

Curso de Tecnologia em Biocombustíveis

ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS DE SOLOS DEGRADADOS POR MINERAÇÃO EM FASE DE RECUPERAÇÃO NA MINA POTOSI, ESTADO DE RONDÔNIA

ROBERTA SOUTO CARLOS

Orientador: Wanderley José de Melo

Coorientador: Marcela Midori Yada

**Trabalho apresentado a Faculdade de Tecnologia
de Jaboticabal - Fatec, para obtenção do título de
Tecnólogo em Biocombustíveis.**

**Jaboticabal – SP
2º Semestre/2014**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Carlos, Roberta Souto

C284a Atributos químicos e bioquímicos de solos degradados por mineração em fase de recuperação na mina Potosi, estado de Rondônia. / Roberta Souto Carlos. — Jaboticabal : Fatec, 2014.
50p.

Orientador: Wanderley José de Melo
CoorientadorA: Marcela Midori Yada

Trabalho (graduação) – Apresentado ao Curso de Tecnologia em Biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, 2014.

1. Amazônia. 2. Cassiterita. 3. Elemento-traço. 4. Metal pesado. 5. Qualidade do solo. 6. Sustentabilidade. I. Melo, W.J. II. Título

CDD 631.4

Curso de Tecnologia em Biocombustíveis

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS DE SOLOS
DEGRADADOS POR MINERAÇÃO EM FASE DE RECUPERAÇÃO
NA MINA POTOSI, ESTADO DE RONDÔNIA.

AUTOR: ROBERTA SOUTO CARLOS

ORIENTADOR(A): PROF. DR. WANDERLEY JOSÉ DE MELO

COORIENTADOR(A): DRA. MARCELA MIDORI YADA

Trabalho de Graduação aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências para conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Biocombustíveis, apresentado à Fatec-JB para a obtenção do título de Tecnólogo.

Prof. Wanderley José de Melo
NOME DO PRESIDENTE DA BANCA

Prof. Celso Antonio Jardim
NOME DO MEMBRO DA BANCA

Prof.^a Nádia Figueiredo de Paula
NOME DO MEMBRO DA BANCA

Data da apresentação: 03 de Dezembro de 2014.

Aos meus avós maternos, minha eterna gratidão.

AGRADECIMENTO

A Deus pelo dom da vida e sabedoria, por ser meu guia durante toda essa caminhada, não me deixando desistir dos meus sonhos.

À minha família, base de todas as conquistas e trunfos alcançados, sendo minha fonte de amor, perseverança e dedicação.

Ao meu namorado Rafael pela paciência interminável, apoio e compreensão.

Ao meu orientador Dr. Wanderley José de Melo, pela oportunidade, confiança, dedicação, ensinamentos e contribuições de suma importância, e por todo o aprendizado nesses anos de convívio.

À minha coorientadora Dra. Marcela Midori Yada pela paciência, contribuição, auxílio e amizade, não me desamparando nos momentos mais difíceis para a realização deste.

Aos membros da banca, pela disponibilidade em contribuir na melhoria deste trabalho.

À Dra. Regina Márcia Longo, pelo apoio e incentivo.

À Diretoria e demais funcionários da **BRASCAN PROJETOS DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL LTDA** pelo apoio logístico na realização deste trabalho.

À FUNEP pela concessão da bolsa de pesquisa.

Ao IBAMA, pela permissão da realização do trabalho dentro da Floresta Nacional do Jamari.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, pela disponibilidade da infraestrutura necessária a realização desse trabalho.

Aos meus amigos do laboratório de Biogeoquímica que contribuíram na orientação e realização deste trabalho.

A todos os meus companheiros de faculdade, que se demonstraram amigos fiéis, sendo símbolo de companheirismo, compaixão, carinho e amor. Por não terem me desamparado, fazendo com que vencêssemos as dificuldades encontradas nesses anos de convívio. Vocês são como uma família.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigada!

RESUMO

ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS DE SOLOS DEGRADADOS POR MINERAÇÃO EM FASE DE RECUPERAÇÃO NA MINA POTOSI, ESTADO DE RONDÔNIA

A extração de minério tem demonstrado grande potencial no Brasil, contribuindo de forma eficiente na balança comercial do país. A região amazônica, nesse contexto, tem revelado grande disponibilidade de recursos minerais, fazendo dessa região um importante polo de extração mineral e desenvolvimento regional. Entretanto, as atividades de mineração estão entre os principais responsáveis pela degradação dos solos em todo mundo, causando impactos diretos e indiretos sobre a área de exploração e seu entorno. Na mina Potosi, localizada na Floresta Nacional do Jamari, Estado de Rondônia, Brasil, o processo de lavra de cassiterita iniciou-se em 1982, causando grande impacto no ambiente. O presente trabalho teve por objetivo avaliar atributos químicos e bioquímicos nos solos das áreas degradadas pela extração de cassiterita submetidas ao processo de recuperação, que consiste em retirada de sucatas, recomposição topográfica, estabelecimento de curvas de nível, calagem, adubação mineral, orgânica e verde, plantio de mudas de espécies nativas e o monitoramento na mina Potosi. As análises dos atributos químicos e bioquímicos do solo apresentam respostas diferenciadas nas áreas avaliadas, e ainda não atingiram os níveis apresentados pela mata nativa e pela capoeira, o que significa que nenhuma delas atingiu nível de recuperação equivalente, o que se deve ao pouco tempo aplicado ao processo de recuperação.

Palavras-chave: amazônia, cassiterita, elemento-traço, metal pesado, qualidade do solo, sustentabilidade

ABSTRACT

CHEMICAL AND BIOCHEMICAL PROPERTIES OF DEGRADED SOIL BY MINING UNDER RECOVERY IN THE POTOSÍ MINE, STATE OF RONDÔNIA

The ore extraction has shown great potential in Brazil, contributing effectively in the business of the country. The Amazon region, in this context, has revealed widespread availability of mineral resources, making this region an important center for mining and regional development. However, mining activities are among the main factors responsible for land degradation worldwide, causing direct and indirect impacts on the exploitation area and its surroundings. In Potosi mine, located in the Jamari National Forest, State of Rondônia, Brazil, the process of mining of cassiterite started in 1982, causing great impact on the environment. The purpose of this study is to evaluate chemical and biochemical properties in degraded soil by extraction of cassiterite submitted to recovery, which consisted of scrap removal, topographic reconstruction, terraces building, mineral, organic and green fertilization, native seedling planting and monitoring in the Potosi's mine. The analysis of chemical and biochemical properties of the soil have different responses in the evaluated areas, which have not reached the levels showed by the native forest and coppice, what may be justified by the short-time of application of the recovery process.

Keywords: Amazon, cassiterite, trace element, heavy metal, soil quality, sustainability

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Companhias mineradoras no Brasil.	13
Figura 2 - A importância da mineração na criação de empregos.	14
Figura 3 - Balança comercial mineral.....	15
Figura 4 - Saldo balança comercial brasileira x balança mineral	16
Figura 5 - Saldo comercial MG x balança mineral MG	16
Figura 6 - Mapa de localização da Floresta Nacional do Jamari	28
Figura 7 - Localização das áreas na mina Potosi	29
Figura 8 - Titulação inicial da solução de NaOH que recebeu o CO ₂ produzido pela respiração dos micro-organismos do solo	34
Figura 9 - Ponto final da titulação inicial da solução de NaOH que recebeu o CO ₂ produzido pela respiração dos micro-organismos do solo.....	35
Figura 10 - Amostras de solo no forno micro-ondas para análise do carbono da biomassa microbiana do solo.....	36
Figura 11: Amostras de solo tratadas ou não por micro-ondas em banho maria para análise da biomassa microbiana do solo.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - IDH de municípios produtores de bens minerais.	14
Tabela 2 - Investimentos em preservação ambiental no ano de 2010 em diferentes tipologias minerais.	20
Tabela 3 - Cronograma de atividades do projeto para recuperação das áreas degradadas da mina Potosi.	31
Tabela 4 - Descrição dos tratamentos de acordo com as áreas e os tipos de substrato.....	32
Tabela 5 - Respiração basal, carbono da biomassa microbiana do solo e quociente metabólico em áreas da mina Potosi submetidas a um programa de recuperação após mineração de cassiterita.	38
Tabela 6 - Atividade de desidrogenases e potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) em áreas degradadas pela mineração de cassiterita na mina Potosi, Floresta Nacional do Jamari, Estado de Rondônia, em fase de recuperação.....	40
Tabela 7 - Análises químicas de amostras de solo coletadas em áreas degradadas pela mineração de cassiterita na mina Potosi, Floresta Nacional do Jamari, Estado de Rondônia, em fase de recuperação.....	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Mineração no Brasil	12
2.1.1 Importância da mineração na economia brasileira.....	15
2.1.2 Mineração na floresta amazônica.....	17
2.2 Áreas degradadas	18
2.3 Impactos gerados pela mineração	19
2.3.1 Impactos gerados pela mineração de cassiterita	21
2.4 Recuperação de áreas degradadas	21
2.5 Atributos químicos e bioquímicos relacionados à qualidade do solo	23
3 HIPÓTESE	26
3.1 Objetivo	26
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.1 Caracterização da área.....	27
4.2 Descrição dos tratamentos	28
4.3 Amostragem e preparo das amostras de solo.....	32
4.4 Atributos bioquímicos avaliados.....	33
4.5 Atributos químicos avaliados	37
4.6 Análises dos resultados	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 Análises bioquímicas.....	38
5.2 Análises químicas.....	41
6 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

O minério desde sua descoberta faz do solo brasileiro uma importante fonte de riqueza. Germani (2002) relata que nos primórdios da colonização enquanto se lavrava a ocorrência de diversas substâncias minerais encontradas na superfície do solo, as massas retiradas não tinham comparação ao retirado modernamente, pois as necessidades de produtos de origem mineral eram naquele tempo muito pequenas.

O cenário atual é diferente e Farias (2002) evidencia a importância da mineração na economia do país, sendo considerada um dos setores básicos para o desenvolvimento de uma sociedade equânime, contribuindo de forma decisiva para o bem estar e a melhoria da qualidade de vida da população, desde que seja conduzida com responsabilidade social e ambiental.

Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (pág. 5, 2012) a indústria mineral brasileira registra, ao longo da última década, crescimento vigoroso graças a fatores como as profundas mudanças socioeconômicas e de infraestrutura que o País tem vivenciado e, conforme Melo et al. (2014), a mesma tem atuado como base de sustentação para a maioria dos segmentos industriais, gerando milhões de empregos diretos e indiretos, impostos, e representando valor determinante no desenvolvimento de grande número de cidades e microrregiões.

Yada (pág. 10, 2011), entretanto, ressalta que as atividades mineradoras embora importantes do ponto de vista econômico, são práticas que trazem sérios comprometimentos para o ambiente. As áreas tornam-se deterioradas, perdendo características da vegetação nativa e a fauna, além da remoção ou alteração da camada fértil do solo, gerando forte impacto qualitativo e quantitativo na atividade microbiológica do solo. Muitas vezes, a atividade mineradora leva a uma intensa geração de subprodutos e rejeitos que resultam em depósitos improdutivos sobre o solo.

Desde 1989, como mencionam Almeida e Sanchez (2005), as empresas mineradoras são obrigadas a apresentar ao órgão competente um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). Este documento deve evidenciar procedimentos para estabelecer ou restabelecer a cobertura vegetal nas áreas degradadas.

Lima, Flores e Costa (2006) versam explicitamente que a recomendação estabelecida pelo PRAD deve considerar a solução técnica adequada, visualizada pela empresa de

mineração, para reabilitar o solo, caso tenha sido degradado pela atividade de mineração, a ser utilizado futuramente.

A extração de cassiterita na Mina Potosi, localizada na Floresta Nacional do Jamari, estado de Rondônia, teve o estudo de viabilidade econômica e plano de lavra executados no final da década de 70 e início da década de 80 e as operações de lavra em jazida primária de Potosi estenderam-se de 1982 a 1988. Nos anos em que houve a extração do minério, não havia legislações ambientais rigorosas como atualmente, o que gerou uma série de externalidades no solo e na área em seu entorno. Externalidades estas que podem ser: alterações ambientais e riscos, conflitos de espaço, depreciação de imóveis circunvizinhos, transtornos ao tráfego urbano, geração de áreas degradadas e ocupação desordenada de áreas degradadas. Podem ser citados ainda, os impactos diretos e indiretos de diferentes naturezas sobre a área de exploração e seu entorno.

Em análises feitas com amostras coletadas antes da adoção do procedimento de recuperação das áreas degradadas, o solo apresentou características como arenoso e bastante desestruturado.

Atualmente, uma empresa é responsável pela recuperação desta área para devolver o solo com características ecológicas originais ao local, e uma equipe formada por profissionais de diversas áreas afins fazem o trabalho de implantar o PRAD e monitorar sua evolução, visto que por mais bem planejo e executado que seja a implantação de um projeto de restauração ecológica, o mesmo não garante que a área terá todas as funções ecológicas em pleno funcionamento.

A multiplicidade de fatores químicos, físicos e biológicos que controlam os processos bioquímicos e suas variações em função do tempo e espaço, aliados à complexidade do solo, estão entre os fatores que dificultam a capacidade de acessar a qualidade e identificar variáveis indicadoras do funcionamento eficiente do solo. Por essa razão, um conjunto de indicadores englobando atributos físicos, químicos e biológicos deve ser utilizado nas análises de qualidade do solo.

Este trabalho visa analisar e discutir alguns atributos referentes ao estado em que se encontra a área degradada denominada como Mina Potosi, na Floresta Nacional do Jamari.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mineração no Brasil

Segundo a Confederação Nacional da Indústria (2012, p. 19), a mineração pode ser descrita como o processo de extração de minerais ou compostos minerais de valor econômico para usufruto da humanidade. Melo et al. (2014) acrescentam ainda, que as atividades de mineração executam papel importante na economia das nações, considerando que quanto mais desenvolvida a nação, maior sua dependência dos minerais.

O documento final, assinado por todos os países presentes na Conferência Rio + 10, realizada de maio a agosto de 2002 em Johannesburgo, África do Sul, relata bem a importância da mineração, e em várias partes de seu documento final, segundo Farias (2002, p. 3), a mineração foi considerada fundamental para a evolução econômica e social de muitos países, tendo em vista a importância que os minerais têm para a vida moderna.

A mineração se tornou indispensável para a sociedade moderna, dada à importância que os bens materiais e derivados assumiram na economia mundial, incluindo desde necessidades sofisticadas, como tecnologia de ponta nas áreas de comunicação e informática, às mais básicas como habitação, agricultura, transporte e saneamento. (RIBEIRO et al., 2006).

A sua contínua demanda mantém intensas as atividades do setor mineral, principalmente a produção e a transformação, mas também, a pesquisa e exploração, conforme descrito pelo departamento nacional de produção mineral. (DNPM 2008/2007).

O Brasil é um dos principais países no setor mineral por sua Geodiversidade privilegiada e extensão continental (8.514.876,599 km²), fazendo com que o país ocupe uma posição de destaque pela reconhecida vantagem comparativa de suas jazidas e minas de classe internacional (DNPM, 2006). Barreto (2001) acrescenta que o Brasil possui grandes reservas mundiais, com uma diversificação de minerais metálicos e não-metálicos, colocando-se seguramente entre os seis mais importantes países minerais do mundo.

IBRAM (2012) relata que o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM registrou o número de 8.870 mineradoras no Brasil em 2011, segundo a consolidação dos Relatórios Anuais de Lavra relativos ao ano-base 2011 entregues pelas empresas de mineração, distribuídas conforme a região, como mostra a Figura 1:

Figura 1- Companhias mineradoras no Brasil



(IBRAM, 2012)

Segundo a Confederação Nacional da Indústria (2012), quando aplicados corretamente, os recursos oriundos da mineração favorecem o desenvolvimento das comunidades contíguas sob o ponto de vista sócio-econômico.

O efeito benéfico da mineração no país pode ser refletido em diversos seguimentos, como o desenvolvimento regional, desenvolvimento tecnológico, produto interno bruto (PIB), construções de estradas e empregos diversos em toda a cadeia produtiva. No Brasil, de acordo com a Tabela 1, dados sobre o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), calculado pelo Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas - PNUD, apresentou números superiores em cidades mineradoras, quando comparado aos seus respectivos estados, demonstrando que, segundo o IBRAM (2012), os empreendimentos relacionados a atividade de mineração se tornam uma alternativa real para o desenvolvimento sustentável regional.

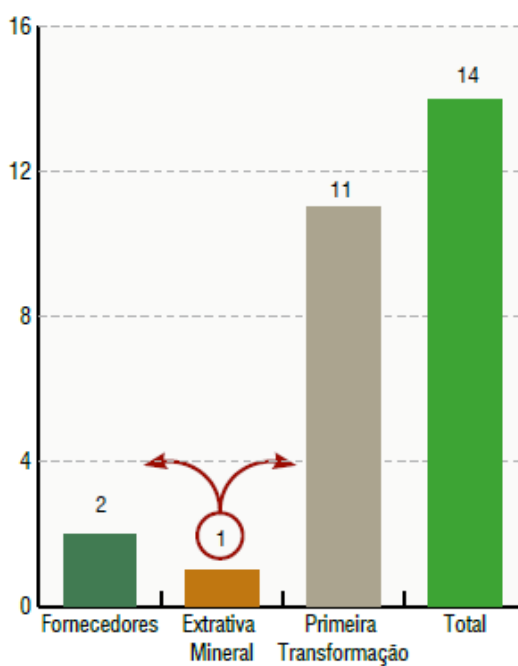
Tabela 1- IDH de municípios produtores de bens minerais

Municípios – Estados	Minério	IDH do Estado	IDH do Município
Itabira – MG	Minério de Ferro	0,766	0,798
Araxá – MG	Nióbio	0,766	0,799
Nova Lima – MG	Ouro	0,766	0,821
Catalão – GO	Fosfato	0,773	0,818
Cachoeiro de Itapemirim – ES	Rochas Ornamentais	0,767	0,770
Parauapebas – PA	Minério de Ferro	0,720	0,740
Oriximiná – PA	Bauxita	0,720	0,769
Presidente Figueiredo – AM	Cassiterita	0,713	0,742

(IBRAM, 2012)

Em estudos feitos pela Secretaria Nacional do Ministério de Minas e Energia, apresentados na Figura 2, é possível verificar que há o efeito multiplicador de empregos no setor mineral em uma proporção de 1:13, ou seja, são criadas 13 outras vagas ao longo da cadeia produtiva para cada posto de trabalho na mineração (IBRAM, 2012).

Figura 2 - A importância da mineração na criação de empregos



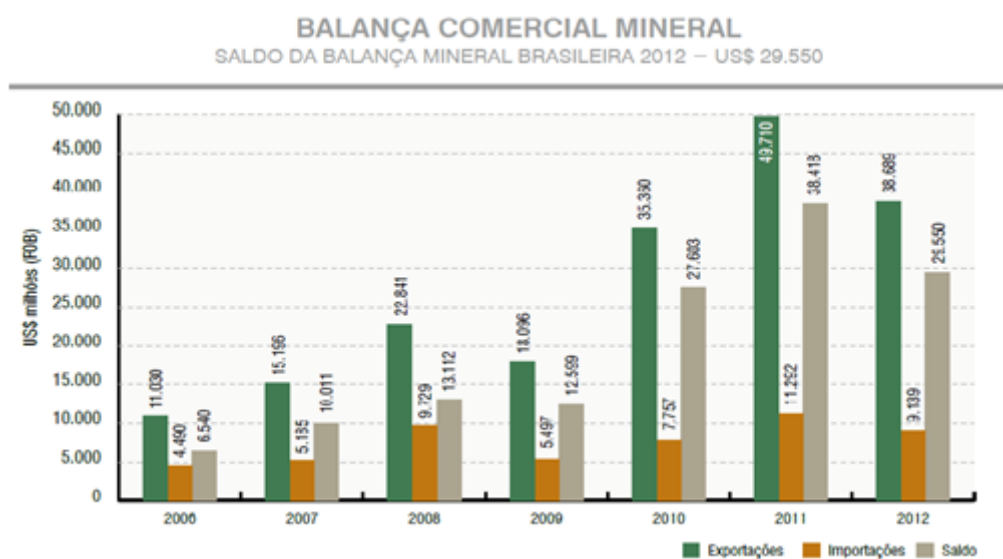
(IBRAM 2012)

2.1.1 Importância da mineração na economia brasileira

A indústria mineral brasileira tem se apresentado como importante segmento do crescimento econômico nacional, mantendo-se como um dos maiores fornecedores de matérias primas, produtos beneficiados, bem como de seus transformados e outros com maior input tecnológico (DNPM 2008/2007).

