

JOÃO PAULO OLIVEIRA DE FREITAS

**PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM ÁREAS DE MINERAÇÃO DE BAUXITA NA
ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do programa de Pós-
Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do
título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

F866p
2018
Freitas, João Paulo Oliveira de. 1985-
Processos hidrológicos em áreas de mineração de bauxita na
Zona da Mata de Minas Gerais / João Paulo Oliveira de Freitas.
– Viçosa, MG, 2018.
xi, 69 f. : il. (algumas color.) : 29 cm.

Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 65-69.

1. Recuperação ecológica. 2. Solo - Uso. 3. Cobertura de
solos. 4. Ciclo hidrológico. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Florestal. Programa de
Pós-Graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDO adapt. CDD 22. ed. 634.9116

JOÃO PAULO OLIVEIRA DE FREITAS

**PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM ÁREAS DE MINERAÇÃO DE BAUXITA
NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.


APROVADA: 27 de fevereiro de 2018



Kelly Cristina Tonello



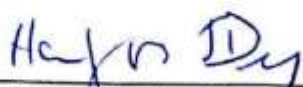
José Marinaldo Gleriani



Glauco Marcelino Marques



Julieta Bramorski



Herly Carlos Teixeira Dias
(Orientador)

**“Com o poder da sua mente, sua determinação, seu instinto, e a experiência também,
você pode voar muito alto.”**

Ayrton Senna

A meus Pais, Manoel Soares e Maria do Carmo,

meus exemplos de vida.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me dar saúde e força para seguir o meu caminho e por mais essa conquista em minha vida.

Aos meus pais, Manoel Soares e Maria do Carmo, que não mediram esforços para que eu pudesse estudar; aos meus irmãos José Antônio, Leandro, Giovani e Marcos, pela confiança e apoio.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF), pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

Ao Professor Herly Carlos Teixeira Dias, pela oportunidade concedida, orientação, confiança, ensinamentos e amizade.

Aos membros da banca examinadora.

A CAPES pela bolsa de doutorado, sem a qual este trabalho não seria possível de ser realizado com afinco.

Aos colegas da Pós-graduação, em especial ao Lucas e Luiz Eduardo que integraram o grupo de pesquisa, e ao Rodolfo pela ajuda com a Tese.

À Companhia Brasileira de Alumínio, Unidade Miraí, por acreditar e sonhar em conjunto por essa Tese, em especial ao Christian Andrade e Geraldo Sergio Werneck pela parceria.

Também à equipe da Operação de Mina, nas pessoas dos supervisores Márcio Greik, André Andrade e Rodrigo Cruzue, dos operadores de máquinas Wellington, Ademir, Douglas, André Vieira, Edmilson, Edson, Simaura, Edinaldo, Renato, Fábio Júnior e Sebastião, também ao Thiago Rezende e aos estagiários Fernando e Érica; e aos demais colaboradores envolvidos: Planejamento de lavra e geologia: Diego Miranda Braga e Adriana Ribeiro Santana.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Hidrologia Florestal da UFV, DEF e Viçosa.

A todos que de um modo geral, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho e para a minha formação acadêmica, muito obrigado!

BIOGRAFIA

João Paulo Oliveira de Freitas, filho de Manoel Soares de Freitas e Maria do Carmo Oliveira de Freitas, nasceu em Viçosa, Minas Gerais, em 11 de agosto de 1985.

Em março de 2007, iniciou o curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa (UFV), durante a graduação fez estágio na área de Hidrologia Florestal e Manejo de Bacias Hidrográficas, estagio voluntario (2009) e bolsista de iniciação científica (20102011). Graduando-se em janeiro de 2012.

Em fevereiro de 2012 ingressou no curso de Mestrado em Ciência Florestal, na Área de Hidrologia Florestal e Manejo de Bacias Hidrográficas, na UFV, sob orientação do Professor Herly Carlos Teixeira Dias, submetendo-se à defesa de dissertação com título “Caracterização de processos hidrológicos em ambientes de estágio inicial e avançado de regeneração em Floresta Atlântica” em fevereiro de 2014, obtendo o título de *Magister Scientiae* em Ciência Florestal.

Em março de 2012 iniciou o Doutorado em Ciência Florestal nesta mesma instituição, na área de concentração de Meio Ambiente e Conservação da Natureza e linha de pesquisa em Hidrologia Florestal e Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. Submetendo sua Tese para defesa em Fevereiro de 2018 para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
------------------------	----

LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	
xi	
2. OBJETIVOS	
2	
3. REFERENCIAL TEÓRICO	
3	
4.MATERIAL E MÉTODOS	8
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
5.1 Área Pré-mineração	19
5.1.1Plantio de eucalipto.	19
5.1.2 Pastagem.....	21
5.2 Abertura de acessos	22
5.4 Exploração	26
5.5 Reabilitação	32
5.6 Áreas Reabilitadas	51
5.6.1 Pastagem.....	52
5.6.2 Eucalipto.....	54
5.6.3 Mata Nativa	
56	
5.6.4 Café	58
5.7. TALUDE	59
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
7. CONCLUSÕES	
64	
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
Figura 2 - Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Fonte – ANA, 2013	9

Figura 3 - Altitude e localização das áreas mineradas pela CBA na Unidade de Mirai, 2017.	14
Figura 4 - Rede de drenagem da bacia e localização das áreas mineradas.	16
Figura 5 - Sub-bacias e a localização das áreas exploradas. 2017.	18
Figura 6 - Áreas pré-mineração com plantio de eucalipto, A) Vista geral do plantio e B) Vista do interior do plantio. Mirai, MG 2016.	20
Figura 7 - Área pré-mineração com plantio eucalipto, A) Vista geral do plantio e B) Vista do interior do plantio. Mirai, MG 2016.	20
Figura 8 - Área de pré-mineração com pastagem, Rosário da Limeira-MG,2017.	21
Figura 9 - Etapas da exploração da bauxita. A) Abertura de acessos. B) Poço de decantação. Mirai-MG, 2016. Foto CBA.	22
Figura 10 - Limpeza da área com corte do eucalipto, Rosário da Limeira-MG, 2017.	23
Figura 11 - Etapas executadas após o corte do eucalipto. A) Estrada de acesso para a retirada da madeira. B) Estrada escarificada após a retirada da madeira. Rosário da Limeira-MG, 2017.	24
Figura 12 - Decapeamento do solo com a utilização de trator de esteiras. Rosário da LimeiraMG, 2017.	25
Figura 13 - Áreas de exploração de bauxita. A) Talude formado em área de exploração de bauxita, e B) Rocha exposta após exploração da bauxita. Rosário da Limeira-MG, 2017.	26
Figura 14 - Áreas de exploração da bauxita. A) Vista geral de uma área em exploração. B) Área em exploração, evidenciando a intensa movimentação de máquinas e caminhões. Rosário da Limeira-MG, 2017.	27
Figura 15 - Áreas de exploração da bauxita com emissão de particulados pela movimentação de caminhões e máquinas. Rosário da Limeira-MG, 2017.	28
Figura 16 - Áreas de exploração da bauxita. A) Acúmulo de água nos poços de decantação e B) Acúmulo de argila no do poço de decantação. Rosário da Limeira-MG, 2017.	28
Figura 17 - Vista geral de um corpo de minério. Rosário da Limeira-MG,2017.	29
Figura 18 - Uso de correias transportadoras no controle de processos erosivos em áreas de exploração de bauxita. Rosário da Limeira-MG, 2017.	29
Figura 19 - Uso de correias transportadoras para contenção de material solido em áreas de exploração de bauxita. Rosário da Limeira-MG,2017.	30
Figura 20 - Manutenção nos poços de decantação e fechamento de acesso de um corpo de mineração de bauxita. Rosário da Limeira-MG, 2017.	31
Figura 21 - Trincheira para retenção de água de escoamento superficial e material solido em área de exploração de bauxita. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.	32
Figura 22 - Processo de reabilitação das áreas mineradas, A) Escarificação. B) Distribuição do solo Rico. C) Etapas de reconformação, escarificação e distribuição do solo rico. D) Solo escarificado. São Sebastião da Vargem Alegre, 2016.	34
Figura 23 - Técnicas de conservação do solo e da água em área em reabilitação. A) Barraginha; B) e C) Poço de decantação e C) Terraço em Curva de Nível. São Sebastião da Vargem Alegre, 2016.	35
Figura 24 - Pastagem com uso de cordão em contorno. Foto: João Luiz Lani	36
Figura 25 - Pastagem de braquiária em área de reabilitação. A) Início da germinação da braquiária e B) Pastagem já cobrindo quase toda área. São Sebastião da Vargem Alegre-MG,2017.	37

Figura 26 - Pastagem braquiária em áreas de reabilitação. Rosário da Limeira, 2017.	39
Figura 27 - Plantio de eucalipto em áreas de reabilitação. São Sebastião da Vargem AlegreMG,2017.	39
Figura 28 - Plantio de espécies arbóreas nativas em área em reabilitação. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.	40
Figura 29 - Erosão em sulcos em áreas em reabilitação. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.....	41
Figura 30 - Minério de bauxita aflorando em: A) área pré-mineração e B) Área reabilitada. Rosário da Limeira, 2017.....	42
Figura 31 - Área em reabilitação com escarificação no sentido da declividade. São Sebastião da Vargem Alegre-MG,2017.	42
Figura 32 - Plantio de eucalipto A e B) Seca do eucalipto setembro 2016 e C e D) brotação do eucalipto julho 2017. São Sebastião da Vargem Alegre-MG.	43
Figura 33 - Plantio de eucalipto em áreas reabilitadas A) Eucaliptos tombados, e B) Sistema radicular exposto do eucalipto. Rosário da Limeira-MG, 2017.....	44
Figura 34 - Presença de animais nas áreas em reabilitação e exploração. A) Danos causados nas estruturas de contenção de água. B) Presença de animais em área de plantio de espécies arbóreas nativas. C) Presença de animais em área de plantio de eucalipto. (D) Presença de animais em área em exploração. Mirai-MG, 2017.	45
Figura 35 - Corpo em reabilitação, A e B) Vista geral do corpo, antes e após o plantio. C e D) Crescimento da vegetação. F) Manutenção do corpo em reabilitação com correção dos problemas causados pela erosão. F) Vegetação cobrindo o corpo. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.	46
Figura 36 - Área de pastagem em reabilitação queimada. São Sebastião da Vargem AlegreMG, 2017.....	47
Figura 37 - Problemas em áreas de reabilitação A) Erosão em voçoroca e B) acúmulo de sedimentos em áreas em reabilitação. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.	48
Figura 38 - Barragem construída em local inadequado. São Sebastião da Vargem AlegreMG,2017.	49
Figura 39 - Afloramento de água em áreas em reabilitação. São Sebastião da Vargem AlegreMG,2017.	50
Figura 40 - Pastagens em área reabilitadas A e B) Áreas de pastagens reabilitadas e C) Poço de decantação e C) Curva de nível. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.....	53
Figura 41 - Plantio de eucalipto em áreas reabilitadas. A e B) Condução de plantio e C e D) Condução de talhadia. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.	55
Figura 42 - Áreas reabilitadas com mata nativa. A) Detalhe do plantio. B) Acumulo de serapilheira. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.	57
Figura 43 - Área reabilitada com plantio de café. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.....	57
Figura 44 - Talude em áreas exploradas. A e B) Talude em área explorada com limite com a mata nativa. C) Alta umidade em um talude. C) Material solido carreado de um talude em área de pastagem. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.	58
Figura 45 - Parede de um poço de decantação com elevada umidade do solo. Rosário da Limeira-MG, 2017.	59

Figura 46 - Visada orbital em composição colorida verdadeira do sensor CNES/Airbus. (A) Imagem em 2010 (B) em agosto de 2016. Fonte: Adaptado do Google Earth, 2017. 60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Áreas visitadas no processo de exploração de bauxita na CBA unidade Miraf-MG.	11
Tabela 2. Matriz dos impactos nos processos hidrológicos em área de mineração de bauxita CBA unidade Miraf-MG.	12

RESUMO

FREITAS, João Paulo Oliveira de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Processos hidrológicos em área de mineração de bauxita na Zona da Mata de Minas Gerais.** Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias.

Avaliou-se, através da percepção visual, todo o processo de exploração da bauxita, englobando as áreas de pré-mineração, exploração, reabilitação e reabilitadas entregues aos superficiários, avaliando os processos hidrológicos envolvidos. Foram visitadas 42 áreas, divididas em quatro etapas compostas por pastagens, plantio de eucalipto, mata nativa e plantio de café. Nas áreas de pré-mineração, foi observado a baixa produtividade das áreas e ausência de técnicas de conservação do solo e da água. As áreas em exploração apresentam um conjunto de técnicas mecânicas de retenção das águas de escoamento superficial. As áreas em reabilitação demandam um maior cuidado com relação a conservação do solo e água, devido à ausência de cobertura nas fases iniciais do processo e pela topografia do terreno, que apresenta uma alta declividade. As áreas reabilitadas já entregues aos superficiários apresentam boa produtividade e presença de técnicas mecânicas de conservação do solo e da água. Os processos hidrológicos mais afetados durante a operação de extração da bauxita são o escoamento superficial, a infiltração e a evapotranspiração.

ABSTRACT

FREITAS, João Paulo Oliveira de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018.
Hydrological processes in a bauxite mining area in Zona da Mata of Minas Gerais.
Adviser: Herly Carlos Teixeira Dias.

The entire bauxite exploration process was visually assessed, encompassing the pre-mining areas, exploration area, rehabilitation and the rehabilitated areas delivered to the landowners, evaluating the hydrological processes involved. It was visited 42 areas, divided in four stages, composed of pastures, eucalyptus plantation, native forest and coffee plantation. In premining areas, it was observed the low productivity of the areas and absence of soil and water conservation techniques. The exploration areas present a set of mechanical techniques for the retention of runoff waters. The areas in rehabilitation require greater care in relation to soil and water conservation, due to lack of coverage in the early stages of the process and the topography of the land which has a high slope. The areas rehabilitated and already delivered to the landowners present good productivity and presence of soil and water conservation mechanical techniques. The most affected hydrological processes during the bauxite extraction operation are surface runoff, infiltration and evapotranspiration.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com os recursos hídricos tem aumentado nos últimos anos, principalmente, devido aos problemas com o abastecimento de água em quantidade e qualidade em várias regiões do país. Fato agravado pela degradação e impermeabilização do solo, a qual causa uma diminuição do potencial de infiltração das águas das chuvas, o aumento do consumo de água, seja residencial, industrial ou agrário e, também, pelas precipitações, as quais têm ficado abaixo da média em algumas regiões do Brasil.

A produção mundial de bauxita, em 2015, foi de 291 milhões de toneladas métricas, sendo o Brasil responsável por mais de 37 milhões de toneladas (BROWN et al. 2018). As principais reservas de bauxita se encontram nos estados do Pará, Minas Gerais, Goiás e Bahia. Em 2015, as maiores produções foram no Pará e em Minas Gerais, com 33,2 e 1,7 milhões de toneladas respectivamente (DNPM, 2016).

A exploração mineral no Brasil é uma atividade de grande importância para a economia, segundo o IBRAM (2016), a atividade foi responsável, em 2016, por 4,3% do PIB nacional e 16,9% do PIB Industrial. As exportações foram de 394 milhões de toneladas, representando US\$ 21,6 bilhões, sendo a bauxita responsável por 1% das exportações. A produção mineral no país foi de US\$ 24 bilhões, gerando 185 mil empregos diretos na exploração, e, segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral, somados os empregos da indústria extrativa com os da indústria de transformação mineral, em 2016, foram gerados 663 mil empregos.

A atividade de exploração de minério, apesar de ser pontual, tem grande impacto no meio ambiente, necessitando de um planejamento em todas as suas etapas, a fim de diminuir os impactos negativos que podem ocorrer, principalmente, aqueles relacionados aos recursos hídricos.

A água no processo de mineração atua em dois pontos principais: como insumo no processo de extração ou beneficiamento e em algumas formas de exploração, sendo necessária para muitos dos processos e operações a serem desenvolvidos. Como agente, pode originar problemas e implicar em custos adicionais para o empreendimento e para toda a sociedade.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar todo o processo de exploração da bauxita com relação aos processos hidrológicos, englobando as áreas de pré-mineração, área em exploração, áreas em reabilitação e áreas reabilitadas.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a mineração da Companhia Brasileira de Alumínio na Unidade de Mirai, na Zona da Mata Mineira;
- Analisar os processos Hidrológicos envolvidos no processo de exploração de bauxita.
- Verificar se é possível avaliar os processos hidrológicos de forma global holística, por meio de observações de campo, indicando estudos detalhados a serem desenvolvidos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

A preocupação com o uso adequado dos recursos hídricos tem aumentado nos últimos anos, à medida que os problemas ocorridos em decorrência das chuvas têm provocado cada vez

mais transtornos à sociedade, como as inundações em períodos chuvosos, bem como a escassez pela diminuição da vazão dos cursos d'água em épocas secas. Alterações na disponibilidade de água são influenciadas pela baixa taxa de infiltração dos solos devido à falta de cobertura vegetal, que é de fundamental importância na taxa de infiltração. Com isso, há uma diminuição na velocidade em que a água da chuva chega ao solo, aumentando o escoamento superficial e diminuindo a recarga do lençol freático (FREITAS et al., 2013).

Segundo Barroso (et al. 2012), a mineração é uma operação que afeta o meio ambiente, que geralmente não representa grandes áreas extensas, especialmente quando comparado com os outros agentes impactantes, como a agricultura e a pecuária. No entanto, seus efeitos ambientais são severos, devido ao seu profundo movimento das camadas do solo, a remoção da cobertura vegetal e a alteração do regime de escoamento de água, tornando-se uma fonte potencial de problemas de natureza física, química e biológica.

A mineração de bauxita caracteriza-se pela retirada da vegetação, pela intensa movimentação das camadas superficiais do solo e pela geração de substratos de difícil colonização por plantas, demandando a execução de ações que levem à recuperação dos sítios minerados. No Brasil, as jazidas de bauxita se encontram, principalmente, sob florestas naturais, pastagens, plantios florestais e cultivos agrícolas. Dessa forma, as empresas mineradoras negociam o direito de exploração do minério com os “superficiários” (proprietários das terras), pagando-lhes os devidos *royalties* e tendo o compromisso legal, ambiental e social de recuperação da área minerada com o mesmo tipo de cultura préexistente. Assim, surge o desafio de elaborar estratégias de recuperação da qualidade do solo, profundamente alterada pela atividade de mineração, e garantir o desenvolvimento de culturas sobre essas áreas de forma viável a médio e longo prazo (BORGES, 2013).

