



## Atributos químicos do solo em uma mina de scheelita localizada no semiárido potiguar<sup>(1)</sup>.

Alana Rayza Vidal Jerônimo do Nascimento<sup>(2)</sup>; Karina Patrícia Vieira da Cunha<sup>(3)</sup>.

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos do Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária.

<sup>(2)</sup> Estudante; Universidade Federal do Rio Grande do Norte; Natal, Rio Grande do Norte; alanarayza15@hotmail.com;

<sup>(3)</sup> Professora; Departamento de Engenharia Civil; Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

**RESUMO:** A atividade de mineração altera a qualidade do solo ao remover a vegetação e os horizontes do solo e ao gerar grandes quantidades de estéreis e água residuária. Este trabalho avaliou os atributos químicos do solo na área de lavra da mina Barra Verde em Currais Novos-RN, a fim de gerar indicadores químicos da qualidade do solo. Amostras de solo foram coletadas nas áreas de deposição de estéril (PE); próxima do curso d'água residuária (AR); e com vegetação nativa (MT). Foram analisados: pH, condutividade elétrica,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$  trocáveis, matéria orgânica, fósforo disponível, CTCp e saturação por bases. As diferenças entre atributos químicos dos solos sob vegetação nativa e da área de lavra sugerem redução da qualidade do solo. Essa redução é esperada quando se constata a ausência de mecanismos de proteção ambiental e sanitária na mina Barra Verde. A deposição de estéril e o lançamento de água residuária no solo têm contribuído para sua salinização evidenciada pelo aumento de pH, da condutividade elétrica e da saturação por bases e pela redução de  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ . As reduções nos teores de matéria orgânica e fósforo disponível no solo da área de lavra são fatores restritivos ao desenvolvimento da vegetação. Os atributos químicos pH, condutividade elétrica, saturação por bases,  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ , matéria orgânica e fósforo disponível foram eficientes na distinção entre a área natural e minerada, devendo ser utilizados como indicadores químicos de qualidade do solo em programas de monitoramento ambiental de áreas mineradas no semiárido potiguar.

**Termos de indexação:** mineração, estéril, água residuária.

### INTRODUÇÃO

A atividade de mineração promove a remoção da vegetação, do solo e das camadas geológicas, sobrejacentes ou intercaladas ao minério de interesse, causando alterações na qualidade do solo original e na paisagem. Além disso, as atividades de lavra e de beneficiamento do minério geram grandes quantidades de estéreis e rejeitos que, juntamente com a produção de água residuária,

tornam-se fonte de contaminação do ambiente quando sua deposição sobre o solo não atende às medidas de proteção sanitária e ambiental (Pratas et al., 2005).

Assim, a inexistência de gerenciamento e controle de poluentes eficazes em todas as etapas da mineração são fatores que de fato contribuem para a redução da qualidade do solo não apenas na área de lavra mas também em toda a extensão da área de influência da mineração (Fu et al., 2011).

Neste contexto, ressalta-se a importância da elaboração de diagnósticos dos resíduos gerados e da qualidade do solo nas áreas de minas que orientem as medidas necessárias à redução de impactos gerados e à correção do solo, a fim de que os programas de recuperação de áreas degradadas pela mineração obtenham êxito.

Na mina Barra Verde, localizada no município de Currais Novos-RN, realiza-se, desde a década de 1940, a exploração do minério scheelita ( $\text{CaWO}_4$ ), incluindo sua extração, beneficiamento e comercialização. Ao longo dos anos, pilhas de estéril foram acumuladas a céu aberto sem nenhuma proteção, sendo expostas à ação do vento e da água da chuva e a água residuária resultante do beneficiamento do minério tem sido lançada no solo sem impermeabilização.

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar alterações nos atributos químicos do solo na área de lavra da mina Barra Verde localizada no município de Currais Novos-RN.

