

UNIVERSIDADE VALE DO RIO DOCE - UNIVALE
MESTRADO EM GESTÃO INTEGRADA DO TERRITÓRIO - GIT

Wady Dutra Neto

**ESTUDO DO SOLO DE MARGENS DE CURSOS D'ÁGUA NO PARQUE
ESTADUAL DO RIO DOCE APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE
FUNDÃO**

Governador Valadares

2018

WADY DUTRA NETO

**ESTUDO DO SOLO DE MARGENS DE CURSOS D'ÁGUA NO PARQUE
ESTADUAL DO RIO DOCE APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE
FUNDÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Gestão Integrada do Território da Universidade Vale do Rio Doce – UNIVALE, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Gestão Integrada do Território.

Orientadora: Profa. Dra. Renata B. F. Campos

Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre Sylvio V. da Costa

Governador Valadares

2018

Ficha Catalográfica - Biblioteca Dr. Geraldo Vianna Cruz (UNIVALE)

634.92
D978e

Dutra Neto, Wady.

Estudo do solo de margens de cursos d'água no Estadual do Rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão [manuscrito] / Wady Dutra Neto. – 2018.

63 f. ; 29,5 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Vale do Rio Doce, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Gestão Integrada do Território – GIT, 2018.

Orientador : Prof. Dr. Renata Bernardes Faria Campos.

Coorientador : Alexandre Sylvio Vieira da Costa.

1. Mata ciliar. 2. Impacto ambiental. 3. Mineradora - Aspectos ambientais. 4. Território. I. Renata Bernardes Faria Campos. II. Costa, Alexandre Sylvio Vieira da. III. Título.

Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Gestão Integrada do Território - GIT

ATA DA BANCA EXAMINADORA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE


WADY DUTRA NETO

Matrícula Nº 75140


Aos dezessete dias do mês de agosto de dois mil e dezoito (17/08/2018), às 09h (nove horas), na sala 03 no bloco PVA, da Universidade Vale do Rio Doce, reuniu-se a Comissão Examinadora da Dissertação de Mestrado intitulada “**Estudo do solo de margens de cursos d’água no Parque Estadual do Rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão**” Linha de Pesquisa: Território, Sociedade e Saúde, elaborada pelo aluno Wady Dutra Neto. A Comissão Examinadora foi composta pelos professores: Dr.^a Renata Bernardes Faria Campos (orientadora) – UNIVALE, Prof. Dr. Alexandre Sylvio Vieira da Costa (coorientador) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri/UFVJM, Dr. Juliano Daniel Groppo – UNIVALE, Dr. Claudenir Fávero – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri/UFVJM. Abrindo a sessão, a presidente da Comissão, Prof.^a Dr.^a Renata Bernardes Faria Campos, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulares do Trabalho Final, passou a palavra ao mestrando Wady Dutra Neto para apresentação de sua Dissertação. Logo após a arguição dos examinadores, a Comissão se reuniu, sem a presença do mestrando e do público, para julgamento e expedição do resultado final. Concluída a reunião, os membros da Comissão Examinadora consideraram por unanimidade a Dissertação APROVADA


Em seguida, o resultado foi comunicado publicamente ao candidato pela presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, a Presidente encerrou a reunião e lavrou-se a presente Ata, que será assinada por todos os membros da Comissão Examinadora.

Governador Valadares, 17 de agosto de 2018.


Prof.^a Dr.^a Renata Bernardes Faria Campos
Orientadora


Prof. Dr. Alexandre Sylvio Vieira da Costa
Coorientador


Prof. Dr. Juliano Daniel Groppo
Examinador


Prof. Dr. Claudenir Fávero
Examinador


UNIVERSIDADE VALE DO RIO DOCE
Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Gestão Integrada do Território

WADY DUTRA NETO


“Estudo do solo de margens de cursos d’água no Parque Estadual do Rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão”

Dissertação aprovada em 17 de agosto de 2018,
pela banca examinadora com a seguinte
composição:


Prof.^a Dr.^a Renata Bernardes Faria Campos
Orientadora – Universidade Vale do Rio Doce


Prof. Dr. Alexandre Sylvio Vieira da Costa
Coorientador – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri/UFVJM


Prof. Dr. Juliano Daniel Groppo
Examinador – Universidade Vale do Rio Doce


Prof. Dr. Claudenir Fávero
Examinador – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri/UFVJM

AGRADECIMENTOS

Sempre, em primeiro lugar, a Deus e a Maria Eduarda, pela força e paciência dada ao longo dessa jornada. Aos meus pais, Gerlânia e Wellington, por tudo que fizeram e fazem por mim. Agradeço ao meu irmão, Yuri, que, mesmo de Vitória ou de São Paulo, sempre me incentivou e esteve ao meu lado durante todo esse processo. À minha família, em especial à minha avó, por vivenciar e realizar os meus sonhos; sou grato pelas cobranças e, principalmente, pelo carinho que sempre me deu. Da mesma forma, ao meu avô Álvaro, ídolo. Obrigado por fazer dos seus sucessores exemplos a serem seguidos: de honestidade, integridade, altruísmo, empatia e respeito. Ao padrinho Rogério, por estar sempre me orientando e aconselhando a chegar aos meus objetivos de vida. Não poderia esquecer do meu irmão do coração, João Pedro, por aguentar comigo todas as dificuldades, me ouvir e, principalmente, ser o meu melhor amigo.

À minha orientadora, Profa. Renata, pela dedicação comigo e ao meu projeto, pelo prazer que proporcionou em suas aulas ao apresentar novos desafios acadêmicos como profissional, permitindo-me aprimorar a cada dia a minha atuação. Agradeço pela confiança transmitida, pela atenção nos detalhes e pelo estímulo a escrever, dando-me confiança para seguir em frente nesse desafio.

Agradeço ao Prof. Alexandre Sylvio, sempre acessível, que me estimulou, cobrou, orientou e, como meu co-orientador, soube conciliar com paciência e compreensão a execução do projeto.

Agradeço ao prefeito de Governador Valadares, André Merlo, pela oportunidade de contribuir como diretor de Gestão estratégica do SAAE-GV. A tarefa não é fácil, mas, com muita dedicação e comprometimento, estou exercendo.

Agradeço aos colegas do GIT, que participaram de minhas angústias, preocupações, estudos e atividades, não faltando em palavras de apoio. Em especial, ao Clênio, Mariana, Ranidson e a Jaqueline, por mostrarem o caminho das pedras dessa jornada.

Agradeço a todos do GIT, que, com carinho, me proporcionaram uma nova maneira de pensar, contribuindo, e muito, para me tornar um profissional melhor e um estudioso cada dia mais interessado. Em especial, às meninas da secretária, pelos esclarecimentos, soluções e por me atender sempre com o melhor sorriso no rosto ao levar meus problemas acadêmicos.

À Profa. Eunice Maria Nazareth Nonato, pelo carinho antes mesmo de fazer parte do GIT 2016, como também pelo conhecimento compartilhado, pelas preocupações, pelo incentivo e, especialmente, pela atenção.

Ao Prof. Haruf Espindola, que sempre esteve com disposição para atender às dúvidas geradas ao longo do projeto, sanando-as sempre com facilidade.

Aos amigos e colegas da Iniciação Científica da Univale, em especial ao Tony e a Sarah, pelo comprometimento e contribuição nas coletas das amostras e ao meu projeto. Ao Niwton e Amanda, pela contribuição nas análises dos solos no laboratório. Gratidão é o carinho que tenho por vocês.

À equipe do Parque Estadual do Rio Doce, por ter aberto as portas para o meu projeto. À Univale, em especial à pró-reitora, Adriana Coelho, pelo carinho comigo e ao meu projeto, para o qual cedeu o laboratório para análises do solo. À CAPES e FAPEMIG, pelo apoio e por liberar a execução da pesquisa no Parque Estadual do Rio Doce, por meio do Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração — PELD.

Obrigado! Sem a participação de todos vocês este trabalho não se tornaria uma realidade.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas, Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Marthin Luther King

RESUMO

No dia 5 de novembro de 2015, a barragem de Fundão, que comportava rejeito de mineração de ferro, de propriedade da mineradora Samarco, se rompeu em Mariana, Minas Gerais. Esse rompimento lançou milhões de metros cúbicos de rejeito de minério de ferro na bacia do rio Doce, até desaguar no Oceano Atlântico. Além do leito do rio, as Áreas de Preservação Permanentes (APPs), que têm a função de manter e conservar os ecossistemas também foram afetadas. Este trabalho considera a regulamentação do uso do solo, e de modo particular das APPs, como um processo essencial para a conservação dos recursos naturais. Assim, a presente pesquisa teve o objetivo de identificar impactos dos rejeitos nos solos das matas ciliares do Médio Rio Doce. Para efetivar o objetivo da pesquisa, foi realizada a coleta de amostras de solos, no Parque Estadual do rio Doce, em três diferentes rios, em locais que foram atingidos pelo rejeito e locais que não foram atingidos. Em seguida, foi realizada uma análise laboratorial das amostras coletadas em relação às propriedades químicas desses solos. Posteriormente, esses dados foram analisados estatisticamente e comparados entre áreas afetadas e não afetadas pelo desastre. O resultado da pesquisa indica que o solo das áreas que tiveram contato com o rejeito e as áreas que não tiveram contato com o rejeito apresentaram diferentes características em relação às propriedades químicas. Assim, conclui-se que o rejeito contribuiu para a alteração dos solos das matas ciliares bem como sua funcionalidade, o que pode trazer alterações na riqueza e composição de espécies neste ecossistema ao longo do tempo, bem como o comprometimento da efetiva proteção da UC onde estão inseridas.

Palavras-chave: território, mata ciliar, rompimento da barragem de Fundão, propriedades químicas do solo.

ABSTRACT

On November 5th, 2015, the Fundão tailings dam, containing waste from processing iron ore from mines owned by Samarco, collapsed in Mariana, Minas Gerais, which led to millions of cubic meters of iron waste to flow down the Rio Doce Basin to the Atlantic Ocean. This disaster affected the river bed as well as Permanent Preservation Areas (APPs), responsible for the monitoring and preservation of ecosystems. The process of legal land use is necessary, as it aims at the preservation of natural resources, in which the monitoring of APPs is regulated by a set of conflicting norms (due to restrictions of use imposed by legislation). The objective of this study was to identify the impacts of the deposition of material by the waste wave on the riparian vegetation at middle course of the Rio Doce. To that end, soil samples were collected from three different rivers, affected and unaffected by the disaster, from Parque Estadual do Rio Doce. These samples underwent laboratory analyses for their chemical properties. After statistical analysis, data were compared between affected and unaffected soils, with results showing different chemical characteristics for each soil sample. Therefore, we conclude that the waste from the tailings dam failure contributed to the alteration of the riparian soil along the Rio Doce. This, in turn, impacts its function altogether, particularly that of preserving the ecosystem.

Keywords: land, riparian vegetation, Fundão dam failure, soil chemical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Parque Estadual do Rio Doce.	32
Figura 2: Imagens Parque Estadual do Rio Doce.	33
Figura 3: Valores médios das variáveis analisadas (pH, fosforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, acidez potencial, CTC pH7, saturação as bases e de alumínio e matéria orgânica) em amostras de solo coletadas em cursos d'água do Parque Estadual do Rio Doce após o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Serviços ecossistêmicos oferecidos pela mata ciliar.	21
Tabela 2: Resultados da análise química do solo.	38
Tabela 3: Análise das propriedades do rejeito da barragem de Fundão.	40

LISTA DE ABREVIATURAS

APP	Área de Preservação Permanente
CTC	capacidade de troca de cátions
DJE	rio Doce Jusante Ecotone
DJM	rio Doce Jusante Mata
DME	rio Doce Montante Ecotone
DMM	rio Doce Montante Mata
EMPRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
MJE	rio Mombaça Jusante Ecotone
MJM	rio Mombaça Jusante Mata
MME	rio Mombaça Montante Ecotone
MMM	rio Mombaça Montante Mata
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PERD	Parque Estadual do Rio Doce
PNB	Produto Nacional Bruto
TJE	rio Turvo Jusante Ecotone
TJM	rio Turvo Jusante Mata
TME	rio Turvo Montante Ecotone
TMM	rio Turvo Montante Mata
UC	Unidade de Conservação

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1	MATAS CILIARES	16
2.2	SOLO	22
2.3	SOLO E TERRITÓRIO	23
2.4	PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO	27
3	METODOLOGIA DA PESQUISA	31
3.1	ÁREAS DE ESTUDO E DESENHO AMOSTRAL	31
3.2	ANÁLISES LABORATORIAIS.....	34
3.2.1	Análise de características químicas do solo – macronutrientes.....	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	48
	ANEXOS	57

1 APRESENTAÇÃO

No dia 5 de novembro de 2015, a barragem de Fundão, contendo rejeito de minério de ferro, localizada na unidade de Germano, subdistrito de Bento Rodrigues, de propriedade da Samarco Mineração, se rompeu em Mariana, Minas Gerais. O rompimento provocou o vazamento de um volume expressivo de rejeitos. O material atingiu toda a bacia do rio Doce, deixando pessoas mortas, desabrigadas e desalojadas, milhares de pessoas sem água e gerou graves danos ambientais e socioeconômicos. Com o rompimento da barragem, várias cidades, áreas ciliares e seres vivos foram afetados. Os rejeitos de minério foram depositados ao longo do rio Doce, atingindo grande volume de biomassa vegetal, gerando danos ambientais ao longo do rio (FERNANDES et al., 2016).

Conforme estimativas do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis — IBAMA (IBAMA, 2015), a barragem, de responsabilidade da mineradora Samarco, possuía 55 milhões de metros cúbicos de rejeitos de minério retirados de minas na região. O rompimento lançou 34 milhões de metros cúbicos de rejeitos de minério de ferro no rio Doce. Esses sedimentos percorreram cerca de quarenta municípios ao longo dos 600 quilômetros da bacia até desaguar no Oceano Atlântico, em litoral capixaba (PINTO-COELHO, 2015).

Em termos práticos, o desastre da Barragem do Fundão evidenciou a morte e a destruição em sua face mais temível: vidas humanas perdidas, milhões de animais aquáticos e terrestres mortos; uma Bacia Hidrográfica essencial para Minas e Espírito Santo, direta e fortemente afetada em sua integridade ambiental. Por muito tempo será difícil de estimar todos os danos com alguma certeza (SCHAEFER et al., 2016).

De acordo com o laudo técnico do IBAMA (2015), “os rejeitos de mineração de ferro também têm potencial para afetar o solo ao longo do tempo por se tratarem de material inerte sem matéria orgânica, causando desestruturação química, principalmente nas áreas ciliares”, que “envolvem todos os tipos de vegetação arbórea vinculada à beira de rios” (RODRIGUES & LEITÃO, 2000).

Dessa forma, além do leito do rio, o desastre afetou Áreas de Preservação Permanentes (APPs), que têm papel vital dentro de uma microbacia, por serem responsáveis pela manutenção e conservação dos ecossistemas ali existentes (MAGALHÃES e FERREIRA, 2000). O desastre acentua um dos grandes desafios atuais, que é a conservação ambiental, demandando concentração de esforços e

recursos para a preservação e recuperação de áreas naturais consideradas estratégicas, das quais vários ecossistemas são dependentes.

Para a preservação dos ecossistemas aquáticos e recursos hídricos se faz necessária a preservação da mata ciliar. Esta é de suma importância para manter a qualidade da água, pois proporciona a diminuição dos processos de erosão e assoreamento no leito e margem dos rios, o aumento da infiltração das águas provenientes das chuvas para o abastecimento dos lençóis freáticos e a regularização da vazão das águas superficiais, pela redução da sua velocidade de escoamento, mantendo, assim, o solo e as águas protegidos (VESTENA & THOMAZ, 2006).