Os efeitos ambientais estão associados, de modo geral, às diversas fases de exploração dos bens minerais, da abertura do corpo de minério (retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local), ao transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando os meios como água, solo e ar, além da população local (BACCI et al., 2006).

De acordo com Barroso et al. (2012), o impacto das operações de mineração de bauxita no ambiente físico pode ser significativamente negativo se não for mitigado corretamente, gerando riscos de tornar inviáveis os processos de reabilitação ambiental, devido à impossibilidade de retorno às propriedades originais dos solos e dos recursos hídricos. Em

muitos casos, os impactos ambientais das atividades de mineração podem ser mitigados pelo uso de controles ambientais apropriados e técnicas de restauração ecológica.

As atividades de extração mineral são de grande relevância para o produto interno bruto do país, porém, há consequências para o ambiente como a perda da biodiversidade e a interferência nos recursos hídricos da região (MOREIRA, 2004).

Pinto et al. (2013b) afirma que o crescimento econômico e tecnológico tem gerado muitos desequilíbrios no meio ambiente, o que se reflete em uma série de alterações no ecossistema. Devido a isso, existe uma grande preocupação mundial com relação à disponibilidade e preservação de recursos naturais, especialmente a água, buscando seu gerenciamento sustentável.

Moreira (2004) afirma que as principais ações para que as áreas degradadas possam voltar a ser produtivas consiste no desenvolvimento e estabelecimento de sistemas de manejo do solo, em especial polinizadores e dispersores, seguido da revegetação do local, de maneira a propiciar o retorno da fauna. A extração de minério, a exemplo de algumas outras atividades de exploração de recursos da natureza, causa o ônus, evidenciando em seus canteiros de obras um rastro da intensa alteração do ambiente, tanto com referência à paisagem local, como em profundidade física e temporal.

O autor ainda afirma que a natureza é composta por sistemas complexos e integrados aos fatores ambientais climáticos (temperatura do ar, precipitação, fotoperíodo, vento, radiação solar, umidade e gases), edáficos (propriedades físicas, químicas e biológicas, umidade, topografia, declive e exposição do solo) e bióticos (homem, plantas e animais). Neste contexto, para recuperação de um ecossistema degradado, estes fatores devem ser medidos, analisados e interpretados ao nível de suas alterações, antes e depois de terem sofrido as intervenções antrópicas ou por fatores naturais.

Do volume de precipitação, uma parte pode infiltrar ou escoar superficialmente, dependendo da capacidade de infiltração do solo, que, por sua vez, depende de condições variáveis, como umidade, características químicas ou estruturais e cobertura vegetal. A água que infiltra pode percolar para o aquífero, gerar um escoamento subsuperficial ao longo dos canais internos do solo até a superfície ou um curso d'água. A água que percola até o aquífero é armazenada e transportada até os rios, criando condições para manter os rios perenes nos períodos de longa estiagem (TUCCI e MENDES, 2006).

A vazão de uma microbacia é formada por dois componentes: o escoamento de base e o direto. O de base é mais lento, corresponde à parte da água das chuvas, que infiltra nos solos

e percola em profundidade com a drenagem vertical da água para a zona não saturada do solo, com elevação dos níveis freáticos ou água subterrânea. Já o escoamento direto, consiste na água do rio que deixa a microbacia durante ou logo após a chuva (RODRIGUES, 2011).

De acordo com Lima et al. (2013), a cobertura vegetal auxilia na redução da erosão hídrica, interceptando as gotas de chuva que impactariam diretamente a superfície do solo. Como consequência, há uma diminuição na energia cinética da chuva, causada pelo impacto da gota de chuva na desestruturação, no selamento superficial do solo e na velocidade da enxurrada, aumentando a infiltração de água no solo.

Em solos sem cobertura e compactação, a capacidade de infiltração pode diminuir drasticamente, com constante aumento do escoamento superficial. Por exemplo, estradas de terra ou caminhos percorridos pelo gado sofrem forte compactação, o que reduz a capacidade de infiltração, enquanto o uso de maquinário agrícola para revolver o solo durante o plantio pode aumentar a infiltração. A capacidade de infiltração varia também com as condições de umidade. Um solo argiloso pode ter uma alta capacidade de infiltração quando estiver seco, no entanto, após receber umidade, pode se tornar quase impermeável (TUCCI e MENDES, 2006).

Um subsídio importante à gestão das bacias é a identificação dos impactos negativos presentes, pois dependendo do impacto, formas ou alternativas diferentes de manejo deverão ser implantadas visando à melhoria do ambiente. Por exemplo, situações em que há impactos relacionados à poluição sanitária promoverão alterações da qualidade da água, enquanto que impermeabilização e/ou compactação do solo acarretam uma diminuição da infiltração de água no solo. A ausência de proteção ao redor das nascentes também pode facilitar o fluxo de pessoas e animais, ocasionando o pisoteio e, por consequência, uma alteração na vazão das nascentes (LEAL et al., 2017).

Segundo Machado et al. (2017), o homem constantemente altera os mecanismos naturais dos ambientes que controlam o ciclo da água. Entre os componentes do ciclo hidrológico, a vazão representa uma síntese complexa entre precipitação, evapotranspiração e outros parâmetros e variáveis da bacia hidrográfica, sendo, portanto, de interesse especial por ser a resposta do rio aos sinais climáticos e a modificação da paisagem (desmatamento, expansão da agricultura e urbanização).

A gestão eficaz dos recursos hídricos é de grande relevância social e ambiental, e sua inobservância pode comprometer a sustentabilidade do uso dos recursos naturais de uma bacia hidrográfica. De fato, para a efetivação de medidas eficazes de gestão dos recursos hídricos, faz-se necessário o monitoramento dos principais componentes do ciclo hidrológico, dentre os

quais se destaca a evapotranspiração, considerada como o indicador de perda da água da superfície terrestre pela interface do sistema solo-planta-atmosfera (LEIDJANE et al., 2014).

Mudanças nos processos de evapotranspiração, infiltração de água do solo e escoamento são as principais consequências das mudanças de uso do solo nas bacias hidrográficas (PEREIRA et al., 2014).

Compreender a dinâmica dos processos naturais exige esforços laboriosos, que muitas vezes dependem do monitoramento periódico ao longo do tempo, levando anos de estudos e pesquisas em alguns casos para produzir resultados conclusivos (PINTO et al., 2013a).

A qualidade do solo geralmente é considerada como tendo três aspectos principais: físico, químico e biológico. Considera-se importante esses aspectos para a avaliação da extensão da degradação ou melhora da terra, e para a identificação de práticas de gestão para o uso sustentável da terra (DEXTER, 2004a).

A qualidade física do solo é manifesta de várias maneiras. Exemplos de má qualidade física são quando os solos exibem um ou mais dos seguintes sintomas: baixa infiltração de água, escoamento superficial de água, fraca aeração e baixa capacidade de trabalho. A boa qualidade física do solo ocorre quando os solos exibem o oposto ou a ausência das condições listadas acima. Muitas vezes, um solo exhibe vários ou todos esses problemas físicos simultaneamente. A razão é que todos esses sintomas têm uma causa comum: estrutura pobre do solo (DEXTER, 2004a).

O manejo a que o solo é submetido pode tanto provocar sua degradação quanto sua melhora. No contexto de um manejo integrado e adequado de bacias hidrográficas com o intuito de reverter o quadro de redução de vazão dos mananciais e a depreciação da qualidade de suas águas, torna-se necessário conhecer o ciclo hidrológico regional, onde o solo assume uma posição de destaque, pois é o responsável pelo processamento da água (GOMES et al., 2012).

Segundo Veras et al. (2016), a interação das águas subterrâneas e das águas superficiais entre rios e córregos é de grande importância para os aspectos quantitativos da água e em questões ambientais, envolvendo toda a cadeia alimentar. O assunto é muito complexo e relacionado a uma série de fatores físicos e bioquímicos, muitas vezes requerendo uma abordagem multidisciplinar. A precipitação pode influenciar indiretamente a variabilidade transversal da interface rio-aquífero, gerando o escoamento do rio e transporte de sedimentos, intensificando essa interação. Consequentemente, pode haver mudanças significativas no fluxo superficial ou subterrâneo. Além disso, os eventos de precipitação podem gerar a elevação dos níveis do aquífero, influenciando a diferença nas cabeças hidráulicas entre o rio e o aquífero.

A interface solo-vegetação-atmosfera tem uma forte influência no ciclo hidrológico. Associado aos processos naturais, que por si só já são complexos, existe também a interferência humana que age sobre esse sistema natural. A maior dificuldade em melhor representar os processos hidrológicos nas interfaces mencionadas é a grande heterogeneidade dos sistemas envolvidos, ou seja, a grande variabilidade do solo e cobertura vegetal, além da própria ação do homem (TUCCI e MENDES, 2006).

A mudança climática interfere diretamente no ciclo hidrológico, alterando o regime pluviométrico e a evapotranspiração em uma região, influenciando o processo de recarga do aquífero e modificando os fluxos dos rios, podendo aumentar os recursos disponíveis ou simplesmente reduzi-los com o tempo. A própria mudança climática, como mudanças de temperatura e outros fatores ambientais, também pode interferir indiretamente, afetando a relação entre a sociedade, o setor produtivo e os recursos hídricos, modificando a demanda ou exigindo água com outras características físicas, químicas ou biológicas. Ambos os efeitos diretos e indiretos precisarão de um melhor uso dos recursos hídricos. Para alcançá-lo, é necessário repensar a matriz hidráulica, a eficiência social, econômica e ambiental do recurso e seu uso atual e futuro (HIRATA et al., 2012).

Estudos que quantifiquem as perdas de água, solo e nutrientes em áreas mineradas em processo de recuperação são escassos, assim como estudos que avaliem a produção e sustentabilidade de atividades agrícolas sobre essas áreas. Esses estudos são essenciais para a compreensão da magnitude dos impactos causados e para o monitoramento da recuperação da área. Dessa forma, ações mais efetivas que minimizem a degradação do solo, que melhorem a qualidade da água e aumentem a produção das culturas podem ser adotadas em regiões mineradas (BORGES, 2013).

4.MATERIAL E MÉTODOS

A presente tese foi conduzida em condição de campo, em propriedades localizadas em três municípios da Zona da Mata de Minas Gerais (Figura 1), sendo elas Miraf, Rosário da Limeira e São Sebastião da Vargem Alegre, em áreas onde há a extração de bauxita sob concessão da Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) – Votorantim Metais. Ambas as propriedades estão localizadas na sub-bacia do Rio Muriaé, que pertence à bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (Figura 2).

Figura 2 - Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Fonte – ANA, 2013

O relevo da região apresenta-se acidentado, variando de fortemente ondulado a montanhoso (MARISCAL-FLORES, 1993). O solo dominante na região é o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), e a vegetação nativa é classificada como Estacional Semidecidual Montana, no domínio Mata Atlântica (IBGE, 2012). O clima da região é classificado como Cwb (Köppen) mesotérmico, com verão temperado e chuvoso e inverno seco, com precipitação média anual de 1.336 mm e temperatura média anual de 19 °C (ALVAREZ et al., 2013).

Em cada uma das áreas visitadas foi feita uma análise de como o processo de exploração e reabilitação interferem nos processos hidrológicos. Todas as áreas visitadas foram descritas e registradas com relação ao uso e ocupação do solo e as etapas do processo de exploração da bauxita, inclusive fotografadas. Também foi utilizado imagens de satélite e fotos de campo do banco de dados da empresa. Segundo Tucci e Mendes (2006), algumas constatações feitas em campo, por estarem tão explicitadas visualmente na paisagem de bacias, não exigem a aplicação de metodologias de amostragem de dados e/ou simulação de processos físicos para constatar a ocorrência ou não de impacto, sendo classificado como “indicadores visuais ou qualitativos da saúde da microbacia”.

Os autores afirmam ainda que os indicadores visuais expressam, desta forma, o resultado das ações humanas ao longo do tempo, facilmente percebidas na paisagem. Com os parâmetros de qualidade da água e os atributos visualmente percebidos na paisagem, é possível integrar respostas às práticas de manejo na escala da microbacia. Em uma avaliação mais consistente desses indicadores, procura-se relacionar o estágio em que se encontram os impactos visuais, com medições na escala micro e os respectivos indicadores de ordem quantitativa (TUCCI e MENDES, 2006).

Foram visitadas 42 áreas, divididas nas etapas de pré-mineração, exploração, reabilitação e áreas entregues aos superficiários, compostas por pastagens, plantio de eucalipto, mata nativa e plantio de café. As visitas a campo foram feitas no período de setembro de 2016 a julho de 2017. O número de corpos visitados em cada uma das etapas dependeu da disponibilidade dos mesmos em cada etapa do processo de exploração da bauxita e reabilitação das áreas mineradas.

Para a elaboração dos mapas foram utilizadas imagens do sensor/satélite PALSAR/ALOS, banda L, gerada em 27 de novembro de 2010 (cena ID:

ALPSRP257896760) e a utilização do software ArcGIS 10.1. O PALSAR corresponde a um radar imageador de abertura sintética que opera com resoluções espaciais que variam de 10 a 100 m e possui três modos de imageamento: fino, ScanSAR e polarimétrico (IGARASHI, 2001). O primeiro passo foi fazer a interpolação das curvas de nível, com o intuito de gerar uma estrutura de grade triangular, gerando um modelo digital de elevação (MDE), para posteriormente fazer a análise hidrológica da área. A direção do fluxo de escoamento da água foi determinada, baseada nas direções do escoamento para cada uma das células que compõem o MDE. Foi delimitada a bacia hidrográfica da área, utilizando como ponto da sua foz, a cidade de Muriaé-MG, por englobar todas as áreas que foram ou estão sendo exploradas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, estão representadas as áreas visitadas, divididas nas etapas de prémineração, exploração, reabilitação e áreas entregues aos superficiários, compostas por pastagens, plantio de eucalipto, mata nativa e plantio de café.

Tabela 1 - Áreas visitadas no processo de exploração de bauxita na CBA unidade Miraí-MG.

Etapas Mineração	Nº de Corpos	Usos / Cobertura				
		Solo exposto	Eucalipto	Pastagem	Café	Mata nativa
Pré- Mineração	3	0	2	1	0	0
Exploração	4	3	1	0	0	0
Reabilitação	18	8	3	12	0	1
Reabilitadas	16	0	6	16	1	1

Totais	42	11	12	29	1	2
% em relação ao total	100	26,2	28,6	69	2,4	4,76

Na Tabela 2, estão representadas de forma resumida, as relações entre as etapas da exploração da bauxita com os processos hidrológicos que estão envolvidos no processo de mineração de bauxita, nesta unidade da Companhia Brasileira de Alumínio.

Não foi inserida na Tabela 2 uma coluna com a precipitação, apesar de ser um processo hidrológico de grande importância, onde se dá a entrada de água na bacia hidrográfica, pelo fato de que não foi possível identificar possíveis alterações em sua distribuição, causados pelo processo de exploração da bauxita.

Tabela 2 - Matriz dos impactos nos processos hidrológicos em área de mineração de bauxita CBA unidade Mirai-MG.

Etapas do processo de extração	Infiltração	Recarga lençol freático	Escoamento superficial	Vazão das nascentes	Evaporação e transpiração
Pré Mineração: Solo compactado.	X	X	X	X	
Ausência de técnicas conservacionistas.	X	X	X	X	
Cobertura vegetal.	X	X	X	X	X
Decapeamento: Abertura de acessos	X	X	X	X	X
Retirada da cobertura vegetal.	X	X	X	X	X
Retirada da camada superficial do solo.	X	X	X	X	X
Compactação do solo	X	X	X	X	
Exposição do solo a ação dos ventos e raios solares.	X	X		X	X
Exploração: Abertura de acessos.	X	X	X	X	
Compactação do solo.	X	X	X	X	
Retirada de minério.	X	X		X	
Alteração no relevo.	X	X	X	X	
Construção de poços de decantação.	X	X	X	X	
Talude.	X		X		X
Poços de decantação.	X	X	X	X	X

Exposição do solo a ação dos ventos e raios solares.					X
--	--	--	--	--	---

12

Etapas do processo de extração	Infiltração	Recarga lençol freático	Escoamento superficial	Vazão das nascentes	Evaporação e transpiração
Reabilitação: Reconformação topográfica.	X	X	X	X	
Escarificação cruzada.	X	X	X	X	
Poços de decantação.	X	X	X	X	
Curvas de nível.	X	X	X	X	X
Barraginhas.	X	X	X	X	X
Plantio.	X	X	X	X	X
Talude.	X		X		X
Área reabilitada: Cobertura vegetal.	X	X	X	X	X
Poços de decantação.	X	X	X	X	X
Curvas de nível.	X	X	X	X	X
Barraginhas.	X	X	X	X	X
Talude.	X	X	X	X	X

13

Os processos hidrológicos na bacia hidrográfica possuem duas direções predominantes de fluxo: o vertical e o longitudinal. O vertical é representado pelos processos de precipitação, evapotranspiração, umidade e fluxo no solo, enquanto que o longitudinal pelo escoamento na direção dos gradientes da superfície (escoamento superficial e rios) e do subsolo (escoamento subterrâneo) (TUCCI e MENDES, 2006). As cotas das curvas de nível da bacia hidrográfica variam de 197 m a 1.582 m, sendo que as áreas de operação encontram-se nas porções mais elevadas da bacia (Figura 3).