### MATERIAL E MÉTODOS

A mina de scheelita Barra Verde está localizada no município de Currais Novos ( $6^{\circ}15'39''$  Sul;  $36^{\circ}31'04''$  Oeste) no estado do Rio Grande do Norte. O clima da região é descrito pela classificação de Köppen & Geiger (1928) como do tipo BSw'h' (Estepe), caracterizado por um regime de escassez e distribuição desigual de chuvas, com média pluviométrica de 610,5 mm/ano e período chuvoso compreendido entre os meses de fevereiro e abril. As formações vegetais da área são esparsas e marcadas pelo caráter seco e baixo porte e incluem a caatinga hiperxerófila e a caatinga subdesértica do Seridó. Os solos predominantes são os Neossolos Litólicos eutróficos com A fraco,



fertilidade natural alta, textura arenosa/média, fase pedregosa, relevo plano a ondulado, baixa profundidade, drenagem moderada e alta suscetibilidade à erosão (EMBRAPA, 1971).

### Tratamento e amostragem

Na área de lavra da mina Barra Verde foram selecionadas duas áreas para amostragem do solo: área de deposição de estéril (PE); e área próxima de um curso d'água residuária proveniente do processo de beneficiamento do minério (AR). Para o estudo também foi selecionada uma área sob vegetação nativa (MT) com pouca ou nenhuma interferência antrópica e de mesma classe de solo em estudo a fim de servir como referência de qualidade natural do solo da região.

Os atributos químicos analisados foram: pH, condutividade elétrica (CE),  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  trocáveis, acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ), matéria orgânica (MO) e fósforo disponível (P). As análises desses atributos foram realizadas de acordo com métodos preconizados pela EMBRAPA (1999). A partir dos resultados obtidos do complexo sortivo, foram calculados os valores de capacidade de troca de cátions potencial (CTCp) e saturação por bases (V).

Para as análises dos atributos químicos, amostras deformadas do solo foram coletadas na profundidade de 0-20 cm em três repetições.

### Análise estatística

Os resultados experimentais foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e comparação das médias pelo teste de teste Tukey ( $p < 0,05$ ) (SAS v.8, 1999).

A Correlação Linear de Pearson foi realizada para evidenciar a proporcionalidade entre variáveis do solo quando desejado demonstrar e discutir a relação entre elas (SAS v.8, 1999).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As diferenças encontradas nos atributos químicos do solo revelam a influência da atividade de mineração na redução da qualidade do solo das áreas selecionadas para estudo (**Tabela 1**).

**Tabela 1** – Atributos químicos do solo, na profundidade de 0-20 cm, de áreas de lavra na mina Barra Verde, Currais Novos-RN.

Atributos	Áreas		
	MT	PE	AR
pH	6,75 B	8,00 A	8,39 A
CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	206,8 B	1.977,7 B	10.057,0 A
$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	15,33 A	13,83 A	25,77 A
$\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	4,27 A	2,83 AB	0,20 B
$\text{Na}^+$ ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	0,02 A	0,00 A	0,39 A
$\text{K}^+$ ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	0,15 A	0,02 A	0,01 A
$\text{Al}^{3+}$ ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	2,00 A	0,00 B	0,00 B
$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	1,93 A	0,45 B	0,22 B
CTCp ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	21,69 A	14,48 A	29,21 A
V (%)	91,15 B	95,96 AB	98,53 A
MO ( $\text{g kg}^{-1}$ )	19,90 A	6,10 B	8,43 B
P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	28,92 A	0,62 B	0,83 B

Áreas: MT = Área sob mata nativa; PE = Área de deposição de estéril; AR = Área próxima de um curso d'água residuária. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os valores de pH do solo da área de lavra da mina (PE e AR) aumentaram em comparação ao solo sob mata nativa (MT) (**Tabela 1**). O menor valor de pH ocorreu em MT e os maiores em PE e AR, evidenciando que, embora não tenha ocorrido alteração da reação do solo, a deposição de estéril e o lançamento de água residuária sobre o solo têm contribuído para sua salinização. A exposição do material estéril extraído das cavas e depositado em pilhas sobre o solo aos agentes intempéricos facilita o intemperismo químico dos minerais primários, que apesar de ser lento devido ao déficit hídrico na região semiárida, é contínuo devido a grande riqueza de minerais facilmente intemperizáveis. O aumento de pH pode comprometer o estabelecimento de vegetação nas áreas de lavra e dificultar os processos de recuperação do solo visto que o pH exerce forte influência na disponibilidade de nutrientes ao controlar a absorção e o transporte dos elementos (Campos et al., 2010).