Como demonstra o Instituto Brasileiro de Mineração (2012, p. 23), nos últimos anos é possível observar influencia positiva do setor mineral na balança comercial brasileira, fazendo com que a mesma se eleve. Na Figura 3, é possível verificar que, em 2012, por exemplo, o saldo da balança comercial mineral brasileira atingiu US\$ 29.500 milhões.

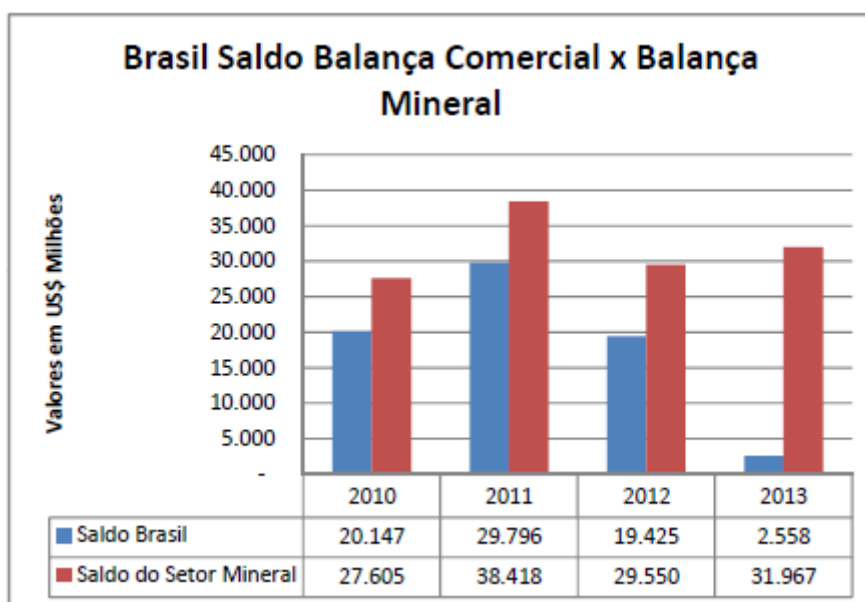
Figura 3 – Balança comercial mineral



(IBRAM 2012)

Na Figura 4, é evidente que, no ano seguinte, 2013, o saldo da balança mineral foi cerca de 12,5 vezes maior que o saldo da balança comercial do país.

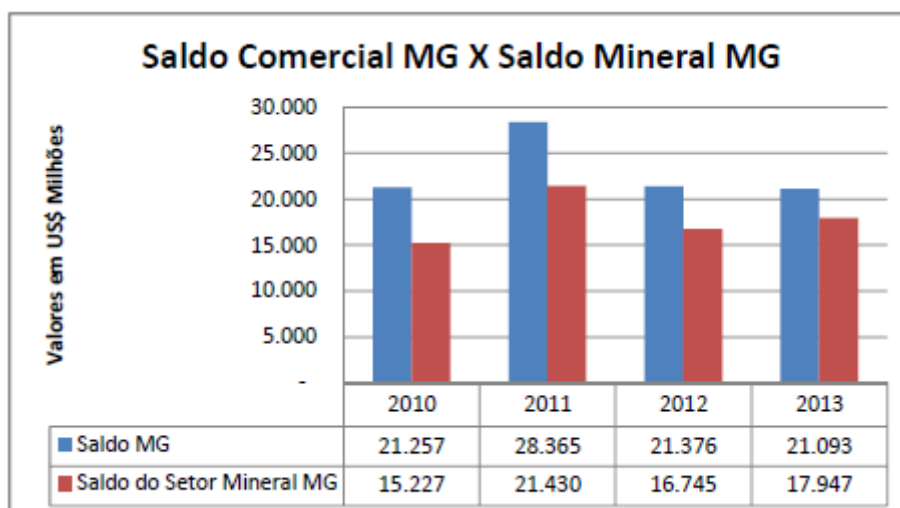
Figura 4 - Saldo balanço comercial brasileira x balanço mineral



(IBRAM 2013)

Em Estados como Minas Gerais, o saldo mineral chegou a corresponder a 85%, no ano de 2013, de todo saldo comercial do estado, como se pode observar pela Figura 5:

Figura 5 - Saldo comercial MG x balanço mineral MG



(IBRAM 2013)

Segundo análise do Instituto Brasileiro de Mineração (2012, p. 23), em 2008, o Produto Interno Bruto (PIB) do setor mineral atingiu o valor de US\$ 69 bilhões, com participação de 4,2% no PIB nacional.

O IBRAM (2012) ressalta que, mesmo com grandes valores econômicos, o potencial mineral brasileiro é expressivo, porém pouco pesquisado, sendo que menos de 30% do território nacional é c3ognito por meio de levantamentos geol3gicos em uma escala apropriada para a atividade. Atrav3s do aumento e investimento nos estudos sobre minera33o, o Brasil pode aumentar ainda mais positivamente diversos segmentos envolvidos com o setor.

2.1.2 Minera33o na floresta amaz3nica

O desenvolvimento das explora33es minerais na regi3o amaz3nica, segundo o DNPM (2007/2008), tem demonstrado elevada disponibilidade de recursos minerais dos mais diversos, tanto entre os bens minerais met3licos como os n3o-met3licos, sendo a regi3o norte do Brasil possuidora de grandes saltos na produ33o e comercializa33o de bens minerais tanto para o mercado externo como para o interno.

DNPM (2006) lembra que a regi3o norte 3 a maior fronteira mineral brasileira. Suas reservas conhecidas s3o de grande variedade e distribu3das em todos os estados da regi3o, com destaque para as reservas de min3rio de ferro, bauxita, mangan3s, cobre, n3quel, cromo, cassiterita, zinco e zirconita entre os met3licos, al3m de caulim, calc3rio de uso na ind3stria cimenteira e de corretivo de solo, gipsita, rochas fosf3tica, sal de pot3ssio, rochas ornamentais e dos agregados utilizados na constru33o civil (areia, argila, cascalho e brita), sendo os 3ltimos citados encontrados em abund3ncia devido ao prop3cio ambiente geol3gico que predomina na regi3o.

Cada vez mais intensas, as atividades de explora33o mineral na regi3o amaz3nica surgem como oportunidade de desenvolvimento, uma vez que, segundo Monteiro (2006), as aplica33es origin3rias das atividades de minera33o est3o entre os mais significativos elementos que contribuíram e contribuem para as efetivas mudan3as no espa3o regional, gerando impactos econ3micos, sociais e f3sico-ambientais.

No Estado de Rond3nia, a DNPM (2006) destaca a cassiterita (concentrado de estanho -Sn) como a principal subst3ncia mineral, com produ33o de 6,4 milh3es de kg, seguida do concentrado de ni3bio (Nb_2O_5) com 719 mil kg. Entre as subst3ncias n3o met3licas, destaca-

se a água mineral, com produção de 21,2 milhões de litros, além de brita e cascalho, com 2,7 milhões de m³, rochas ornamentais e granitos, com 17 mil m².

2.2 Áreas degradadas

Kitamura et al. (2008) cita Alves (2001) na relação do aumento populacional com as maiores necessidades de suprimentos como alimentos, espaços e condições para sobrevivência, ocasionando cada vez mais ações antrópicas ao ambiente. Observações na história do uso do solo mostram que a alteração no ambiente nem sempre dá lugar a um novo sistema ecológico sustentável. Dessa forma, o solo acaba sendo degradado intensamente e de forma inadequada.

Carvalho (2008) descreve que é indispensável preocupar-se com o significado do que é degradação e sua inserção no meio, e cita a definição de Luchesi (1992) para o termo degradar, que pode ser interpretado como estragar, deteriorar, desgastar, atenuar ou diminuir gradualmente, apontando ainda que a degradação física do solo é determinada como uma mudança de suas propriedades físicas a qual influi negativamente sobre a produção.

Silva (2005) considera degradação uma alteração no todo ou em componentes de um sistema, com consequências que envolvem uma redução ou perda de uma capacidade, de mecanismos ou de componentes que anteriormente estavam presentes. Laurentino e Souza (2013) descrevem como áreas degradadas aquelas que sofrem, em algum grau, perturbações em sua integridade, sejam elas de natureza física, química ou biológica.

De acordo com o Manual de Diretrizes para Recuperação de Áreas Degradadas, Yada (2011) cita IBAMA (1990): ocorre a degradação de uma área quando forem destruídas, removidas ou expulsas a vegetação nativa e a fauna, a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada, e a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico forem modificados, juntamente com a inviabilização socioeconômica da área.

Costa et al. (2004) citam a utilização decorrente dos recursos naturais pelo homem, como forma de gerar degradação.

2.3 Impactos gerados pela mineração

Carvalho (2008) cita o conceito definido por Bortot (2000) descrevendo a finalidade do desenvolvimento como proporcionar o bem estar social e econômico, e que o objetivo da conservação consiste, por sua vez, em manter a capacidade da Terra para sustentar a garantia à vida. Ambos, desenvolvimento e conservação, são equivalentes quanto à importância para a sobrevivência humana e a responsabilidade de preservar recursos naturais que as futuras gerações necessitarão.

A atividade de mineração é um dos principais responsáveis pela deterioração dos solos em todo mundo, que segundo Longo et al. (2011) pode proporcionar impactos diretos e indiretos de diferentes naturezas sobre a área em exploração e seu entorno.

Segundo Bitar (1997), a atividade mineradora é causadora de uma série de externalidades, que pode ser definido como um conjunto de efeitos não desejados. Algumas externalidades associadas à mineração são: alterações ambientais e riscos, conflitos de espaço, depreciação de imóveis circunvizinhos, transtornos ao tráfego urbano, geração de áreas degradadas e ocupação desordenada de áreas degradadas. Estas externalidades podem gerar conflitos com a comunidade.