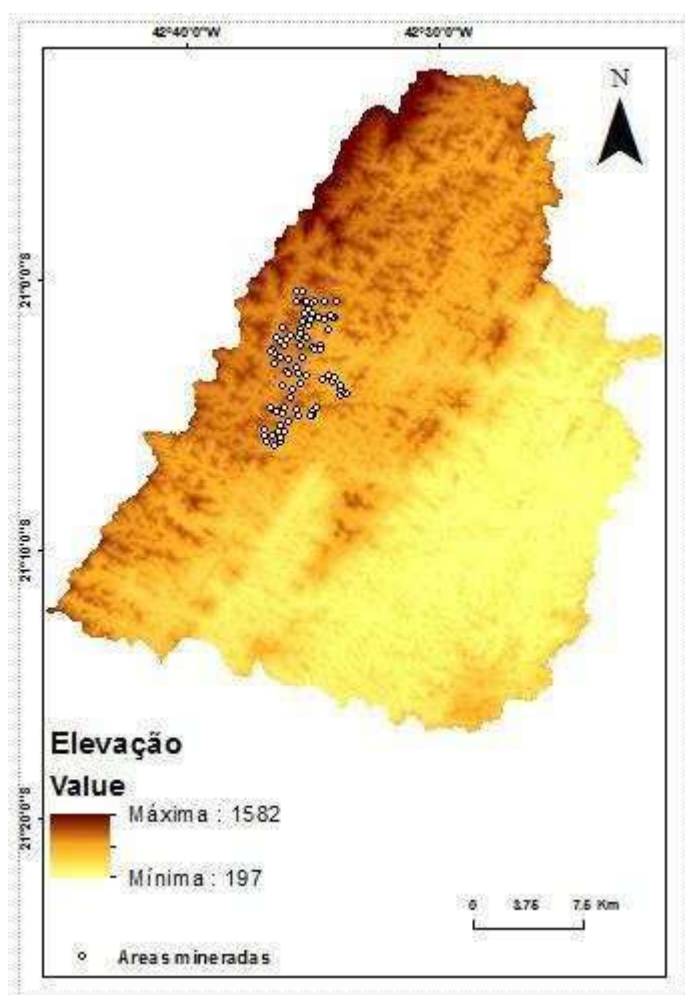


Figura 3 - Altitude e localização das áreas mineradas pela CBA na Unidade de Mirai, 2017.

A bacia hidrográfica é bem servida de cursos d'água, apresentando um padrão dendrítico (Figura 4). Segundo Tonello et al. (2006), quanto mais ramificada for a rede, mais eficiente será o sistema de drenagem. A bacia é composta por três rios principais: Rio Fumaça, Rio Muriaé e Rio Preto, sendo que a exploração de bauxita se concentra nas subbacias dos Rios Muriaé e Rio Preto.

As áreas dos corpos identificadas no mapa representam todas as áreas que foram ou estão sendo exploradas no período de 2008 a 2017, sendo compostas por áreas em exploração, reabilitação e reabilitadas, fazendo com que os impactos nos recursos hídricos sejam diferentes em cada uma delas.

Segundo Tucci e Mendes (2006), os impactos nas bacias hidrográficas podem ser de três tipos: efeitos cumulativos, que são alterações significativas na dinâmica ambiental, a partir da acumulação de impactos locais provocados por mais de um empreendimento; efeitos sinérgicos, que são alterações significativas na dinâmica ambiental a partir da associação de impactos locais, provocados por mais de um empreendimento, resultando em fenômenos de nova natureza; efeitos integrados, que são todos os aspectos integrados ao longo da bacia hidrográfica como resultado dos diferentes efeitos locais. Por exemplo, a vazão de uma seção de um rio é resultante da integração de todos os efeitos locais a montante, como a precipitação, características dos solos e etc. Os sedimentos em suspensão num trecho de rio correspondem à integração da precipitação, da produção de sedimentos, uso do solo e dos reservatórios existentes a montante.

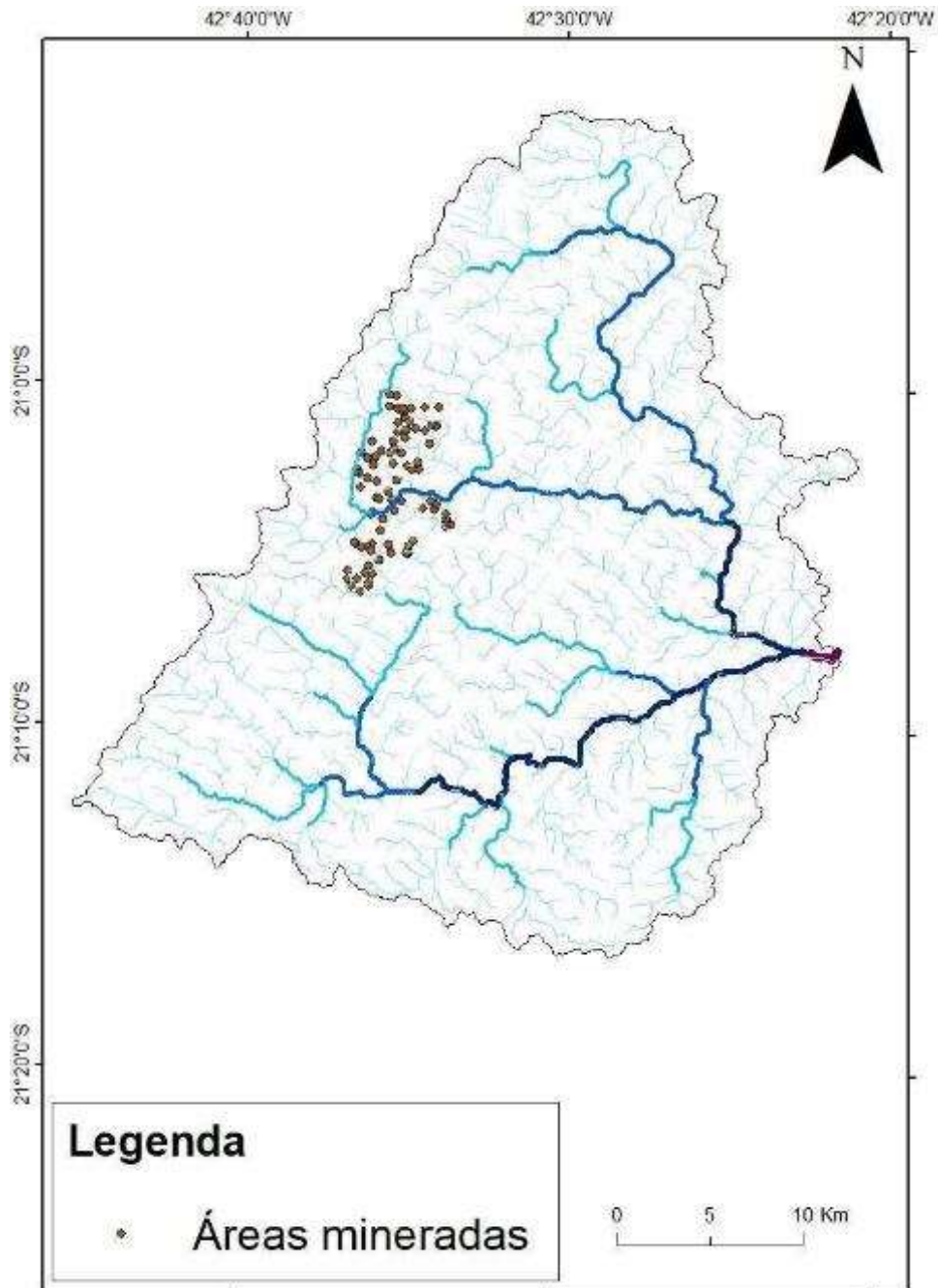


Figura 4 - Rede de drenagem da bacia e localização das áreas mineradas.

Na Figura 5, é possível observar a delimitação das sub-bacias das áreas já exploradas e em exploração de bauxita nas diferentes fases de operação, não sendo possível detectar uma superexploração. Em algumas delas há um grande número de corpos de minério, que se forem explorados em uma mesma época, podem gerar um impacto na bacia. Apesar de serem áreas pequenas dentro da bacia, a soma dos impactos de cada corpo pode ocasionar uma alteração na dinâmica dos recursos hídricos na bacia hidrográfica onde estão inseridos. Alguns corpos se

encontram no divisor topográfico, de forma que a sua presença poderá influenciar na dinâmica das águas em duas bacias hidrográficas diferentes.

Esse mapa apresenta a necessidade de se fazer um planejamento de exploração da bauxita ao nível da bacia hidrográfica, de modo que não seja feita uma exploração de vários corpos dentro de uma única bacia ao mesmo tempo, o que poderia resultar em um grande impacto dentro da mesma.

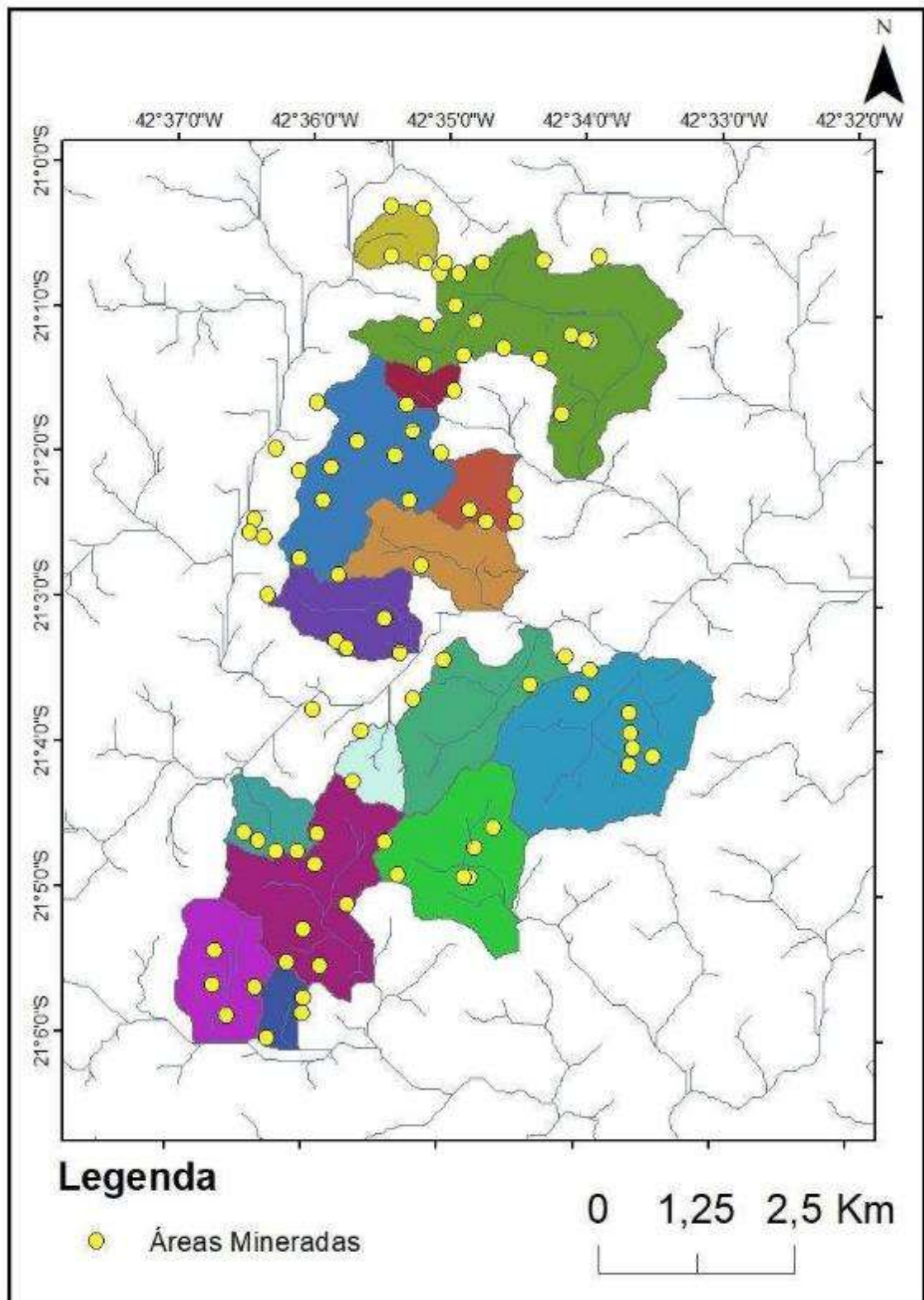


Figura 5 - Sub-bacias e a localização das áreas exploradas. 2017.

5.1 Área Pré-mineração

As áreas em pré-mineração são aquelas em que foram negociadas o arrendamento com o superficiário para a exploração, porém não foi feita nenhuma intervenção na área por parte da mineradora, mantendo as características do manejo que o proprietário usava na área. Foram visitadas áreas com plantio de eucalipto e pastagem.

5.1.1 Plantio de eucalipto.

Foram visitadas três áreas antes do processo de extração da bauxita, nas quais não há interferência por parte da empresa.

Em uma das áreas visitadas, há plantio de eucalipto em toda a sua extensão, (Figura 6), constituindo-se de área declivosa. O plantio foi feito por mudas provenientes de semente, plantadas em espaçamento 3x2m. Constatou-se que há uma heterogeneidade grande dos indivíduos, falhas e presença de um sub-bosque, características que são comuns nos plantios da região.

O plantio se estende desde o divisor topográfico, até locais bem próximos da nascente, não respeitando a legislação ambiental, que exige uma área de proteção de 50 metros em seu entorno. Foi observado que a nascente não apresentava vazão na época da visita a campo, em setembro de 2017, época do final da estação seca na região. O problema das nascentes secarem pode ser uma característica intrínseca das nascentes intermitentes, somado com solos que apresentam baixa capacidade de infiltração devido à baixa cobertura vegetal, ausência de florestas, pastagens degradadas e ao relevo da região, que favorece o escoamento superficial em detrimento da infiltração.

Segundo Leal et al. (2017), os maiores impactos encontrados nas áreas das nascentes em Capão Bonito-SP foram a presença de espécies exóticas, por ocupar as áreas de preservação permanente destinadas à vegetação nativa e, assim, poder alterar o ciclo hidrológico e a regeneração natural no sub-bosque.

Fato importante de se registrar, em função das reclamações dos moradores da região, é que a mineração diminui as vazões das nascentes, porém essa diminuição pode ocorrer antes das operações, mas só é observada após a lavra.

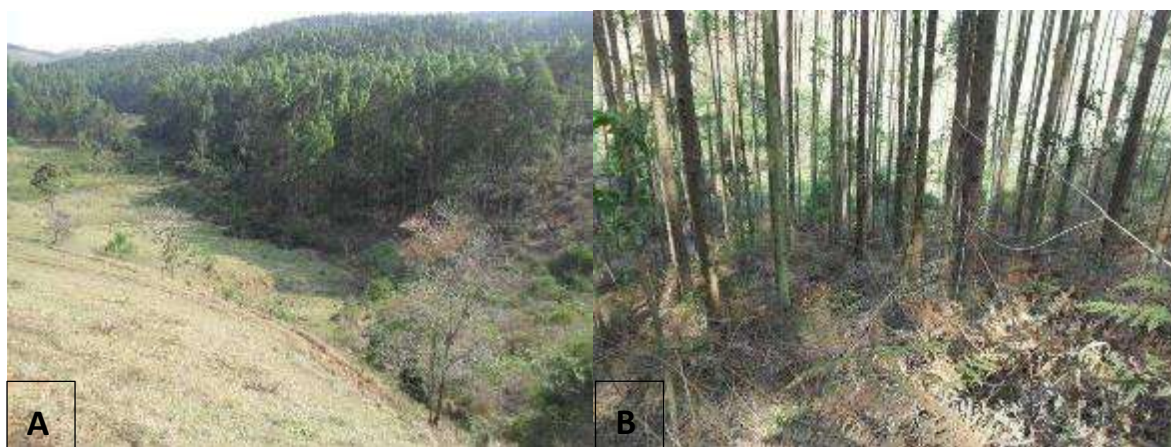


Figura 6 - Áreas pré-mineração com plantio de eucalipto, A) Vista geral do plantio e B) Vista do interior do plantio. Mirai, MG 2016.

Em outra área que se encontra nas fases de pré-mineração e exploração (Figura 7), (sendo que a área pré-mineração apresenta plantio de eucalipto com muitas falhas), apesar do plantio ter aproximadamente oito anos, apresenta indivíduos com diâmetro muito pequeno, em sua maioria abaixo dos 10 cm (SILVEIRA, 2017), muitas falhas, além de um sub-bosque com presença de samambaia em toda a extensão do plantio.



Figura 7 - Área pré-mineração com plantio eucalipto, A) Vista geral do plantio e B) Vista do interior do plantio. Mirai, MG 2016.

Os plantios visitados apresentam-se muito heterogêneos, com indivíduos com pequenos diâmetros, apresentando uma área basal de 14,7 m² por hectare aos oito anos de idade (SILVEIRA 2017). Os tratos culturais também são bens escassos, não sendo utilizado nem a desrama, nem o desbaste. Não há uma preocupação com relação ao sub-bosque formado.

Nesses plantios há um grande acúmulo de matéria orgânica sobre o solo, porém grande parte é proveniente do sub-bosque, que atua como barreira para as gotas de chuva diminuindo sua energia cinética e seu poder de erosão dos solos.

A interceptação das chuvas pelas copas das árvores nesses plantios é bem reduzida, devido às falhas e a porcentagem da área de copa dos indivíduos.

5.1.2 Pastagem

As pastagens na região (Figura 8), em sua maioria estão degradadas, na qual não é feito nenhum trabalho de correção da fertilidade, nem sua renovação. Além do número elevado de animais por hectare, o que acarreta a compactação do solo e diminuição da cobertura vegetal, que tem papel importante na dinâmica dos recursos hídricos. Com a diminuição da proteção dos solos, aumentando o escoamento superficial e a lixiviação de nutrientes, pode ocorrer erosão. Fato este que é agravado ainda mais pelas características do relevo da região, que apresenta encostas muito íngremes.

Segundo Guimarães et al. (2013), a implantação de um sistema de uso com pastagem, cujo manejo reduzisse o impacto do pisoteio e proporcionasse maior aporte de biomassa radicular e da parte aérea, contribui para a melhoria da qualidade do solo. Talvez um achado mais surpreendente seja que mesmo em solos considerados com um risco muito pequeno de erosão, a lavagem superficial ocorre ampla e frequentemente na paisagem, especialmente onde os solos superiores se tornaram compactados (EVANS, 2017).



Figura 8 - Área de pré-mineração com pastagem, Rosário da Limeira-MG,2017.

Dentre os fatores responsáveis pela diminuição da vazão nos rios, apontam-se o desmatamento, o sobre pastejo e a descapitalização do agricultor para adotar práticas adequadas de manejo das pastagens, e até mesmo de culturas agrícolas nas regiões de relevo acidentado.

