



Atributos químicos de solos degradados por mineração de cassiterita em fase de recuperação na mina Potosi, Estado de Rondônia⁽¹⁾.

Roberta Souto Carlos⁽²⁾; Wanderley José de Melo⁽³⁾; Marcela Midori Yada⁽⁴⁾; Regina Márcia Longo⁽⁵⁾, Admilson Írio Ribeiro⁽⁶⁾; Gabriel Maurício Peruca de Melo⁽⁷⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

⁽²⁾ Estudante de mestrado; Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp; Jaboticabal - SP; robertasouto@gmail.com; ⁽³⁾ Professor Titular; Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp; ⁽⁴⁾ Professora Assistente; Universidade Norte do Paraná; ⁽⁵⁾ Professor Assistente; Pontifícia Universidade Católica de São Paulo; ⁽⁶⁾ Professor Assistente; Universidade Estadual Paulista; ⁽⁷⁾ Professor Assistente; Universidade Camilo Castelo Branco.

RESUMO: A extração de minério tem representado grande potencial econômico para o Brasil e em especial para a Região Amazônica, contribuindo de forma decisiva para a balança comercial e desenvolvimento regional. Entretanto, a atividade de mineração é um dos principais responsáveis pela deterioração de solos em todo o mundo, gerando impactos sobre a área de exploração e seu entorno. Na mina Potosi, localizada na Floresta Nacional do Jamari, Estado de Rondônia, o processo de lavra de cassiterita (minério utilizado para extração de estanho para a produção de alumínio) se iniciou em 1982, causando grande impacto no ambiente. O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos químicos do solo de áreas degradadas por mineração em fase de recuperação e compara-los aos solos de mata nativa e capoeira. O Plano de Recuperação teve início em 2011, com a retirada de sucatas, recomposição topográfica, estabelecimento de curvas de nível, calagem, adubação mineral, orgânica e verde. Os substratos nas áreas degradadas são rejeito seco, greisen, rejeito capeado e piso de lavra. As amostras de solo foram coletadas na camada 0-0,20 m no ano de 2013 e analisadas em relação aos atributos químicos de fertilidade do solo. Solo de mata nativa e capoeira também foram coletados e analisados para efeito de comparação. 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, foi a que melhor respondeu ao plano de recuperação.

Termos de indexação: estanho, fertilidade do solo, Amazônia.

INTRODUÇÃO

A atividade de mineração influencia de maneira direta a economia de um país. Segundo

Melo et al. (2014), quanto mais desenvolvida a nação, maior sua dependência dos minerais.

O Brasil, por possuir uma geodiversidade privilegiada e uma vasta extensão continental, ocupa uma posição de destaque no setor de mineração (DNPM, 2006), com evidência na Região Amazônica.

O efeito benéfico da mineração reflete em diversos seguimentos do país, como o desenvolvimento regional, tecnológico e construções de estradas. Entretanto, apesar dos efeitos positivos, a atividade de mineração se posiciona entre as principais responsáveis pela deterioração de solos, causando impactos diretos e indiretos de diferentes naturezas sobre a área de exploração e seu entorno (Longo et al., 2011).

A ação da mineração sobre o solo, a vegetação, a fauna e os recursos hídricos é evidente, e segundo Sanches (2002), manifesta-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 extração de cassiterita, feita a céu aberto, emprega um processo de lavra quase totalmente mecânico, fazendo uso de equipamentos que geram intensa degradação do solo. (Yada et al., 2010).

Segundo Almeida & Sanches (2005), devido à degradação ambiental causada pela mineração, no Brasil, a partir de 1989, as empresas são obrigadas a apresentar ao órgão ambiental o PRAD (Plano de Recuperação de Áreas Degradadas). Esse documento estabelece procedimentos que trarão de volta a cobertura vegetal da área degradada, prática conhecida como revegetação.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar os atributos químicos do solo de áreas degradadas por mineração em fase de recuperação e compara-los aos solos de mata nativa e capoeira.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solo foram coletadas na área de mineração denominada Mina Potosi, localizada na Floresta Nacional (FLONA) do Jamari,



no Estado de Rondônia, no ano de 2013. Também foram coletadas amostras de solo em área de mata nativa e capoeira para efeito de comparação. A área é administrada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Minerais Renováveis – IBAMA, e situa-se no Município de Itapuã d'Oeste. Suas coordenadas geográficas são 09°00'00" e 09°30'00" latitude Sul, 62°44'05" e 63°16'54" longitude Oeste. Apresenta área aproximada de 215.000 ha. 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.

As reservas da jazida primária da Mina Potosi, 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.

O plano de recuperação da área foi iniciado em 2011 e previa a realização das seguintes etapas: retirada de sucatas, recomposição topográfica, caracterização física, química, biológica e bioquímica do solo degradado, preparo do terreno (escarificação e subsolagem), correção química da fertilidade do solo, adubação verde por 3 anos, plantio de mudas, adubação e manutenção das mudas, replantio de plantas, adensamento, enriquecimento e monitoramento. No momento da amostragem de solo, haviam sido realizados os procedimentos até a correção química da fertilidade do solo e adubação verde.