Segundo Amato e Sugamoto (2000), o uso do solo, de acordo com as exigências vigentes na legislação, é um processo essencial, que visa a conservação dos recursos naturais. Entretanto, Sevilha et al. (2006) apontam que a conservação e preservação das Áreas de Preservação Permanente (APP's) são reguladas por um conjunto de normas permeado por conflitos, em função das diferentes restrições de uso impostas por legislações.

De acordo com o IBAMA, a tragédia foi responsável pela destruição de “1.469 hectares, incluindo Áreas de Preservação Permanente” (BRASIL, 2015). O estudo, extremamente técnico e descritivo, analisa com profundidade as consequências imediatas e mediatas que o acidente causou ao ecossistema local:

O desastre em análise causou a devastação de matas ciliares remanescentes (fragmentos/mosaicos), já o aporte de sedimentos (lama de rejeito da exploração de minério de ferro) imediatamente soterrou os indivíduos de menor porte do sub-bosque e suprimiu indivíduos arbóreos. Os rejeitos de mineração de ferro também têm potencial para afetar o solo ao longo do tempo por se tratarem de material inerte sem matéria orgânica, causando desestruturação química e afetando o pH do solo. Tal alteração dificultará a recuperação e o desenvolvimento de espécies que ali viviam, podendo modificar, a médio e longo prazos, a vegetação local, com o estabelecimento de ecossistemas diferentes dos originais (BRASIL, 2015).

Dessa forma, a presente pesquisa se relaciona com os impactos ambientais do rompimento da barragem de Fundão em Mariana-MG. Objetivou-se estudar propriedades químicas dos solos que se encontram às margens do rio Doce, em diferentes locais, após o rompimento da referida barragem e, posteriormente, comparar com áreas não afetadas pelo desastre, no Parque Estadual do Rio Doce, situado em Marliéria-MG. Assim, através desses dados e da sua comparação, pode-

se identificar possíveis desdobramentos dessas alterações para o território do Médio Rio Doce.

Dito isso, alguns questionamentos serão os norteadores deste trabalho: quais foram as alterações das propriedades químicas do solo atingido pela pluma de rejeitos de minério? Essas alterações nas propriedades afetaram aspectos territoriais?

O impacto do rompimento de Fundão não se restringiu às áreas de influência preestabelecidas tecnicamente. A lama produziu destruição socioambiental por 663 km nos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce até chegar na foz do último, onde adentrou 80 km ao mar (WANDERLEY et al., 2016).

Bento Rodrigues, Paracatu de Baixo, Gesteira, a cidade de Barra Longa e outros cinco povoados no distrito de Camargo, em Mariana, foram arrasados pela lama, causando, inclusive, perdas humanas em Bento Rodrigues. Mortos e desaparecidos, compondo trabalhadores da Samarco — em grande maioria, subcontratados — e moradores de Bento Rodrigues, totalizaram 19 pessoas. Mais de 1.200 pessoas ficaram desabrigadas. Pelo menos 1.469 hectares de terra ficaram destruídos, incluindo Áreas de Proteção Permanente (APPs) e Unidades de Conservação (UCs) — como o Parque Estadual do Rio Doce.(WANDERLEY et al., 2016).

A área escolhida para o estudo localiza-se no Parque Estadual do Rio Doce (PERD), situado na porção sudoeste do estado de Minas Gerais, a 248 km de Belo Horizonte, na região do Vale do Aço, inserido nos municípios de Marliéria, Dionísio e Timóteo. O PERD encontra-se no Médio Rio Doce e consiste no maior remanescente de mata atlântica desta bacia e de Minas Gerais, sendo uma unidade de conservação de proteção integral. A Unidade de Conservação abriga a maior floresta tropical de Minas, em seus 35.970 hectares, e é a primeira unidade de conservação estadual criada em Minas Gerais (IEF, 2018).

A metodologia da pesquisa se dá a partir da coleta de material (solo) em campo e da realização de análises laboratoriais das amostras coletadas. Amostras de solo de três diferentes rios foram coletadas e, posteriormente, as amostras foram analisadas, em seguida as amostras que tiveram contato com o rejeito foram comparadas com amostras que não tiveram contato com a lama. Portanto, o estudo contribui para a compreensão dos impactos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 MATAS CILIARES

Matas ciliares são definidas como a vegetação presente às margens dos corpos d'água, sendo considerada mata ciliar desde as formações vegetais que ocorrem na beira de rios e riachos até as superfícies de inundação sob influência do lençol freático (MARTINS, 2007).

Assim, Oliveira reafirma que

Estas matas são formações vegetais do tipo florestal que se encontram associadas aos corpos d'água, ao longo dos quais podem estender-se por dezenas de metros a partir das margens e apresentar marcantes variações na composição florística e na estrutura comunitária, dependendo das interações que se estabelecem entre o ecossistema aquático e o ambiente terrestre adjacente (OLIVEIRA, 1994).

Segundo Crestana (2006), as matas ciliares constituem uma formação florestal típica de áreas restritas ao longo dos cursos d'água e nascentes, em locais sujeitos a inundações temporárias. Pela sua estratégica localização, essas matas têm vocação de servirem como corredores naturais de ligação entre fragmentos e reservas florestais; exercem papel fundamental na manutenção da qualidade da água, na conservação da biodiversidade e do patrimônio genético da flora e da fauna.

Segundo Lourence et al. (1984), citados por Ribeiro (1998), a mata ciliar mantém-se como excelente consumidor e tampão de nutrientes que estão presentes no escoamento advindo de agrossistemas vizinhos.

Assim, essas “florestas ocorrentes ao longo dos cursos d'água e no entorno das nascentes” (RODRIGUES, 2001) são de suma importância na proteção de mananciais. Elas controlam a chegada de nutrientes, sedimentos e a erosão das margens, atuando na interceptação e absorção da radiação solar, contribuindo para a estabilidade térmica da água, determinando, assim, as características físicas, químicas e biológicas dos cursos d'água (DELITTI, 1989).

Santos et al. (2008) correlacionam a presença da mata ciliar com a redução dos níveis de erosão das margens, a erosão está relacionado com a geração de sólidos que contribuem para o assoreamento (VENDRAMINI, 2008) ou sólidos que

ficam em suspensão, tornando o rio barrento, o que dificulta a passagem da luz solar através da água. Desse modo, é prejudicada a vida aquática e a qualidade da água para a biota de modo geral, assim como para o uso e consumo humano. Logo, a existência da mata ciliar deixa a água mais limpa, facilitando a vida aquática (SANTOS, 2008).

A ausência da mata ciliar, por sua vez, faz com que a água proveniente da chuva escoe sobre a superfície, aumentando, assim, o escoamento superficial e diminuindo a infiltração, e conseqüentemente interferindo na diminuição do armazenamento no lençol freático. Com isso, reduz-se o volume de água disponível no subsolo e acarreta em enchentes nos córregos, rios e riachos durante as chuvas (IPEF 2010). Assim sendo, é notável o seu papel como suporte de segurança para o equilíbrio do ecossistema e suas relações intrínsecas, estando associada ao manejo e conservação dos recursos naturais (BATTILANI; SCREMIN-DIAS; SOUZA, 2005).

“Essas áreas naturais possibilitam que as espécies, tanto da flora quanto da fauna, possam se deslocar, reproduzir e garantir a biodiversidade da região” (SKORUPA, 2003). Segundo Mota (2008), a importância ambiental das matas ciliares também engloba a cobertura vegetal que contribui para a fertilidade do solo, por meio das folhas, frutos e outros materiais orgânicos. A vegetação proporciona proteção do solo contra a ação da chuva e do vento, reduzindo o feito erosivo.

As matas ciliares atuam como barreira física, regulando os processos de troca entre os ecossistemas terrestres e aquáticos e desenvolvendo condições propícias à infiltração (KAGEYAMA, 1986; LIMA, 1989). Sua presença reduz significativamente a possibilidade de contaminação dos cursos d'água por sedimentos, resíduos de adubos e defensivos agrícolas, conduzidos pelo escoamento superficial da água no terreno.

Dentre os benefícios proporcionados ao meio ambiente por esta vegetação, tem merecido destaque o controle à erosão nas margens dos rios e córregos; a redução dos efeitos de enchentes; a manutenção da quantidade e qualidade das águas (ROSA e IRGANG, 1998 e LIMA, 1989, apud ARAÚJO et al., 2004; ARCOVA e CICCIO, 1999); filtragem de resíduos de produtos químicos, como agrotóxicos e fertilizantes (MARTINS e DIAS, 2001, apud MARTINS, 2007); servir de habitat para diferentes espécies animais, contribuindo para a manutenção da biodiversidade da fauna local (SANTOS et al., 2004).

Portanto, elas prestam serviços ecológicos, como geração de sítios para os inimigos naturais de pragas, para a produção agrícola, e fornecimento de refúgio e alimento (pólen e néctar) para os insetos polinizadores de culturas. Além disso, são refúgio e alimento para a fauna terrestre e aquática, corredores de fluxo gênico para os elementos da flora e da fauna, pela possível interconexão de APPs adjacentes ou com áreas de Reserva Legal. Elas são importantes ainda para controle de pragas do solo, ciclagem de nutrientes e fixação de carbono, dentre outras funções (SKORUPA, 2003).

Segundo Teles (2010), as matas ciliares ocupam as áreas mais dinâmicas da paisagem, tanto em termos hidrológicos como ecológicos e geomorfológicos. Portanto, conservar as matas ciliares, além de ser importante para a água em si, contribui para proteger o solo, evita o assoreamento dos rios e enchentes, servem para formar corredores para a biodiversidade terrestre, conservar a biodiversidade nos rios, além de equilibrar o clima, melhorar a qualidade do ar, manter a harmonia da paisagem e melhorar a qualidade de vida (SEMA, 2017).

Dessa forma, a intervenção humana em área de mata ciliar, além de ser proibida pela legislação federal, causa uma série de danos ambientais, conforme já dito (KAGEYAMA, 1986; LIMA, 1989). Entretanto, de acordo com Crestana (2006), além do processo de urbanização, as matas ciliares sofrem também com a pressão antrópica, por uma série de fatores. São áreas diretamente afetadas por construção de hidrelétricas, abertura de estradas em regiões com topografia acidentada e implantação de culturas agrícolas e de pastagem.

De acordo com Oliveira Filho et al. (1995),

As matas ciliares são sistemas particularmente frágeis face aos impactos promovidos pelo homem, pois, além de conviverem com a dinâmica erosiva e de sedimentação dos cursos d'água, alojam-se no fundo dos vales, onde naturalmente recebem os impactos da interferência humana sobre a bacia hidrográfica como um todo. Além disso, como o fundo dos vales comumente corresponde aos solos mais férteis de uma bacia, as matas ciliares são as mais propensas a serem derrubadas para fins agrícolas (OLIVEIRA-FILHO et al., 1995).

De acordo com o Código Florestal e a Lei Nº 12651/12 (LUCENA, 2013), as matas ciliares são definidas como Áreas de Preservação Permanente – APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, facilitar

o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

De modo particular, o Novo Código Florestal (Lei Federal 12651 de 2012) define as matas ciliares como:

Artigo 4º- as florestas e demais formas de vegetação natural estavam situadas:

a) As faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

- de 30m para os cursos d'água com menos de 10m de largura.
- de 50m para os cursos d'água que tenham de 10 a 50m de largura.
- de 100m para os cursos d'água que tenham de 50 a 200m de largura.
- de 200m para os cursos d'água que tenham de 200 a 600m de largura.
- de 500m para os cursos d'água que tenham mais de 600m de largura.

b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais, 100 metros para zonas rurais e 30 metros para zonas urbanas.

c) nas nascentes, mesmo os chamados olhos-d'água perenes, seja qual for a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50m de largura.

§ 1- A supressão total ou parcial de florestas de preservação permanente só será permitida com prévia autorização do Poder Executivo Federal, quando for necessária a execução de obras, planos, atividades ou projetos de utilidade pública ou interesse social. Cabe aos Estados e Municípios agirem supletivamente à União quanto à legislação ambiental. (BRASIL,2012)

Como já dito, elas estão ligadas diretamente às funções ambientais, por meio do fornecimento de bens e serviços fundamentais para toda a população. Esses bens e serviços estão relacionados à regularização da vazão, retenção de sedimentos, conservação do solo, recarga do lençol freático, ecoturismo, biodiversidade; enfim, a uma infinidade de benefícios (BORGES, 2011).

A interpretação ecológica das APPs deve incluir, além dos aspectos ambientais, também os aspectos econômicos, sociais e culturais. Esses aspectos são igualmente relevantes para a melhoria da qualidade de vida humana (FISHER & SÁ, 2007). Logo, a preservação das APPs é de fundamental importância na gestão de bacias hidrográficas, pois contribuem para a estabilidade dos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos, visando dar condições de sustentabilidade à agricultura (BORGES, 2011).

A definição de APP demonstrou categoricamente o grau de importância que o legislador atribuiu a essas áreas. Abordou a proteção do solo, da flora, da fauna, da paisagem e da biodiversidade, culminando com a sua significância para o bem-estar das populações humanas. Dessa forma, os recursos naturais existentes nas APPs

devem ser vistos como um todo, ou seja, componentes de um ecossistema e, por isso, preservados de maneira permanente (BORGES, 2011).

De modo geral, a função ecossistêmica passa a ser considerada como um serviço ecossistêmico quando ela apresenta a possibilidade de ser utilizada para fins humanos (HUETING et al., 1998). Assim, para que haja um serviço ecossistêmico, se faz necessária uma análise que considere as inter-relações dos ecossistemas, de tal maneira que seja mantida a capacidade dinâmica dos ecossistemas em gerar seus serviços, bem como seus impactos adversos sobre o bem-estar humano (LIMBURG & FOLKE, 1999).

O conceito de serviços de ecossistema tornou-se fundamental para compreender a forma como o ser humano interage com o meio natural (THORSEN et al. 2014). Esse conceito tem origem na economia ecológica, ambiental ou dos recursos naturais onde o valor da natureza e dos serviços por ela prestados é a componente central (AZEVEDO, 2012).

Diversas funções dos ecossistemas foram caracterizadas como serviços, valoradas e incorporadas em mercados e mecanismos de pagamento (GÓMEZ-BAGGETHUN, 2010), e multiplicaram-se os esforços para avaliar e monitorizar um número crescente de ecossistemas e serviços (PEREIRA, 2009). O trabalho pioneiro de Costanza et al. (1997) apresenta a primeira estimativa do valor econômico de diversos serviços de ecossistema em vários biomas do mundo, definindo-os como “os benefícios que as sociedades obtêm, direta ou indiretamente, das funções dos ecossistemas”. O conceito de funções ecossistêmicas é relevante porque, por meio delas, se dá a geração dos chamados serviços ecossistêmicos, que são os benefícios diretos e indiretos obtidos pelo homem a partir dos ecossistemas (ANDRADE, 2009).