A atividade agrícola com ênfase na monocultura tem sido fator de aceleração da degradação do solo, geralmente agravada pelo sobrepastejo e uso do fogo.

Nesta fase, inicia-se o processo de degradação da estrutura do solo e processos erosivos (GOMES et al., 2012).

Nas áreas pré-mineração foi possível observar que o minério de bauxita se encontra bem próximo à superfície, cerca de 20 cm, sendo que em alguns pontos é possível verificar o seu afloramento, e em outros o preparo da área para o plantio foi capaz de expor as rochas à superfície.

5.2 Abertura de acessos

Para iniciar as operações de exploração da bauxita são construídos acessos às áreas a serem mineradas. Já nesta etapa há uma preocupação com relação aos recursos hídricos (Figura 9). As estradas devem possuir uma leira de proteção com 1 m de altura. Em todos os pontos possíveis devem ser construídas saídas d'água, com poços de decantação, a fim de conter todo o material particulado no acesso (GOMES; WERNECK, 2017).

Esta etapa expõe o solo à ação dos ventos e dos raios solares, aumentando a evaporação das águas presentes nas camadas superficiais e criando camadas compactadas nas estradas, aumentando o escoamento superficial. Para sua mitigação são construídos poços de decantação, com a finalidade de reter as águas de escoamento, propiciando a sua infiltração e evaporação.



Figura 9 - Etapas da exploração da bauxita. A) Abertura de acessos. B) Poço de decantação. Mirai-MG, 2016. Foto CBA.

5.3 Limpeza da área e decapeamento

Nas áreas de eucalipto, primeiro é feito o corte raso do plantio (Figura 10), onde são construídos acessos na área para a retirada da madeira para aproveitamento comercial, enquanto que o restante do material permanece na área. Nesta etapa, com a retirada da cobertura vegetal,

é perdida uma parte da proteção do solo contra processos erosivos. A cobertura vegetal atua como primeira barreira contra a ação das gotas de chuva, diminuindo sua velocidade, com redução do seu potencial de erosão do solo, porém a serapilheira e os restos culturais que permanecem na área, garantem uma proteção contra as gotas de chuva.

A colheita florestal, atividade que pode acarretar significativos impactos negativos na bacia hidrográfica, como a alteração do balanço hídrico, da vazão e da concentração de nutrientes na água, deve ter a exploração bem planejada em áreas com maiores declives e próximas aos cursos d'água, como as de matas ciliares, para minimizar os impactos (LEAL et al., 2017). A retirada da cobertura vegetal ocasiona uma diminuição da transpiração, por retirar a maior parte da vegetação da área, porém há uma maior incidência de raios solares e ação dos ventos sobre o solo, ocasionando uma maior evaporação da água presente no solo, principalmente a água que se encontra nas camadas mais superficiais. Essas alterações na área podem alterar a dinâmica da água no solo, afetando a recarga do lençol freático, que irá afetar a vazão das nascentes e dos cursos d'água próximos ao corpo que está sendo explorado.



Figura 10 - Limpeza da área com corte do eucalipto, Rosário da Limeira-MG, 2017.

Com a abertura dos acessos e com a exposição do solo, essas áreas ficam propícias ao escoamento superficial. O movimento de máquinas e caminhões pelos acessos cria uma compactação do solo, dificultando a infiltração e aumentando o escoamento superficial. Para romper essa barreira, após a retirada da madeira, caso a área não entre em operação de exploração imediatamente, é passado o trator com escarificador para descompactar a estrada, favorecendo a infiltração (Figura 11).

A mecanização tem sido responsável pela deterioração do solo, não apenas na agricultura, mas em áreas florestais também, pelo aumento do uso de máquinas maiores e mais

pesadas e tráfego em condições de solo com elevada umidade (SUZUKI et al., 2014). Tal tratamento do campo leva à compactação do solo em profundidade. A precipitação não pode infiltrar rapidamente abaixo dessa profundidade, de modo que a camada superficial do solo se torna rapidamente saturada. O dano estrutural do solo pode persistir por vários anos. Tais camadas compactas, como observado acima, restringem a infiltração de chuvas no subsolo, a camada de arado se satura mais rapidamente e a lavagem de superfície pode ocorrer amplamente em um campo. A compactação da camada superficial do solo é um importante fator de escoamento e erosão (EVANS, 2017).



Figura 11 - Etapas executadas após o corte do eucalipto. A) Estrada de acesso para a retirada da madeira. B) Estrada escarificada após a retirada da madeira. Rosário da Limeira-MG, 2017.

Na etapa de decapeamento (Figura 12), a camada de solo rico que se encontra acima do depósito de bauxita é retirada. Este solo é armazenado para ser utilizado na reabilitação da área após o término da exploração. Com a retirada da cobertura vegetal, a área perde sua primeira proteção contra o impacto das gotas de chuva, ficando suscetível aos processos erosivos. Porém, são construídos poços de decantação e outras estruturas mecânicas para reter a água de escoamento superficial e os sedimentos que são carregados dentro do corpo de minério.

Segundo Oliveira et al (2016), um bom manuseio e armazenamento do solo, pode diminuir a perda de qualidade e fomentar o processo de recuperação da terra nessas áreas.

Consequentemente, apenas retornar a camada superficial do solo pode não ser suficiente para restabelecer a produção de biomassa nessas áreas. Segundo o padrão operacional da empresa, o decapeamento deve ser iniciado preferencialmente de cima para baixo, executando a operação e depositando o topsoil em leiras transversais de maneira uniforme. Assim, evita-se o acúmulo de águas de chuva em um ponto específico, o que poderia ocasionar o seu rompimento e, consequentemente, um acidente ambiental com o carreamento de material sólido para fora do corpo em operação. A leira deverá ser construída, obrigatoriamente, em local que não tenha risco de contaminação com o minério durante a lavra (FORTUCE et al., 2017a).

Os poços de decantação, barraginhas e outras técnicas mecânicas de retenção da água de escoamento superficial, tem a função principal de reter os sedimentos que são carregados com as enxurradas. Porém, eles também atuam retendo a água, aumentando a infiltração e a possível recarga do lençol freático, bem como o aumento da evaporação da água acumulada.



Figura 12 - Decapeamento do solo com a utilização de trator de esteiras. Rosário da LimeiraMG, 2017.

5.4 Exploração

A etapa de lavra é feita, preferencialmente, começando pelo ponto mais alto do terreno, pois, conforme isso ocorre, é realizada a reconformação da área exaurida (GOMES et al., 2017). Nesta etapa há a modificação do relevo com o rebaixamento do terreno, o que poderá causar efeito nos processos de recarga do lençol freático pela diminuição do volume de solo capaz de armazenar as águas pluviais.

Esse rebaixamento do terreno, em certos pontos, chega até a rocha matriz (Figura 13). Normalmente, há um desnível que varia de 2 a 8 m, que irá depender da camada do minério. Em algumas situações, pode ocorrer a presença de taludes entre a área minerada e as áreas vizinhas, seja por causa de divisas entre propriedades rurais onde não foi feito um acordo para a exploração, ou pela presença de mata nativa, impedindo a exploração da área. Estas paredes podem conferir um impacto negativo por serem de difícil revegetação. Como consequência, tem-se o escoamento superficial, podendo ocorrer erosões com carregamento de material sólido para as partes mais baixas do relevo.

Após a exploração é feito a reconformação do terreno, mas em alguns pontos as rochas chegam a ficar expostas após a reabilitação da área. São pontos isolados e áreas muito pequenas dentro do corpo, mas que pode levar a uma alteração no regime de água no solo.

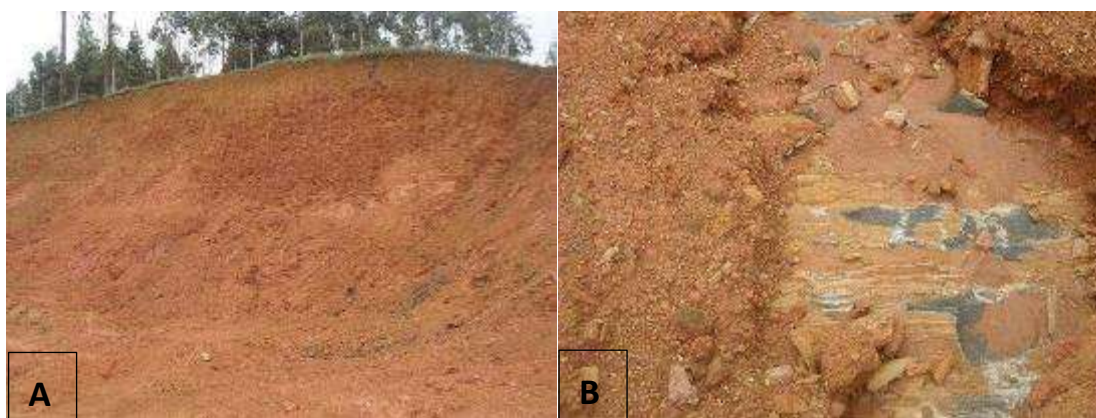


Figura 13 - Áreas de exploração de bauxita. A) Talude formado em área de exploração de bauxita, e B) Rocha exposta após exploração da bauxita. Rosário da Limeira-MG, 2017.

Na fase de lavra, a movimentação de máquinas e caminhões na área é intensa (Figura 14), o que provoca a compactação da área e aumenta o escoamento superficial, que é mitigado pela construção de poços de decantação, que além de armazenar a água, também atua como reservatório dos sedimentos carregados nas enxurradas. Além disso, a própria característica da mineração, que durante a exploração faz um rebaixamento do terreno nas partes baixas do corpo em exploração, ocasiona a formação de uma barreira de proteção ao escoamento superficial.



Figura 14 - Áreas de exploração da bauxita. A) Vista geral de uma área em exploração. B) Área em exploração, evidenciando a intensa movimentação de máquinas e caminhões. Rosário da Limeira-MG, 2017.

Por se tratar de uma atividade pontual e afetar pequenas áreas, a exploração de bauxita, caso haja a alteração do regime de chuvas em quantidade, seria de difícil mensuração. Porém, a atividade pode ocasionar uma alteração na qualidade da água de chuva precipitada, devido à movimentação de máquinas e caminhões na área. Isso pode gerar um grande volume de material particulado durante a operação de exploração e transporte do minério (Figura 15).

É feito um controle da emissão de poeira com a utilização de caminhão pipa, que percorre as estradas fazendo a aspersão de água, diminuindo a produção de particulados. Quando essa operação não é suficiente, interrompe-se a atividade de transporte do minério, até que se faça o controle da poeira.



Figura 15 - Áreas de exploração da bauxita com emissão de particulados pela movimentação de caminhões e máquinas. Rosário da Limeira-MG, 2017.

Durante a fase de operação, a empresa trabalha de forma que toda a precipitação incidente dentro do corpo de minério permaneça dentro dele, o que não impede que em alguns eventos de chuva ocorra o transbordamento e saia água do corpo de minério. Além de toda a estrutura dos poços de decantação, ainda há a leira de solo rico nos limites do corpo, que também atuam formando uma barreira contra o escoamento superficial.

A água acumulada nos poços de decantação tem a sua velocidade de infiltração reduzida pela camada de argila que acumula no fundo do poço, que atua como uma barreira na infiltração (Figura 16). É feita uma vistoria periódica em todos os poços de decantação, com o objetivo de avaliar a sua eficiência e a necessidade de fazer a manutenção, como a retirada de material sólido e necessidade de aumentar o seu tamanho ou, ainda, construir novos poços. Além dessa vistoria periódica, após todo evento de chuva acima de 30 mm, é feita uma vistoria de segurança.

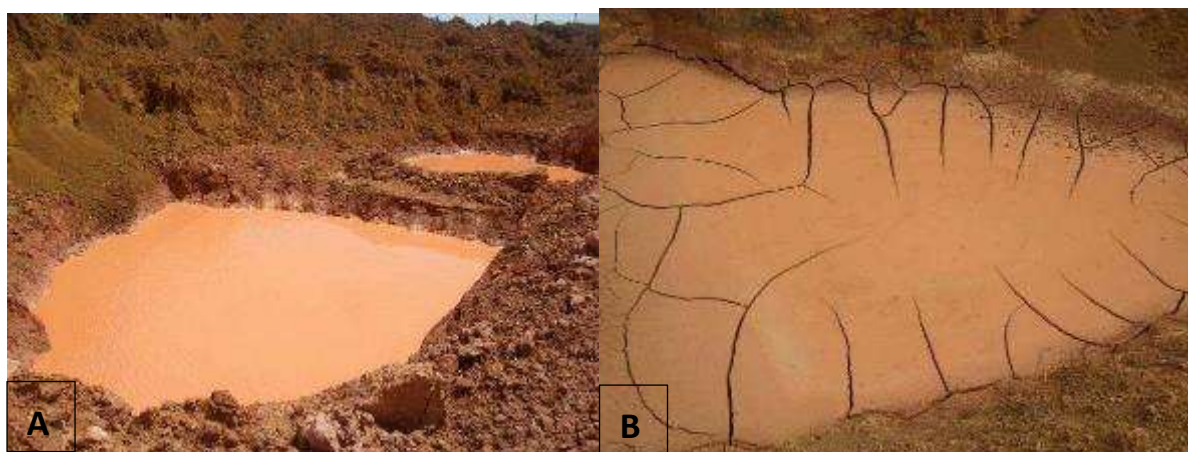


Figura 16 - Áreas de exploração da bauxita. A) Acúmulo de água nos poços de decantação e B) Acúmulo de argila no do poço de decantação. Rosário da Limeira-MG, 2017.

Em alguns corpos, devido às suas características como alta declividade ou proximidade das residências, são contruídas extruturas abaixo do corpo, como valas, poços de decantação, ou uma combinação dos dois, para garantir a segurança. A saída de água do corpo não é considerada um problema, ao contrário da saída de material particulado, que é considerada como um acidente ambiental. Em algumas situações, um corpo de minério após ser exaurido não é imediatamente reconformado e reabilitado, permanecendo aberto, mantendo todas as suas estruturas para reter as águas de chuva e escoamento superficial (Figura 17).



Figura 17 - Vista geral de um corpo de minério. Rosário da Limeira-MG,2017.

Foi verificada em algumas áreas, a utilização de correia transportadora como calha para escoamento de água, o que ajuda a evitar a ocorrência de erosão pela movimentação das águas. Também foi utilizada na saída de um poço de decantação (Figura 18). Essas correias são utilizadas na planta de beneficiamento do minério, que após ter sua vida útil de utilização, são reutilizadas no campo como estruturas mecânicas de controle de erosão.



Figura 18 - Uso de correias transportadoras no controle de processos erosivos em áreas de exploração de bauxita. Rosário da Limeira-MG, 2017.

Nos corpos que se encontram próximos às áreas urbanas ou muito próximos a propriedades rurais, é utilizado as correias como barreiras contra os materiais sólidos que por ventura saiam do corpo de minério (Figura 19).



Figura 19 - Uso de correias transportadoras para contenção de material sólido em áreas de exploração de bauxita. Rosário da Limeira-MG,2017.

Durante a mineração nos corpos em exploração, quando há previsão de chuva para a região, ao final do turno de trabalho ou até mesmo durante o turno, é feito o fechamento da mina, que consiste na limpeza dos poços de decantação e, caso necessário, a construção de saídas de água com direcionamento para os poços de decantação nos acessos, de modo a reter a água e os sedimentos provenientes do escoamento superficial (Figura 20).



Figura 20 - Manutenção nos poços de decantação e fechamento de acesso de um corpo de mineração de bauxita. Rosário da Limeira-MG, 2017.

Dependendo da declividade do terreno, são construídas trincheiras de infiltração (Figura 21), com o objetivo de diminuir a velocidade das águas superficiais que escoam pelo terreno. Essas obras são feitas no início das atividades de exploração do corpo de minério, podendo ser mantidas após a recuperação da área. São construídas quando as técnicas de drenagem interna não são suficientes ou quando se encontram em áreas em que os riscos de acontecer acidentes são maiores.



Figura 21 - Trincheira para retenção de água de escoamento superficial e material sólido em área de exploração de bauxita. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.

5.5 Reabilitação

Após o término da exploração da bauxita, é feita a reconformação topográfica da área, que tem como finalidade suavizar o relevo e deixá-lo mais próximo do que era antes da mineração. Com o rebaixamento do terreno e com as operações de reconformação, a área normalmente fica com um relevo menos acidentado e em alguns casos tem a sua declividade reduzida, o que pode levar à diminuição do escoamento superficial e a um aumento da infiltração, aumentando a recarga do lençol freático. Silveira (2017), estudando o escoamento superficial em uma área em reabilitação com plantio de eucalipto aos 2,5 anos de idade e declividade variando de 10 a 15,5 graus, observou um escoamento superficial de 0,17 %.

Durante a reconformação do relevo, é espalhado na área o material estéril composto pela camada de solo entre o topsoil e o minério, constituído de matriz argilosa. Após esta etapa é feita a escarificação e subsolagem da área. Logo após, é espalhado o solo rico, que no caso da CBA é composto por uma camada de no mínimo 30 cm em 100% da área. Quando a área minerada não possui esse solo rico ou quando ele apresenta pouca quantidade, é utilizado

material de empréstimos de outras minas, sendo que apenas em casos isolados é necessário esse empréstimo de solo.

Após os trabalhos de reconformação topográfica, é feito a escarificação da área. No início da atividade, o operador deve analisar a declividade do terreno. A escarificação só é feita em locais em que o ângulo de declividade não ultrapasse 15°, em caso de ângulo superior é elaborado um novo método de trabalho. A escarificação deve ser iniciada de cima para baixo e de forma horizontal, acompanhando a formação do terreno. É utilizada na escarificação uma haste de 60 cm (FORTUCE et al., 2017b).

Onde a declividade do terreno permite, é feita a escarificação cruzada, com o uso de escarificador acoplado a um trator, o qual é passado no sentido do terreno. Logo após é feito uma segunda passada no sentido perpendicular à primeira passada. O objetivo da escarificação é quebrar as camadas compactas do solo, favorecendo a infiltração e o desenvolvimento das raízes da cultura que será estabelecida na área. Terminado a operação de escarificação, é feito o espalhamento do topsoil pela área, que deverá apresentar no mínimo uma camada de 30 cm de espessura por toda a área reabilitada (FORTUCE et al., 2017c). Finalizando a operação de espalhamento do topsoil, é feita uma nova escarificação na área (Figura 22).