Os substratos nas áreas degradadas são rejeito seco, greisen, rejeito capeado e piso de lavra. A descrição dos tratamentos foi feita conforme a área e o tipo de substrato, gerando os seguintes tratamentos: RC1 (área 1, rejeito capeado), PL1 (área 2, piso de lavra), RC3 (área 3, rejeito capeado), GR4 (área 4, greisen), RS5 (área 5, rejeito seco), PL6 (área 6, piso de lavra), RS7 (área 7, rejeito seco), RS8 (área 8, rejeito seco), RS9 (área 9, rejeito seco), RC10 (área 10, rejeito capeado), RS11 (área 11, rejeito seco), PL12 (área 12, piso de lavra), CAP (área 13, capoeira) e MATA (área 14, mata nativa).

As amostras de solo foram coletadas na camada 0-0,20 m, com uma amostra composta formada de 4 amostras simples em cada uma das áreas. Foram secas ao ar e à sombra, passadas em peneira com 2 mm de malha e analisadas em relação aos atributos químicos de fertilidade do solo (RAIJ et al., 2001).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, com 14 tratamentos e 3 repetições. Os resultados obtidos foram submetidos à 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 .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos atributos químicos das amostras de solo são apresentados na **tabela 1**. O teor de fósforo (P) extraído pelo método da resina não revelou diferenças entre os tratamentos, com exceção da mata, que apresentou o teor mais elevado. Segundo Longo et al. (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 após o processo de mineração.

O teor de matéria orgânica (MO), como era de se esperar, apresentou valores superiores na MATA e CAP, que não diferiram entre si. Segundo Yada (2011), o baixo teor de MO nas áreas degradadas decorrente do processo de mineração, é devido à remoção da cobertura vegetal original do solo, lavagem e separação do material coletado.

A capacidade de troca catiônica (CTC) está diretamente relacionada à MO e, por isso, as áreas MATA e CAP também apresentaram valores superiores aos demais tratamentos.

Os valores de pH em CaCl₂ variaram nos tratamentos, sendo o valor mais baixo observado no tratamento MATA, que pode ser explicado pela calagem feita nas áreas em recuperação. Kitamura et al. (2008) constataram o mesmo efeito da calagem no pH do solo, ou seja, o solo natural apresentou acidez alta, enquanto os tratamentos em recuperação, devido à calagem, o pH aumentou.

O teor de potássio (K) não foi afetado pelos tratamentos, apesar da adubação com KCl aplicada nas áreas em recuperação. O fato pode ser explicado pela ocorrência de lixiviação do elemento.

Nos valores referentes à análise de cálcio (Ca), pode-se observar diferença entre tratamentos. Destaca-se o alto valor de Ca no tratamento PL2. Os tratamentos RC3, GR4, PL6, PL12, CAP, MATA apresentaram baixo teor de Ca; RS8, RS9, médio teor de Ca, e os demais, alto teor de Ca. (Raij et al., 1997). Os teores mais elevados de Ca nas áreas degradadas em relação à MATA e CAP são devidos à calagem e menor lixiviação do metal.

Os teores de magnésio (Mg) foi mais elevado no tratamento PL2, e os demais não diferiram entre si. Era de se esperar que os teores de Mg variassem de forma semelhante ao Ca, uma vez que ambos estão presentes no calcário (Favaretto et al., 2000).

A análise da acidez potencial (H+Al) revelou valores superiores na MATA e CAP. Os tratamentos



apresentaram dados inversamente proporcionais ao pH de suas respectivas áreas. Loss et al. (2009) observaram que os valores de pH mais elevados são decorrentes da ausência de Al^{3+} e dos baixos valores de H+Al.

A soma de bases (SB) apresentou maior valor no tratamento PL2. A SB está relacionada à soma de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , razão pela qual foi menor nos tratamentos MATA e CAP, que não receberam calagem e fertilização mineral.

A saturação por bases (V%) apresentou maior valor no tratamento PL2, assim como a SB, e foi menor nos tratamentos MATA e CAP, o que se deve ao menor teor em bases e à maior CTC. Corrêa et al. (2007) 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 de V%.

CONCLUSÕES

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, foi a que melhor respondeu ao plano de recuperação.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão da bolsa do primeiro autor. Ao CNPq, pela concessão de bolsa de produtividade. À empresa BRSCAN pelo apoio. Ao IBAMA pela permissão da realização do trabalho dentro da Floresta Nacional do Jamarí.

REFERÊNCIAS

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

CORRÊA, J. B. et al. Índice de saturação por bases na nutrição e na produtividade de cafeeiros "Catuaí Vermelho". *Coffee Science*, 2,2:159-167, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNP. 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.

FAVARETTO, N.; MORAES, A.; MOTTA, A. C. V.; PREVEDELLO, B. M. S.. Efeito da Revegetação e da

Aducação de Área Degradada na Fertilidade do Solo e nas Características da Palhada. *Pesq. agropec. bras.*, 35,2:289-297, 2000.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 32, 1:405-416, 2008.

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

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

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Atributos Químicos e Físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em Sistema Integrado de Produção Agroecológica. *Pesq. agropec. bras.*, 44, 1:68-75, 2009.

MELO, J. W.; MELO, G. M. P.; MELO, V. P.; YADA, M. M. Os desafios da nutrição mineral de plantas. In: Renato de Mello Prado e Paulo Guilherme Salvador Wadt (Orgs.), *Nutrição e Aducação de Espécies Florestais e Palmeiras*. 1ed. Jaboticabal/SP. : FCAV/CAPES. 2014. v.1, p.75-105.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).

SANCHES, A.C. Aducação 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.

YADA, M. M.; MELO, W. J.; LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I. 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.

Tabela 1 - 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 3 anos após a implantação do Plano de Recuperação.

Tratamento	P-resina mg/dm ³	MO g/dm ³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al	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