Segundo Mello e Romeiro

Normalmente, as funções ecossistêmicas podem gerar os respectivos serviços ecossistêmicos da seguinte maneira: (a) as funções de regulação, por meio da regulação dos processos ecológicos, geram os serviços de regulação, relacionados com a manutenção da qualidade do ar regulação climática, controle de erosão, purificação de água, tratamento de resíduos, regulação de doenças humanas, regulação biológica, polinização e proteção de desastres (mitigação de danos naturais). Sua avaliação se dá pela análise da capacidade dos ecossistemas regularem determinados serviços; (b) as funções de habitat, podem gerar os serviços de suporte, que são aqueles necessários para a produção dos outros serviços ecossistêmicos, tais como a produção primária, produção de oxigênio atmosférico, formação e retenção de solo, ciclagem de nutrientes, ciclagem da água e provisão de habitat. Eles se diferenciam das demais categorias na medida em que seus impactos sobre o homem são indiretos e/ou ocorrem no longo prazo; (c) as funções de

produção se relacionam com os serviços de fornecimento, que incluem os produtos obtidos dos ecossistemas, tais como alimentos e fibras, madeira para combustível e outros materiais que servem como fonte de energia, recursos genéticos, produtos bioquímicos, medicinais e farmacêuticos, recursos ornamentais e água. Sua sustentabilidade deve ser medida por meio de uma análise que considere a qualidade e o estado do estoque do capital natural que serve como base para sua geração, atentando para restrições quanto à sustentabilidade ecológica; (d) as funções de informação, relacionadas com os serviços culturais, que incluem a diversidade cultural, na medida em que a própria diversidade dos ecossistemas influencia a multiplicidade das culturas, valores religiosos e espirituais, geração de conhecimento (formal e tradicional), valores educacionais e estéticos. (MELLO & ROMEIRO 2010, p. 6)

Entretanto, a relação entre as funções e os serviços ecossistêmicos geralmente apresentam um caráter multidimensional, na qual um serviço ecossistêmico pode ser o produto de duas ou mais funções, ou uma única função pode gerar mais que um serviço ecossistêmico (COSTANZA et al.,1997). Como exemplos de serviços ecossistêmicos e suas funções, podem ser destacados aqueles oferecidos pela mata ciliar, ou ripária, de acordo com Costanza et al. (1997) (Tabela 1).

Tabela 1: Serviços ecossistêmicos oferecidos pela mata ciliar.

Serviços Ecossistêmicos	Funções Ecossistêmicas
Controle de distúrbios	Atenuar flutuações ambientais
Controle da água	Controle dos fluxos hidrológicos
Controle de erosão	Retenção do solo em um ecossistema
Formação de solo	Processo de formação de solo
Ciclagem de nutrientes	Armazenamento, ciclagem interna, processamento e captação de nutrientes.
Controle biológico	Controle da dinâmica trófica das populações
Produção de alimento	Produção primária de alimentos
Matéria prima	Produção primária extraída como matéria prima
Recursos genéticos	Fonte de materiais biológicos e produtos
Recreação	Oportunidade para atividades recreativas
Cultural	Oportunidades para usos não comerciais
Controle do clima	Regulação da temperatura e processos climáticos globais
Fornecimento de água	Armazenamento e retenção de água

Fonte: Costanza et al. (1997).

Os serviços ambientais, por sua vez, podem ser entendidos como aqueles prestados pelos diferentes agentes econômicos para conservação e/ou recuperação dos recursos naturais. Dentre diferentes exemplos, podem ser destacados:

recuperação e manutenção da mata ciliar; construção de terraços; e recuperação de áreas degradadas (HUETING, 1998).

Resumindo, a principal diferença entre serviços ambientais e serviços ecossistêmicos é que, no primeiro caso, os benefícios gerados estão associados a ações de manejo do homem nos sistemas naturais ou agroecossistemas; já nos serviços ecossistêmicos, refletem apenas os benefícios diretos e indiretos providos pelo funcionamento dos ecossistemas, sem a interferência humana (COSTANZA, 1997).

Para encerrar este capítulo, deve-se destacar a contribuição de Raffestin (1993), que alerta acerca do fato de que, sob a ótica territorial, a natureza é igual matéria, que é igual espaço, ou seja, não tem significado em si mesmo, exceto ser o que é. Sob esse ponto de vista, a distinção entre matéria e recurso é crucial, sendo a primeira um dado natural e a segunda uma realidade histórica. Assim, considerando a mata ciliar como um ecossistema que presta uma série de serviços essenciais, na perspectiva de Raffestin ela deixa de ser matéria ou espaço (natureza, ecossistema) e passa a ser mais do que recursos (madeira, água, caça). Ela pode ser percebida como um recurso em si (uma “estrutura dinâmica” fornecedora de recursos).

2.2 SOLO

Ainda como parte da fundamentação para este trabalho, deve-se considerar que a estrutura e funcionamento dos ecossistemas são regulados por vários componentes, dentre os quais destaca-se o solo, que funciona como suporte para todos os sistemas terrestres (AMUNDSON & JENNY, 1997). Em especial, o solo de matas ciliares, que tem suas importantes funções, tanto para ecossistemas terrestres quanto aquáticos, conforme mencionado no capítulo anterior.

Para a pedologia, o solo é constituído por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais; são dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, contendo matéria viva e ocupando a maior porção do manto superficial das extensões continentais do planeta. Contém matéria viva e pode ser vegetado na natureza, onde ocorrem e, eventualmente, é modificado por interferências antrópicas. É produto do intemperismo sobre um material de origem, cuja transformação se desenvolve em um determinado relevo, clima, bioma e ao longo de um tempo. Outras definições, com

outros sentidos, podem ser observadas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

O solo é um recurso básico que suporta toda cobertura vegetal do planeta, como, por exemplo, as árvores, raízes e herbáceas. Além disso, o solo é fonte indireta de energia para os seres vivos na Terra (BERTONI & LOMBARDI, 2014), pois ele é o substrato principal da produção de alimentos e nutrientes, conforme explica Resende (2002).

Trata-se de um recurso finito, ou seja, a sua perda e degradação só se recupera ao longo de vários anos. Ele é um componente essencial dos recursos naturais, atua no desenvolvimento agrícola e sustentabilidade ecológica e ainda serve como a base para alimentos, ração, combustível e produção de fibras, além de servir para muitos serviços dos ecossistemas críticos (BRASIL, 1991).

A qualidade do solo em ótimas condições diz respeito à maneira adequada de desempenhar suas funções nos ecossistemas e, por consequência, prestando serviços ecológicos. O funcionamento do solo depende da interação de processos químicos, físicos e biológicos, que mantêm um fluxo constante e uma natureza heterogênea (TÓTOLA & CHAER, 2002).

2.3 SOLO E TERRITÓRIO

Os recursos naturais são todos aqueles inerentes à natureza, aos quais o homem recorre para satisfazer suas necessidades. Os recursos naturais, se, após seu uso, forem renovados, isto é, voltarem a estar disponíveis, são considerados renováveis; caso contrário, podem ser classificados como não renováveis (PORTUGAL, 1992).

A quantidade de recursos renováveis não é estável, podendo aumentar em extensão (acréscimo de superfície terrestre ocupada) e/ou intensidade (aumento da tecnicidade). A relação desses recursos com o solo pode ser simétrica ou dissimétrica, dependendo da mobilização ou não de técnicas de preservação e conservação. Os recursos não renováveis, sejam energéticos ou minerais, uma vez consumidos, se esvanecem (ESPINDOLA, 2015).

Recursos não renováveis, como o carvão, o gás e o petróleo, que são a própria matéria em forma de energia armazenada no solo ou no subsolo, são apenas apropriados pela técnica, não podendo ser reconstituídos pela mesma. A não

renovação dessas energias, confirmada apenas na escala da história humana, tornam-nas trunfos que, sem mecanismos de regulação ajustados aos ecossistemas, apenas regulados normativamente, pelo controle do usar, não usar e de quanto usar, geram tensas relações de poder e conflitos, que aumentam conforme aumentam sua exploração (LIMA, 2011).

Tanto o solo como a água são recursos renováveis e vitais, mas em quantidade limitada; portanto, estratégicos. Por isso requer um controle especial: na quantidade e na qualidade, na utilização e no consumo, no tempo e no espaço. Pode-se, então, concluir que solo e água estão no centro das estratégias globais. Para Raffestin (1993), a "territorialidade aparece então como constituída de relações mediatizadas, simétricas ou dissimétricas com a exterioridade". Para o autor, a territorialidade se inscreve no quadro da produção, da troca e do consumo, reafirmando seu caráter de relação entre diferentes atores (VALE, SAQUET & SANTOS, 2005).

Apesar do solo ser considerado um recurso natural renovável, mas, devido a intensa degradação promovida nos últimos séculos, a disponibilidade do solo está sendo gravemente comprometida. Por isso, Favaretto & Dieckow (2007) afirmam que, na realidade atual e em termos práticos, o solo deve ser considerado um recurso não renovável. Esta também é a minha visão como pesquisador.

Sobre os recursos não renováveis, Raffestin é, mais uma vez, ilustrador ao afirmar que:

[...] as grandes nações industriais que se construíram desde o século XIX consumiram, desperdiçaram mesmo, recursos não-renováveis num ritmo acelerado, pois se tratava de atingir o nível mais elevado. Não faz muito tempo e ainda hoje, na corrida do PNB¹ mais alto, media-se o crescimento pelo consumo de energia, de ferro, de aço, etc. por habitante. Há mais ou menos uma década, os países produtores de recursos não-renováveis começaram a reagir frente ao desperdício, mas também para fazer durar aquilo que era parte de sua riqueza, jogando com os preços [...]. De qualquer maneira, os estoques terrestres continuarão a diminuir (Raffestin, 1993 p.233).

A classificação que Raffestin dá à mobilização dos recursos (exploracionismo, preservacionismo e conservacionismo) é bem oportuna e serve para interpretar as diferentes estratégias dos diversos atores que, por meio de ideologias, dissimulam

¹ PNB: Produto Nacional Bruto

formas condenáveis de apropriação e mobilização das matérias e dos respectivos recursos. Os exploracionistas, por fazerem uso das informações funcionais e serem geralmente regulados pelo mercado ou pela planificação, só levam em conta a maximização da produção, desconsiderando o ritmo dos esgotamentos. “A informação funcional é aquela que interessa a todas as técnicas de valorização, em qualquer nível” (RAFFESTIN, 1993, p. 235). Os exploracionistas seguem a lógica econômica clássica que se encarrega de privilegiar um mesmo bem no presente em detrimento desse bem no futuro. Como, nesse caso, o futuro não conta, os recursos podem e devem ser esgotados, não levando em consideração o meio físico e o ser humano.

Os preservacionistas são regulados pela informação reguladora dos preços, portanto primam pela estagnação da mobilização das matérias e recursos. O meio é pouco tocado e os atores renunciam a um ganho elevado imediato [...]. As razões não se devem unicamente à preservação de um recurso, mas também à vontade de evitar a desordem nas estruturas econômicas nacionais, que não estaria em condições de absorver e de utilizar enormes ganhos sem sobressaltos. Pode-se, por outro lado, imaginar que os preservacionistas potencializam momentaneamente, para atualizar com mais benéficos ainda no futuro. Seria um erro pensar que essa estratégia é ecológica (RAFFESTIN, 1993, p. 236).

Os conservacionistas, por seu lado, tentam usar os recursos de forma a suprir as necessidades do presente, sem comprometer o futuro, estabelecendo relações simétricas de gestão em longo prazo. Seja como for, é a estratégia implícita seguida pela OPEP que tenta atualizar seus recursos no ritmo de seu desenvolvimento econômico. “Por isso, sem dúvida, colocam em dificuldade os países industrializados, habituados ao desperdício do petróleo” (RAFFESTIN, 1993, p. 236).

Portanto, a mobilização dos recursos demanda estratégia complexa, na qual intervém o conjunto de atores sintagmáticos que fornecem, uns aos outros, os fatores necessários à realização do projeto. (ESPINDOLA, 2015).

Com o objetivo de preservar e conservar, de forma sintética, a melhor estratégia para a mobilização dos recursos, é o Estado, como ator político, por direito e por legitimidade, o mais habilitado para gerir os recursos em seu território (RAFFESTIN, 1993, p. 155). O Código Florestal, cujo objetivo é o desenvolvimento sustentável, não comprometendo os recursos para as gerações futuras, tem o intuito de preservar uma área cuja função é manter os recursos hídricos e ambientais (BRASIL, 2012). Tal lei é um exemplo de norma criada para garantir a disponibilidade de recursos, remetendo à ideia de território normado.

A produção de normas jurídicas está vinculada ao espaço geográfico, ou seja, a constituição de objetos técnicos no espaço, cada vez mais científicos e informacionais, demanda a formação crescente de um conjunto de regulamentos legais (ANTAS JR., 2005). Nesse sentido, o espaço é tido como fonte material e não formal do direito, conforme Antas Jr. (2005, p.52) dispõe:

Parte-se, neste estudo, de uma concepção do espaço geográfico como constituído por objetos e ações; conjuntos de objetos em sistema indissociáveis de conjuntos de ações em sistema. Há, portanto, na interação entre objetos e ações, a presença de densidades normativas variadas, conforme a quantidade e a qualidade com que esses dois elementos distribuem-se pela superfície terrestre, e grande parte dessas normas, jurídicas, busca regular tal relação (ANTAS JR., 2005, p.52).

No caso desta pesquisa, entende-se o solo como objeto e o Código Florestal como ação cuja finalidade é conservar e preservar este objeto.

As normas jurídicas e as formas geográficas guardam a propriedade comum de produzir condicionamentos sobre a sociedade, funcionalizando a para diversos fins e direções distintas. Uma como as outras expressam a significação máxima de instâncias sociais amplas — o direito e o espaço geográfico (ANTAS JR., 2005, p.52).

Conforme Antas Jr. coloca,

O território então se apresenta como “território normado” e “território como norma”. “Território como norma” corresponde “à configuração territorial produtora de normas”, quer dizer, aqueles arranjos de objetos técnicos estruturadores de regulamentos e leis, enquanto o “território normado” significa “à normatização do espaço geográfico pelas ações” (ANTAS JR., 2005, p. 53).

Com base em nosso exemplo de interação entre espaço geográfico e normas, pode-se afirmar que toda técnica desenvolvida apresenta elementos normativos, ainda que não necessariamente normas jurídicas. Estas vêm, segundo o exemplo dado, geralmente com o adensamento, através das leis de ocupação do solo, com coeficiente determinado, padrões de dimensão arquitetônicos obrigatórios, fixação de atividades, determinação das características das vias de acesso; enfim, uma gama enorme de variáveis que alimentam — como fontes primárias que são — o sistema jurídico e seus ordenamentos (ANTAS JR., 2005).

Entretanto, esse direito e essa legitimidade são apenas formais, já que o próprio Estado se encarrega de delegar o poder e a legitimidade às empresas privadas, “pois

nos países capitalistas os recursos são, na maioria das vezes, objeto de uma apropriação privada” (RAFFESTIN, 1993, p. 236). Nas relações com os territórios ou com os recursos sempre estão presentes poder e norma para a maior eficácia do controle e da gestão dos seres e das coisas.

Considerando-se a relação íntima entre o solo das áreas adjacentes aos rios, essencial para a manutenção das matas ciliares e, conseqüentemente, dos recursos hídricos, cujo controle e/ou a posse, “são, sobretudo, de natureza política, pois interessam ao conjunto de uma coletividade” (RAFFESTIN, 1993, p. 231). O avanço técnico-científico tem aumentado a capacidade de utilização do solo e da água, porém as novas técnicas são crescentes consumidoras de recursos não renováveis.

2.4 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

O solo é um dos fatores que mais influencia no crescimento das plantas e, dentre seus principais atributos, encontram-se: textura, estrutura, temperatura, pH, fertilidade, umidade e aqueles relacionados com o material de origem (PRITCHETT, 1979).

Um solo fértil deve ter bons atributos físicos e fornecer às plantas os nutrientes que dele são absorvidos, em quantidades razoáveis e convenientemente balanceadas. Tal solo não deve conter substâncias ou elementos tóxicos em quantidades que possam prejudicar o desenvolvimento das plantas e deve estar localizado numa zona climática favorável, para que tais fatores não sejam limitantes do crescimento (MELLO et al., 1983).