Figura 22 - Processo de reabilitação das áreas mineradas, A) Escarificação. B) Distribuição do solo Rico. C) Etapas de reconformação, escarificação e distribuição do solo rico. D) Solo escarificado. São Sebastião da Vargem Alegre, 2016.

Os maiores problemas que podem ser enfrentados na atividade de exploração e recuperação das áreas de mineração são relacionados ao carreamento de sólidos para os corpos hídricos pelas águas pluviais. Nesse sentido, ocorre a retirada da cobertura vegetal, a qual expõe o solo à ação das gotas de chuva e do escoamento superficial. Na recuperação de uma área de mineração, é de grande importância a realização de obras de drenagem. Deve ser feita uma conformação do terreno, deixando-no em condições de ter a mesma utilização de antes da exploração do minério. São movimentadas grandes quantidades de terra, retorno do topsoil, tornando a área instável do ponto de vista da estabilidade do solo, podendo ocorrer erosões.

Na etapa de reabilitação, como a área fica com o solo exposto e por se tratar de áreas declivosas, é feita a utilização de estruturas mecânicas para a redução do escoamento superficial e retenção de sedimentos (Figura 23). O solo fica sujeito à energia do impacto de chuvas intensas, que tendem a produzir erosão e modificar as condições de infiltração do solo (TUCCI e MENDES, 2006). É utilizada a construção de poços de decantação, curvas de nível e barraginhas. Segundo Gomes et al. (2012), a retenção de água do escoamento superficial pelas técnicas de conservação de solo reflete em um aumento da recarga do lençol freático e, de forma direta, nas vazões do manancial ao longo do ano. Além disso, as áreas usadas, em geral, são íngremes, exigindo manejos e práticas conservacionistas e eficazes, como, por exemplo, o terraceamento (AYER et al., 2015).

Moreira (2004), em estudo em área minerada, elaborou as curvas características de retenção de água no solo em área minerada e em área original, observando que na superfície minerada houve perda na capacidade de retenção, provavelmente devido à perda de matéria orgânica, compactação do solo por máquina e retirada dos horizontes superficiais do solo. Verificou-se, também, que a umidade do solo foi superior na área original, provavelmente devido ao maior teor de matéria orgânica do solo. Este estudo mostra a importância da utilização de técnicas conservacionistas para aumentar a capacidade de infiltração e conservação dos recursos hídricos em áreas mineradas.

Almeida et al. (2016) constatou maior influência das práticas de manejo sobre as perdas de solo do que no escoamento de água em superfície em Argissolo Vermelho, em Aquidauana-MS.



Figura 23 - Técnicas de conservação do solo e da água em área em reabilitação. A) Barraginha; B) e C) Poço de decantação e C) Terraço em Curva de Nível. São Sebastião da Vargem Alegre, 2016.

Os sistemas de drenagem utilizados no fechamento de mina, e que serão mantidos após a recuperação das minas, não têm o seu dimensionamento projetado através de conceitos indicados em técnicas de manejo e conservação dos solos. Esses sistemas são construídos empiricamente pelos técnicos responsáveis pela fiscalização das obras e pelos operadores de máquinas. Isso pode ser um fator de risco em casos de precipitações acima da média, podendo ocorrer o seu rompimento e, conseqüentemente, gerar impactos significativos na área.

Na implementação das culturas agrícolas ou florestais, poderiam ser utilizadas outras técnicas, como o cordão em contorno ou o terraço em nível de base estreita (Figura 24) entre as curvas de nível, diminuindo a velocidade das águas de escoamento superficial e aumentando as taxas de infiltração e recarga do lençol freático. É uma técnica eficiente e que não ocupa grande área, sem perda de área produtiva.



Figura 24 - Pastagem com uso de cordão em contorno. Foto: João Luiz Lani

Já no caso das pastagens, além do cordão em contorno, pode ser utilizada a técnica de cordão vegetativo, que são fileiras de plantas perenes de crescimento denso, dispostas em contorno, como, por exemplo, cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), capim-vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), erva-cidreira (*Melissa officinalis* L.), capim-gordura (*Melinis minutiflora*) e etc.

Para minimizar o efeito das gotas de chuva sobre o solo, independentemente da cultura que será implementada na área, é feito o plantio de braquiária nas áreas em reabilitação, por apresentar um rápido desenvolvimento, fornecendo uma boa cobertura vegetal para o solo, um sistema radicular profundo atua fornecendo uma proteção contra a erosão (Figura 25). A acomodação das partículas do solo, após o preparo e a ausência de cobertura vegetal em áreas com solo exposto, intensificam o efeito do impacto direto das gotas de chuva (ALMEIDA et al., 2016).

Segundo Oliveira et al. (2017), o cultivo de *Brachiaria brizantha* acelera a recuperação de carbono orgânico em solo minerado sob recuperação. A deposição de substâncias orgânicas derivadas de *B. brizantha* compensa as perdas de C do solo. Os efeitos radiculares na qualidade do solo são, provavelmente, os principais fatores para a maior eficiência de um sistema de recuperação baseado no cultivo de plantas em relação a outro. Devido à declividade das áreas,

é obrigatório fornecer condições para o crescimento rápido das plantas nesses locais, essencial para controlar os processos de erosão e uma recuperação de terras bem-sucedida em áreas de mineração de bauxita. Em geral, as pastagens podem manter ou aumentar as concentrações de matéria orgânica no solo (em contraste com as culturas anuais). Além disso, as pastagens geralmente têm grandes quantidades de resíduos orgânicos e sistemas radiculares extensivos, que são renovados continuamente (CARDOSO et al., 2016).

Segundo Fernandes et al. (2016), que estudou a resistência do solo em Campestre-GO, região do Cerrado, as raízes das gramíneas presentes favoreceram o sistema poroso do solo, aumentando o número de poros, o que, por sua vez, proporcionou valores de resistência do solo à penetração mais baixos.



Figura 25 - Pastagem de braquiária em área de reabilitação. A) Início da germinação da braquiária e B) Pastagem já cobrindo quase toda área. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.

Tian et al. (2017), em estudo de campo com foco nos impactos das chuvas na erosão do solo em áreas com declives íngremes, observou que as chuvas diminuíram a taxa de infiltração do solo, principalmente devido ao selamento e crostas formadas no solo por impacto das gotas de chuva. A precipitação induziu maior dispersão de partículas do solo e aumento do escoamento superficial, aumentando assim a taxa de perda de solo. O padrão de perda no solo exposto foi crescente, pois ocorreu maior selamento da superfície do solo e, conseqüente, diminuição da rugosidade superficial ao longo das avaliações (ALMEIDA et al., 2016).

A atividade agrícola altera a proteção dos solos, deixando-o suscetível à ação do impacto das gotas de chuva e ao escoamento superficial, bem como pode promover a desestruturação da camada superficial do solo. A combinação destas ações proporciona o aumento da erosão no solo (PERAZZOLI et al., 2013). Entre os fatores que afetam o processo erosivo e o tempo inicial para escoamento em superfície, destacaram-se as condições de preparo do solo, rugosidade da

superfície do terreno, tipo e quantidade da cobertura vegetal sobre o solo, alteração das propriedades físicas do solo e o teor de umidade do solo antecedente às chuvas (ALMEIDA et al., 2016). Mudança de clima e vegetação reproduz o efeito combinado para o ciclo da água, enquanto que as contribuições individuais permanecem incertas devido à interação complexa (FENG et al., 2017).

A revegetação das áreas mineradas é o último passo da recuperação das minas. É feita de acordo com o uso anterior que a área tinha ou de acordo com a vontade do superficiário, sendo as culturas principais as pastagens, eucalipto e café. Em alguns casos é feito a recuperação com floresta nativa. Quando se trata de área com mata nativa, ela deve ser reabilitada com mata nativa. Porém, atualmente, a empresa não tem explorado essas áreas. Nos casos em que são usadas culturas agrícolas, como as pastagens e o eucalipto, essas têm uma capacidade de formar uma cobertura na área de plantio rapidamente, uma vez que são culturas exóticas que apresentam rápido crescimento, mitigando em pouco tempo à ocorrência de processos erosivos na área.

Durante o processo de transformação da cobertura, o impacto sobre o escoamento pode ser importante. Após o seu desenvolvimento, o balanço hídrico depende do comportamento da cultura e tende a se estabelecer num outro patamar (TUCCI e MENDES, 2006). A cultura que tem se usado na reabilitação das áreas consiste em pastagem de braquiária, plantio de eucalipto, café e mata nativa, sendo a maioria composta or pastagem e eucalipto.

A vegetação apresenta um impacto mais forte na evapotranspiração através da transpiração da planta. Cada cobertura vegetal irá influenciar de forma diferente nos processos hidrológicos. As diferenças entre os cenários podem ser atribuídas às diferentes taxas de evapotranspiração das culturas estudadas e às alterações no escoamento superficial e infiltração de água no solo, em função do tipo de sistema radicular, manejo e taxa de cobertura do solo (PERAZZOLI et al., 2013; FENG et al., 2017).

Quando considerada a perda média por tipo de uso, em Latossolo Vermelho Distrófico na sub-bacia hidrográfica do Córrego Pedra Branca, no Município de Alfenas-MG, constatouse que as áreas mais suscetíveis à erosão hídrica são aquelas ocupadas pelas culturas de batata e de eucalipto e as de solos expostos, enquanto as menos suscetíveis são as de matas, várzea e urbana, esta última com elevadas perdas de água, devido à impermeabilização dos solos (AYER et al., 2015). A vegetação influencia significativamente, variando com a condição da cobertura da planta. A regulação da cobertura da terra precisa de atenção para promover a gestão regional da água (FENG et al., 2017).



Figura 26 - Pastagem braquiária em áreas de reabilitação. Rosário da Limeira, 2017.

As áreas com plantio de eucalipto apresentam uma boa cobertura de copa interceptando uma boa parcela da precipitação incidente, além de uma boa camada de serapilheira sobre o solo, conferindo a ele uma boa proteção contra os processos erosivos, o que favorece a infiltração, diminuindo o escoamento superficial. A resistência aerodinâmica não muda significativamente da estação úmida para a estação seca em qualquer local da floresta (PAULINO JUNIOR, et al 2017).



Figura 27 - Plantio de eucalipto em áreas de reabilitação. São Sebastião da Vargem AlegreMG,2017.

As áreas reabilitadas com mata nativa são poucas (Figura 28), devido ao fato de que a empresa não está explorando áreas de floresta, o que não a impede de fazer a reabilitação com nativas, sendo feito quando o proprietário se interessa. Quando a área é reabilitada com mata nativa, devido as suas características de crescimento, apresenta um tempo maior para manter uma cobertura do solo em comparação com outras culturas. O que irá acarretar um maior

cuidado com relação aos processos hidrológicos, a fim de evitar perdas de água e solo, ocasionando problemas nas áreas.

Em projetos de restauração realizados por plantio de árvores e espécies de arbustos, a regeneração natural tem um papel fundamental na ocupação de espaços entre mudas por propágulos, que chegam à área provenientes de espécies plantadas e fragmentos florestais circundantes (MIRANDA NETO et al 2014).

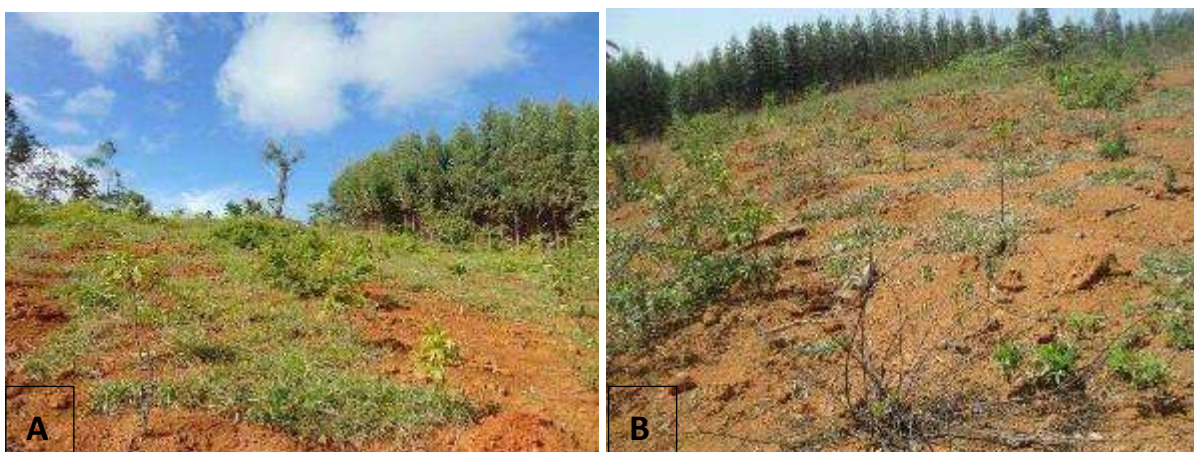


Figura 28 - Plantio de espécies arbóreas nativas em área em reabilitação. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.

Em algumas áreas e em alguns pontos, foi observada a presença de erosão laminar e em sulcos (Figura 29). Segundo Tian et al. (2017), o impacto das gotas de chuva aumenta o desenvolvimento de sulcos, aumentando, assim, a sua erosão.

Por serem áreas de relevo acidentado, os problemas de erosão são bem comuns. Em alguns pontos é feito a escarificação no sentido da declividade, fornecendo caminhos preferenciais para as águas de escoamento superficial, levando a erosão em sulcos, podendo caminhar para voçorocas. Além de danificar a área, ocorrendo a perda de solo e nutrientes, há o carreamento de material particulado para fora do corpo, atingindo cursos d'água ou reservatórios, causando assoreamento e eutrofização. A ocorrência e a extensão da erosão e do escoamento são, predominantemente, controladas pelo uso e manejo da terra, uma vez que o limite de precipitação foi excedido (EVANS, 2017).

Os usos e os manejos inadequados dos solos têm impactos diretos na perda de solo e no aumento dos custos da produção agropecuária. No entanto, os impactos deletérios indiretos também devem ser considerados, com destaque para o assoreamento e a diminuição da

capacidade útil dos reservatórios, eutrofização dos corpos d'água e a contaminação da cadeia trófica com agrotóxicos (AYER et al., 2015). No que diz respeito a uma redução na profundidade do solo, que afeta o rendimento das culturas, tal taxa não será notável no curto prazo, digamos uma geração, especialmente quando considerado com a variabilidade no rendimento de ano para ano relacionado à variabilidade do clima e à incidência de doença de colheita (EVANS, 2017).

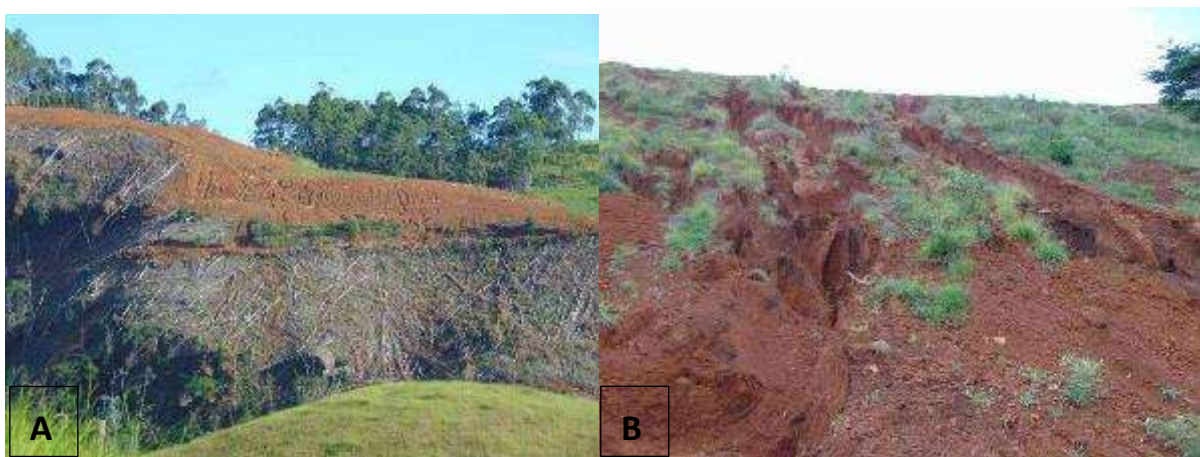


Figura 29 - Erosão em sulcos em áreas em reabilitação. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.

Em alguns pontos das áreas em reabilitação ou reabilitadas, é possível ver a presença de minério misturado ao topsoil. Isso ocorre devido à movimentação feita do topsoil pela área em exploração, e pelo fato de que na hora do decapeamento não foi possível separar perfeitamente o minério do solo. Porém, em áreas que não foram mineradas foi possível verificar também a presença do minério na superfície do terreno (Figura 30).



Figura 30 - Minério de bauxita aflorando em: A) área pré-mineração e B) Área reabilitada. Rosário da Limeira, 2017.

Foi observado em uma área, que após o trabalho de escarificação que foi feito em nível em uma área em reabilitação, foi feito uma escarificação em ponto no sentido do declive (Figura 31), que pode se tornar um caminho preferencial da água de escoamento superficial, o que pode levar à ocorrência de processos erosivos.



Figura 31 - Área em reabilitação com escarificação no sentido da declividade. São Sebastião da Vargem Alegre-MG,2017.

Em uma área de plantio de eucalipto, foi identificado um local em que havia algumas árvores secas, mas no campo não foi possível identificar as causas. Alguns meses depois, ao visitar a área novamente, os indivíduos que estavam secos apresentaram brotação na parte aérea (Figura 32). Tal situação pode se dar pela presença de rocha próxima à superfície do terreno, no qual em períodos de menor precipitação o solo não é capaz de manter as necessidades hídricas para a cultura.

