et al.* Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas na identificação de conflitos do uso da terra em Seropédica-RJ. **Floresta Ambient.**, Seropédica, v. 20, n. 3, p. 296-306, 2013. ISSN 1415-0980.
11. IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Lauda técnico preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais.** p.38, 2015. Disponível em <<http://goo.gl/Fbx6fa>>. Acesso em: 18 mai. 2016.
12. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa Censo Demográfico Mariana – MG. Escala 1:50.000**. 2010. Disponível em <<https://goo.gl/FWJMbS>>. Acesso em: 04 ago. 2016.
13. _____. **Mapa de Solos do Brasil. Escala 1:5.000.000**. 2001. Disponível em <<https://goo.gl/erz0SZ>>. Acesso em: 04 ago. 2016.
14. IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2015**. Resumo executivo. Belo Horizonte: IGAM, p. 179, 2015. Disponível em <<https://goo.gl/r7xRgl>>. Acesso em: 25 out. 2016.
15. INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Campo de futebol**. 2006. Disponível em <<https://goo.gl/IDMWyX>>. Acesso em: 25 out. 2016.

16. KLEIN, C.; DUTROW, B. Manual de ciências dos minerais. 23 ed. Porto Alegre: **Bookman**, 2012. 714 p. ISBN: 978-85-407-0085-7.
17. LUZ, A. B.; SAMPAIO, A.; FRANÇA, S. C. A. Tratamento de minérios. 5ª ed. Rio de Janeiro: **CETEM/MCT**, p. 57-137, 2010. CDD 622.7
18. MACHADO, M. F.; SILVA, S. F. **Geodiversidade do estado de Minas Gerais**. CPRM, Belo Horizonte, p. 1-136, 2010. Disponível em <<http://goo.gl/vkm1As>>. Acesso em: 11 jul. 2016.
19. MELLO, A. Y. I. de; *et al.* Avaliação de técnicas de classificação digital de imagens landsat em diferentes padrões de cobertura da terra em Rondônia. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 537-547, 2012.
20. MENDONÇA, F.; OLIVEIRA, I. M. D. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2007. 194 p. ISBN: 978-85-86238-54-3.
21. NASA – National Aeronautics and Space Administration. **Imagens de satélite: Landsat 8 OLI**. 2015. Disponível em <<https://goo.gl/g8UA4i>>. Acesso em: 10 jun. 2016.
22. REBELO, M. M.; NASCIMENTO, L. D.; CORREA, J. A. M. Sílica gel obtida de escória de alto forno: Marabá, Pará. **Cerâmica**, São Paulo, v.61, n. 359, p. 359-366, 2015. ISSN 1678-4553.
23. ROESER, H. M. P.; ROESER, P. A. **O Quadrilátero Ferrífero – MG, Brasil**: Aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. 2010. Disponível em <<http://goo.gl/193Dxx>>. Acesso em: 11 jul. 2016.
24. SÁ JÚNIOR, A. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas gerais**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras – MG, 2009. Disponível em <<http://goo.gl/x9m7Lf>>. Acesso em: 11 jul. 2016.
25. SANTOS, L. D. **Caracterização microestrutural de minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero – MG**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, p. 177, 2002. Disponível em <<http://goo.gl/Vbb9WL>>. Acesso em: 05 ago. 2016.
26. SPIER, C. A.; *et al.* Geochemistry and genesis of the banded iron formations of the Cauê Formation, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Elsevier**. Nova Lima, 2006. p. 170-206. Disponível em <<https://goo.gl/tzfd56>>. Acesso em: 09 nov. 2016.
27. VALADÃO, G. E. S.; ARAUJO, A. C. de. Introdução ao tratamento de minérios. 1 ed. Belo Horizonte: **UFMG**, 2007. 234 p. ISBN: 978-85-7041-478-6.