A matéria orgânica está ligada a inúmeras propriedades do solo e, segundo Reichert et al. (2003), ela pode ser considerada um dos melhores indicadores de qualidade do solo. Além disso, pode ser constituída por uma pequena camada de resíduos da flora e fauna formados ou adicionados ao mesmo, parcial ou totalmente decompostos, pela intensa atividade dos organismos (ALVES, 2010).

A influência da matéria orgânica nas propriedades do solo é de grande importância, já que atua como fonte de energia para a biomassa microbiana. Ademais, pode servir de aporte de nutrientes para as plantas (MARIN, 2002). Ela tem como função a agregação de partículas minerais, sendo a principal responsável pelo aspecto frouxo e friável dos solos produtivos (BRADY, 1989). De acordo com Campos (1995), na medida em que se adiciona matéria orgânica ao solo, a atividade

microbiana é estimulada, assim resultando em produtos que atuam na formação e na estabilização dos agregados.

Henklain & Medeiros (1995) citam ainda que a matéria orgânica é muito importante para a redução do processo erosivo, bem como para proporcionar uma maior disponibilidade de nutrientes às plantas, maior retenção de água, redução da temperatura do solo, estimulação da atividade biológica, aumento das taxas de infiltração, maior agregação e na redistribuição dos nutrientes de maior mobilidade.

A capacidade de troca de cátions (CTC) de um solo, argila ou húmus é a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais, em estado permutável. De acordo com Gonçalves et al., (1997), quanto maior o valor da CTC do solo, maior o número de cátions que ele pode reter. Solos muito intemperizados e originados de materiais com propriedades química baixa, geralmente lhes conferem baixa CTC e restrita disponibilidade de nutrientes. Com o aumento do pH, a CTC do solo se eleva e, conseqüentemente, os cátions disporão de maior número de cargas para adsorção (SANTOS et al., 2002).

CTC, derivada principalmente pelo teor e qualidade das argilas e matéria orgânica, é outro dos parâmetros que melhor define a fertilidade do solo (GLÓRIA, 1992). O valor de CTC também pode ser influenciado pelo teor de matéria orgânica no solo, sendo que a redução da CTC pode ser atribuída a alterações na quantidade de matéria orgânica e no pH (RAIJ, 1981).

A quantidade de matéria orgânica afeta diretamente a capacidade de troca de cátions (CTC), que está diretamente relacionada com a retenção de água do solo. Essa taxa de infiltração da água é uma condicionante para a taxa de erodibilidade do solo. A quantidade de matéria orgânica é, portanto, de grande importância no controle da erosão, visto que melhora as condições de arejamento e de retenção de água (SILVEIRA et al., 2005)

A acidez do solo pode ser ativa e potencial. Essa acidez é medida em uma escala de pH. O solo cujo pH é sete é considerado neutro, enquanto valores de pH menores que sete são classificados ácidos e os valores maiores que sete são alcalinos. Nos solos, a amplitude de pH varia de 3 a 9, embora os valores mais comuns ocorram na faixa intermediária (SILVA, 2009). A acidez ativa é determinada pela atividade de íons hidrogênio (H^+) que se encontram livres ou dissociados na solução do sistema solo-água (CATANI & GALLO, 1955).

A acidez potencial é constituída pela somatória do H + Al do solo, extraídos com soluções de sais tamponadas ou misturas de sais neutros com solução tampão (PEECH, 1965). Define-se acidez potencial aquela que envolve não apenas os íons Al^{3+} , mas também íons de H^+ trocável, e aqueles ainda combinados nos coloides por ligações covalentes e que poderão se dissociar (RAIJ & QUAGGIO, 2001). Logo, essa acidez refere-se à soma da acidez trocável e da acidez não trocável.

Para o Al^{3+} trocável, é esperada correlação positiva pelo fato de a acidez potencial referir-se ao total de H^+ em ligação covalente mais o Al^{3+} , ou seja, a soma da acidez não trocável e trocável (SILVA et al., 2006). O Al^{3+} trocável é praticamente o único responsável pela acidez trocável, pois a quantidade de H^+ trocável em solos apresenta ser relativamente bem pequena. Ademais, grandes quantidades de Al^{3+} faz com que as plantas tenham um crescimento inibido (CHAO & HARWARD, 1962; THOMAS & HARGROVE, 1984; HUE et al., 1986).

O potássio no solo comporta-se como íon cátion monovalente e, dessa forma, pode ser facilmente lixiviado, absorvido, fixado, adsorvido as argilas ou permanecer na solução do solo. O potássio, por ser bastante móvel, é facilmente lixiviado em solos com baixa CTC, como, por exemplo, em solos arenosos. Seu teor no solo, considerado como médio, é de 0,1 a 0,3 cmolc kg^{-1} . A lixiviação se destaca como um dos principais problemas do potássio em solos de baixa capacidade de troca catiônica. Há casos em que as perdas se aproximam das quantidades extraídas pelas culturas (SENGIK, 2010). O cálcio, no solo, comporta-se como íon divalente positivo (Ca^{2+}), devendo ser fortemente adsorvido aos coloides, absorvidos pelas plantas e organismos do solo, estar na solução do solo, ou ser lixiviado. O conteúdo de cálcio no solo é função do material de origem do mesmo (rocha), sendo influenciado pela sua textura, teor de matéria orgânica e pela remoção das culturas (SENGIK, 2010).

Os teores de magnésio e cálcio estão diretamente relacionados com a acidez do solo (TOMÉ JR. 1997). Desse modo, se os teores desses elementos estiverem baixos, o solo estará também mais ácido, com baixa saturação por bases e alta toxidez por alumínio. O cálcio é importante porque a maior parte das funções que realiza está associada à manutenção da membrana celular e estabilização da parede celular; sendo assim, essencial na absorção seletiva de íons e controle de seu vazamento (TOMÉ JR. 1997). A deficiência do magnésio nas plantas provoca alteração no tamanho, estrutura e no funcionamento dos cloroplastos, além de comprometer

também a síntese da clorofila, provocando deformações nas margens e pontas das folhas mais velhas (MARENCO et al., 2009).

A relação cálcio e alumínio pode ser usada como indicador de processos que contribuem para a acidificação do solo (CRONAN; GRIGAL, 1995). Mas a relação mais discutida é a relação cálcio e magnésio. Ela é importante por haver uma competição entre cálcio e magnésio pelos sítios de adsorção no solo (MOREIRA et al., 1999), o que pode afetar o desenvolvimento das plantas. Yadare & Girdhar (1981) citam que o cálcio apresenta maior preferência em relação ao magnésio no complexo de troca do solo.

Observa-se que o uso de calcários pobres em magnésio tem promovido o desequilíbrio no solo entre cálcio e magnésio, podendo prejudicar a produção vegetal, criando situações em que são boas as quantidades, tanto de cálcio como de magnésio; mas o grau de saturação dos íons, ou sua relação, não é a mais adequada para a absorção e crescimento vegetal (SENGIK, 2010).

O magnésio é adsorvido aos coloides do solo como íon bivalente positivo (Mg^{2+}), com comportamento muito similar ao cálcio. O teor de magnésio trocável, que pode ser considerado como médio, é de 0,4 a 0,8 cmolc dm^{-3} de solo. (SENGIK, 2010). Solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica, ácidos, lixiviados, em geral possuem baixos teores de magnésio; mas o uso da calagem, com os calcários dolomíticos, tem criado uma nova situação, em que alguns solos têm apresentado altos teores de magnésio; porém, com problemas de desequilíbrio catiônico com potenciais para a redução da produção. Há casos em que os teores de cálcio e de magnésio são altos, ocorrendo problemas da relação e de altas saturações de magnésio no complexo de troca (SENGIK, 2010).

A soma de bases (valor S) é a soma dos principais cátions trocáveis do solo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+); é expressa em cmolc.kg⁻¹ e traz informações sobre o montante de cátions disponível para as plantas (RONQUIM, 2010).

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

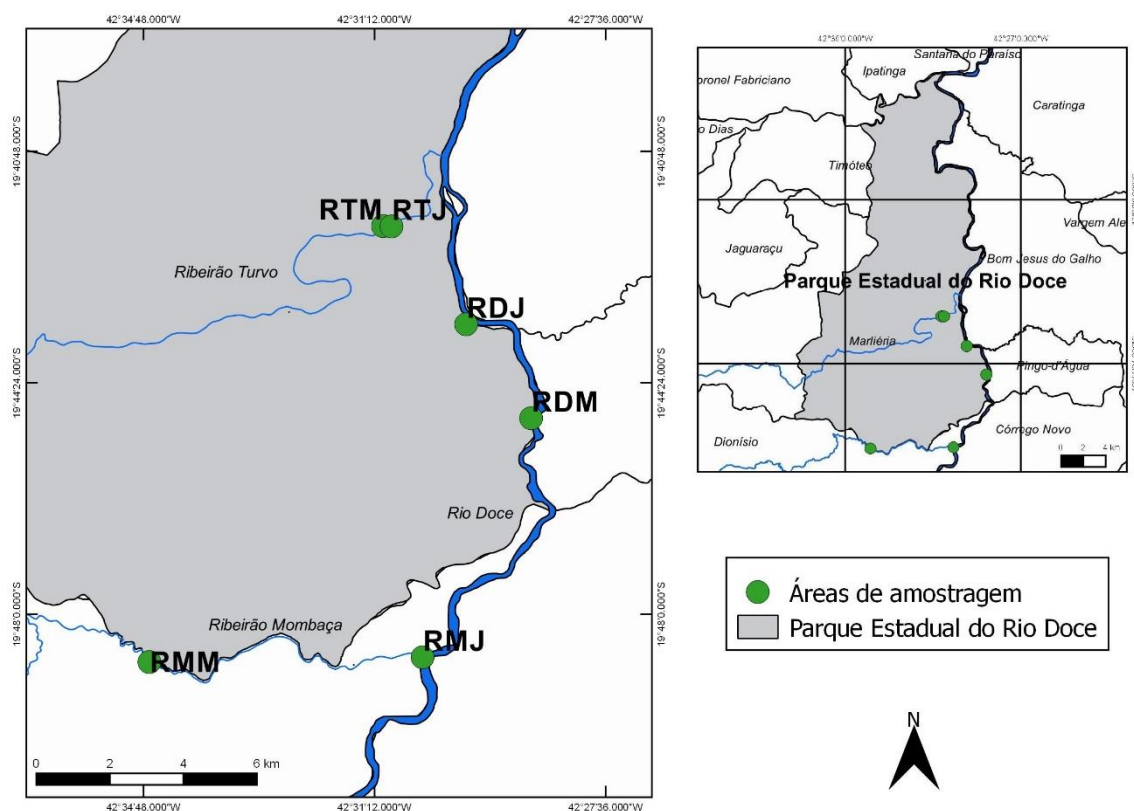
3.1 ÁREAS DE ESTUDO E DESENHO AMOSTRAL

Este estudo foi feito a partir de amostras de solo coletadas no Parque Estadual do Rio Doce — PERD, o maior remanescente de floresta atlântica de Minas Gerais. Composto por um mosaico de matas primárias e secundárias, o PERD ocupa uma área de aproximadamente 36.000 ha situados entre as coordenadas 190 48'-190 29'S e 420 38'-420 28'O.

O PERD foi estabelecido como Unidade de Conservação em 1944 e abrange três municípios: Marliéria, Timóteo e Dionísio. A vegetação do PERD é classificada como Floresta Estacional Semidecidual, dentro do domínio da floresta atlântica brasileira e apresenta clima sazonal com um período seco e um período chuvoso (SOCT 1981, IEF 1994). O PERD apresenta temperaturas médias entre 20°C e 22°C, podendo chegar a 40°C no verão. O regime pluviométrico consiste em uma estação chuvosa nos meses de verão, com precipitação média anual de 1.480 mm, e em uma estação seca, bem definida, no inverno de 4 a 5 meses de duração.

O desenho amostral abrange seis áreas do Parque Estadual do Rio Doce, de acordo com a Figura 1, sendo que três delas foram afetadas diretamente pelo rejeito e três não tiveram contato direto com a lama.

Figura 1: Parque Estadual do Rio Doce.

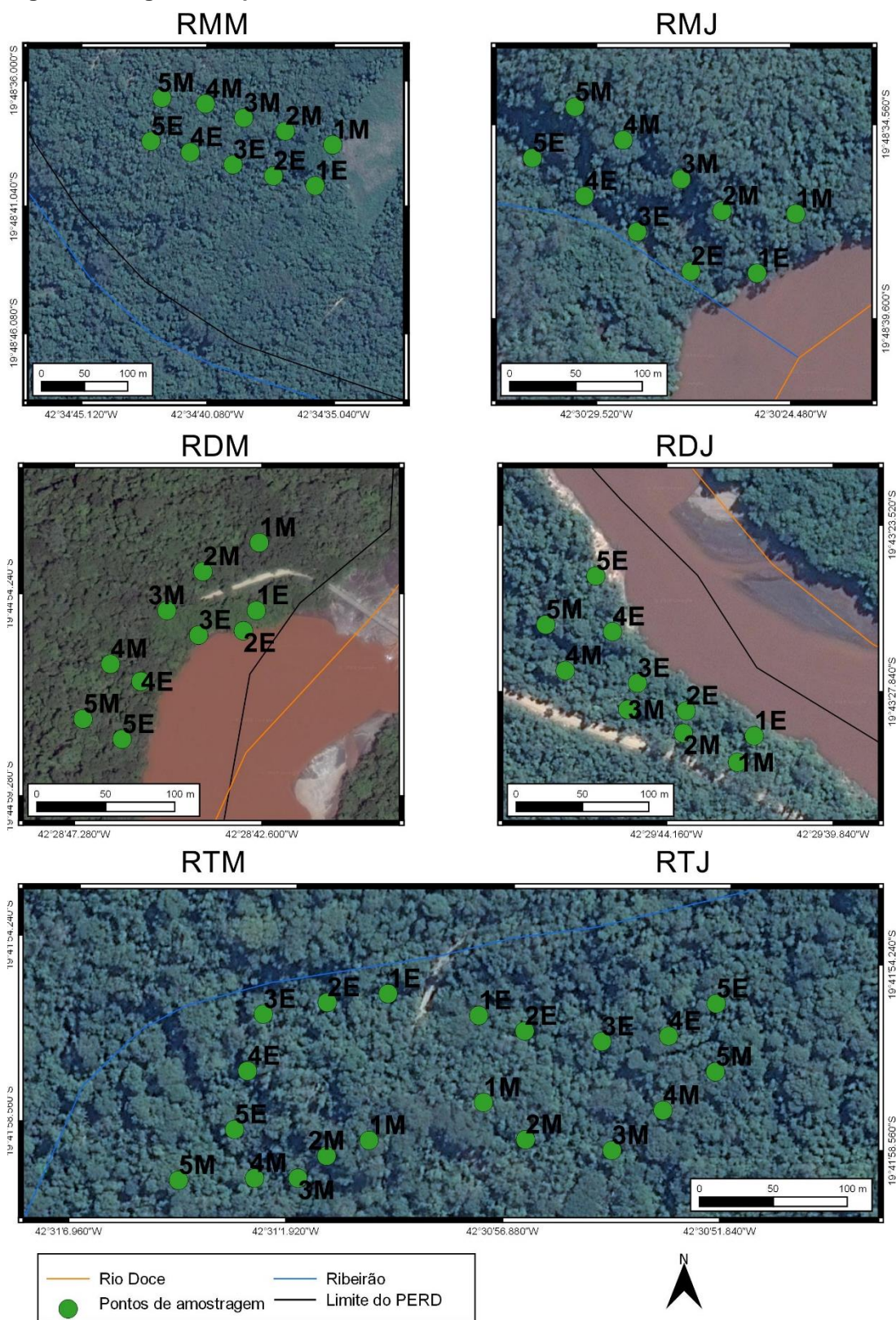


Fonte: Produção do próprio autor (2018).