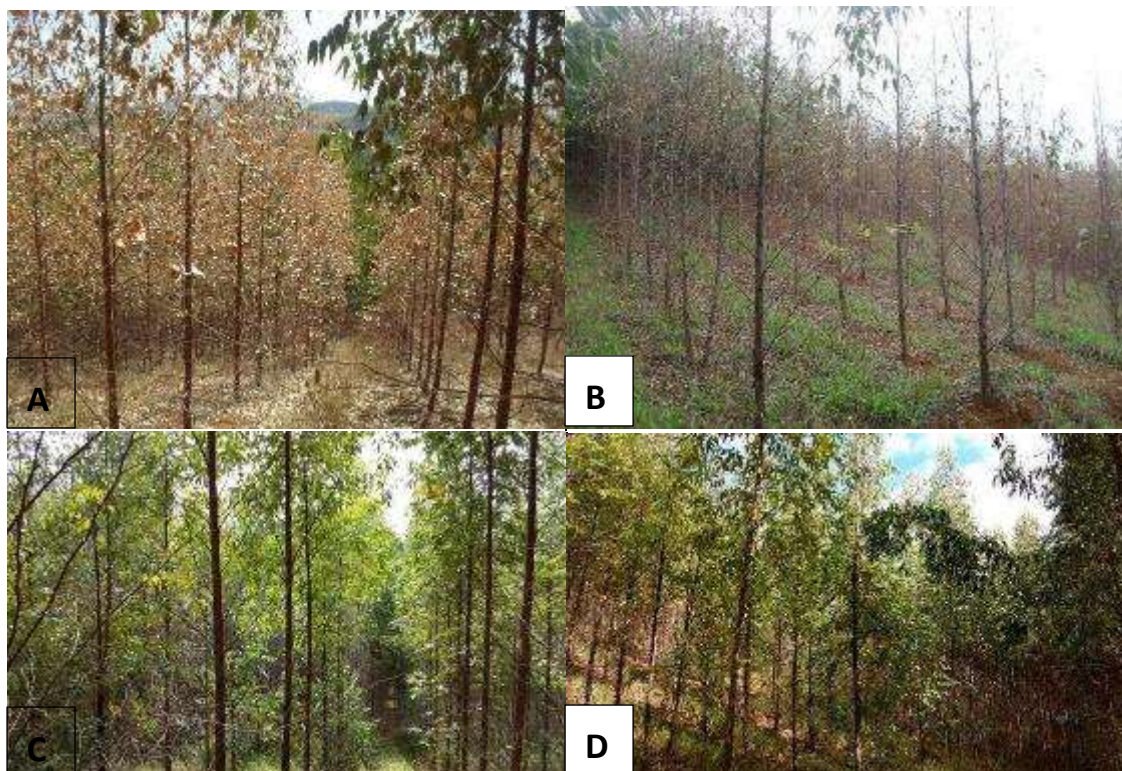


Figura 32 - Plantio de eucalipto A e B) Seca do eucalipto setembro 2016 e C e D) brotação do eucalipto julho 2017. São Sebastião da Vargem Alegre-MG.

Também foi observada a presença de árvores tombadas em algumas áreas em reabilitação (Figura 33). No entanto, não foi possível identificar as causas do ocorrido. Dessa forma, não há como definir se foi por conta das características do clone ou por causa do processo de reabilitação. Este último não garante uma condição adequada, no qual o solo não fornece condições para a planta se desenvolver, principalmente pelo fato de usar mudas provenientes de estaquia, a qual não apresenta uma raiz pivotante capaz de dar maior sustentação para a árvore.

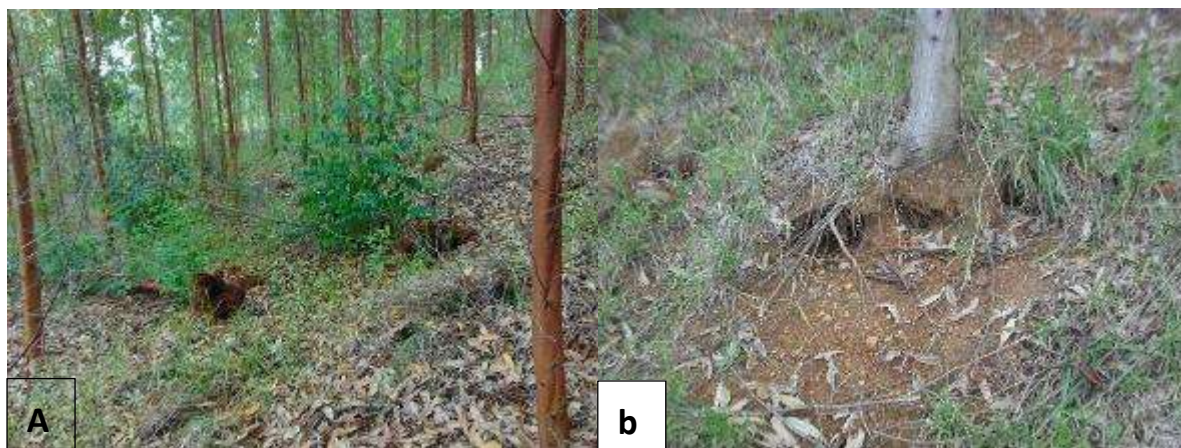


Figura 33 - Plantio de eucalipto em áreas reabilitadas A) Eucaliptos tombados, e B) Sistema radicular exposto do eucalipto. Rosário da Limeira-MG, 2017.

Um dos grandes problemas enfrentados pela empresa no processo de reabilitação é a presença de animais nas áreas que estão em processo de reabilitação (Figura 34). Foi verificado esse tipo de problema em diversas áreas, seja pela presença de animais ou rastros nas áreas, como a presença de fezes, pegadas, pastoreio da vegetação e os danos causados nos plantios. A presença dos animais nas áreas em reabilitação causa problemas, como a compactação do solo, destruição de estruturas mecânicas de conservação do solo e água e causa danos às mudas plantadas. Além de que a braquiária, que está no seu estágio de desenvolvimento, ainda não tem o seu sistema radicular bem formado, podendo a planta ser arrancada pela raiz quando o gado está se alimentando.

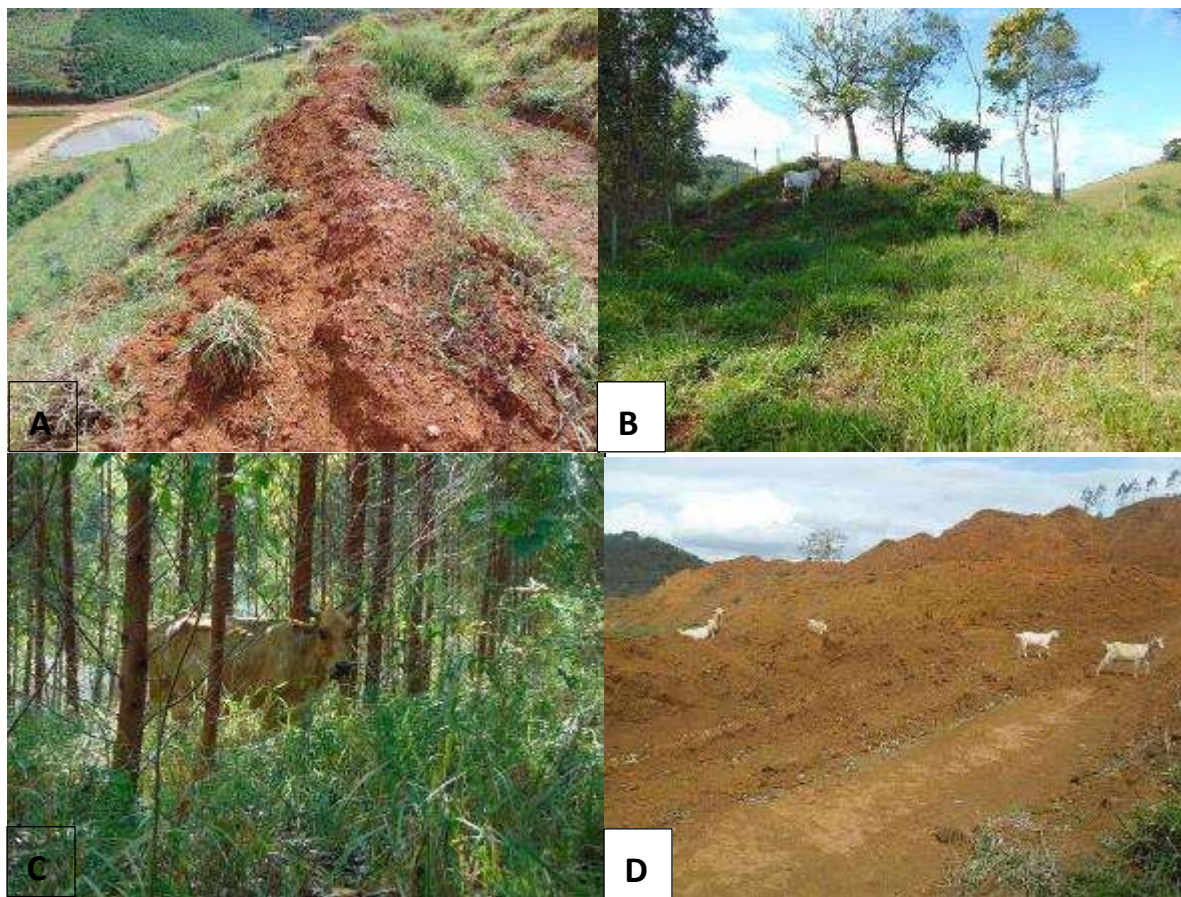


Figura 34 - Presença de animais nas áreas em reabilitação e exploração. A) Danos causados nas estruturas de contenção de água. B) Presença de animais em área de plantio de espécies arbóreas nativas. C) Presença de animais em área de plantio de eucalipto. (D) Presença de animais em área em exploração. Mirai-MG, 2017.

Em um corpo visitado, a empresa teve problemas na reabilitação (Figura 35) com ocorrência de erosão. Neste corpo não foi possível a construção de estruturas mecânicas para conservação do solo e água, por causa da declividade elevada do corpo e suas características. No processo de reabilitação, para deixar a área com um relevo menos acidentado, foi necessário fazer um aterro, que em alguns pontos chegou a ter 8 m, fazendo com que a construção de curvas de nível, poços de decantação ou outras estruturas pudessem se tornar um problema devido ao peso que seria instalado na área, correndo o risco de acidentes ambientais. Esse corpo serviu de experiência para que áreas que apresentem as mesmas características não sejam exploradas.

Prever futuras taxas de erosão em bacias hidrográficas nem sempre será fácil, como observado por Evans (2017) em estudo na bacia de Wissey, Inglaterra. Nenhum fator explica muito a equação de regressão preditiva. As taxas de erosão não podem estar relacionadas a fatores de declive. Os fatores do solo podem ser importantes, mas somente quando a superfície está sem vegetação.

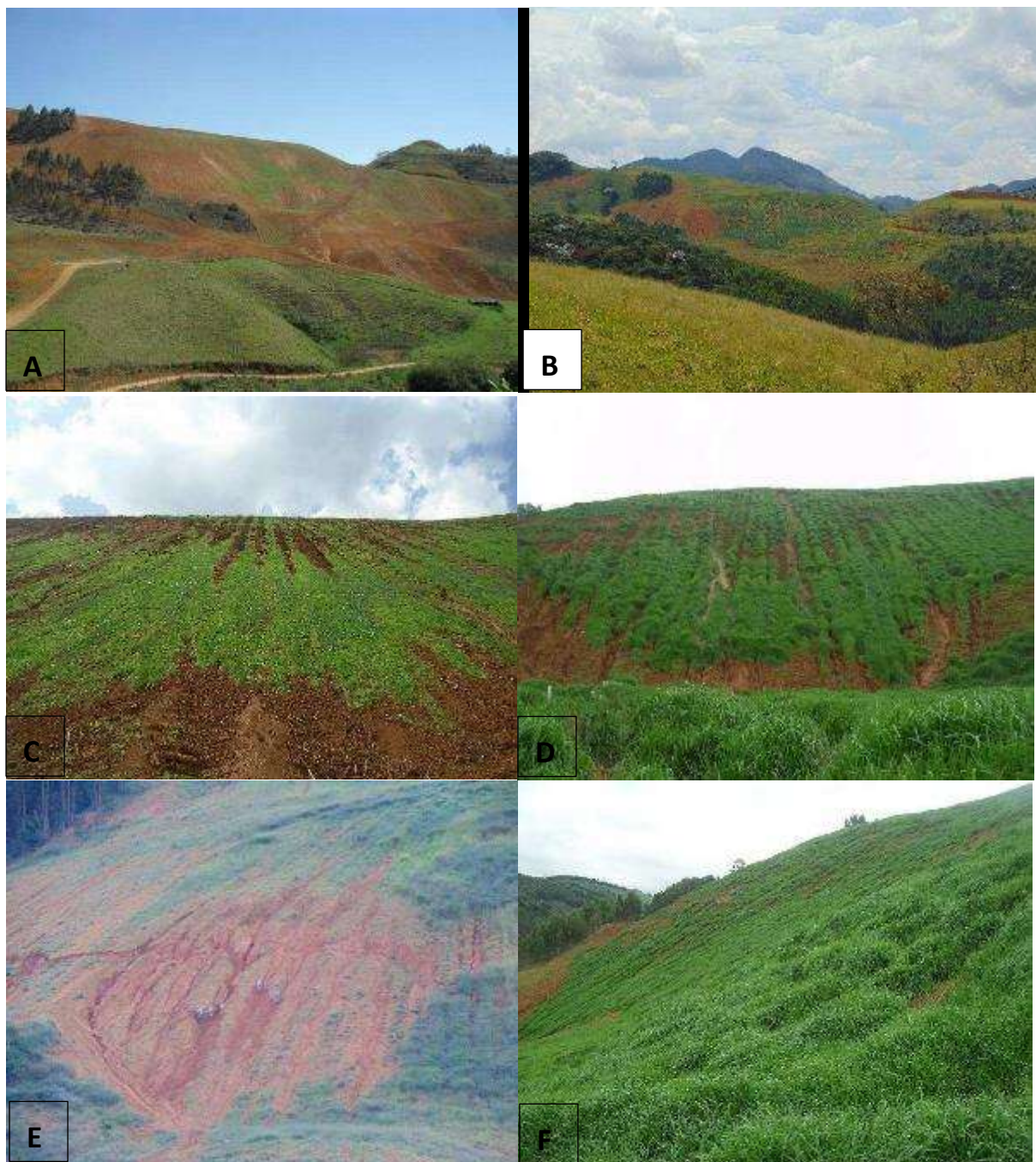


Figura 35 - Corpo em reabilitação, A e B) Vista geral do corpo, antes e após o plantio. C e D) Crescimento da vegetação. E) Manutenção do corpo em reabilitação com correção dos problemas causados pela erosão. F) Vegetação cobrindo o corpo. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.

Em uma área que está em reabilitação, foi observado que a área foi queimada (Figura 36), o que dificulta a reabilitação, expondo o solo à ação das gotas de chuva pela queima da cobertura vegetal e a serapilheira, e pelo fato de que as cinzas têm um potencial hidrofóbico, diminuindo a capacidade de infiltração do solo. Segundo SANTOS et al.(2017), a queima pode

afetar uma variedade de propriedades do solo, como disponibilidade de nutrientes, pH, teor de matéria orgânica, textura e estrutura. A queima também pode ter um efeito na repelência da água do solo, aumentando, assim, o escoamento superficial.



Figura 36 - Área de pastagem em reabilitação queimada. São Sebastião da Vargem AlegreMG, 2017.

Em alguns corpos foi possível encontrar áreas com erosão em grande profundidade, já evoluindo para voçorocas (Figura 37). Segundo Evans (2017), o escoamento superficial também pode transportar sedimentos, nutrientes e pesticidas até os cursos de água. O carreamento da terra ocorre frequentemente, bem como o escoamento das estradas e trilhas que transportam sedimentos diretamente para valas, córregos e rios, sendo uma fonte importante de turbidez nos cursos de água.

O material que saiu de um corpo chegou a atingir cursos d'água vizinhos e açudes, ocasionando problemas de assoreamento nos mesmos, podendo também causar problemas de eutrofização. Esses problemas foram observados após chuvas de alta intensidade, que ocasionaram problemas em toda a região com queda de barreiras nas estradas municipais da região. Quando acontece este tipo de problema, a empresa recupera as áreas danificadas. Segundo Evans (2017), pode ser que a intensidade da chuva seja fundamental para prever a taxa

de erosão. No entanto, a chuva terá que cair sobre o solo descoberto por um período de tempo suficiente para causar a formação de sulcos



Figura 37 - Problemas em áreas de reabilitação A) Erosão em voçoroca e B) acúmulo de sedimentos em áreas em reabilitação. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.

Foi observado que em uma área, a construção de uma barraginha não foi alocada corretamente (Figura 38), pois a água de escoamento superficial passou do lado dela, não sendo retida.



Figura 38 - Barraginha construída em local inadequado. São Sebastião da Vargem AlegreMG,2017.

Em algumas áreas em reabilitação, foi observada uma grande quantidade de afloramento de água pelo corpo (Figura 39), principalmente próximos a uma área em que apresentava afloramento rochoso, com volume de água considerável. Essa água, bem como as de escoamento superficial, causaram alguns pontos de erosão, que se não forem consertados podem gerar problemas maiores.

Esses afloramentos de água foram observados após alguns dias de chuva, podendo se tratar de um lençol empoleirado. Florio et al.(2015), estudando a dinâmica do lençol freático em duas bacias hidrográficas, verificou que a dinâmica do lençol freático foi fortemente regulada pelas condições meteorológicas. A presença de água aflorando é bem comum na região, como foi observado em campo, ocorrendo inclusive nas estradas municipais e também em áreas em reabilitação.

Segundo Minotti (2006), o fluxo lateral poderá ser significativo em áreas em que os solos apresentem elevada condutividade hidráulica nas camadas superficiais e camadas impermeáveis ou semipermeáveis em profundidades rasas. Em tais sistemas, a precipitação irá percolar verticalmente até atingir a camada impermeável. A água poderá se acumular acima dessa camada formando uma zona saturada, que será a fonte para o fluxo subsuperficial. Esse fluxo poderá contribuir para a vazão dos rios.



Figura 39 - Afloramento de água em áreas em reabilitação. São Sebastião da Vargem AlegreMG,2017.

Depois de encerradas as atividades de recuperação dos corpos de minério, são realizadas inspeções regulares nas áreas, com o objetivo de avaliar a eficiência das técnicas utilizadas, identificando possíveis falhas que podem resultar em processos erosivos. Elas são realizadas periodicamente no período de chuva e após grandes precipitações em qualquer época do ano.