Silva (2007) descreve o evidente e considerável impacto ambiental gerado pela atividade de mineração, visto que altera intensamente a área minerada e as áreas vizinhas, onde são feitos os depósitos de estéril e de rejeito. Além da possível utilização de substâncias químicas nocivas na fase de beneficiamento do minério, que pode acarretar problema sério no âmbito ambiental.

A ação da mineração sobre o solo, a vegetação e os recursos hídricos é evidente, e segundo Sanches (2002) verificam-se na forma de alterações estéticas, físicas, químicas e biológicas, dependendo das características da geologia, vegetação, relevo e solo locais, bem como do tipo de lavra e minério a ser extraído. A avaria ambiental gerada pela extração, pelo processamento e uso de recursos minerais pode restringir a disponibilidade desses materiais (MILLER JR, 2013).

A Confederação Nacional da Indústria (2012) considera a mineração uma atividade que requer alteração das condições ambientais naturais como modificação topográfica local e supressão da vegetação, e está diretamente atrelado ao uso dos recursos, naturais ou não.

Portanto, são necessárias ações que visam à redução e ao uso racional destes insumos, a fim de assegurar a sustentabilidade da cadeia da mineração.

A Confederação Nacional da Indústria (2012), entretanto, descreve que apesar do grande potencial de impactos negativos sobre a biodiversidade por parte da atividade de mineração, as empresas têm feito algumas ações para minimizar ou prevenir tais impactos nas áreas identificadas como apropriadas para mineração, adotando estratégias direcionadas à gestão da biodiversidade como parte de seus compromissos no estabelecimento e manutenção de sua licença de operação.

A Tabela 2 demonstra os investimentos feitos em preservação ambiental no ano de 2010 pelas indústrias em diferentes tipologias minerais.

Tabela 2 - Investimentos em preservação ambiental no ano de 2010 em diferentes tipologias minerais

QUADRO 5. INVESTIMENTOS EM PRESERVAÇÃO AMBIENTAL NO ANO DE 2010 EM DIFERENTES TIPOLOGIAS MINERAIS	
Tipologia mineral	Investimentos (R\$)
Agalmatolito	500.000,00
Amianto crisotila	1.600.340,50
Areia	190.530,05
Bauxita	29.836.056,00
Calcário	3.325.842,46
Carvão mineral	7.996.617,03
Cassiterita	2.126.918,48
Caulim	10.600.000,00
Cobre	8.183.080,58
Feldspato	25.400,00
Ferro	429.150.832,85
Filito	70.000,00
Fonolito	150.000,00
Gipsita	40.000,00
Gnaisse	125.000,00
Granito	1.475.000,00
Ilmenita	1.463.262,00
Níquel	10.121.684,38
Ouro	37.747.862,00
Potássio	5.164.891,46
Urânio	85.900.861,00

(Confederação Nacional da Indústria 2012)

O minério de ferro foi o que mais gerou investimentos, com cerca de R\$ 429.150.832,85; investimentos com classe mineral de cassiterita chegaram a R\$ 2.126.918,48 (Tabela 2).

2.3.1 Impactos gerados pela mineração de cassiterita

Como toda exploração de recursos naturais, a atividade mineradora causa impactos no meio ambiente, seja no que tange à exploração de áreas naturais ou mesmo na geração de resíduos.

Segundo Silva (2007), o processo de lavra utilizado na exploração do minério é um dos fatores primordiais para determinação do nível de impacto ambiental, tendo grande influência na natureza e na extensão do impacto. O autor cita que o método mais utilizado para a grande maioria dos bens minerais é lavrada tradicionais a céu aberto (em superfície) ou subterrâneo (em subsuperfície). No processo de lavra a céu aberto ocorrem os maiores riscos de comprometimento ambiental, pois é onde se tem um maior aproveitamento do corpo mineral, que caso não sejam adotadas técnicas de controle da poluição, gera maior quantidade de estéril, poeira em suspensão, vibrações e riscos de poluição das águas. O Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD na Floresta Nacional do Jamari/RO prevê os diversos prejuízos que podem ser causados em cada situação, tais como: perdas de solo, baixa produtividade, contaminação de mananciais, desmoronamento de encostas em estradas e cidades, poluição do solo, geração de poeira e consequente poluição do ar, assoreamento de rios e cursos d'água, dentre outros.

A extração de cassiterita, feita a céu aberto, emprega um processo de lavra quase que completamente mecânico, utilizando vários equipamentos, que causam intensa assolação no solo. Os impactos no solo e no subsolo podem ser causados também pelos depósitos de materiais estéreis e rejeitos, pelas estradas de acesso, pela imposição de superfícies diferentes do relevo original, tal como a eliminação de picos e serras (YADA et al., 2010).

2.4 Recuperação de áreas degradadas

O solo se configura como um dos recursos mais imprescindíveis e importantes, pois é dele que os seres vivos tiram o seu sustento. No entanto, quase toda a área natural da Terra foi afetada ou degradada em algum grau pelas atividades humanas (MILLER JR, 2013).

Carvalho (2000, p. 251) considera que, em ecossistemas degradados, a ação antrópica é necessária para sua recuperação. Essas áreas mostram-se impróprias para a agricultura e a pecuária, mas pode prestar-se para a silvicultura se o plantio das árvores for possível e, muitas vezes, recomendável. O plantio de espécies florestais adequadas, ajuda à rápida recuperação da capacidade produtiva dos solos.

No Brasil, em 1981, foi instituída a Política Nacional do Meio Ambiente, pela Lei nº. 6.938/81, que tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida sobre princípios como recuperação de áreas degradadas e proteção de áreas ameaçadas de degradação (BRASIL, 1981).

Corrêa (2014) conceitua que, do mesmo modo que recuperação ambiental, o termo recuperação de áreas degradadas tem sido amplamente utilizado no Brasil para referir-se indistintamente a diferentes técnicas aplicáveis para reverter a situação de um ecossistema degradado para um estado desejável, independentemente do nível de degradação.

Laurentino e Souza (2013) escrevem que, devido à maior conscientização com relação à utilização dos recursos naturais renováveis que existe na atualidade, vários projetos que visam atingir à sustentabilidade através do conhecimento de manejos integrados com métodos eficientes na recuperação de áreas degradadas estão sendo implantados.

Conforme Almeida e Sanches (2005), devido à prática de degradação ambiental das empresas mineradoras, desde 1989, no Brasil, todas as empresas do segmento são obrigadas a apresentar ao órgão ambiental um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), documento que preconiza a revegetação, ou seja, a adoção de procedimentos para estabelecer ou restabelecer a cobertura vegetal nas áreas degradadas.

Segundo Neto et al. (2012) citando Martins (2009), por mais bem planejada e executada que seja a implantação de um projeto de restauração florestal, o mesmo não garante que a área conseguirá, futuramente, uma cobertura florestal com capacidade de regeneração e as demais funções ecológicas em pleno funcionamento.

Neto et al. (2012) afirmam que é essencial realizar avaliação e monitoramento da área reflorestada em determinados espaços de tempo a fim de garantir o sucesso da restauração almejada. Alves e Souza (2008) mencionam que a reabilitação de áreas degradadas não consiste de ações isoladas, e sim de um conjunto de atividades que têm por objetivo recompor a paisagem que foi perturbada.

Bitar (1997) considera que, em trabalho de recuperação, a primeira atividade é a identificação e caracterização dos processos de degradação atuantes e a análise de suas consequências ambientais. Para isso, é necessário o uso de indicadores que traduzam

quantitativa ou qualitativamente o grau da degradação existente e que permitam estimar a dimensão dos esforços técnicos e econômicos que deverão ser alocados na recuperação.

O maior desafio na recuperação de uma área degradada é o estabelecimento do horizonte A para, a partir daí, fazer o uso de indicadores que são utilizados para a avaliação e monitoramento de ecossistemas naturais (BONINI; ALVES, 2012).

A fim de minimizar os efeitos da compactação do solo e da erosão, promover o acúmulo de matéria orgânica, o desenvolvimento da fauna, do solo, e a ciclagem de nutrientes, plantas de cobertura têm sido utilizadas para a recuperação das áreas degradadas pela atividade de mineração. O reflorestamento é uma alternativa para reincorporar o carbono da atmosfera no solo, recuperando-se áreas degradadas (GOLDEMBERG; LUCON, 2012).

2.5 Atributos químicos e bioquímicos relacionados à qualidade do solo

Consciente da importância do solo para a qualidade ambiental, a comunidade científica começou a abordar, nas publicações, intensificadas a partir de 1990, a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo nesse contexto (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Vezzani e Mielniczuk (2009) citam o conceito para qualidade do solo utilizado por Doran e Parkin (1994), que define qualidade do solo como a capacidade de atuar dentro dos limites de um ecossistema, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens.

O solo, principalmente o superficial, é classificado como fonte renovável porque os processos naturais podem recuperá-lo. Se o solo superficial erodir mais rapidamente do que se formar, passará a ser uma fonte de recurso não renovável (MILLER JR, 2013).

Em muitas áreas degradadas, é perceptível que não é mais solo, mas uma matriz de material mineral, de pobre estrutura física, pouca ou nenhuma matéria orgânica e quantidade muito pequena de nutrientes para as plantas (LONGO; RIBEIRO; MELO, 2011).

Yada (2011) menciona que nenhum indicador isoladamente irá descrever e quantificar todos os aspectos da qualidade do solo, acrescentando que a multiplicidade de fatores químicos, físicos e biológicos que controlam os processos bioquímicos e suas variações em

função do tempo e espaço, aliados à complexidade do solo, estão entre os fatores que dificultam a capacidade de acessar a qualidade e identificar variáveis indicadoras do funcionamento eficiente do solo, sendo necessário um conjunto de indicadores englobando atributos físicos, químicos e biológicos para ser utilizado nas análises de qualidade do solo (DORAN; PARKIN, 1994).