* Parque Estadual do Rio Doce no estado de Minas Gerais, área que foi atingida pelo rejeito da barragem de Fundão em Mariana. Rio Turvo Montante (RTM) e Jusante (RTJ), RMM e RMJ para Rio Mombaça montante e jusante respectivamente e RDM e RDJ para Rio Doce montante e jusante respectivamente.

As áreas localizadas ao longo do rio Doce (Figura 2c e 2d) que margeiam o PERD e a outra área na zona de amortecimento do PERD que está na margem do ribeirão Mombaça (Figura 2b), que deságua no rio Doce, tiveram contato diretamente com o rejeito. Já as áreas que não tiveram contato direto com rejeito, duas delas estão na margem do rio Turvo (Figura 2e). A outra área que não teve contato com o rejeito está no ribeirão Mombaça a montante (Figura 2a). Dessa forma, nas margens de cada curso d'água amostrado, foram delimitados dois plotes, foram chamados de "montante" (M) e "jusante" (J). As duas áreas próximas ao rio Doce localizam-se na sua margem esquerda, sendo que, no plote localizado a montante (RDM), houve maior deposição de rejeito, enquanto que na área RDJ o depósito de rejeito foi localizado em alguns pontos ao longo do transecto, dado que o terreno deste plote é mais acidentado e apresenta áreas de barranco com a cota que atingia até 13 metros de desnível em relação ao leito do rio no momento da coleta.

Figura 2: Imagens Parque Estadual do Rio Doce.



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

Nas margens do Mombaça, as cotas, em relação ao leito, eram menores, sendo que houve depósito de rejeito da área localizada a jusante (RMJ), especialmente nas

áreas mais próximas ao leito do rio, enquanto o plote localizado a montante (RMM) não sofreu deposição de rejeito, assim como as margens do rio Turvo. Note-se que os dois plotes do Mombaça localizavam-se na margem esquerda do ribeirão, que, por sua vez, deságua na margem esquerda do rio Doce.

As margens do rio Turvo, que também deságua na margem esquerda do rio Doce, são mais íngremes e as amostras foram coletadas na margem direita deste curso d'água. Em função da dificuldade de acesso, as duas áreas de estudo demarcadas nas margens do Turvo localizaram-se mais próximas uma da outra do que as áreas dos demais cursos d'água.

Para a coleta de amostras de solo, em cada um dos seis plotes, foram demarcados dois transectos de 250 metros de extensão. O primeiro ficou a margem de cada rio, sendo chamado de “ecotone” e indicado pela letra E a partir daqui. O segundo transecto, demarcado paralelamente ao primeiro, cerca de 50 metros no interior da mata, será chamado de “mata” a partir daqui e indicado pela letra M. Em cada um deles, foram demarcados cinco pontos distantes 50 metros entre si, onde foram extraídas amostras superficiais de solo com o auxílio de um trado manual, com a profundidade de 25 centímetros. O solo foi retirado do trado com o auxílio de uma espátula e colocado em sacola plástica e assim vedada e identificada.

As amostras foram secas ao ar e encaminhadas para as análises químicas, nos laboratórios da Univale, para detecção de macronutrientes.

3.2 ANÁLISES LABORATORIAIS

3.2.1 Análise de características químicas do solo – macronutrientes

As análises foram realizadas no laboratórios de Solos da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Vale do Rio Doce — Univale, seguindo os procedimentos recomendados pela EMBRAPA (1997), conforme listado abaixo²:

² Para detalhes, favor observar a descrição dos procedimentos no ANEXO A.

pH: medidor de pH provido de um eletrodo de vidro e um de referência ou um eletrodo combinado e um agitador mecânico (CAMARGO et al., 1986) Os reagentes e soluções utilizados a) Soluções-tampão para pH; b) Água destilada; c) Solução de cloreto de potássio (CAMARGO et al., 1986).

Fósforo e potássio no solo: Método Mehlich-1 (ALVAREZ,1999).

Cálcio, magnésio e alumínio no solo: Método KCl 1 mol/l (ALVAREZ,1999).

Para calcular a soma das bases, utiliza-se a fórmula, na qual todos os elementos já foram encontrados. (ALVAREZ,1999).

$$SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+}$$

Acidez potencial: Método $Ca(OAc)_2$ 0,5 mol/L (ALVAREZ,1999).

A capacidade de troca de cátions a pH7 é calculada através do somatório da soma das bases e acidez potencial, já encontrados anteriormente: (ALVAREZ,1999).

$$CTC \text{ pH } 7 = T = SB + (H + Al)$$

A saturação das bases foi calculada através da divisão da soma das bases pela capacidade de troca de cátions a pH7, já encontrados anteriormente: (ALVAREZ,1999).

$$V = 100 SB/T, \text{ em } \%$$

A capacidade efetiva de troca de cátions é calculada através do somatório das somas das bases e alumínio, esses já calculados anteriormente: (ALVAREZ,1999).

$$CTC \text{ ef} = t = SB + Al^3$$

A saturação do alumínio foi calculada através da divisão do alumínio Al^{3+} pela capacidade efetiva de troca de cátions, já encontrados anteriormente: (ALVAREZ,1999).

$$m = 100 \text{ Al}^{3+}/t, \text{ em } \%$$

Materia orgânica no solo: Método Walkley & Black — utilizando solução de dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) em meio ácido como oxidante.

3.2.2 Análises estatísticas dos dados

Os resultados das análises para as características químicas (proporção e valores dos diferentes parâmetros analisados em laboratório) do solo foram considerados como variáveis respostas em análises de covariância. Para essas análises, as seis áreas amostradas foram agrupadas em duas categorias (afetada e não afetada) e a identidade da área, assim como sua categoria, foram consideradas como variáveis explicativas. O transecto (ecotone³ ou mata) foi considerado como co-variável. A análise estatística foi realizada com o programa ESTATJAB, da UNESP Jaboticabal de São Paulo (SP) (BRUNA, 2017).

³ Ecotones ou ecótonos são áreas de transição ambiental onde entram em contato diferentes comunidades ecológicas (<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28830-o-que-sao-ecotonos/>, consultado em 31 de maio de 2018). Dessa forma, no presente trabalho, considerou-se a borda de contato entre a mata ciliar e o ambiente aquático como ecotone.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores médios de cada componente químico analisado (pH, fósforo, potássio, cálcio magnésio, alumínio, acidez potencial, matéria orgânica, soma das bases, CTC efetiva e a pH7, saturação das bases e de alumínio) nas seis áreas estudadas aparecem na Tabela 2. Já as análises estatísticas foram apresentadas na Figura 3 logo abaixo.

As análises evidenciam que todas as áreas estudadas apresentam valores médios de pH inferiores a sete e que, nas margens, a área onde encontram-se os maiores bancos de acúmulo de rejeito (DoceM, pH médio = 6,44) apresentou um valor de pH maior do que as demais ($F_{(5,1)}=5,97$; $p<0,01$). Esse resultado pode ser justificado pelo fato de que o rejeito apresenta valor de pH abaixo de sete (ácido), apresentado na Tabela 3 (SILVA, 2006), o que pode ser explicado pela utilização de soda cáustica no processamento da separação do minério (SAMITRI, 1989). Note-se que esta diferença independe das amostras consideradas, ou seja, não houve diferença nos valores médios das amostras coletadas no ecótono e no interior da mata ($F_{(5,1)}=3,03$; $p>0,05$).

Como o pH influencia o desenvolvimento da vegetação, por interferir na disponibilidade de nutrientes no solo (RENDING & TAYLOR, 1989), a acidez do solo pode agravar os problemas de deficiência de fósforo (NAIDU et al., 1990a; MCLAUGHLIN e JAMES, 1991), e baixos teores de magnésio levam à menor produção de matéria seca (TAN et al., 1992; TAN e KELTJENS, 1995). A deficiência de cálcio limita o crescimento do sistema radicular (SMYTH e CRAVO, 1992; VALE et al., 1996), podendo ser mais restritiva que a toxidez de alumínio (RITCHEY, SILVA e COSTA, 1982).

As amostras do rio Doce montante (DM) apresentaram um valor maior de pH, ou seja, baixa acidez, maior quantidade de fósforo. Por outro lado, as amostras do rio Doce jusante e Mombaça jusante, que também tiveram contato com o rejeito, apresentaram quantidade baixa de fósforo, o que, segundo Marengo et al. (2009), pode ocasionar baixo crescimento da vegetação das matas ciliares. Estas diferenças podem ser explicadas pela natureza dinâmica das áreas ciliares, uma vez que diferentes pontos são sujeitos à deposição e remoção de sedimentos (RODRIGUES, 2000).

Tabela 2: Resultados da análise química do solo.

	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	M. O.	S	T	t	V	M
		mg/	dm ³	cmolc/		dm ³		%C	cmolc/dm ³	%			
TurvoMe	5,10	8,66	109,60	3,00	0,33	1,41	7,04	1,57	3,62	10,66	5,03	32,61	34,96
TurvoMm	5,70	11,82	132,48	3,10	2,49	1,23	4,62	1,93	5,93	10,55	7,16	55,28	17,58
TurvoJe	5,30	9,88	130,16	3,02	0,47	1,66	5,70	2,00	3,82	9,52	5,48	36,76	37,86
TurvoJm	5,12	12,44	136,72	2,49	0,45	1,30	5,44	1,82	3,30	8,74	4,60	37,68	28,13
MombaçaMe	5,80	6,30	99,21	2,14	0,64	0,48	4,50	1,49	3,04	6,65	10,52	39,43	15,13
MombaçaMm	5,22	6,40	110,12	2,27	2,19	1,81	8,06	3,05	4,75	12,81	6,56	34,95	32,30
MombaçaJe	5,50	5,54	100,30	2,18	2,26	0,28	4,78	1,49	4,69	9,47	4,97	49,56	5,78
MombaçaJm	4,84	4,42	106,13	1,49	0,55	1,62	6,12	1,24	2,31	8,43	3,94	27,25	40,94
DoceMe	6,88	13,04	132,20	2,83	0,35	0,14	2,34	0,74	3,51	5,85	3,66	60,43	3,87
DoceMm	6,00	7,62	103,22	6,57	1,06	0,44	4,14	3,62	7,89	12,03	8,34	66,80	6,31
DoceJe	5,48	10,26	117,31	1,98	1,23	1,51	3,26	1,39	3,51	6,77	5,03	51,29	29,64
DoceJm	5,56	8,02	107,21	3,17	0,61	1,71	2,96	1,54	3,37	6,33	5,08	47,45	39,95

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

*Valores médios das propriedades química do solo: (pH, fósforo(P), potássio(k), cálcio(Ca²⁺), magnésio(Mg²⁺), alumínio(Al³⁺), acidez potencial(H+Al), matéria orgânica (M. O.), soma das bases (S), ctc efetivo(t) e pH7(T), saturação das bases (V) e de alumínio(M) de cada área do Parque Estadual do Rio Doce. Cada linha corresponde a uma das áreas (coloridas de azul: áreas não afetadas diretamente pela lama de rejeito, e, em preto, as áreas diretamente afetadas pela lama de rejeito). Cada área foi nomeada com uma sigla composta pelo nome do rio, uma letra que indica a posição relativa de cada par de áreas em um mesmo rio (M: montante; J: jusante) e uma letra para a posição relativa da amostra em relação ao leito do rio (e: ecótono ou margem; m: mata ou interior).

Os resultados da análise de fósforo evidenciam variações significativas entre as áreas estudadas ($F_{(5,1)}=7,65$; $p<0,01$). Nota-se que as áreas que tiveram contato com o rejeito apresentaram uma maior quantidade de fósforo nas amostras coletadas no ecótono, ou seja, mais próximo das margens, enquanto as áreas que não tiveram contato direto com o rejeito apresentaram uma maior quantidade de fósforo nas amostras coletadas no interior da mata. O fósforo é elemento constituinte das proteínas e dos ácidos nucleicos, e estes atuam diretamente no funcionamento da planta, ou seja, na divisão celular, na fotossíntese e na respiração da mesma (MARENCO et al., 2009). Conforme este autor, o fósforo é o elemento que mais limita o crescimento das plantas na maioria dos solos, logo, a ausência desse elemento na planta pode reduzir seu crescimento.

Os resultados da análise de cálcio e magnésio não evidenciam variações significativas entre as áreas estudadas. Entretanto, não apresenta um padrão consistente que se relacione com a presença da lama de rejeito.

Os resultados da análise de potássio evidenciam variações significativas entre as áreas estudadas, pela qual pode-se apontar um padrão consistente que se relaciona com a presença da lama de rejeito ($F_{(5,1)}=6,3819$; $p<0,01$). Percebe-se que as áreas que tiveram contato com o rejeito apresentaram uma maior quantidade de potássio nas amostras coletadas nas margens, enquanto as áreas que não tiveram contato direto com o rejeito apresentaram uma maior quantidade de potássio nas amostras coletadas no interior da mata. Neste sentido, as margens na área onde encontram-se os maiores bancos de acúmulo de rejeito (DoceMontante, $k= 132,2$) apresentaram valores de potássio maiores do que todas as demais, enquanto as matas desta mesma área (DoceMontante, $k= 103,22$) apresentaram valores de potássio menores do que todas as demais. Considerando os dados apresentados na Tabela três, podemos inferir que este resultado indica a grande influência do rejeito sobre esta variável, dado que nas áreas que não tiveram contato com o rejeito, a mata teve um valor de potássio maior do que nas margens.

As análises de alumínio (Al^{3+}) evidenciam que as áreas estudadas diferem entre si nas concentrações deste metal ($F_{(5,1)}=2,74$; $p<0,05$), sendo que, na margem da área do rio Doce Montante (DME), onde se formaram extensos bancos de rejeito, apresentou valores muito menores do que todas as demais áreas. Este resultado destoa na outra área localizada nas margens do rio Doce Jusante (DJE), o que pode ser explicado pelo desnível existente entre a margem e o rio, sendo que o barranco

chega a mais de treze metros em parte dos pontos, tal qual acontece na margem de uma das áreas próximas ao rio Turvo jusante (TJ). Do mesmo modo, a área do ribeirão Mombaça, que teve contato com o rejeito, apresentou médias menores de alumínio, especialmente no ecotone.

Tabela 3: Análise das propriedades do rejeito da barragem de Fundão.

Análises Média	Tecnossolo (lama)		
		Média	Desvio Pad.
pH	H ₂ O	5,69	0,19
	KCl	6,25	1,25
P		9,34	3,48
K	mg/dm ³	18,43	22
Na		11,61	11,98
Ca ²⁺	cmol _c /dm ³	1,45	0,69
Mg ²⁺		0,34	0,48
Al ³⁺		0,016	0,07
H+Al		1,06	1,33
CTC (T)		2,96	2,09
MO	dag/kg	0,91	1,54
P-rem	mg/L	28,68	11,07
Fe	mg/dm ³	499,2	476,01
Pb		0,41	0,44
Areia Grossa	kg/kg	0,16	0,18
Areia Fina		0,33	0,19
Silte		0,32	0,18
Argila		0,18	0,17

Fonte: SBCS (2016).

Os resultados da análise de acidez potencial (H + Al) evidenciam que as áreas estudadas diferem entre si ($F_{(5,1)}=2,15$; $p<0,05$), sendo que na mata da área que teve contato com o rejeito apresentou valor menor do que a mata da área que não teve contato com o rejeito. Já que na margem da área que teve contato com o rejeito apresentou valor maior do que a margem da área que não teve contato com o rejeito.

A capacidade de troca de cátions a pH 7 é calculada através do somatório das somas das bases e acidez potencial. Assim, os resultados da análise de CTC pH7 evidenciam variações significativas entre as áreas estudadas, tanto para margem quanto para mata ($F_{(5,1)} = 4.30$; $p<0,01$) e entre os transectos ($F_{(5,1)} = 9.77$; $p<0,01$).