A área AR apresentou aumento no valor de CE (**Tabela 1**), a qual se correlacionou positivamente com  $\text{Ca}^{2+}$  ( $r = 0,83^{**}$ ) e  $\text{Na}^+$  ( $r = 0,94^{**}$ ), indicando que a CE aumentou à medida que estas bases



trocáveis foram adicionadas ao complexo de troca do solo. Contudo, apesar desta indicação de aporte, os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$  não variaram entre as áreas do estudo, o mesmo foi constatado para o  $\text{K}^+$  (**Tabela 1**). Sendo assim, a única base trocável a apresentar diferença entre os solos amostrados foi o  $\text{Mg}^{2+}$  cujo maior teor ocorreu em MT e o menor teor em AR.

A predominância de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no complexo de troca do solo em MT está de acordo com o fato de serem elementos muito comuns da litosfera, refletindo a mineralogia do material de origem da região. Por outro lado, a redução do teor de  $\text{Mg}^{2+}$  em AR sugere que a atividade de mineração influencia a perda desta base, podendo prejudicar o desenvolvimento vegetal devido o papel do  $\text{Mg}^{2+}$  como co-fator em quase todas as enzimas do metabolismo energético e na molécula de clorofila (Garcia et al., 2007).

Além do maior teor de  $\text{Mg}^{2+}$ , MT também apresentou os maiores teores de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$  (**Tabela 1**), o que está de acordo com o menor pH verificado nesta área. A redução de  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$  nas áreas de lavra corrobora a tendência de salinização decorrente da atividade de mineração. Salienta-se que o baixo teor de  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$  fornece ao solo das áreas de lavra um menor poder de tamponamento da reação do solo, ou seja, diminui a capacidade do solo de persistir e retornar ao seu estado inicial diante de perturbações. A redução de  $\text{Al}^{3+}$  trocável, por sua vez, pode afetar a manutenção da vegetação nativa nas áreas de lavra tendo em vista que apesar de ser potencialmente tóxico para as plantas, o  $\text{Al}^{3+}$  pode atuar como filtro contra espécies exóticas sensíveis a este elemento (Bautista-Cruz et al., 2012).

A saturação por bases (V) dos solos das áreas estudadas apresentou valores superiores a 50%, caracterizando-os como eutróficos (**Tabela 1**), o que evidencia a alta fertilidade natural típica dos Neossolos da região semiárida caracterizada, principalmente, pelos altos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  trocável. O maior valor de V ocorreu em AR em decorrência da maior saturação do complexo sortivo por  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Na}^{2+}$  trocáveis. Não houve distinção nos valores de CTCp entre as áreas estudadas. Ressalta-se que a correlação positiva entre CE e V ( $r = 0,81^{**}$ ) indica que a maior saturação do complexo de troca do solo foi o reflexo do aumento da salinização do solo decorrente da mineração.

Menores teores de MO ocorreram em PE e AR devido à interrupção do aporte de serrapilheira, que corresponde a principal fonte de MO do solo, em decorrência da remoção da vegetação na área de lavra da mina (**Tabela 1**). A redução nos teores de MO implica em sérias consequências negativas

para a qualidade do solo, como diminuição da retenção de água e nutrientes e perda de estrutura, que aumenta a susceptibilidade do solo à erosão (Frouz et al., 2007), além de contribuir para a diminuição do sequestro de C no solo uma vez que os agregados do solo são responsáveis pela proteção física do C (Balabane & Plante, 2004).

As concentrações de P reduziram nas áreas PE e AR em comparação à MT (**Tabela 1**), evidenciando a forte relação de dependência entre a disponibilidade deste nutriente e o pH do solo, corroborada pela correlação negativa entre pH e P ( $r = -0,94^{**}$ ) identificada. O aumento de pH favorece a precipitação dos íons fosfato com o  $\text{Ca}^{2+}$ , formando o fosfato de cálcio. A formação deste mineral precipitado pode prejudicar o desenvolvimento da vegetação tendo em vista que o P fica indisponível para as plantas e sua deficiência é considerada fator limitante para a produção primária (Ramaekers et al., 2010). O fosfato de cálcio pode ser facilmente perdido em virtude da alta suscetibilidade à erosão característica dos solos da região semiárida e da ocorrência de enxurradas durante o período chuvoso. A concentração de chuvas em curto período resulta em um grande volume precipitado que favorece o transporte de fosfato de cálcio pelo escoamento superficial. Esta perda é ainda mais preocupante ao considerar que o fosfato de cálcio transportado pode alcançar os ambientes aquáticos adjacentes. Em meio aquoso o fosfato de cálcio é rapidamente solubilizado, contribuindo para o processo de eutrofização dos mananciais locais.