Yada (2011) ainda menciona Matsuoka et al. (2003) e Silva et al. (2009) para dar importância ao uso de indicadores bioquímicos, pois, como o estabelecimento de diferentes agroecossistemas influencia diretamente a biota do solo e os processos realizados por ela, o uso de indicadores bioquímicos é um componente importante dos estudos envolvendo a avaliação da qualidade dos solos agrícolas devido à sensibilidade para detectar, em etapa anterior em comparação a outros atributos físicos e químicos, alterações desse ambiente em função do uso e manejo, para melhorar ou degradar a qualidade do solo.

Aragão et al. (2010) acrescentam ainda que, embora pouco difundidos, os indicadores biológicos levam em consideração a atividade microbiana do solo, que é mais sensível à dinâmica do mesmo.

Com capacidade de refletir as mudanças no uso do solo de maneira rápida, a biomassa microbiana do solo (BMS) é um dos indicadores de qualidade do solo. É o principal componente da matéria orgânica viva do solo e, junto ao carbono orgânico, vem sendo utilizado como indicador de alterações e de qualidade do solo. Ademais, a BMS funciona como depósito temporário de C e de nutriente (ARAÚJO; MELO, 2012). Do mesmo modo que impacta a matéria orgânica, a mineração reduz sensivelmente a BMS.

Yada (2011) citando Parkin et al. (1996) para a respiração basal (RBS), que pode ser utilizada como indicador da qualidade de solos em áreas degradadas, relacionando-se com a perda de carbono orgânico do sistema solo-planta para a atmosfera, reciclagem de nutrientes e resposta a diferentes estratégias de manejo do solo. Da mesma forma que outras atividades metabólicas, a RBS depende do estado fisiológico das células e é influenciada por fatores como umidade, temperatura e disponibilidade de nutrientes.

O quociente metabólico (qCO_2) é o quociente entre a RBS e a BMS. O aumento no qCO_2 é um sinal de estresse negativo, ou seja, está havendo aumento na RBS por unidade de BMS. A BMS está aumentando seu metabolismo para superar fatores antagônicos (ARAÚJO; MELO, 2012), indicando que comunidades microbianas sob estresse ou expostas a qualquer tipo de perturbação são menos eficientes em converter o C assimilado em nova biomassa. (YADA, 2011).

A hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) expressa a atividade de um grupo de enzimas, incluindo lipases, esterases, proteases de microrganismos biologicamente ativos, pois o FDA pode ser hidrolisado por algas, protozoários e tecidos animais, mas não por esporos e células microbianas na fase estacionária de crescimento, de tal modo que essa reação pode ser usada como uma estimativa da atividade da microbiota do solo (MELO et al., 2010).

A estrutura química do solo também é construída pela matéria vegetal e sua diversidade (VEZZANI; MIELNICZUK 2009). Segundo Khatounian (2001), fertilidade é a capacidade de gerar vida, deixando de ser apenas um atributo do solo. O autor complementa ainda, que a fertilidade é a matéria vegetal que se nutrem os complexos da vida.

Considerando que o solo é a base para uma agricultura e uma produção florestal sustentável, é necessário adotar práticas de manejo que conservem e, ou, restaurem sua fertilidade (SILVA JUNIOR; BOECHAT; CARVALHO, 2012).

3 HIPÓTESE

As áreas avaliadas apresentam melhoras de acordo com atributos químicos e bioquímicos, em comparação com a mata e capoeira.

3.1 Objetivo

Avaliar atributos químicos e bioquímicos (atividade enzimática, respiração basal, biomassa microbiana e quociente metabólico) em solos de área degradada por mineração de cassiterita em recuperação em ecossistema amazônico na mina Potosi.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área

Com uma área de 215.000 ha, a Floresta Nacional do Jamari (Flona do Jamari) localiza-se na Rodovia RO-452, km 7,5, zona rural, em Itapuã do Oeste, Estado de Rondônia. Suas coordenadas geográficas são 09°00'00" e 09°30'00" latitude Sul, 62°44'05" e 63°16'54" longitude Oeste. De Porto Velho, pela BR 364, a distância é de 120 km.

Segundo Koppen, o clima da região é tropical chuvoso (Aw), e se caracteriza por ter um período seco durante a estação de inverno, quando ocorre déficit hídrico moderado. Tem-se, como médias anuais: precipitação entre 2.200 e 2.600 mm; temperatura do ar entre 24 e 26°C; umidade relativa do ar entre 80 e 90%, no verão, e 75% no outono e inverno, havendo uma estação seca bem definida, com período mais crítico de julho a agosto (YADA, 2011).

Figura 61 – Mapa de localização da Floresta Nacional do Jamari

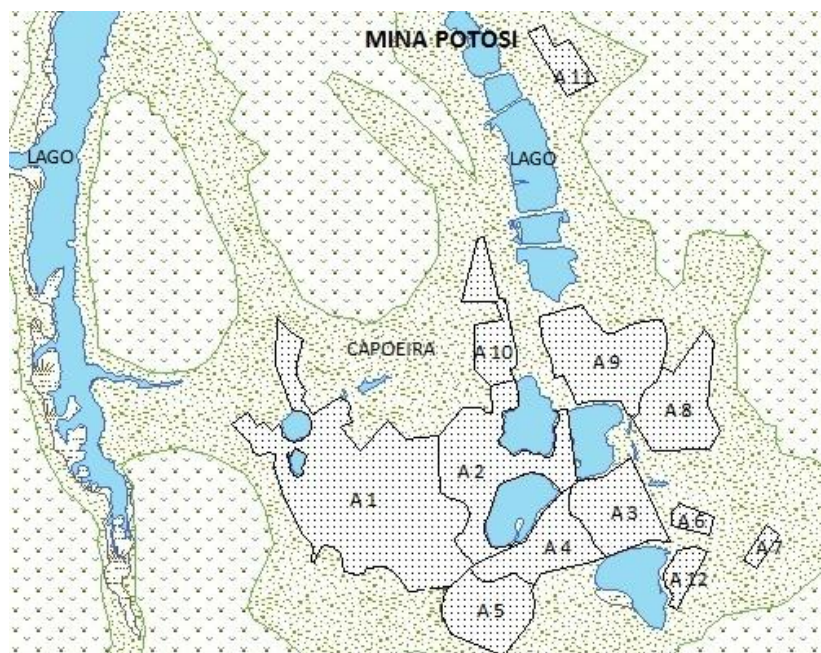


(YADA, 2011)

4.2 Descrição dos tratamentos

A região em estudo compreende a área denominada mina Potosi, cuja área afetada diretamente pela mineração de cassiterita é de 77,81 ha. Além dessas áreas, 151,67 ha são formados por capoeiras já em adiantado estágio de recuperação, e 89,39 ha por lâminas d'água (segundo levantamento topográfico realizado pela empresa Brascan, responsável na recuperação, no ano de 2003).

Figura 7 – Localização das áreas na mina Potosi



(YADA, 2014)

As reservas da jazida primária da mina Potosi, bem como o estudo de viabilidade econômica e plano de lavra, foram executadas no final da década de 70 e início da década de 80 e as operações de lavra em jazida primária estenderam-se de 1982 a 1988. A paralisação da mina em minério primário se deveu ao fato de o preço do metal (estanho), não mais compensar sua extração.

Os substratos nas áreas degradadas são rejeito seco, greisen, rejeito capeado e piso de lavra. O rejeito seco é composto principalmente pela fração areia que foi retirada durante o processo de desmonte e decantação do minério localizado próximo à barragem de contenção de rejeitos. Suas características são de baixa fertilidade e alta permeabilidade. Greisen é o material rochoso de origem metamórfica formado principalmente por quartzo, mica branca e topázio. Rejeito Capeado é um substrato composto por uma massa de elementos diferentes, oriunda do material produzido pela retirada do minério sem o retorno do estéril ou dos horizontes superficiais. O piso de lavra é resultante do processo de abertura de cavas para a exploração, processo que exige a exposição de encostas, do subsolo e da própria rocha. Em virtude de fatores como: o tipo de material, necessidade de vias de acesso, processo de abertura de cavas e do volume do minério explorado, suas características são diferentes do solo original (YADA et al., 2010).

Da área com mata nativa e capoeira também foram retiradas amostras e submetidas a análises para comparação.

A denominação mata é dada a uma área com formação vegetal inteiramente dominada por árvores, de estrutura complexa, apresentando grande riqueza de espécies. Capoeira é característica de uma vegetação secundária, que sucede à derrubada da floresta, apresentando porte desde arbustivo até arbóreo, porém com árvores finas e compactamente dispostas (YADA, 2011).

O cronograma das atividades do projeto para recuperação das áreas degradadas na mina Potosi é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Cronograma de atividades do projeto para recuperação das áreas degradadas da mina Potosi

Atividades	Anos					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Retirada de sucatas	x					
Recomposição topográfica	x					
Análises físicas		x	x	x	x	x
Análises químicas		x	x	x	x	x
Análises biológicas		x	x	x	x	x
Preparo dos terrenos	x					
Correção química da fertilidade do solo	x					
Adubação verde	x					
Restauração da vegetação			x			
Plantio de mudas			x			
Adubação e manutenção das mudas			x	x	x	x
Replantio de mudas			x	x	x	x
Adensamento			x	x	x	x
Enriquecimento			x	x	x	x
Monitoramento	x	x	x	x	x	x

Os tratamentos foram classificados de acordo com as áreas e os tipos de substrato, conforme tabela a seguir.

Tabela 3 – Descrição dos tratamentos de acordo com as áreas e os tipos de substrato

Área	Substrato	Tratamentos
1	Rejeito Capeado	RC1
2	Piso de Lavra	PL1
3	Rejeito Capeado	RC3
4	Greisen	GR4
5	Rejeito Seco	RS5
6	Piso de Lavra	PL6
7	Rejeito Seco	RS7
8	Rejeito Seco	RS8
9	Rejeito Seco	RS9
10	Rejeito Capeado	RC10
11	Rejeito Seco	RS11
12	Piso de Lavra	PL12
13	Capoeira	CAP
14	Mata	MATA

PL= piso de lavra; RS= rejeito seco; RC= rejeito capeado; GR= greisen; MATA= área de mata; CAP= área de capoeira.

4.3 Amostragem e preparo das amostras de solo

As amostragens de solo para as análises foram realizadas de abril de 2013 a outubro de 2013. As coletas foram realizadas na camada 0-20 cm. Em cada área foram obtidas 4 amostras simples, que foram juntadas e homogeneizadas para formar uma amostra composta. As amostras de solo foram embaladas e mantidas em ambiente refrigerado, passadas em peneira de 5 mm de malha e enviadas para o Laboratório de Biogeoquímica da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, onde foram analisadas.