Nesse sentido, destacam-se as amostras da margem do Doce jusante (DJ), que apresenta o menor valor em relação às outras amostras, este igual a 6,55.

Também percebe-se uma diferença entre margem e mata ($F_{(5,1)}=7,65$; $p<0,01$). Destaca-se a amostra do rio Doce montante (DM), na qual o valor foi menor nas margens, ao passo que nas outras amostras o valor foi menor para as matas. Os resultados da análise de CTC pH7 evidenciam que, no ribeirão Mombaça montante (MM), onde a área não teve contato com o rejeito, apresenta um valor maior na mata e um valor bem menor na margem; já no ribeirão Mombaça jusante (MJ), onde teve contato diretamente com o rejeito, apresentou um valor maior na margem. Portanto, na área afetada pelo rejeito, a margem apresentou um valor maior do que na mata, já na área não afetada, a mata apresentou um valor maior do que na margem.

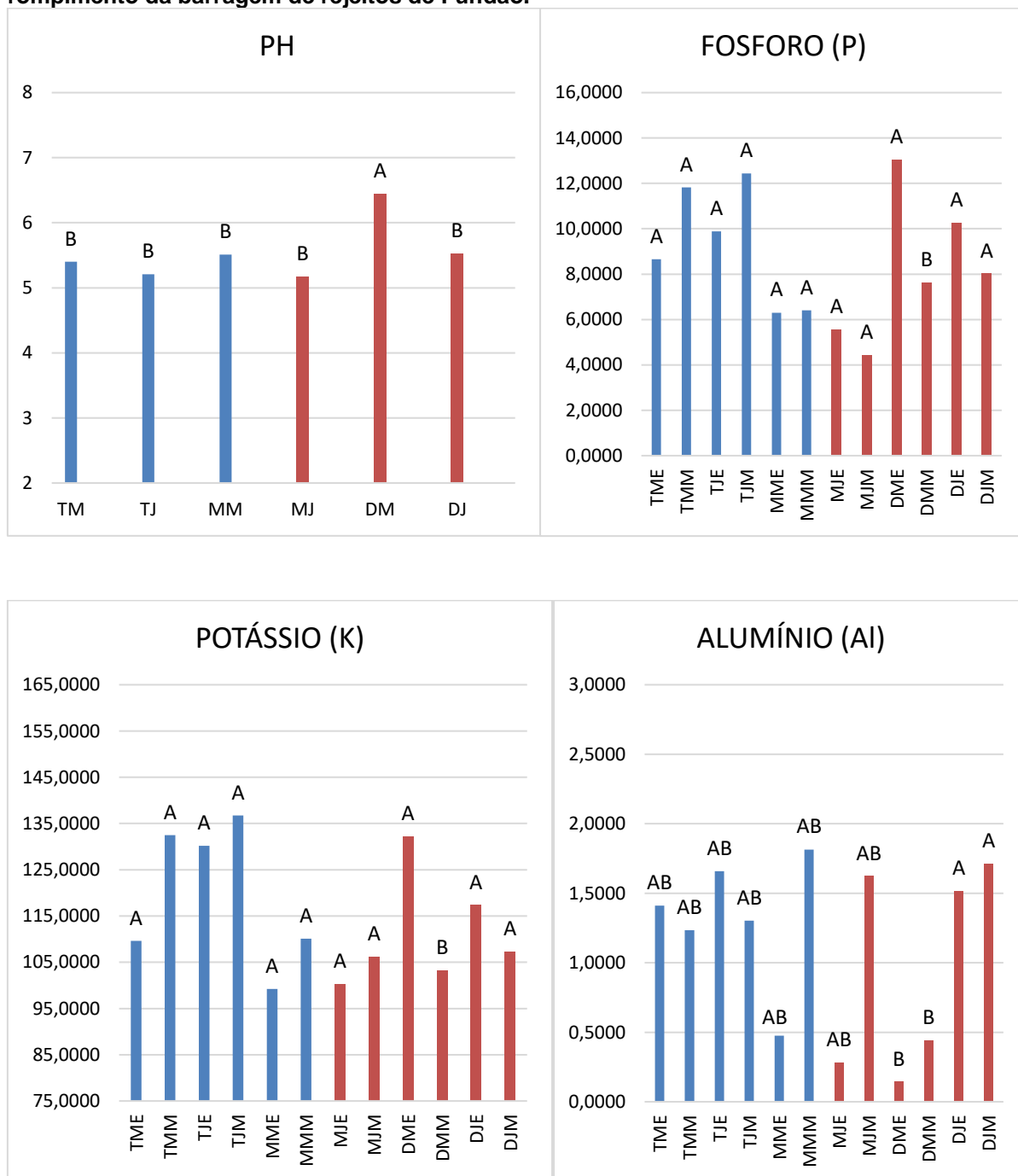
A saturação das bases é calculada através da divisão das somas das bases pela capacidade de troca de cátions a pH7. Assim, os resultados da análise da saturação das bases evidenciam variações significativas entre as áreas estudadas, onde aparece um padrão consistente, que se relaciona com a presença da lama de rejeito ($F_{(5,1)}=3,71$; $p<0,01$). Na área onde encontram-se os maiores bancos de acúmulo de rejeito (DoceM, $v=63,61$), apresentou um valor maior do que todas as demais. Sendo que na mata da área que não teve contato com o rejeito apresentou valor maior do que a mata da área que teve contato com o rejeito. Já que na margem da área que não teve contato com o rejeito apresentou valor menor do que a margem da área que teve contato com o rejeito.

A saturação do alumínio é calculada através da divisão do alumínio Al^{3+} pela capacidade efetiva de troca de cátions; por isso é necessário fazer a análise de CTC efetivo. Os resultados da análise de saturação de alumínio evidenciam variações significativas entre as áreas estudadas, nas quais aparece um padrão consistente que se relaciona com a presença da lama de rejeito ($F_{(5,1)}=3,21$; $p<0,01$). Na área onde o rejeito teve contato com o solo rio Doce Jusante apresentou um valor maior do que todas as demais. Na área onde encontram-se os maiores bancos de acúmulo de rejeito, ou seja, no rio Doce Montante (DME, $M=5,0930$), apresentou um valor menor do que todas as demais. Sendo que na mata da área que não teve contato com o rejeito apresentou valor menor do que a mata da área que teve contato com o rejeito. Já que na margem da área que não teve contato com o rejeito apresentou valor maior do que a margem da área que teve contato com o rejeito.

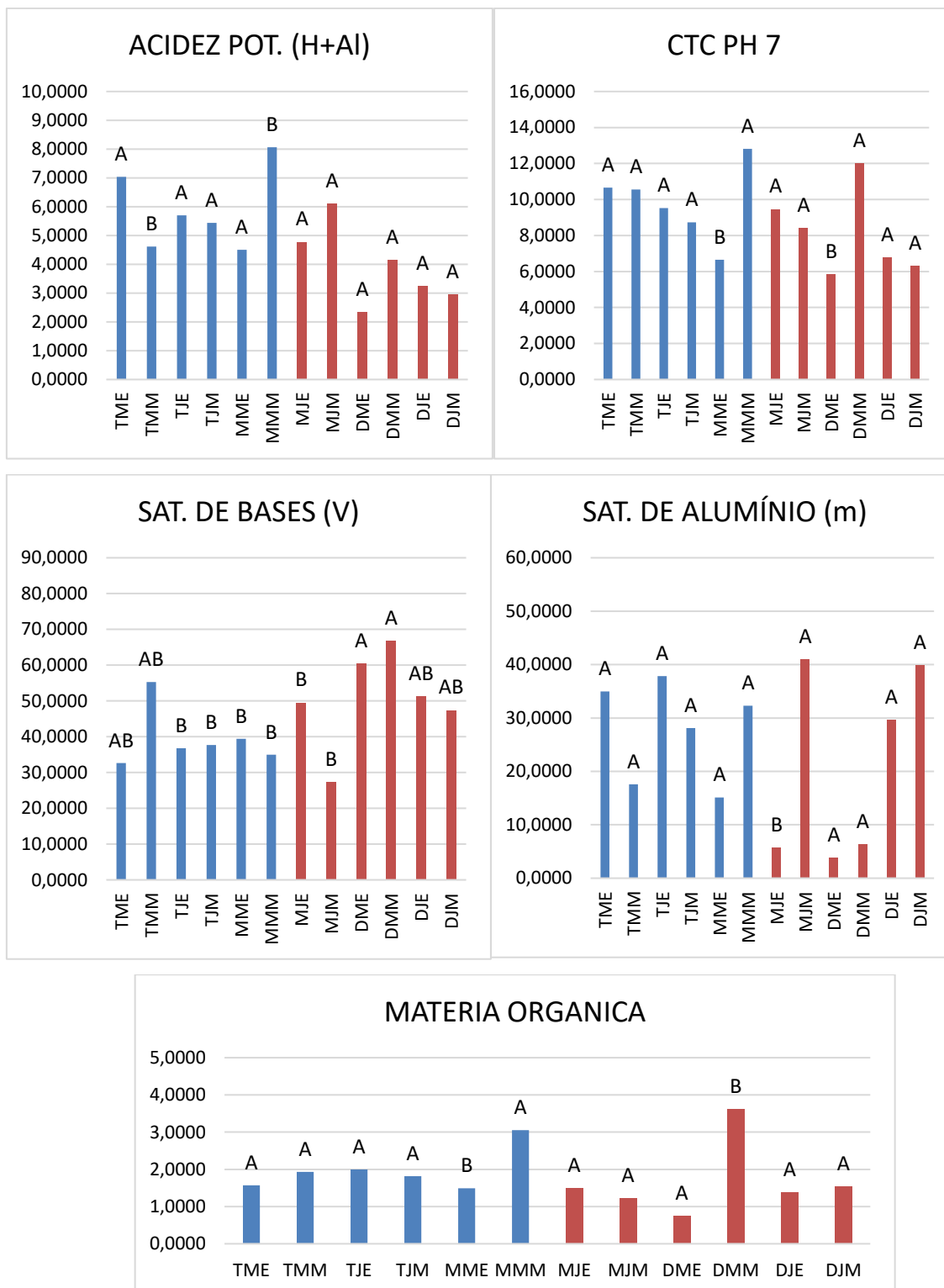
Os resultados da análise de matéria orgânica evidenciam variações significativas entre as áreas estudadas, tanto para margem quanto para mata ($F_{(5,1)} = 4.21$; $p < 0,01$) e entre os transectos ($F_{(5,1)} = 26,45$; $p < 0,01$). Nesse sentido, destacam-se as amostras do Mombaça montante (DM), que apresentam o maior valor em relação às outras amostras, com a média igual a 2,27, sendo essa uma área que não teve contato com o rejeito. Já a outra área do ribeirão Mombaça, jusante, que teve contato direto com o rejeito, apresenta o menor valor de matéria orgânica.

Também percebe-se uma diferença entre margem e mata ($F_{(5,1)} = 1,06$; $p < 0,01$), na qual se destaca a amostra do rio Doce montante (DM), que apresentou o menor valor em comparação às margens — essas que tiveram contato com o rejeito —, ao passo que nas matas que não tiveram contato diretamente com o rejeito, a amostra do rio Doce montante teve o maior valor.

Figura 3: Valores médios das variáveis analisadas (pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, acidez potencial, CTC pH7, saturação as bases e de alumínio e matéria orgânica) em amostras de solo coletadas em cursos d'água do Parque Estadual do Rio Doce após o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão.



* As barras coloridas em azul indicam áreas que não tiveram contato direto com o rejeito enquanto as barras coloridas de vermelho indicam as áreas que tiveram contato direto com o rejeito de mineração. TMM e TME - Rio Turvo montante mata e ecotone; TJM, TJE — Turvo jusante na mata e ecotone do rio; MMM e MME - Ribeirão Mombaça montante na mata e no ecotone; DMM, DME, DJE, DJM — Rio Doce Montante e jusante na mata e no ecotone; MJM, MJE — Ribeirão Mombaça Jusante na mata e no ecotone. As letras A e B em cima de cada barra indicam semelhança ou diferença estatística: barras com mesma letra indicam que os valores das amostras não diferem entre si.



Fonte: Elaboração do próprio autor (2018).

* As barras coloridas em azul indicam áreas que não tiveram contato direto com o rejeito, enquanto as barras coloridas de vermelho indicam as áreas que tiveram contato direto com o rejeito de mineração. TMM e TME - Rio Turvo montante mata e ecotone; TJM, TJE - Turvo jusante na mata e ecotone do rio; MMM e MME - Ribeirão Mombaça montante na mata e no ecotone; DMM, DME, DJE, DJM - Rio Doce Montante e jusante na mata e no ecotone; MJM, MJE - Ribeirão Mombaça Jusante na mata e no ecotone. As letras A e B em cima de cada barra representa se estatisticamente tem relevância ou não comparando as áreas.

O resultado da presente pesquisa indica que o solo das áreas que tiveram contato com o rejeito e as áreas que não tiveram contato com o rejeito apresentam diferentes características em relação às propriedades químicas do solo.

As áreas que tiveram contato com a pluma do rejeito de minério, ou seja, nas margens das duas áreas do rio Doce e de uma área do ribeirão Mombaça, apresentaram maior quantidade de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, soma das bases, saturação das bases e CTC pH7 do que nas matas das mesmas áreas, isto é, onde o rejeito se depositou há maior quantidade desses macronutrientes. Nas áreas que não tiveram contato direto com o rejeito, as matas apresentaram maior quantidade desses macronutrientes, evidenciando que a fertilidade dessas áreas foi alterada pelo depósito de rejeito.

A maior quantidade de macronutrientes nas margens das áreas atingidas do que nas matas pode ser explicada pelo fato de que o rejeito de minério trazido pelo rio Doce contém todos esses nutrientes que foram então depositados ao longo do curso d'água, incluindo as áreas estudadas. As espécies vegetais encontradas variam conforme as características locais, sendo fortemente influenciadas pelas diferentes condições de inundação e afloramento verificadas no lençol freático (ARAÚJO et al., 2004).

Em relação à matéria orgânica, nota-se que nas áreas onde o solo foi encoberto pela pluma, as margens apresentaram uma menor quantidade de matéria orgânica do que nas matas, e nas áreas que não tiveram contato com o rejeito, as matas tiveram maior quantidade de matéria orgânica.

5 CONCLUSÃO

Os resultados desta pesquisa indicam que a mata ciliar do PERD teve suas propriedades químicas alteradas, podendo assim, alterar as suas principais funções ecológicas, ou seja, interferir diretamente no recurso natural — solo.

Como os nutrientes presentes nas Mata Ciliares são determinantes para a formação vegetal que ali se desenvolve. Ao se analisar todas as características aqui elencadas, conclui-se que os solos da Mata Ciliar que tiveram contato com o rejeito apresentam uma maior quantidade em relação a alguns nutrientes, porém apresenta uma menor quantidade de matéria orgânica, afirmativa comprovada através do comportamento das análises apresentadas das áreas.

Assim, aquela mata ciliar que tinha uma característica devido a sua propriedade química, já não pode ter mais, em virtude dessas propriedades alteradas, comprometendo todo o ecossistema pertencente àquele território. Por exemplo, vegetações que não tinham naquele território podem ter começado a se desenvolver, e outras, não; animais, bactérias, microrganismos que ali andavam e utilizavam como habitat podem não estar utilizando mais, ou seja, interferindo diretamente em todo o ecossistema a que pertenciam naquele território.

Aquela mata ciliar, que desempenha a função, seja ela de proteger os rios, manter a qualidade da água, conservar o ciclo hidrológico nas bacias hidrográficas, evitar o processo de erosão das margens e o assoreamento do leito dos rios (CRESTANA, et al. 2006), talvez não consiga mais exercer essa função devido à mudança nas propriedades químicas.