5.6 Áreas Reabilitadas

Ao final dos cinco anos de contrato de arrendamento do terreno para exploração da bauxita, caso a área esteja reabilitada em boas condições, de acordo com o padrão de qualidade da empresa e de acordo com o proprietário, ela é entregue ao superficiário. A qualidade do solo tem sido cada vez mais preocupante nos últimos anos. Geralmente, consideram-se três componentes principais: qualidade física, qualidade química e qualidade biológica. Esses fatores, obviamente, não são independentes, porque, por exemplo, o estado biológico do solo depende muito fortemente das condições físicas e químicas preponderantes. No entanto, há

poucas dúvidas de que uma medida melhorada da qualidade física do solo poderia contribuir muito para a avaliação geral da qualidade do solo (DEXTER 2004a).

5.6.1 Pastagem

As áreas de pastagem são entregues em boas condições, bem formadas e em boa qualidade. A manutenção dessa qualidade irá depender do manejo que o proprietário irá manter na área. A prática mais comum na região é a pecuária intensiva, na qual há um elevado número de animais por área, ocasionando um superpastejo, que irá acarretar na perda da qualidade da pastagem, devido ao intenso pisoteamento do gado, gerando uma maior compactação, diminuindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial.

As elevadas perdas de solos nas áreas de pastagens resultam das queimadas e do pastejo sob lotação contínua, que podem ser mitigados com a adoção do pastejo rotacionado, diminuição do número de cabeças de gado por hectare e adubação dos solos para elevar a produtividade do pasto, aumentando a cobertura do solo. Sabe-se que a fertilidade adequada do solo é um fator importante na longevidade das pastagens e pode afetar a degradação, pois normalmente a degradação da pastagem apresenta-se mais frequentemente em solos com baixa fertilidade (MONTANARI et al., 2013; AYER et al., 2015).

Segundo Miguel et al.(2009), o controle inadequado da taxa de lotação animal e da oferta de forragem pode resultar em efeitos mais pronunciados do pisoteio sobre a infiltração de água no solo. A maior redução na taxa de infiltração de água foi observada a 0,10 m de profundidade. Essas alterações na taxa de infiltração de água com a intensidade de pisoteio do gado podem favorecer a ocorrência de escoamento superficial e alterar a drenagem natural característica do solo. Na pastagem, além da textura e matéria orgânica, a compressão do solo pelo pisoteio animal pode ter contribuído para aumentar o diâmetro médio ponderado de agregados do solo na camada superior a 0,10 m. Redução do diâmetro médio ponderado de agregados do solo em profundidade pode estar associada à redução da matéria orgânica e ao menor efeito da compressão do solo pelo pisoteio animal nas áreas de pastagem (SUZUKI et al., 2014).

O solo usado para pastagem sofre com a compactação decorrente do pisoteio dos animais, criando, assim, uma camada que pode reduzir a infiltração da água. O pisoteio animal, mesmo em circunstâncias de rotação, favorece a compactação do solo (PERAZZOLI et al., 2013; FERNANDES et al., 2016). Segundo PERAZZOLI et al. (2013), em contrapartida, a evapotranspiração real (ET) foi inferior para o cenário da pastagem. Deste modo, nota-se que, quanto menor a evapotranspiração, maior a vazão. A evapotranspiração reduz o volume de água armazenada no solo, responsável pela alimentação dos sistemas de drenagem superficial. Além

disso, durante eventos de chuvas intensas, a redução do volume de água armazenada no solo proporciona o aumento da taxa de infiltração, resultando na redução do escoamento superficial. Assim, a redução da evapotranspiração aumenta o armazenamento de água no solo, com maior alimentação dos rios e redução da taxa de infiltração e com aumento do escoamento superficial.

De acordo com SANTOS et al.(2017), o desenvolvimento da pastagem reduziu o rendimento de sedimentos ao longo do tempo, revelando a adaptação da captação à nova cobertura terrestre, com o desenvolvimento de um sistema de drenagem mais estável. Após o crescimento da braquiária, observou-se uma diminuição da perda de solo. A bacia hidrográfica se comportou de forma semelhante ao período de cobertura da vegetação tropical seca nativa após o estabelecimento da cobertura de capim (*Andropogongayanus*Kunt), confirmando a importância da vegetação como um importante agente de proteção contra a erosão.

ALMEIDA et al (2016), em estudo de perdas de solo, verificou que na pastagem estabelecida, elas foram em média, 2,55 vezes menores do que no sistema plantio direto de soja, ao longo do período estudado, e aos 100 dias se observaram perdas de solo no plantio direto superiores a 8,9 vezes as perdas na pastagem. Isso mostra o efeito do preparo do solo e da cobertura vegetal no processo erosivo. O tempo para início do escoamento na área de pastagem aumentou ao longo do período de avaliação e foi maior do que nos demais sistemas em todas as épocas, provavelmente em razão do maior incremento de biomassa desta cultura. Esse comportamento pode estar relacionado ao maior teor de matéria orgânica do solo sob pastagem, à maior quantidade de raízes e à continuidade dos poros decorrentes da ausência de revolvimento do solo nesse sistema de uso (GUIMARAES et al., 2013).

Já Ayer et al. (2015) encontrou valores de perdas de solo nas áreas de pastagem de 12.146 Mg/ha/ano, com taxas médias de perdas anuais de 11,10 Mg/ha/ano. As pastagens quando adequadamente manejadas, proporcionam elevada cobertura ao solo, favorecem maior agregação de suas partículas e conseqüentemente reduzem a suscetibilidade do solo ao processo erosivo (ALMEIDA et al., 2016).

Em razão do uso e manejo do solo, o sistema poroso sofreu degradação (compactação), ocasionando alterações no arranjo dos poros, de forma que, mesmo na área com pastagem, o tempo de implantação de gramíneas não foi suficiente para recuperar a qualidade física do solo. No entanto, a melhor qualidade do solo na pastagem, evidenciada por uma densidade do solo mais baixa quando comparadas aos solos sob citros e cultivo, demonstrou que, possivelmente, a implantação de um sistema de uso com pastagem, cujo manejo reduzisse o impacto do pisoteio e proporcionasse maior aporte de biomassa radicular e da parte aérea,

contribuiria para a melhoria da qualidade do solo. Esses resultados indicaram perdas irreversíveis da estrutura e qualidade física do solo, sendo que em curto prazo nem mesmo a reintrodução de florestas na área poderia também ser capaz de recuperar integralmente a estrutura do solo (GUIMARAES et al., 2013).

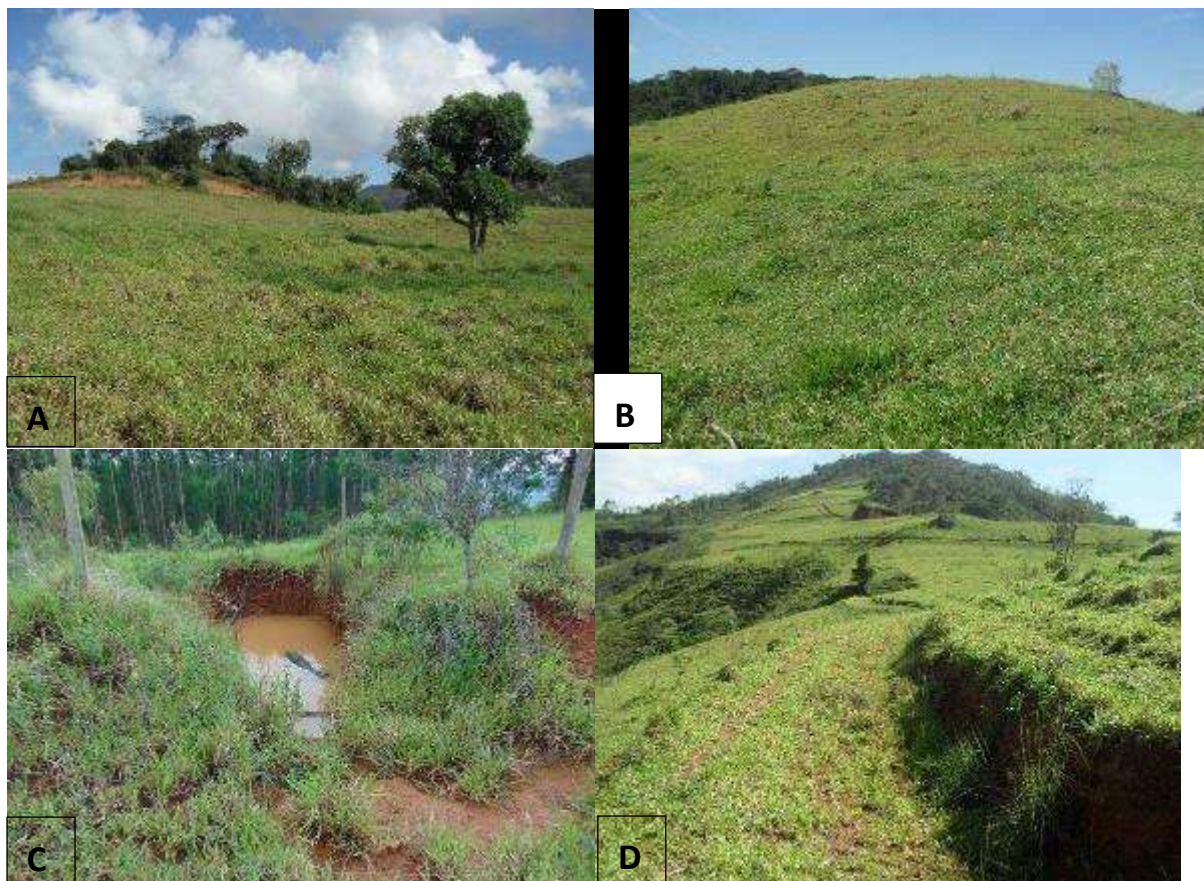


Figura 40 - Pastagens em área reabilitadas A e B) Áreas de pastagens reabilitadas e C) Poço de decantação e C) Curva de nível. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.

5.6.2 Eucalipto

As áreas de eucalipto não apresentaram grandes problemas de erosão e ausência de cobertura do solo após a entrega ao superficiário, pelo material genético e plantio de qualidade, há uma boa cobertura tanto por parte da vegetação, quanto por parte da serapilheira, possibilitando uma boa capacidade de infiltração. O que ocorre é que em alguns casos existe falta de conhecimento sobre a cultura e a falta de tratamentos silviculturais com o plantio após o primeiro ciclo de corte pode levar a perda em qualidade e produção.

Como os plantios de eucalipto são provenientes de clone, com boa tecnologia envolvida no preparo do solo, esses plantios tendem a se desenvolver melhor em relação aos plantios feitos pelos produtores rurais da região, o que pode levar a uma alteração no regime de água no solo

nos primeiros anos da implantação da cultura. O impacto no aumento da variabilidade temporal no aquífero está intimamente relacionado às condições locais. O aumento das chuvas tem potencial para aumentar a recarga do aquífero, mas a evapotranspiração pode cancelar esse fator (HIRATA et al., 2012).

A água subterrânea respondeu às influências combinadas, mas opostas das chuvas e do índice de área foliar da floresta. Na escala local neste estudo, as mudanças na profundidade média anual para as águas subterrâneas foram positivamente relacionadas às chuvas. Um limite de precipitação (com base anual, média de dois anos), em que os níveis de água subterrânea foram mantidos, foi de 1100-1200 mm (GRIGG, 2017).

As áreas de Floresta e Pastagem demonstraram maior disponibilidade de água em relação às áreas sob Eucalipto, que apresentaram maior porcentagem de poros responsáveis pela drenagem, ou poros muito pequenos responsáveis pela alta tensão de água no solo (SUZUKI et al., 2014). Ayer et al (2015) encontrou valores de perdas de solo nas áreas de eucalipto de 5.167 Mgha/ano, com taxas médias de perdas anuais de 30,67 Mgha/ano.



Figura 41 - Plantio de eucalipto em áreas reabilitadas. A e B) Condução de plantio e C e D) Condução de talhadia. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.

5.6.3 Mata Nativa

Foi visitada uma área que foi reabilitada com mata nativa e já entregue ao superficiário, a área apresenta uma mata em boas condições, com um dossel fechado. Porém, a área de sub-bosque não apresenta regeneração devido às roçadas que o proprietário tem feito na área. Segundo Miranda Neto et al (2015), estudando áreas reabilitadas da mineração, a produção de serapilheira se apresenta sazonalmente ao longo do ano, com a maior produção no final do período frio e seco. A serapilheira apresenta maior taxa de decomposição no período de maior precipitação. Esses padrões e os valores da produção e decomposição de lixo são semelhantes aos das florestas semidecíduais nativas da região.

Grigg (2017), em estudo nas florestas de jarrah (*Eucalyptusmarginata*) no sudoeste da Austrália Ocidental, verificou que a recuperação no Índice de Área Foliar (IAF) foi rápida no segundo ano após o estabelecimento da reabilitação, atingindo níveis de pré-mina em aproximadamente seis anos, e alcançando um (IAF) médio de equilíbrio de 3,0, além de uma boa camada de serapilheira, apresentando uma grande quantidade de folhas e ramos, inclusive alguns com diâmetros maiores. O que contribui para uma maior infiltração. Em relação aos valores mínimos, o cenário que apresentou o menor valor foi o de mata nativa, justificado pela maior e melhor cobertura e proteção do solo que evita assim os processos de erosão e de transporte de sedimentos (PERAZZOLI et al., 2013). O maior volume de solo explorado pelas raízes da floresta aumenta a disponibilidade de água, resultando em maior consumo pela vegetação da floresta (PEREIRA et al., 2014).

Segundo Perazzoli et al.(2013), estudando uma área de mata nativa, onde predominantemente a área foi transformada em floresta Ombrófila Densa, apresentou-se o maior decréscimo na vazão média, cerca de -8,70%, isso devido principalmente à maior quantidade de matéria orgânica e ao aumento da evapotranspiração. Com mais matéria orgânica, o solo fica melhor estruturado e aumenta a infiltração de água no solo. Por outro lado, com a maior cobertura proporcionada pela floresta, ocorre maior interceptação da precipitação pluvial e menos água chega ao solo. Freitas et al. (2016), em estudo em uma área de Mata Atlântica no município de Viçosa-MG, encontrou valores de interceptação pela cobertura florestal de 20,16% e 25,80% em estágio inicial e avançado de regeneração, respectivamente. Essa

diferença entre as áreas pode ser devida a um dossel mais fechado na regeneração avançada, que intercepta mais água da chuva.

Além da profundidade, duração e intensidade da precipitação, a variabilidade espacial intrínseca na estrutura e a composição do dossel da floresta contribuem para uma alta variação nas estimativas de interceptação florestal (NÁVAR, 2017). A interceptação das chuvas nas florestas é maior do que na pastagem, portanto a evaporação direta das chuvas interceptadas tende a ser maior na Mata Atlântica (ALVARENGA., et al 2017).

Devido às propriedades do solo sob influência da floresta, como serapilheira e matéria orgânica do solo, é possível afirmar que haverá maior porosidade do solo e maior infiltração de água no solo, reduzindo assim o escoamento superficial, a erosão e as respostas instantâneas às tempestades (ALVARENGA et al., 2017). Porém, há controvérsias sobre o papel da floresta na qualidade e na quantidade de água em uma bacia hidrográfica. No que diz respeito à qualidade, o consenso científico é maior, permitindo concluir que a cobertura florestal induz melhorias nos parâmetros relacionados (PEREIRA et al., 2014).

Segundo Pinto et al. (2013a), o ambiente da floresta teve melhores resultados de qualidade da água do que o ambiente do pasto, devido à maior proteção que fornece aos cursos da água. Embora a pastagem seja mais propensa ao escoamento direto da superfície e, conseqüentemente, a transferência de material orgânico para os cursos da água, demonstrando a importância da Mata Atlântica para a hidrologia superficial binomial e a qualidade da água.

A Mata Atlântica e os demais biomas proporcionam, em suas condições naturais de equilíbrio, de forma gratuita e contínua, uma série de benefícios ao homem, nos quais se incluem a regulação climática, ciclagem de nutrientes e a manutenção das condições dos recursos ambientais naturais, em especial a biodiversidade e a variabilidade genética, de que o homem retira elementos essenciais para a melhoria da produção animal e vegetal (LIMA et al., 2014).



Figura 42 - Áreas reabilitadas com mata nativa. A) Detalhe do plantio. B) Acumulo de serapilheira. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.

5.6.4 Café

Foi visitada apenas uma área com a presença de café, área que já foi entregue ao superficiário, a qual apresenta uma boa produtividade, segundo o proprietário. Nas áreas reabilitadas com café, há uma boa cobertura de copa, interceptando parte da precipitação e diminuindo a velocidade com que a gota de chuva atinge o solo, o que favorece a infiltração e diminui os problemas causados pela ação das gotas de chuva sobre o solo. Porém, pelas características da cultura, normalmente o solo não apresenta uma boa cobertura, seja ela através da vegetação herbácea, seja pela presença de serapilheira.



Figura 43 - Área reabilitada com plantio de café. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017

5.7. TALUDE

Durante a exploração da bauxita, o rebaixamento do terreno em algumas áreas acaba deixando, após a reabilitação, a presença de taludes de corte, em que a sua altura irá depender do volume de minério extraído da área. Esse fato ocorre porque as áreas ao lado não foram

mineradas, por causa dos limites da propriedade onde não foi feita a negociação para a exploração, seja por presença de mata nativa, seja pelo DNPM que ainda não autorizou a exploração.

A presença desse talude, além de causar um impacto visual, também causa impacto nos recursos hídricos pela sua inclinação. E por causa da presença de minério, torna-se difícil à estabilização da vegetação, deixando o solo exposto, o que aumenta o escoamento superficial e carreamento de material particulado. Em alguns pontos desses taludes, foi observada uma alta umidade, indicando que eles podem atuar como fonte de drenagem da água do solo das áreas adjacentes ao corpo explorado, o que pode acarretar na diminuição da água disponível do solo nas áreas laterais, bem como uma diminuição da recarga do lençol freático.