4.4 Atributos bioquímicos avaliados

Para a determinação da atividade de desidrogenases, utilizou-se o método descrito em Melo et al. (2010), que consiste em incubar as amostras de solo na presença e na ausência de substrato cloreto de trifeniltetrazólio (TTC) a 30°C por 24 horas, seguindo-se a quantificação do trifênilformazan (TPF) formado por espectrofotometria na região do visível.

O método descrito por Schuner e Rosswall (1982) foi utilizado na determinação da atividade do potencial de hidrolise do diacetato de fluoresceína (FDA), no qual amostras de solo foram incubadas com e sem o substrato FDA em meio de solução tampão fosfato de sódio 60 mol L⁻¹ por 3 horas, sob agitação, e na temperatura de 24°C. Em seguida, a fluoresceína formada foi extraída e determinada por espectrofotometria.

A respiração basal do solo foi determinada quantificando o CO₂ liberado de amostras de solo incubadas hermeticamente na presença de solução de NaOH 0,05 mol L⁻¹ e titulando-se com solução de HCl 0,05 mol L⁻¹ após 3 dias de incubação a 25°C (ALEF; NANNIPIERI, 1995) como se pode observar na Figura 8.

Figura 82 - Titulação inicial da solução de NaOH que recebeu o CO_2 produzido pela respiração dos micro-organismos do solo



Figura 9 - Ponto final da titulação inicial da solução de NaOH que recebeu o CO₂ produzido pela respiração dos micro-organismos do solo



O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi avaliado pelo método proposto Mendonça e Matos (2005), que consiste no uso de energia eletromagnética através de micro-ondas, causando efeito na transferência de energia e temperatura, levando a um rompimento da membrana celular com liberação dos compostos intracelulares. Para cada amostra de solo, foram usadas duas subamostras, uma submetida a micro-ondas e outra não. Fez-se uso de um forno micro-ondas da marca LG durante 13 minutos com potência de 700 W. Em ambas as amostras, determinou-se o teor de C-orgânico pelo método da oxidação por via úmida com dicromato de potássio em presença de ácido sulfúrico concentrado de Walkley e Black modificado (EMBRAPA, 1997).

Figura 10 - Amostras de solo no forno micro-ondas para análise do carbono da biomassa microbiana do solo



Figura 31: Amostras de solo tratadas ou não por micro-ondas em banho maria para análise da biomassa microbiana do solo



O calculo do quociente metabólico (qCO_2) foi feito com os valores da respiração basal e do carbono da biomassa microbiana com base em Anderson e Domsch (1993).

4.5 Atributos químicos avaliados

Para as análises químicas de fertilidade do solo, as amostras foram secas ao ar e à sombra e passadas em peneira com 2 mm de malha (TFSA).

Utilizaram-se os métodos descritos por Raij et al. (2001) para determinação dos atributos químicos de fertilidade do solo, pH em $CaCl_2$, matéria orgânica, fósforo extraído pelo método da resina de troca iônica, K, Ca, Mg, H+Al, soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%).

4.6 Análises dos resultados

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, com 14 tratamentos e 3 repetições. Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente pela análise da variância e teste F. Quando o teste F foi significativo a 5%, as médias foram comparadas, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises bioquímicas

Os resultados relacionados à respiração basal (RB) referente ao ano de 2013 encontram-se na Tabela 5, cujos valores variaram de 124,71 a 432,89 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹. A área denominada como RS11 foi a que obteve maior índice de CO₂ liberado, inclusive em comparação com a CAP, que apresentou 139,04 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹. Mazurana et al. (2013) cita o descrito por Follet e Schimel (1989), que mencionam a relação entre a maior liberação de CO₂, com a maior atividade biológica que, por sua vez, está diretamente relacionada com a quantidade de carbono lábil existente no solo.

Tabela 4 - Respiração basal, carbono da biomassa microbiana do solo e quociente metabólico em áreas da mina Potosi submetidas a um programa de recuperação após mineração de cassiterita

Tratamentos	Respiração Basal mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹	Carbono Biomassa Microbiana mg C kg ⁻¹	Quociente Metabólico mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹
RC1	156,96 ab	324,74 b	471,80 a
PL2	142,62 b	344,76 b	416,26 a
RC3	124,71 b	220,32 b	604,21 a
GR4	339,72 ab	217,77 b	1858,45 a
RS5	139,04 b	204,14 b	815,77 a
PL6	217,88 ab	163,53 b	1403,57 a
RS7	210,71 ab	226,76 b	925,67 a
RS8	260,88 ab	183,52 b	1198,94 a
RS9	293,13 ab	199,44 b	1470,10 a
RC10	328,97 ab	347,86 b	1067,78 a
RS11	432,89 a	261,92 b	1701,17 a
PL12	257,30 ab	308,19 b	1062,27 a
CAP	139,04 b	936,29 a	150,06 a
MATA	185,62 ab	973,01 a	191,13 a
CV (%)	41,63	22,97	63,50

PL= piso de lava; RS= rejeito seco; RC= rejeito capeado; GR= greisen; MATA= área de mata; CAP= área de capoeira. Na mesma coluna, médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto ao carbono da biomassa microbiana (CBM), os solos de MATA e de CAP apresentaram valores superiores às demais áreas avaliadas. Esses resultados devem-se, provavelmente, à menor (ou nenhuma) interferência antrópica realizada na área. Carneiro et al. (2008, p. 8) mencionam o grande significado ecológico que a biomassa microbiana do solo tem, enfatizando-se sua função de armazenador de nutrientes e de regulador da ciclagem da matéria orgânica, servindo de indicador das interferências e da qualidade do solo. Promover o aumento deste atributo do solo pode ser fundamental no resultado do processo de recuperação de áreas degradadas, pois, como disse Stenberg (1999) citado por Nunes et al. (2009), solos que conservam alto conteúdo de biomassa microbiana são capazes de armazenar e ciclar mais nutrientes através do sistema.

Em estudos realizado por Carneiro et al. (2008) em área com revegetação inicial de áreas recém-mineradas, pode-se observar incremento nos teores de C, N e P na biomassa microbiana quando comparadas com as áreas recém-mineradas sem revegetação, mas este incremento nem sempre foi suficiente para atingir teores semelhantes aos das áreas de referência no momento da amostragem.

Em relação ao quociente metabólico (qCO_2), não foi constatada diferença, entretanto, o GR4 apresentou cerca de 10 vezes mais CO_2 do que a MATA ($1858,45 \text{ mg } CO_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ e $191,13 \text{ mg } CO_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ respectivamente). Os demais tratamentos também apresentaram alto valor de $\text{mg } CO_2/\text{g CBM} \cdot \text{h}$ comparados a MATA e a CAP, o que, segundo Dias Junior et al. (1998), pode apontar alto grau de estresse neste local, uma vez que alto qCO_2 indica que a população microbiana está demonstrando elevado gasto de energia na sua manutenção mediante a elevação da respiração.

Ao compararem diferentes biomassas microbianas quanto à sua eficiência metabólica, Sousa (2014) menciona o informado por Insam e Domsch (1988), que consideram a biomassa mais eficaz como àquela que perdesse menos carbono na respiração e englobasse mais à suas células. No mesmo caminho, Carneiro et al. (2009) cita Gama-Rodrigues (1999), expondo que nos estudos feitos sobre manejo do solo, deve sempre buscar sistemas que promovam valores inferiores para o qCO_2 , pois, nesses sistemas, há equilíbrio na biomassa microbiana, com menores perdas de CO_2 pela respiração e maior sua incorporação de C à biomassa microbiana. Sendo assim, os melhores resultados obtidos foram no tratamento MATA e CAP.

Os dados sobre a atividade das enzimas desidrogenases e potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 5 - Atividade de desidrogenases e potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) em áreas degradadas pela mineração de cassiterita na mina Potosi, Floresta Nacional do Jamari, Estado de Rondônia, em fase de recuperação

Tratamento	Desidrogenases mg TFF kg ⁻¹ h ⁻¹	FDA mg kg ⁻¹ h ⁻¹ fluoresceína
RC1	0,5500 bc	28,52 a
PL2	0,3567 c	20,43 a
RC3	0,4633 bc	23,70 a
GR4	0,4933 bc	42,54 a
RS5	0,3000 c	40,06 a
PL6	0,3667 c	17,30 a
RS7	0,3500 c	20,10 a
RS8	0,4367 bc	15,90 a
RS9	0,3367 c	12,25 a
RC10	0,4033 bc	24,54 a
RS11	0,3433 c	12,53 a
PL12	0,4733 bc	30,99 a
CAP	2,0167 a	36,37 a
MATA	1,7533 ab	24,78 a
CV (%)	75,94	58,61

PL= piso de lavra; RS= rejeito seco; RC= rejeito capeado; GR= greisen; MATA= área de mata; CAP= área de capoeira. Na mesma coluna, médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na análise da atividade da desidrogenases, os tratamentos CAP e MATA se destacaram, obtendo valores superiores dos demais tratamentos. Os demais não diferiram entre si. Em estudos feitos por Longo, Ribeiro e Melo (2011), os autores observaram que, o plantio de leguminosas para a atividade da desidrogenases, promoveu aumento no tempo, porém não se distinguiu entre os anos de plantio, apontando que provavelmente, mais alguns anos seriam necessários para que esta atividade se aproxime do valor verificado na mata.

Garcia et al. (1997) afirmam que a atividade de desidrogenases do solo reflete a atividade oxidativa total da microbiota, podendo agir como um bom indicador da atividade microbiana, sendo incentivada pela adição de material orgânico ao solo.

Teixeira (2004) observou, em estudos feitos na mesma região de recuperação deste trabalho, que a atividade de desidrogenases foi o indicador mais sensível do que a biomassa microbiana para demonstrar as modificações provocadas pela atividade da mineração, sendo

possível detectar atividade enzimática mesmo na testemunha absoluta (solo degradado sem tratamento).