Embora sejam áreas de preservação permanente, protegidas por legislação federal (BARBOSA et al., 1992), as matas ciliares, vêm sofrendo alterações significativas desde 1850 (BAITELLO et al., 1983/85), encontrando-se, em geral, extremamente degradadas (MARTINS, 1989). De acordo com Kageyama e Dias (1982), as intensas e desordenadas devastações podem levar ao desaparecimento de diversas espécies florestais de importância ecológica, com sério comprometimento de seu potencial genético.

Como já dito, o solo é um recurso renovável em quantidade limitada e, por isso, requer um controle especial, na quantidade e na qualidade, na utilização e no consumo, no tempo e no espaço. Portanto, a mobilização dos recursos demanda

estratégia complexa, com um conjunto de atores sintagmáticos que fornecem fatores necessários à realização do projeto.

Sendo o solo de mata ciliar, o objeto, e o Código Florestal, a norma, cuja finalidade é conservar e preservar esse objeto. Após o rompimento da barragem de Fundão, o solo de mata ciliar, sendo este um território normado protegido por lei, pelo Código Florestal, foi comprometido, pelo motivo de todo o ecossistema do local ter ficado alterado ou ter sofrido perturbações pelas alterações nas propriedades químicas. Sendo assim, o Código Florestal, como norma, não teve êxito ao ser colocado em prática diante do rompimento da barragem de Fundão.

Concluo apontando que as áreas ambientais não são uma questão nova, e sim que vêm sendo utilizada de forma degradante há décadas; por exemplo, com o início da mineração, dentre outras formas. Por isso é que existem normas e leis, que servem para controlar e até mesmo fiscalizar esses processos que podem degradar o meio ambiente como um todo, de modo que o meio ambiente não seja prejudicado.

Ressalto que o rompimento da barragem de Fundão é um grande exemplo de tragédia ambiental que causou um impacto ao meio ambiente, como é o caso das matas ciliares do PERD. Apesar de ser uma área protegida por lei, teve o seu território comprometido e perturbado.

Finalizo alertando que, se temos uma norma para ser seguida e cumprida, essa que tem a finalidade de preservar e conservar um território, que é um recurso natural, ou seja, um território normado, e esta norma não foi cumprida, fazendo com que esse território não exercesse suas funções normalmente devido ao rompimento da barragem, concluo sugerindo que os atores responsáveis pelo rompimento são diretamente responsáveis pela mudança do território mata ciliar.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. V. (2010). **Propriedades físicas do solo e Oligochaetas em diferentes sistemas de uso da terra no Alto Solimões – AM**. 2010. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

AMATO, F., SUGAMOSTO, M. L. Sistemas de Informações Geográficas no controle de desmatamento irregular na Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba e de ocupação antrópica no entorno do Parque Nacional de Superagüi. In: GISBRASIL, 2000, Salvador. **Anais...** Salvador: Fatorgis – Informação e Eventos Tecnológicos, 2000.

AMUNDSON, R.; JENNY, H. On a state factor model of ecosystems. **BioScience**, v. 47, n. 8, p.536–543, 1997.

ANDRADE, D. C; ROMEIRO, A. Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano. **Texto para discussão**. IE/UNICAMP, n. 155, fev. 2009.

ANTAS JR., R. M. **Território e regulação**: espaço geográfico, fonte material e não formal do direito. São Paulo: Humanitas/Fapesp, 2005.

ALVAREZ, V. V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

ARAUJO, M. M.; LONGHI, S. J.; BARROS, P. L. C.; BRNA, D. A. Caracterização da chuva de sementes, banco de sementes do solo e banco de plântulas em Floresta Estacional Decidual Ripária Cachoeira do Sul, RS, Brasil. **Scientia Florestalis**, n. 66, p.128-141, dez. 2004.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. **Scientia Florestalis**, n. 56, p. 125-134, dez. 1999.

AZEVEDO J. C. Florestas, Ambiente e Sustentabilidade: uma abordagem centrada nos serviços de ecossistemas das florestas do Distrito de Bragança. **Academia das Ciências de Lisboa**, Lisboa, p. 1-18, 2012.

BAITELLO, J. B.; AGUIAR, O. T.; PASTORE, J. A. Essências florestais da Reserva Estadual da Cantareira - São Paulo - Brasil. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 17/19, p. 61-84, 1983/85.

BARBOSA, L. M.; ASPERTI, L. M.; BEDINELLI, C.; BARBOSA, J. M.; BELASQUE, E. F.; PIRRÉ, E. Informações básicas para modelos de recuperação de áreas degradadas de matas ciliares. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 4, 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Revista do Instituto Florestal, 1992. p. 640-644.

BATTILANI, J. L.; SCREMIN-DIAS, E.; SOUZA, A. DE. Fitossociologia de um trecho da mata ciliar do rio da Prata, Jardim, MS, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 3, p. 597–608, 2005.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2014.

BORGES, Luís Antônio Coimbra et al. Áreas de preservação permanente na legislação ambiental brasileira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 7, 2011.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades do solo**. 7. ed. São Paulo: FREITAS BASTOS, 1989.

BRASIL. Presidência da República. **Comissão Interministerial para a Preparação da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – CIMA**. O Desafio do Desenvolvimento Sustentável. Relatório do Brasil para a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Brasília, 1991.

BRASIL. **Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis no 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis no 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20112014/2012/lei/L12651compilado.htm>.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias_ambientais/laudo_tecnico_preliminar.pdf>. Acesso em: 10 de dez. 2017.

CAMARGO, O.A.; MONIZ A.C.; JORGE, J.A. e VALADARES, J. M. A. S. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física do Instituto Agrônomo de Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas. **Boletim técnico**, Campinas, n. 106, 2009.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p.121-126, 1995.

CATANI, R. A.; GALLO, J. R. Avaliação da Exigência em Calcário dos Solos do Estado de São Paulo, Mediante Correlação entre o pH e a Porcentagem da Saturação de Bases. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 30, p.49-60, 1955.

CHAO, T. T.; HARWARD, M. E. Nature of Acid Clays and Relationships to Ion Activities and Ion Ratios in Equilibrium Solutions. **Soil Science**, Wisconsin, v. 93, n. 4, p. 246-253, 1962.

COSTANZA, R. et al. **The value of the world's ecosystem services and natural capital.** *Nature*, v. 387, p. 253-260, mai. 1997.

CRESTANA, Marcelo de Souza Machado (Org.). **Florestas-Sistemas de Recuperação com Essências Nativas, Produção de Mudanças e Legislações.** 2 ed. Campinas, SP: CATI, 2006.

CRONAN, C. S.; GRIGAL, D. F. Use of calcium/aluminium ratios as indicators of stress in forest ecosystems. **Journal of Environmental Quality**, v. 24, p. 209-226, 1995.

DELITTI, W. B. C. Ciclagem de nutrientes minerais em matas ciliares. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, 1., 1989, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 88-98.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de Solo.** 2 ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. (Documentos, 1).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa solos, 1999.

ESPINDOLA, Haruf S. Por uma abordagem territorial da história ambiental: uma leitura de Claude Raffestin.. In: XXVIII Simpósio Nacional de História, 2015, Florianópolis. **Anais eletrônicos do XXVIII Simpósio Nacional de História.** Lugares dos historiadores: velhos e novos desafios. São Paulo: ANPUH, 2015. v. 1. p. 1-16.

ESPINDOLA, Haruf S. A problemática espacial e a história ambiental. **Revista de História Regional**, v. 20, p. 343-374, 2015.

FAVARETTO, N.; DIECKOW, J. Conservação dos recursos naturais solo e água. In: LIMA, V. C. et al. (Eds.). **O solo no meio ambiente:** abordagem para professores do Ensino Fundamental e Médio e alunos do Ensino Médio. Curitiba: UFPR/Setor de Ciência Agrárias, 2007.

FERNANDES, G. W.; GOULART, F. F.; Ranieri, B. D. et al. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breaching Mariana, Brazil. **Natureza e Conservação**, v. 14, p. 35-45, 2016.

FISHER, L.R.C.; SÁ, J. D. M. Estatuto da cidade e a resolução CONAMA n. 369/2006. In: SEMINÁRIO SOBRE O TRATAMENTO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM MEIO URBANO E RESTRIÇÕES AMBIENTAIS O PARCELAMENTO DO SOLO, 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FAU-USP, 2007.

GLÓRIA, N. A. Resíduos industriais como fonte de matéria orgânica. In: ENCONTRO SOBRE MATERIA ORGANICA DO SOLO: PROBLEMAS E SOLUÇÕES, 1992, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1992. p.129-148.

GÓMEZ-BAGGETHUN E., DE GROOT R., LOMAS P.L. & MONTES C. The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. **Ecological Economics**, v. 69, n. 6, p. 1209–1218, 2010.

GONÇALVES, J. L. M.; BARROS, N. F.; NAMBIAR, E. K. S.; NOVAIS, R. F. Soil and stand management for short-rotation plantations. In: NAMBIAR, S.; BROWN, A. (Eds). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Camberra: ACIAR, CSIRO, CIFOR, 1997. p.379-418.

GOODLAND, R. FERRI, M.G. **Ecologia do Cerrado**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1979.

HENKLAIN, J. C.; MEDEIROS, G. B. de. Evolução e estado da arte do plantio direto na agricultura. In: SEMINÁRIO DE CULTIVO MÍNIMO, 1, 1995, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Seminário de Cultivo Mínimo, 1995. p. 8-15.

HUE, N. V; GRADDOCK, G. R.; ADAMS, F. Effect of Organic Acids on Aluminum Toxicity in Subsoils. **Soil Science Society of America Journal**, Wisconsin, v. 50, p.28-34, 1986.

HUETING, R., REIJNDERS, L., de BOER, B., LAMBOOY, J., JANSEN, H. The concept of environmental function and its valuation. **Ecological Economics**, v. 25, p. 31- 35, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Lauda Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. Seminário Nacional Sobre Incêndios Florestais e Queimadas, I, 1992, Brasília. **Conclusões**. Brasília, 1995.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – IEF. Belo Horizonte: 2018. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/component/content/195?task=view>. Acesso em: 19 mar. 2018.

KAGEYAMA, P. Y. Estudo para implantação de matas de galeria na bacia hidrográfica do Passa Cinco visando a utilização para abastecimento público. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 1986. 236p. **Relatório de Pesquisa**.

KAGEYAMA, P. Y.; DIAS, I. S. Aplicação da genética em espécies florestais nativas. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v.16, n. 2, p. 728-791, 1982.

LIMA, N. P. Função hidrológica da mata ciliar. In: BARBOSA, L. M. (Coord.). **Anais do Simpósio sobre mata ciliar**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.11-19.

LIMA, Paulo Henrique Silveira. Conceitos e categorias geográficos e as estratégias do poder. **Okara: Geografia em Debate**, v. 5, p. 5-31, 2011.

LIMBURG, K.E., FOLKE, C.. The ecology of ecosystem services: introduction to the special issue. **Ecological Economics**, v. 29, p. 179-182, 1999.

LUCENA, S. X. B. de. Código Florestal: anotado: Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012, Decreto no 7.830, de 17 de outubro de 2012, Lei no 12.727, de 17 de outubro de 2012, Lei no 6.938, de 31 de agosto do 1981, **Convenção de RAMSAR** [s.l: s.n.].

MACEDO, A. C. **Revegetação**: de matas ciliares e de proteção ambiental. São Paulo: Fundação Florestal, 1993.

MAGALHÃES, C. S.; FERREIRA, R. M. Áreas de preservação permanente em uma microbacia. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte. v.21, n.207, p. 33-39, 2000.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal**: Fotossíntese, Respiração, Relações hídricas e nutrição mineral. 3 ed. Viçosa-MG: UFV, 2009.

MARIN, A. M. P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 2002. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MARTINS, F. R. Fitossociologia de florestas do Brasil: um histórico bibliográfico. **Pesquisa Série Botânica**, São Leopoldo, v. 40, p. 104 - 164, 1989.

MARTINS, S. V. **Recuperação de Matas Ciliares**. 2 ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2007.

McLAUGHLIN, M. J.; JAMES, T.R. Effect of phosphorus supply to the surface roots of wheat on root extension and rizosphere chemistry in an acidic subsoil. **Plant and Soil**, The Hague, v.134, n.1, p.73-82, jul. 1991.

MELLO, A. Y. I.; ROMEIRO A. R. Importância da Escala para a Valoração dos Serviços Ecosistêmicos. In: V ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 2010, 5, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2010.

MELLO, F. A .F. et al. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983.

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G. de; EVANGELISTA, A. R. Influência da relação cálcio:magnésio do corretivo na nodulação, produção e composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 249-255, 1999.

MOTA, SUETÔNIO. **Gestão Ambiental de recursos hídricos/Suetônio Mota**. 3. ed. atual. e rev. Rio de Janeiro: ABES, 2008.

NAIDU, R.; TILLMAN, R.W.; SYERS, J.K.; KIRKMAN, J.H. Lime-aluminium-phosphorus interactions and the growth of *Leucaena leucocephala* I. **Plant growth studies. Plant and Soil**, The Hague, v.126, n.1, p.1-8, ago. 1990.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. Estudos ecológicos da vegetação como subsídios para programas de revegetação com espécies nativas: uma proposta metodológica. **Cerne**, v. 1, n. 1, p. 64-72, 1994.

OLIVEIRA-FILHO A. T. et al. **Estudos florísticos e fitossociológicos em Remanescentes de Matas Ciliares do Alto e Médio Rio Grande**. Belo Horizonte: CEMIG, 1995.

PEECH, M. Exchange acidity. In: BLACK, C. A. (Ed). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965.

PEREIRA, H. M. et al. (Eds.). **Ecosistemas e bem-estar humano: avaliação para Portugal do Millennium Ecosystem Assessment**. Lisboa: Escolar Editora, 2009.

PINTO-COELHO, R. M. Existe governança das águas no Brasil? Estudo de caso: O rompimento da Barragem de Fundão, Mariana (MG). In: **Revista do Arquivo do Museu de História Natural**, Belo Horizonte, UFMG, 2015. v. 24, n.1.

PORTUGAL, Gil (1992). **Recursos naturais. Gpca Meio Ambiente**. Volta Redonda, RJ, 1992. Disponível em: <<http://www.gpca.com.br/gil/art80.htm>> Acesso em: 06 de jun. 2017.

PRITCHETT, W. L. **Properties and management of forest soils**. New York: J. Wiley, 1979.

RAFFESTIN, Claude. **Por uma geografia do poder**. Tradução de Maria Cecília França. São Paulo: Ática, 1993.

RAIJ, B. van. Mecanismos de interação entre solos e nutrientes. In: RAIJ, B. van., (Ed.). **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. p. 17-31.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. et al. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais: Determinação de Alumínio, Cálcio e Magnésio trocáveis em extrato de cloreto de potássio**. São Paulo: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001.

REICHERT, J.M; REINERT D.J. BRAIDA, J.A. Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Palestras**. Ribeirão Preto: SBCS, 2003.

RENDING, V.V.; TAYLOR, H.M. **Principles of Soil-Plant Interrelationships**. New York: McGraw-Hill, 1989.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. de; CORRÊA, G. F. **Pedologia: Base para Distinção de Ambientes**. Viçosa: NEPUT, 2002.

RIBEIRO, J. F. **Cerrado: matas de galeria**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998.

RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E.; COSTA, V.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah oxisols. **Soil Science**, Baltimore, v.133, n.4, p.378-382, jun. 1982.

RODRIGUES, R. R. Uma discussão nomenclatural das formações ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. de F. (Org.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/ FAPESP, 2001. p. 91-99.

RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. F. 2000. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Edusp, 2000.

RONQUIM, C. C. 2010. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite. Embrapa Monitoramento por Satélite. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 8: 26.**

SAMITRI S. A. **Mineração da Trindade.** Mina de Alegria: Sistema de deposição de rejeitos sólidos. Aspectos ambientais do projeto. Rio de Janeiro: Enge-Rio, 1989.

SANTOS, D. G.; DOMINGOS, A. F.; GISLER, C. V. T.: Gestão de Recursos Hídricos na Agricultura: O Programa Produtor de Água. In: Manejo e conservação da água no contexto e mudanças ambientais. XVII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17, 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: XVIIRBMCSA, 2006.

SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos químicos do solo afetado pelo manejo da água e do fertilizante potássico na cultura do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n.1, p.12-16, 2002.

SENGIK ES. 2010. **Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas.** Disponível em: <<http://www.dzo.uem.br/disciplinas/Solos/nutrientes.doc/>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

SEVILHA, E. R.; DEMANTOVA, G. C.; FREIRIA, R. C. Conflitos na Proteção Legal das Áreas de preservação permanentes urbanas. In: I Seminário do Laboratório de Fluxos – FEC/UNICAMP, 1, 2006. **Anais...** São Paulo: FEC/UNICAMP, 2006.

SCHAEFER, C. E. G. R.; SANTOS, E. E.; FILHO, E. I. F.; ASSIS, I. R. Paisagens de lama: Os tecnossolos para recuperação ambiental de áreas afetadas pelo desastre da barragem do Fundão, em Mariana. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 42, n. 1, p. 18-23, jan-abri. 2016.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO PARANÁ - SEMA. **Programa mata ciliar.** 2017. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=220>>.

SILVA, E. B.; COSTA, H. A. O., FARNEZI, M. M. M. Acidez potencial estimada pelo método do pH SMP em solos da região do Vale do Jequitinhonha no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p.751-757, 2006.

SILVA, F. C.; EIRA, P.A.; BARRETO, W.O.; PÉREZ, D.V. & SILVA, C.A. **Manual de métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo.** Rio de Janeiro, Embrapa- CNPS, 1998. (Embrapa-CNPS. Documentos, 3)

SILVA, F. M.; CHAVES, M. dos S.; LIMA, Z. Maria C. **Propriedades dos solos- características químicas e mineralógicas.** Natal: EDUFRN, 2009.

SILVA, G. P.; FONTES, M. P. F.; COSTA, L. M. d.; BARROS, N. F. D. (2006). Caracterização química, física e mineralógica de estéreis e rejeito da mineração de ferro da Mina de Alegria, Mariana-MG. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 45-52, 2006.

SILVEIRA, C. T.; FIORI, A. P.; OKA-FIORI, C. Estudo das Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial na APA de Guaratuba: subsídios para o planejamento ambiental. **Bol. Paranaense de Geociências**, n. 57, p. 9-23, 2005.

SKORUPA, L. A. **Áreas de Preservação Permanente e Desenvolvimento Sustentável**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2003.

SMYTH, T.J.; CRAVO, M.S. Aluminum and calcium constraints to continuous crop production in a Brazilian amazon Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 5, p.843-850, set./out. 1992.

TAN, K.; KELTJENS, W. G. Analysis of acid-soil stress in sorghum genotypes with emphasis on aluminium and magnesium interactions. **Plant and Soil**, The Hague, v. 171, n. 1, p.147-150, abr. 1995.

TAN, K.; KELTJENS, W. G.; FINDENEGG, G.R. Acid soil damage in sorghum genotypes: role of magnesium deficiency and root impairment. **Plant and Soil**, The Hague, v.139, n. 2, p.149-155, jan. 1992.

TAYLOR, G.J. Current views of the aluminum stress response; the physiological basis of tolerance. **Current Topics in Plant Biochemistry Physiology**, v.10, p.57-93, 1991.

TELES, S. S; DIEGUEZ, M. R. et al. **Código Florestal: desafios e perspectivas**. São Paulo: Editora Fiuza, 2010. (Coleção Direito e Desenvolvimento Sustentável).

THOMAS, Grant W.; HARGROVE, William L. The Chemistry of Soil Acidity. In: ADAMS, Fred (Ed.). **Soil Acidity and liming**. 2. ed. Madison: ASA Publications, 1984. (Agronomy n. 12)

THORSEN, J. B., MAVSAR, R., TYRVÄINEN, L., PROKOFIEVA, I.; STENGER, A. (Eds.). **The Provision of Forest Ecosystem Services**. European Forest Institute: 2014. (Volume I: Quantifying and valuing non-marketed ecosystem services).

TOMÉ Jr., J. B. **Manual para Interpretação de Análise de Solo**. Guaíba/RS: Agropecuária, 1997.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: NOVAIS, R. F. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002.

VALE, A. L. F.; SAQUET, M. A.; SANTOS, R. A. dos. O Território: diferentes abordagens e conceitochave para a compreensão da migração. **Faz Ciência – Sociedade, Espaço e Economia**, v. 7, n. 1, p. 11-26, 2005.

VALE, F. R.; FURTINI NETO, A.E.; RENÓ, N.B.; FERNANDES, L.A.; RESENDE, A.V. Crescimento radicular de espécies florestais em solo ácido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.9, p.609-616, set. 1996.

VENDRAMINI, P. R. DA R. J. Limites e possibilidades da sustentabilidade do meio urbano. **Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo**, v. 5, n. 1, 2008.

VESTENA, R. L.; THOMAZ, E. L. Avaliação de conflitos entre áreas de preservação permanente associadas aos cursos fluviais e uso da terra na bacia do Rio das Pedras, Guarapuava – PR. **Revista Ambientia**, Guarapuava, v.2, n.1, p 73-75, 2006.

YADARE, J. S. P.; GIRDHAR, I. K. The effects of different magnesium:calcium ratios and sodium adsorption ratio values fo leaching water on the properties of calcareous versus noncalcareus soils. **Soil Science**, v. 131, p. 194- 198, 1981.

WANDERLEY, Luis Jardim; et al. Desastre da Samarco/Vale/BHP no Vale do Rio Doce: Aspectos Econômicos, Políticos e Socioambientais. **Ciência e Cultura**, v. 3, n. 68, p. 30-35, 2016.

ANEXOS

A) DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE QUÍMICA DE MACRONUTRIENTES DO SOLO

1 MATÉRIA ORGÂNICA

O método utilizado para determinar a quantidade de matéria orgânica no solo foi o Método Walkley & Black, no qual se utiliza uma solução de dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) em meio ácido como oxidante (EMBRAPA,1997).

Os reagentes e soluções utilizados são: a) Solução de dicromato de potássio; b) Ácido sulfúrico concentrado; c) Ácido fosfórico concentrado; d) Solução de sulfato ferroso amoniacal; e e) Difenilamina (EMBRAPA,1997).

O procedimento adotado foi primeiro pesar e anotar a massa do produto fresco; em seguida secá-lo em tempo ambiente e anotar novamente o seu peso. Após secagem, transferir para erlenmeyer de 400 ml. Em seguida, foram adicionados 20 ml de dicromato de potássio 1 N e 40 ml de ácido sulfúrico concentrado. Agitar o erlenmeyer por 1 minuto e deixar em repouso por 30 minutos (EMBRAPA,1997).

Após os 30 minutos, pipetar 50,0 ml da solução assim diluída, transferir para erlenmeyer de 400 ml, adicionar 150 ml de água destilada, 10 ml de ácido fosfórico a 95% e 1,0 ml de difenilamina a 0,5% em ácido sulfúrico. Titular com sulfato ferroso amoniacal 0,2500 N até viragem da cor para verde (EMBRAPA,1997).

Devido à instabilidade da solução de sulfato ferroso ou sulfato ferroso amoniacal, a sua concentração (N) deve ser determinada toda vez que é utilizada, fazendo-se um ensaio em branco; para isso:

- Pipetar 10,0 ml de dicromato 1,000 N para erlenmeyer de 400 ml;
- Adicionar 20,0 ml de ácido sulfúrico concentrado;
- Agitar por um (1) minuto e deixar em repouso por 30 minutos;
- Adicionar 150 ml de água destilada, 5,0 ml de ácido fosfórico a 95 % e 0,5; ml de difenilamina a 0,5% em ácido sulfúrico 1:4;
- Titular com sulfato ferroso ou sulfato ferroso amoniacal até viragem para a cor verde;

- Calcular a normalidade do sulfato ferroso ou sulfato ferroso amoniacal, como a seguir:

$$\text{Normalidade do Fe(NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 = \frac{V_a \times N_a}{V_g}, \text{ onde:}$$

De acordo com a Embrapa(1997), o cálculo do teor de carbono na amostra é através da expressão:

$$\% \text{ C} = \frac{(\text{meq.g de Cr}_2\text{O}_7^{2-} - \text{meq.g de Fe}^{2+}) \times 0,003 \times (\% \text{ de matéria seca}) \times \text{fd}}{\text{P}}$$

(1) onde:

meq.g de Cr₂O₇²⁻ = Volume de dicromato pipetado x normalidade da solução de dicromato.

meq.g de Fe²⁺ = Volume de sulfato ferroso gasto na titulação x normalidade determinada.

% umidade = Percentagem de matéria seca a 65/ 60 ° C

P = Peso da amostra tomado para a oxidação

fd = fator de diluição; normalmente 5,0 (cinco)

Considerando-se que a matéria orgânica do solo tenha 58 dag/kg de C, tem-se:

$$\text{teor de M.O} = \text{C} \times 100/58 \text{ g/kg} \quad (2)$$

2 pH

Utilizou-se um medidor de pH provido de um eletrodo de vidro e um de referência ou um eletrodo combinado e um agitador mecânico (CAMARGO et al., 1986) para a determinação do pH de cada uma das amostras.

Os reagentes e soluções utilizados: a) Soluções-tampão para pH; b) Água destilada; c) Solução de cloreto de potássio (CAMARGO et al., 1986).

O procedimento foi transferir primeiramente 10 cm³ de solo para cilindro plástico com tampa (4 x 4 cm). Adicionar, para determinação do pH em água, 25 ml de água destilada e, separadamente, para o pH em KCl, 25 ml da solução de KCl . Agitar mecanicamente durante quinze minutos, esperar no mínimo trinta minutos e proceder

à leitura. O pH deve ser lido sem agitação, depois de atingido o equilíbrio (30 minutos). Antes das mensurações, o medidor de pH deve ser calibrado com as soluções-tampão para pH (CAMARGO et al., 2009).

3 CALCIO, MAGNÉSIO E ALUMÍNIO

O método utilizado para determinar a quantidade de cálcio, magnésio e alumínio no solo foi o Método KCl 1 mol/l (ALVAREZ,1999).

O procedimento consiste em pesar 7,5 g de solo, colocar em erlenmeyer de 250 ml e adicionar 150 ml de solução de KCl 1 N. Em seguida, fechar com rolha de borracha e agitar com movimentos circulares, evitando molhar a rolha e repetir essa operação. Depois da última agitação, desfazer o montículo que se forma na parte central do fundo do erlenmeyer e deixar em repouso. Em seguida, pipetar para erlenmeyer de 200 ml duas alíquotas de 50 ml da parte sobrenadante da solução, para determinação do alumínio extraível, cálcio + magnésio e cálcio trocáveis. Foi preferido um único extrator para cálcio, magnésio e alumínio, a fim de tornar mais verdadeira a relação entre Al e (S + Al+++), uma vez que a soma das bases é, na sua maior parte, composta de Ca++ e Mg++ (EMBRAPA,1997).

O procedimento da determinação do alumínio trocável consiste, em uma das duas alíquotas de 50ml obtidas na extração com KCl N, adicionar 3 gotas do indicador azul de bromotimol e titular com solução de NaOH 0,025 N, até a coloração verde-azulada persistente. O KCl, por ser um sal derivado de ácido e base fortes, dispensa a prova em branco sistemática. O sal, sendo de boa procedência, deverá virar o azul de bromotimol após a adição da primeira gota de NaOH. O Ca+++ Mg++ são determinados na alíquota após a determinação de Al+++ (EMBRAPA,1997).

$$\text{Al trocável (cmolc /kg)} = \text{ml NaOH (3)}$$

Para determinar o magnésio e o cálcio no erlenmeyer, em que foi feita a titulação do Al+++ trocável, adicionar 1 gota de água de bromo para destruir o azul de bromotimol . Em seguida, adicionar 6,5 ml do coquetel tampão e 4 gotas do indicador eriochrome black e titular, imediatamente, com a solução de EDTA 0.0125 N, até a viragem da cor vermelho-arroxeadada para azul puro ou esverdeada (com esta titulação são determinados conjuntamente (Ca++ e Mg++)) (EMBRAPA,1997).

$$\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} \text{ (cmolc /kg)} = \text{ml EDTA (4)}$$

No segundo erlenmeyer, colocar 2 ml de trietanolamina a 50%, 2ml de KOH a 10% e uma pitada de murexida (\pm 50mg). Em seguida, titular com solução de EDTA 0,0125 M até viragem da cor rósea para roxa. Anotar o volume de EDTA gasto, que corresponde ao cálcio existente (EMBRAPA,1997).

$$\text{Ca}^{++} \text{ (cmolc /kg)} = \text{ml EDTA (5)}$$

Para determinar a quantidade de magnésio, faz a diferença entre os valores de $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ (formula 4) e Ca^{++} (formula 5) (EMBRAPA,1997).

4 FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K)

O método utilizado para determinar a quantidade de fósforo e potássio no solo foi o Método Mehlich-1 (ALVAREZ,1999).

O procedimento para determinar a quantidade de potássio e fósforo foi realizado conforme escrito por Silva et al. (1998), que utiliza razão solo: extrator de 1:10: agitação de 10 cm³ da amostra com 100 mL de M-1 (HCl 0,05 mol/L+ H₂ SO₄ 0,0125 mol/ L) por 5 min, seguido de decantação. Também foi adotado esse procedimento razão solo: extrator de 1:5 (50 mL de M-1). Após essa etapa, aproximadamente 25 mL do sobrenadante foram transferidos para um recipiente de polietileno, para determinação de potássio e fósforo (SILVA et al., 1998).

A determinação do fósforo teve o seguinte procedimento: uma alíquota de 5 mL do extrato foi colocada em um erlenmeyer de 125 mL. Em seguida, adicionados 10 mL de solução ácida diluída de molibdato de amônio e 30 mg de ácido ascórbico. A mistura foi homogeneizada por uns minutos e mantida em repouso logo em seguida. A concentração de fósforo foi determinada em um EAM. Os elementos potássio encontrados no extrato foram determinados em um fotômetro (SILVA et al., 1998).

5 ACIDEZ POTENCIAL

O método utilizado para determinar a acidez potencial é o Método $\text{Ca}(\text{OAc})_2$ 0,5 mol/L (ALVAREZ,1999).

A acidez potencial foi extraída com acetato de cálcio 0,5 mol/l e determinada por titulação com NaOH 0,025 mol/L. Colocados em seguida em erlenmeyer de 250 mL, adicionando 5 cm³ de terra fina seca ao ar (TFSA) e 50 mL de solução extratora. Em seguida, agitar a terra-acetato por alguns minutos e deixar em repouso por algumas horas. Tomou-se uma alíquota de 25 mL do líquido sobrenadante, na qual foram inseridas três gotas de solução alcoólica de fenolftaleína a 3 dag/L e assim determinando a quantidade de H + Al por meio de titulação com solução de NaOH 0,025 mol/L. Os cálculos do teor final de H + Al, em mmolc dm⁻³, foram realizados, subtraindo-se do volume gasto na titulação da amostra o volume gasto na titulação da prova em branco (CARMAGO, 2009).