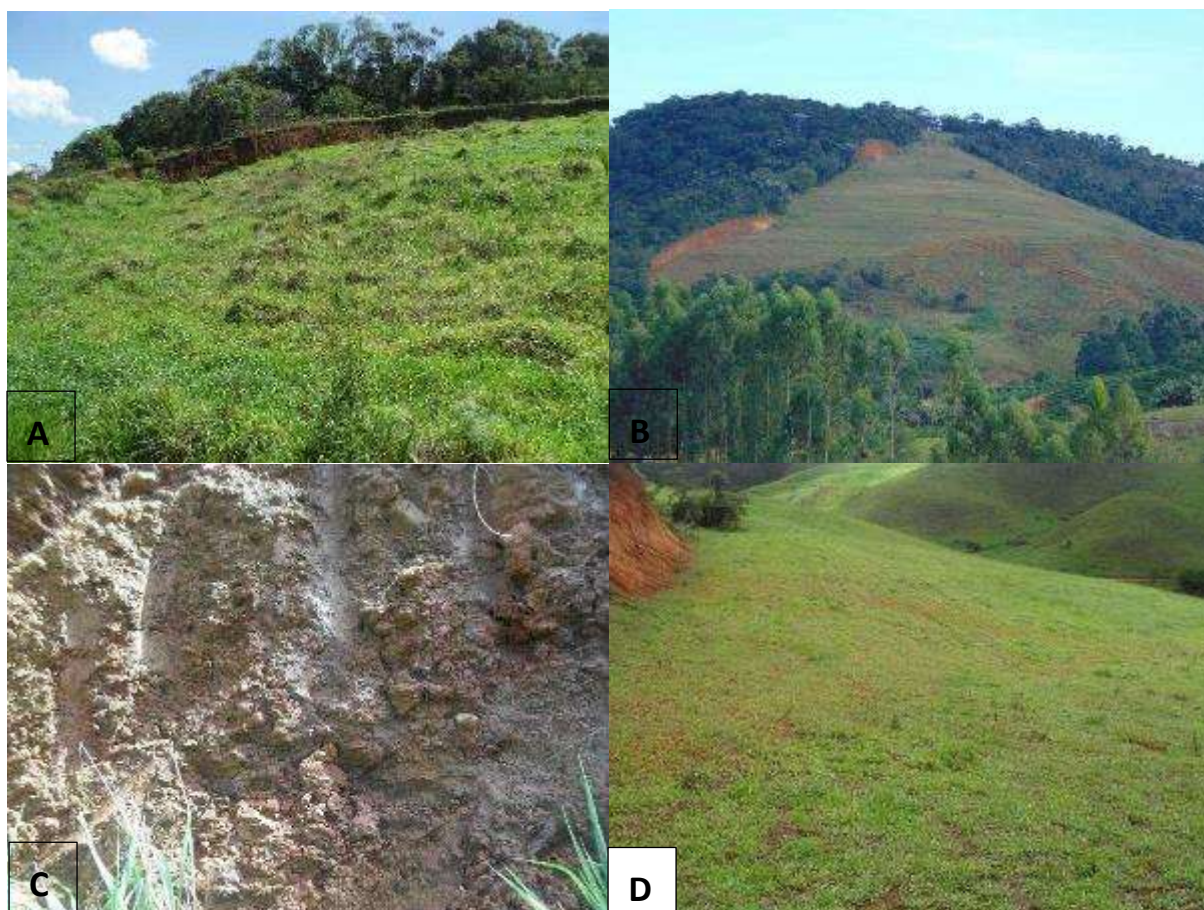


Figura 44 - Talude em áreas exploradas. A e B) Talude em área explorada com limite com a mata nativa. C) Alta umidade em um talude. C) Material sólido carreado de um talude em área de pastagem. São Sebastião da Vargem Alegre-MG, 2017.

Em alguns poços de decantação foi possível observar uma alta umidade de suas paredes após as chuvas, demonstrando um grande acúmulo de água no solo, principalmente após os eventos de chuva.



Figura 45 - Parede de um poço de decantação com elevada umidade do solo. Rosário da Limeira-MG, 2017.

Na figura 46, estão representadas duas imagens de satélite da mesma área em diferentes anos, mostrando como ficam as áreas exploradas após a reabilitação das mesmas. Foi possível observar a eficiência do processo de reabilitação das áreas adotado pela empresa, apresentando uma boa cobertura vegetal, que é de fundamental importância na proteção do solo e dos recursos hídricos.



Figura 46 - Visada orbital em composição colorida verdadeira do sensor CNES/Airbus. (A) Imagem em 2010 (B) em agosto de 2016. Fonte: Adaptado do Google Earth, 2017.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do que foi abordado neste trabalho, fica evidente a necessidade de desenvolver novas pesquisas para investigar como o processo de mineração afeta os recursos hídricos. Sendo assim, ficam aqui sugeridas algumas pesquisas que deveriam ser feitas nas áreas a fim de elucidar alguns questionamentos levantados durante os trabalhos em campo:

- Monitorar o nível do lençol freático ao longo de todo o processo, iniciando antes da mineração, passando por todas as etapas, mantendo até após a área ser entregue ao superficiário;
- Estudar a eficiência das áreas de drenagem em corpos de mineração;
- Investigar o escoamento superficial em áreas de pré-mineração e reabilitadas, em diferentes usos do solo, em longo prazo;
- Monitorar a vazão de nascentes, bem como a qualidade da água, iniciando antes da operação, passando por todas as etapas, até após a área ser entregue ao superficiário;
- Fiscalizar a qualidade da água em seus cursos, a montante e adjacentes ao corpo de mineração;
- Acompanhar a qualidade da água da chuva em áreas em mineração;
- Observar a umidade do solo antes e após o processo de exploração da bauxita;
- Verificar a dinâmica da água no solo em áreas adjacentes, quando após a exploração há a presença de talude;
- Monitorar a evapotranspiração das áreas exploradas;
- Estudar o planejamento de exploração em nível de bacia hidrográfica;
- Estudar a aplicação de novas técnicas vegetativas e mecânicas para aumento da recarga do lençol freático pós mineração.

7. CONCLUSÕES

De acordo com o que foi observado neste trabalho, podemos concluir que:

A preocupação com os recursos hídricos estão presentes em todas as etapas da exploração da bauxita, sendo que a água está diretamente ligada à exploração.

A fase de operação da mina, devido às suas características, é a que tem um maior controle sobre os processos hidrológicos, nos quais o escoamento superficial e a infiltração são os mais afetados nessa fase.

A fase de reabilitação é a que inspira maior planejamento e cuidado, por que o solo permanece sem cobertura vegetal, e também pela quantidade de estruturas de conservação do solo e da água.

Os processos hidrológicos mais afetados durante a operação de extração da bauxita são o escoamento superficial, infiltração e a evapotranspiração.

Foi possível avaliar de forma visual a interferência da mineração de bauxita nos processos hidrológicos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, W. S.; CARVALHO, D. F.; PANACHUKI, E.; VALIM, W. C.; RODRIGUES,

S. A.; VARELLA, C. A. A. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1110-1119, 2016.

ALVARENGA, L. A.; MELLO, C. R.; COLOMBO, A.; CUARTAS, L. A. Hydrologic impacts due to the changes in riparian buffer in a headwater watershed. **CERNE**, Lavras, v. 23, n. 1, p. 95-102, 2017.

ALVAREZ, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711–728, 2013.

AYER, J. E. B.; OLIVETTI, D.; MINCATO, R. L.; SILVA, M. L. N. Erosão hídrica em Latossolos Vermelhos distróficos. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 180-191, 2015.

BARROS, D. A.; PEREIRA, J. A. A.; FERREIRA, M. M.; SILVA, B. M., FERREIRA, F. D.; NASCIMENTO, G. O. Soil physical properties of high mountain fields under bauxite mining. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 37, n. 5, p. 419-426, 2013.

BARROS, D. A.; GUIMARÃES, J. C. C.; PEREIRA, J. A. A.; BORGES, L. A. C., SILVA.; ROSSI. A.; PEREIRA, A. A. S. Characterization of the bauxite mining of the Poços de Caldas alkaline massif and its socio-environmental impacts. *Rem: Revista Escola de Minas*, Ouro Preto, v.65, n.1, 127-133, 2012.

BORGES, S. R. **Qualidade do solo em áreas em recuperação com forrageiras e cafeeiro pós-mineração de bauxita.**2013. 111f. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

BROWN, T.J., IDOINE,N. E., RAYCRAFT, E. R., SHAW, R. A., HOBBS, S.F., EVERETT, P., DEADY,E.A.; BIDE.T.. World Mineral Production 2012-16. **British Geological Survey**, Keyworth, Nottingham. 2018.

CARDOSO, G. G. G.; WANDERLEY, R. C.; SOUZA, M. L. C. Physical attributes of a pasture soil in southeast Goiás determined by geostatistics. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 143-151, 2016.

DEXTER, A.R. 2004a. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, n.3. p. 201–214.

DNPM. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Anuário Mineral Brasileiro**, Brasília, DF: DNPM, 2016.

EMBRAPA EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. revista e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

EVANS, R. Factors controlling soil erosion and runoff and their impacts in the upper Wissey catchment, Norfolk, England: A ten year monitoring programme. Disponível em <<https://doi.org/10.1002/esp.4182>> Acesso em 17 de jul 2017.

- FENG, H.; ZOU, B.; LUO, J.; Coverage-dependent amplifiers of vegetation change on global water cycle dynamics, **Journal of Hydrology**, v. 550, p. 220-229, 2017.
- FERNANDES, K. L.; RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J.; CUSTÓDIO, G.D.; BARROS, L. R. Influence of time management in modeling of curve resistance to the penetration of a latosol under different uses and management of pastures and native woodland. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 3, p. 519-527, 2016.
- FLORIO, E. L.; MERCAU, J. L.; NOSETTO, M. D. Factores que regulan la dinámica freática en dos ambientes de la pampa interior con distintos regímenes de humedad. **Cienc. suelo**, Buenos Aires, v. 33, n. 2, p. 263-272, 2015.
- FORTUCE, R. C. R. L.; ALMEIDA, A. V.; WERNECK, G. S. S. **Padrão Operacional:** decapeamento. Mirai, MG. Votorantim Metais Alumínio Zona da Mata, Operação de Mina, v. 1, 4 p., 2017a.
- FORTUCE, R. C. R. L.; ALMEIDA, A. V.; WERNECK, G. S. S. **Padrão Operacional:** escarificação de área reconformada. Mirai, MG. Votorantim Metais Alumínio Zona da Mata, Operação de Mina, v. 1, 4 p., 2017b.
- FORTUCE, R. C. R. L.; OLIVEIRA, R.; WERNECK, G. S. S. **Padrão Operacional:** espalhamento de topsoil. Mirai, MG. Votorantim Metais Alumínio Zona da Mata, Operação de Mina, v. 1, 4 p., 2017c.
- FREITAS, J.P.O.; DIAS, H.C.T.; BARROSO, T.H.A.; POYARES, L.B.Q. Distribuição da água de chuva em Mata Atlântica. **Ambi-Agua**, v.8, n.2, p.100-108, 2013.
- FREITAS, J. P. O.; DIAS, H. C. T.; SILVA, E.; TONELLO, K. C. Net precipitation in a semideciduous forest fragment in Viçosa city, MG. **Revista Árvore**, v.40, n.5, 793-801, 2016.
- GOMES, M. A. LANI, J. L.; COSTA, L.M.; PONTES, L. M., FIGUEREDO, N. A., & BARDALES, N. G. Solos, manejo e aspectos hidrológicos na bacia hidrográfica do Araújos, Viçosa - MG. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 93-102, 2012.
- GOMES, M. G.; CORREIA, J. C.; WERNECK, G. S. S. **Padrão Operacional:** exploração. Mirai, MG. Votorantim Metais Alumínio Zona da Mata, Operação de Mina, v. 1, 4 p., 2017.
- GOMES, M. G.; WERNECK, G. S. S. **Padrão Operacional:** abertura de acessos. Mirai, MG. Votorantim Metais Alumínio Zona da Mata, Operação de Mina, v. 1.1, 4 p., 2017.
- GRIGG, A. H. Hydrological response to bauxite mining and rehabilitation in the jarrah forest in south west Australia, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 12, p. 150-164, 2017.
- GUIMARÃES, R. M. L.; TORMENA, C. A.; BLAINSKI, É.; FIDALSKI, J. Intervalo hídrico ótimo para avaliação da degradação física do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1512-1521, 2013.
- HIRATA, R.; CONICELLI, P. B. Groundwater resources in Brazil: a review of possible impacts caused by climate change. **An. Acad. Bras. Ciênc.**, Rio de Janeiro, v. 84, n. 2, p. 297-312, 2012.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Manuais técnicos em Geociência. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. 275 p.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. Informações sobre a economia mineral brasileira. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005957.pdf>>. Acesso em 10 jan 17.

IGARASHI, T. ALOS mission requirements and specifications. *Advances in Space Research*, v. 28, n. 1, p. 127-131, 2001.

LEAL, M. S., TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; MINGOTI, R.L. Caracterização hidroambiental de nascentes. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 146-155, 2017.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, M. S.; CURI, N.; SILVA, M. A., OLIVEIRA, A. H. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 18, n. 5, p. 517-526, 2014.

MACHADO, A. R.; JUNIOR, M., VIEIRA, A, WENDLAND, E. C. Avaliação do modelo J2000/JAMS para modelagem hidrológica em bacias hidrográficas brasileiras. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 327-340, 2017.

MARISCAL-FLORES, E. J. **Potencial produtivo e alternativas de manejo sustentável de um fragmento de Mata Atlântica secundária, Município de Viçosa, Minas Gerais**. 1993. 165p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1993.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1513-1519, 2009.

MINOTI, R. T. **Abordagens qualitativa e quantitativa de micro-bacias hidrográficas e áreas alagáveis de um compartimento do Médio Mogi-Superior/SP**. 2006. 231f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

MIRANDA NETO, A.; MARTINS, S. V.; SILVA, K.A.; LOPES, A.T.; DEMOLINARI, R. A. . Natural regeneration in a restored bauxite mine in southeast Brazil. *Bosque (Valdivia)*, v.35, n.3, 377-389, 2014

MIRANDA NETO, A.; MARTINS, S. V.; SILVA, K.A.; LOPES, A.T.; DEMOLINARI, R. A. Litter production and leaf litter decomposition in mined area in restoration process in southeast Brazil. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, v. 9, p. 321-327, 2015.

MONTANARI, R.; CARVALHO, M. P.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; DALCHIAVON, F. C. Produção de matéria seca da braquiária de acordo com os atributos químicos de um Latossolo em Selvíria, Mato Grosso do Sul. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 4, p. 519-527, Aug. 2013.

MOREIRA, P.R. **Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas à recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG.** 155p Tese (Doutorado) Universidade Estadual Paulista. Rio Claro São Paulo, SP. 2004.

NÁVAR, J. Fitting rainfall interception models to forest ecosystems of Mexico, **Journal of Hydrology**, v. 548, p. 458-470, 2017.

OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B.; ANTONINO, A. C. D.; MOURA, A. E. S. S. Evapotranspiração real em bacia hidrográfica do Nordeste brasileiro por meio do SEBAL e produtos MODIS. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.10, p.1039–1046, 2014.

OLIVEIRA, D.M.S, MAYRINK, G.V.C, BARRETO, M.S.C, VERBURG, E.E.J, ALMEIDA, L.F.J, CRUZ, R.S, Silva, I. Soil Quality and Grass Yield in a Mined Area under Poultry Litter Application in Minas Gerais State, Brazil. **Agric Crop Sci.** v.1, n.1 2016.

OLIVEIRA, D. M. S., Silva, I. R., Mendes, G. O., Vasconcelos, A. A., Mayrink, G. C. V., and Verburg, E. E. J. Carbon Fluxes from Different Pools in a Mined Area under Reclamation in Minas Gerais State, Brazil. **Land Degrad. Develop.**, v.28, p. 507–514. 2017.

PAULINO JUNIOR, N.; VON RANDOW, R. C. S.; VON RANDOW, C. Analysis of biological and meteorological controls of evapotranspiration in pristine forests and a pasture site in Amazonia. **Rev. Ambient. Água**, v. 12, n. 2, p. 179-191, 2017.

PERAZZOLI, M.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V. Efeitos de cenários de uso do solo sobre o regime hídrico e produção de sedimentos na bacia do Ribeirão Concórdia - SC. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 859-869, 2013.

PEREIRA, D. R.; ALMEIDA, A. Q.; MARTINEZ, M. A.; ROSA, D. R. Q. Impacts of deforestation on water balance components of a watershed on the Brazilian East Coast. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1350-1358, 2014.

PINTO, L. C.; MELLO, C. R.; FERREIRA, D. F.; ÁVILA, L. F. Water quality index in two land use situations in the Mantiqueira Range. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 338-342, 2013.

PINTO, L. C.; MELLO, C. R.; AVILA, L. F. Water quality indicators in the Mantiqueira Range region, Minas Gerais state. **CERNE**, v. 19, n. 4, p. 687-692, 2013a.

SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; MEDEIROS, P. H. A.; GUERREIRO, M.J.S.; PALÁCIO, H. A. Q. Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semiarid. **Rev. Ciênc. Agron.**, Fortaleza, v. 48, n. 2, p. 251-260, 2017.

SILVEIRA, L. J. **Escoamento superficial em áreas de mineração de bauxita, pré e pós lavra, na Zona da Mata Mineira.** 2017. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017.

SUZUKI, L. E. A. S.; LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; PILLON, C. N. Estrutura e armazenamento de água em um Argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa

e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 94-106, 2014.

TIAN, P.; XU, X., PAN, C.; HSU, K.; YANG, T. Impacts of rainfall and inflow on rill formation and erosion processes on steep hillslopes, **Journal of Hydrology**, v.548, p. 24-39, 2017.

TONELLO, K.C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C.A.A. S.; LEITE, F.P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões-MG. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

TUCCI, C.E.M.; MENDES, C.A. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. Brasília-DF. Ministério do Meio Ambiente. 302p. 2006.

VERAS, T. B.; CABRAL, J. J. S. P.; PAIVA, A. L. R.; BARCELLOS, R.L.; SANTOS, L.L. Vertical hydraulic gradient research in hyporheic zone of Beberibe river in Pernambuco State (Brazil). **RBRH**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 674-684, 2016.