O potencial de hidrólise do FDA representa o potencial heterotrófico do solo, pois abrange a atividade de grupos de enzimas que atuam na decomposição de materiais orgânicos, como as proteases, lipases e esterases (SCHNURER; ROSWALL, 1982). Carneiro et al. (2008) descreveram que a recuperação do atributo bioquímico potencial de hidrólise do FDA pode indicar efeitos no ciclo de energia do sistema solo-planta e de nutrientes no solo, sendo sua recuperação, um fator primordial para o sucesso da reabilitação de áreas que sofreram modificações antrópicas.

Para o potencial de hidrólise do FDA, não foram observadas diferenças entre os tratamentos, sugerindo que as áreas em recuperação já atingiram o mesmo nível da MATA e da CAP, pois, como observado por Carneiro et al. (2008), há aumento rápido na atividade da hidrólise do FDA após a restauração de uma área minerada, com valores similares nas áreas após um ano. Considerando que apenas o plantio de leguminosas não é suficiente para que uma área degradada atinja o nível de equilíbrio da mata nativa do entorno, pode-se concluir que o potencial de hidrólise do FDA não foi um bom fator de avaliação.

5.2 Análises químicas

Os dados sobre as análises químicas das amostras de solo obtidas nas áreas em estudo podem ser observados na Tabela 7, onde o teor de fósforo (P), extraído pelo método da resina, não revelou diferenças entre os tratamentos, com exceção da mata. Segundo Longo, Ribeiro e Melo (2005), a mineração a céu aberto requer remoção da vegetação e da camada superficial do solo, promovendo sensível diminuição nos teores de fósforo na camada superficial do solo/substrato. As áreas em recuperação apresentaram teores baixos ou muito baixos de P para espécies florestais, com exceção do tratamento RS5, que se caracterizaram como valores médios e a MATA, que obteve alto índice de P, segundo Raij et al. (1997).

O teor de matéria orgânica (MO), como era de se esperar, apresentou valores superiores nas áreas MATA e CAP. Segundo Yada (2011), o baixo teor de MO nas áreas degradadas decorre do processo de mineração que causa a remoção da cobertura vegetal original do solo, lavagem e separação do material coletado.

A capacidade de troca catiônica (CTC) está diretamente relacionada à matéria orgânica e, por isso, as áreas MATA e CAP também apresentaram valores superiores aos demais tratamentos, que não diferiram entre si. Estudo feito por Raij (1969) revelou que, em 21 de 22 perfis de solos do Estado de São Paulo, a matéria orgânica foi de grande importância na CTC, contribuindo com 74% da CTC.

Os valores de potencial hidrogeniônico (pH) variaram de 3,8 na MATA, a 6,7 nos tratamentos PL2 e RS11. Essa variação do pH pode ser explicada pela calagem feita nas áreas em recuperação. Kitamura et al. (2008) e Alves e Souza (2008) constataram o mesmo efeito da calagem no pH do solo, ou seja, o solo natural apresentou acidez alta, e nos tratamentos de recuperação do solo, devido à calagem, o pH aumentou. De acordo com Baretta et al. (2005), o pH ácido favorece a atividade metabólica e facilita a liberação de CO₂ para a atmosfera.

O teor de potássio (K) não foi afetado pelos tratamentos, variando de 1,6 mmol_c/dm³ no tratamento RS5 a 0,4 mmol_c/dm³ nos tratamentos RC3, RS7, RS9 e RC10, apesar da adubação com KCl. O fato pode ser explicado pela possível ocorrência de lixiviação de bases. Segundo Raij et al. (1997), o tratamento RS5 apresentou médio teor de K. Os tratamentos PL2, GR4, PL6, CAP, MATA apresentaram baixo teor de K e os demais muito baixo teor de K.

Nos valores referentes à análise de cálcio (Ca), pode-se observar diferença entre alguns tratamentos. Destaque para o alto valor de Ca no tratamento PL2 com 15,2 mmol_c/dm³, seguido dos tratamentos RS5, RC10, RS7, RS9 e RS8. Os tratamentos RC3, GR4, PL6, PL12, CAP, MATA apresentaram baixo teor de Ca, os tratamentos RS8, RS9, médio teor de Ca e os demais, alto teor de Ca (RAIJ et al., 1997).

Os teores de magnésio (Mg) variaram de acordo com os teores de Ca, e o tratamento PL2 novamente foi destaque, com 13,1 mmol_c/dm³, sendo considerado, segundo o Raij et al. (1997), alto teor de Mg. Em alguns tratamentos podem ser observado altos teores em relação aos tratamentos MATA e CAP, o que se pode atribuir ao uso de calcário que, segundo Favaretto et al. (2000) proporciona alterações no teores de Ca e Mg. Segundo Raij et al. (1997), os tratamentos RS5, RS7 e RC10, apresentaram médio teor de Mg e os demais, baixo teor de Mg.

Tabela 6 - Análises químicas de amostras de solo coletadas em áreas degradadas pela mineração de cassiterita na mina Potosi, Floresta Nacional do Jamari, Estado de Rondônia, em fase de recuperação

Tratamento	P-resina mg/dm ³	MO g/dm ³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al mmolc dm ⁻³	SB	CTC	V %
RC1	1,7 b	11,3 b	4,8 abcd	0,7 a	1,5 b	0,5 b	21,7 cd	3,0 b	24,7 c	14,0 cd
PL2	3,7 b	6,3 b	6,7 a	0,9 a	15,2 a	13,1 a	7,3 d	29,0 a	36,3 c	79,0 a
RC3	2,0 b	10,0 b	4,2 cd	0,4 a	2,8 b	0,6 b	35,3 c	4,0 b	39,3 c	9,7 cd
GR4	2,0 b	10,7 b	4,4 bcd	0,8 a	3,1 b	1,5 b	26,7 cd	5,7 b	32,3 c	18,3 bcd
RS5	6,0 ab	4,7 b	6,0 abc	1,6 a	8,5 ab	3,9 b	6,3 d	17,3 ab	23,7 c	69,0 a
PL6	2,0 b	5,7 b	5,4 abcd	1,0 a	3,0 b	2,5 b	10,3 d	6,7 b	17,0 c	39,3 abcd
RS7	2,7 b	7,3 b	6,3 ab	0,4 a	7,7 ab	6,9 ab	8,3 d	15,0 ab	23,3 c	61,0 ab
RS8	1,7 b	5,3 b	5,0 abcd	0,6 a	6,0 ab	4,2 b	10,0 d	10,7 ab	20,7 c	45,3 abcd
RS9	3,3 b	5,0 b	5,7 abcd	0,4 a	6,6 ab	1,9 b	12,3 d	8,7 b	21,0 c	42,7 abcd
RC10	1,7 b	9,7 b	6,3 ab	0,4 a	7,8 ab	4,3 b	11,0 d	15,3 ab	26,3 c	52,7 abc
RS11	4,7 ab	4,7 b	6,7 a	0,5 a	3,6 b	2,6 b	6,0 d	6,7 b	12,7 c	51,7 abc
PL12	1,7 b	9,3 b	4,4 bcd	0,6 a	2,5 b	1,7 b	26,7 cd	5,0 b	31,7 c	16,7 bcd
CAP	5,0 ab	28,0 a	3,9 d	0,8 a	0,7 b	0,6 b	98,3 b	2,0 b	100,3 b	2,0 d
MATA	9,0 a	34,7 a	3,8 d	0,9 a	1,4 b	1,6 b	140,0 a	4,3 b	144,3 a	3,0 d
CV (%)	49,19	24,87	13,10	57,87	71,89	71,25	23,15	68,85	22,85	41,37

PL= piso de lavra; RS= rejeito seco; RC= rejeito capeado; GR= greisen; MATA= área de mata; CAP= área de capoeira. Na mesma coluna, médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A análise da acidez potencial (H^+Al) revelou valores superiores na MATA e CAP, sendo respectivamente $140,0 \text{ mmolc/dm}^3$ e $98,3 \text{ mmolc/dm}^3$. Com exceção do tratamento RC3, as demais áreas não diferiram entre si. Os tratamentos apresentaram dados inversamente proporcional ao pH de suas respectivas áreas, o mesmo observado por Silva, Avellar e Bernardi (2000). Loss et al. (2009) observaram que os valores de pH são decorrentes da ausência de Al^{3+} e dos baixos valores de H^+Al .

A soma de bases (SB) apresentou valor de $29,0 \text{ mmolc/dm}^3$ no tratamento PL2, sendo o maior valor encontrado. As áreas RS5, RC10, RS7 e RS8 também diferenciaram dos demais tratamentos. A SB está relacionada à soma de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} .

A saturação por bases (V%) apresentou maior valor na amostra do tratamento PL2, assim como a SB. O valor encontrado foi de 79%, seguido do tratamento RS5 com 69%. As áreas MATA e CAP apresentaram 3% e 2% respectivamente. Corrêa et al. (2005) observaram que com o aumento de V%, houve aumento linear do teor de Ca e pH, aumento nos teores de Mg e na relação Ca:Mg. Observaram ainda que o H^+Al reduziu com o aumento dos índices de V%. Segundo Raij et al. (1997), os tratamentos RC1, RC3, GR4, PL12, MATA, CAP apresentaram saturação por bases muito baixa, PL6, RS8, RS9, baixo, RS5, RS7, RC10, RS11, média, e PL2, alta saturação por bases.

6 CONCLUSÕES

As análises dos atributos químicos e bioquímicos do solo apresentam respostas diferenciadas nas áreas avaliadas.

As áreas avaliadas ainda não atingiram os níveis apresentados pela mata nativa e pela capoeira, havendo necessidade de continuar com a aplicação do plano de recuperação estabelecido.

A área PL2, cujo substrato é o piso de lavra, apresenta os maiores valores de pH, Ca, Mg, SB e V%, provavelmente oriundo dos tratamentos realizados nas áreas, como calagem e aplicação de calcário.

REFERÊNCIAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. London, **Academic Press**, 1995. 320p.

ALMEIDA, R. O. P. O.; SANCHEZ, L. E. **Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho**. Viçosa/MG: Rev. Árvore, v.29, n.1, p.47-54, 2005.

ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. **Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v.32, n.6, p.2505-2516, 2008.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biol. Bioc.**, v.25, n.3, p.393-395, 1993.