As alterações observadas nos atributos químicos dos solos das áreas PE e AR em comparação à MT configuram redução da qualidade do solo e alertam para o processo de degradação ambiental que ocorre na área. Logo, faz-se necessário a implantação de medidas de controle que orientem a deposição dos resíduos e que norteiem o processo de recuperação da área degradada pela mineração. Neste sentido, destaca-se a importância de se determinar locais de contenção de resíduos conforme os critérios preconizados na NBR 13028 (ABNT, 2006). No caso de construção de novas lagoas de água residuária, pode-se analisar a viabilidade de impermeabilizá-las, bem como o trajeto por onde a água escoar até a lagoa de forma a impedir o aporte de sais para o solo.

## CONCLUSÕES

A mineração de scheelita no semiárido potiguar provoca perda de qualidade do solo, evidenciando a necessidade de adoção de mecanismos de proteção ambiental e sanitária nas áreas mineradas.



O aumento da salinização do solo é consequência da deposição de estéril e do lançamento de água residuária no solo sem mediadas de proteção sanitária e ambiental.

A salinização do solo, os teores de matéria orgânica e de fósforo disponível são fatores restritivos ao desenvolvimento da vegetação e à recuperação do solo e do ambiente.

Atributos químicos como pH, condutividade elétrica, saturação por bases,  $H^+ + Al^{3+}$ , matéria orgânica e fósforo disponível foram eficientes na distinção entre a área natural e mineradas, devendo ser utilizados como indicadores químicos de qualidade do solo em programas de monitoramento ambiental de áreas mineradas no semiárido potiguar.

## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água. NBR 13028, Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, SP. 6 p, 2006.

BALABANE, M. & PLANTE, A. F. Aggregation and carbon storage in silty soil using physical fractionation techniques. *European Journal of Soil Science*, 55:415–427, 2004.

BAUTISTA-CRUZ, A., CASTILHO, R. F., ETCHEVERS-BARRA, J. D., GUTIÉRREZ-CASTORENA, M. C., BAEZ, A. Selection and interpretation of soil quality indicators for Forest recovery after clearing of a tropical montane cloud Forest in Mexico. *Forest Ecology and Management*, 277:74-80, 2012.

CAMPOS, M. C. C. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. *Ambiência Guarapuava (PR)*, 6:547-565, 2010.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Levantamento Exploratório-Reconhecimento dos solos do Rio Grande do Norte. Recife: Convênio de Mapeamento de Solos MA/DNPEA-SUDENE/DRN, 1971. 536 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia, 1999. 370 p.

FROUZ, J.; ELHOTTOVÁ, D.; PIŽL, V.; TAJOVSKÝ, K.; ŠOURKOVÁ, M.; PICEK, T.; MALÝ, S. The effect of litter quality and soil faunal composition on organic matter dynamics in post-mining soil: A laboratory study. *Applied Soil Ecology*, 37:72-80, 2007.

FU, S. S.; LI, J.; FENG, Q.; LI, X. J.; LI, P.; SUN, Y. B.; CHEN, Y. Soil quality degradation in a magnesite mining area. *Pedosphere*, 21(1):98-106, 2011.

GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; MIRANDA, G. V.; NEVES, J. C. L.; MORAES, W. B.; SANTOS, D. B. Teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio em plantas de milho sob estresse salino. *IDESIA (CHILE)*, 25(3):93-106, 2007.

KÖPPEN, W. & GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm, 1998.

PRATAS, J.; PRASAD, M. N. V.; FREITAS, H.; CONDE, L. Plants growing in abandoned mines of Portugal are useful for biogeochemical exploration of arsenic, antimony, tungsten and mine reclamation. *Journal of Geochemical Exploration*, 85:99-107, 2005.

RAMAEKERS, L.; REMANS, R.; RAO, I. M.; BLAIR, M. W.; VANDERLEYDEN, J. Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crop plants. *Field Crops Research*, 117:169–176, 2010.

SAS Institute. *Statistical analysis system: Procedure guide for personal computer*. Cary, 1999.