ARAGAO, D. V. de et al. **Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense**. Acta Amaz, v.42, n.1, p.11-18, 2012.

ARAÚJO, A. S. F.; MELO, W. J. **Biomassa microbiana do solo**. Teresina/PI. Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí, 2012. 150p.

BARETTA, D. et al. **Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto sul catarinense**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v.29, p.715-724, 2005.

BARRETO, M. L. **Mineração e Desenvolvimento Sustentável: Desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro/RJ: CETEM/MCT, 2001. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/files/docs/livros/2001/desenv_sustentavel.pdf>. Acesso em: 25 agos 2014.

BITAR, O. Y. **Avaliação da Recuperação de Áreas Degradadas por Mineração na Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1997. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-25102001-165349/pt-br.php>>. Acesso em: 27 jul 2014.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C. **Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos**. Rev. bras. eng. agríc. Ambient, v.16, n.4, p.329-336, 2012.

BRASIL. Lei Federal 8.876, de 02 de maio de 1994. **Autoriza o Poder Executivo a instituir como Autarquia o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8876.htm> Acesso em: 01 set 2014.

CARNEIRO, M. A. C. et al. **Atributos Químicos, Físico e Biológicos de Solo de Cerrado sob Diferentes Sistemas de Uso e Manejo**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v.33, p.147-157, 2009.

CARNEIRO, M. A. C. et al. **Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v.32, n.2, p.621-632, 2008.

CARVALHO, H. T. R. **Avaliação Socioeconômica e Ambiental em uma Área Impactada pela Extração do Carvão**. Criciúma/SC: Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2008. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=129948>. Acesso em: 27 jul 2014.

CARVALHO, P. **Técnicas de recuperação e manejo de áreas degradadas**. GALVÃO, A. (Org.). Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais. Brasília/DF: Embrapa, 2000. p.251-268.

CORREA, P. F. **Avaliação dos Planos de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração de Argila no município de Içara, Santa Catarina**. Embrapa, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/handle/1/2403>>. Acesso em: 27 jul 2014.

CORRÊA, J. B. et al. **Índice de saturação por bases na nutrição e na produtividade de cafeeiros “Catuaí Vermelho”**. Coffee Science, Lavras, v.2, n.2, p.159-167, 2007.

COSTA, G. S. et al. **Aporte de nutrientes pela serapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v.28, p.919-927, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPN. **Informe Mineral Regional Norte - Amazônia 2007/2008**. DNPN, 2008. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=2742>. Acesso em: 21 ago 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPN. **Mineral Negócios - Guia do Investidor no Brasil**. Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000741.pdf>>. Acesso em: 21 ago 2014.

DIAS-JR, H. E. et al. **Metais Pesados, Densidade e Atividade Microbiana em Solo Contaminado por Rejeito de Indústria de Zinco**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v.22, p.631-640, 1998.

FARIAS, C. E. G. **Mineração e Meio Ambiente no Brasil**. PNUD, 2002. Disponível em: <http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboost_files/miner_c3_a7_c3_a3o_20e_20meio_20ambiente.pdf>. Acesso em: 25 ago 2014.

FAVARETTO, N. et al. **Efeito da Revegetação e da Adubação de Área Degradada na Fertilidade do Solo e nas Características da Palhada**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.35, n.2, p.289-297, 2000.

GARCIA, T. C.; HERNANDEZ, T.; COSTA, F. Potencial use of dehydrogenase activity as index of microbial activity in degraded soils. **Communications in soil science and plant analysis**, v.28, p.123-134, 1997.

GERMANI, D. J. **A mineração no Brasil - Relatório Final**. Rio de Janeiro: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2002. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/ct_mineral/documentos/ct-mineral04mineracao_no_brasil.pdf>. Acesso em: 25 ago 2014.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 3. ed. São Paulo: Edusp - Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. **A força da balança mineral brasileira 2013**. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00004427.pdf>>. Acesso em: 28 ago 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**. 7. ed. IBRAM, 2012. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00004430.pdf>>. Acesso em: 14 out 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. **Mineração e Economia Verde**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002708.pdf>>. Acesso em: 27 ago 2014.

KHATOUNIAN, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu/SP: Agroecologia, 2001

KITAMURA, A. E. et al. **Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v.32, n.1, p.405-416, 2008.

LAURENTINO, I. C.; SOUZA, S. C. **Uma Análise do Plano de Recuperação de Área Degradada com Vegetação Mangue**. Revista Holos, 2013. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/download/1321/690>>. Acesso em: 28 jul 2014.

LIMA, H. M.; FLORES, J. C. C.; COSTA, F. L. **Plano de recuperação de áreas degradadas versus plano de fechamento de mina: um estudo comparativo**. Rev. Esc. Minas, v.59, n.4, p.397-402, 2006.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. Í.; MELO, W. J. **Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: biomassa microbiana e atividade da desidrogenase**. Campinas/SP: Bragantia, v.70, n.1, p.132-138, 2011.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. Í.; MELO, W. J. **Uso da adubação verde na recuperação de solos degradados por mineração na floresta amazônica**. Campinas/SP: Bragantia, v.70, n.1, p.139-146, 2011.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. Í.; MELO, W. J. **Caracterização física e química de áreas mineradas pela extração de cassiterita**. Bragantia, v.64, n.1, p.101-107, 2005.

LOSS, A. et al. **Atributos Químicos e Físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em Sistema Integrado de Produção Agroecológica**. Rio de Janeiro/RJ: Universidade Federal do

Rio de Janeiro: Departamento dos Solos: Pesq. agropec. bras., Brasília, v.44, n.1, p. 68-75, 2009.

MAZURANA, M. et al. **Estoque de carbono e atividade microbiana em sistema de plantio direto consolidado no Sul do Brasil**. Rev. de Ciências Agrárias. 2013, vol.36, n.3, p. 288-296.

MELO, W. J. et al. **Avaliação da atividade enzimática em amostras de solo**. In: FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. A.; OLIVEIRA, J. P.; SANTOS, C. E. R.; STANFORD, N. P. (eds.). Biotecnologia Aplicada à Agricultura, Brasília/DF, Embrapa Informação Tecnológica, Recife, PE, Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2010. p.153-187.

MELO, J. W. et al. **Os desafios da nutrição mineral de plantas**. In: Renato de Mello Prado e Paulo Guilherme Salvador Wadt (Orgs.), Nutrição e Adubação de Espécies Florestais e Palmeiras. 1ed. Jaboticabal/SP. : FCAV/CAPEL. 2014. v.1, p.75-105.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa/MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107p.

MILLER JR., G. T. **Ciência Ambiental**. 1ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

MIRANDA NETO, A. et al. **Relações ecológicas entre estratos de uma área restaurada, com 40 anos, Viçosa/MG**. Floresta Ambient., v.19, n.4, p.393-404, 2012.

MONTEIRO, M. A. **Lições de Meio Século de Mineração Industrial**. Disponível em: <http://www3.ufpa.br/projetomineracao/publicacoes_estrut2.htm>. Acesso em: 17 ago 2014.

NUNES, L. A. P. L. et al. **Impacto da Queimada e de Enleiramento de Resíduos Orgânicos em Atributos Biológicos de Solos sob Caatinga no Semi-árido Nordeste**. Mossoró/RN: Rev. Caatinga, v.22, n.1, p.131-140, 2009.

RAIJ, B. V. **A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos**. Campinas/SP: Bragantia, vol.28, n.8, p.85-113, 1969.

RAIJ, B. V. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAIJ, B. V. et al. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.exagro.com.br/biblioteca/ct_exagro_boletim_tecnico_100.pdf>. Acesso em 01 nove 2014.

RIBEIRO, A. Í. et al. **Diagnóstico de uma área compactada por atividade minerária, na floresta amazônica, empregando métodos geoestatísticos à variável resistência mecânica à penetração do solo**. Acta Amaz., v.36, n.1, p.83-89, 2006.

SANCHES, A.C. **Adubação fosfatada e inoculação de leguminosas com Bradyrhizobium na recuperação de solo degradado pela mineração de cassiterita na região amazônica**.

Jaboticabal, 2002. 96p. Tese (Doutorado em agronomia)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.

SILVA, C. A.; AVELLAR, M. L.; BERNARDI, A. C. C. **Estimativa de Acidez Potencial pelo pH SMP em Solos do Semi-Árido do Nordeste Brasileiro**. Rev. Bras. Ci. Solo, v.24, p. 689-692, 2000.

SILVA, E. F. G. **Análise da implementação dos planos de recuperação de áreas degradadas pela mineração em Lourenço (AP)**. Belém, PA: Universidade Federal do Pará, 2005. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/2460>>. Acesso em 17 agos 2014.

SILVA, J. P. S. **Impactos Ambientais Causados por Mineração**. Revista Espaço da Sophia, 2007, n.8. Disponível em: <<http://www.registro.unesp.br/sites/museu/basededados/arquivos/00000429.pdf>>. Acesso em: 25 agos 2014.

SILVA JR., C. A.; BOECHAT, C. L.; CARVALHO, L. A. **Atributos químicos do solo sob conversão de floresta amazônica para diferentes sistemas na região Norte do Pará, Brasil**. Biosci. J., Uberlândia/MG, v.28, n.4, p.566-572, 2012.

SOUSA, H. M. **Atributos Microbiológicos do Solo em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária**. Dissertação (Mestrado). Cuiabá/MT: Universidade Federal de Mato Grosso: Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, 2014.

SCHUNER, J.; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied Environmental Microbiology**, v.43 p.1256-1261, 1982.

TEIXEIRA, T. T. **Aplicação de lodo de estação de tratamento de água em solo degradado por mineração de cassiterita**. Tese (Doutorado - Curso de Agronomia) - FCAV/UNESP, Jaboticabal. 85p. 2004.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **Uma visão sobre qualidade do solo**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v.33, n.4, p.743-755, 2009.

YADA, M. et al. **Atributos químicos em solos degradados por mineração em ecossistema amazônico em fase de recuperação-Serra da Onça**. Guarapari/ES: FERTBIO, 2010. Apresentação Resumida disponibilizada no Centro de Convenções do SESC.

YADA, M. M. **Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração em ecossistema amazônico em recuperação**. Jaboticabal, 2011. 66 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista - UNESP.