

## VI-009 - SOLO COMO FONTE DE CONTAMINAÇÃO DIFUSA EM MINAS DE SCHEELITA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

**Alana Rayza Vidal Jerônimo do Nascimento<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre em Engenharia Sanitária pela UFRN.

**Karina Patrícia Vieira da Cunha<sup>(2)</sup>**

Bióloga pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Doutora em Ciências do Solo pela UFRPE. Professora Adjunta da UFRN.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Natal, 92 – Cidade da Esperança - Natal - RN - CEP: 59071-100 - Brasil - Tel: (84) 2226-1893 - e-mail: [alanarayza15@hotmail.com](mailto:alanarayza15@hotmail.com)

### RESUMO

A atividade de mineração amplia o potencial do solo atuar como fonte de contaminação difusa de corpos d'água superficiais. Este trabalho teve por objetivo avaliar o potencial de contaminação difusa por fósforo nas áreas de lavra das minas Barra Verde e Olho d'Água, localizadas em Currais Novos-RN. Amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-40 cm em uma área com vegetação nativa (MT), nas áreas de deposição de rejeito (ROD) e de mistura de estéril e rejeito (EOD) na mina desativada Olho d'Água e nas áreas de deposição de estéril (PE), de deposição de rejeito (RBV), em uma área próxima de um curso de água residuária (AR) e em uma área recém-explorada (FP) na mina ativa Barra Verde. As reduções nos teores de fósforo nas áreas mineradas EOD, AR, PE e RBV evidenciam que a mineração favorece a perda deste elemento no solo. Isso pode ser explicado pela remoção da cobertura vegetal que aumenta a suscetibilidade do solo à erosão, ampliando o seu potencial em atuar como fonte de contaminação difusa de corpos d'água superficiais. A deposição de rejeito sobre o solo em ROD sem adequadas medidas de proteção sanitária e ambiental e sua exposição aos agentes intempéricos contribui para a elevação da concentração de fósforo nesta área em comparação à referência de qualidade natural do solo da região (MT) e às demais áreas. O aumento da concentração de fósforo em ROD se constitui uma fonte potencial de contaminação difusa para os demais componentes da bacia hidrográfica, inclusive para os corpos d'água superficiais próximos, podendo contribuir para o aumento do processo de eutrofização e, consequentemente, para a deterioração da qualidade da água. Diante dos resultados apresentados pelo presente estudo, que apontam para a contaminação difusa por fósforo, faz-se necessário selecionar procedimentos voltados para a redução dos impactos durante a fase de extração e realizar uma gestão criteriosa das atividades de recuperação pós-mineração, a fim de manter adequado equilíbrio ecológico nas áreas mineradas e restabelecer os processos essenciais do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mineração, Fósforo, Eutrofização, Rejeito.

### INTRODUÇÃO

A deterioração da qualidade das águas superficiais, em especial dos mananciais de abastecimento humano, pelo aporte excessivo de nutrientes decorrente das atividades antrópicas justifica a preocupação acerca do controle da contaminação por fontes pontuais e difusas. Este aporte intensifica o processo de eutrofização que promove a proliferação exagerada de produtores primários como as cianobactérias, as quais podem produzir toxinas que afetam a saúde da população consumidora e apresentam remoção limitada pelos processos convencionais de tratamento de água (ZAMYADI et al., 2012).

Devido à melhoria do controle de fontes pontuais nas últimas décadas, os esforços de pesquisa e de gestão para diminuir a contaminação por nutrientes têm sido reorientados para fontes difusas (SMITH e SICILIANO, 2015). Cumpre ressaltar o potencial do componente solo atuar como fonte de nutrientes e contaminantes para corpos d'água superficiais através principalmente da erosão e da perda do excesso de elementos quando sua função também é comprometida (HEATHWAITE et al., 2005).

Neste contexto, a deposição de materiais sobre o solo, tais como resíduos da mineração, que não atende às medidas sanitárias e ambientais necessárias, pode se constituir uma fonte de contaminação difusa para corpos d'água.

No semiárido brasileiro, abrangendo os Estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, está localizada a Província Scheelitífera do Seridó, onde ocorrem as principais mineralizações de scheelita ( $\text{CaWO}_4$ ), constituindo-se a maior concentração de minério de tungstênio do país (DANTAS, 2000). No município de Currais Novos-RN, a exploração da scheelita começou na década de 1940 e desde então grandes quantidades de rejeito e estéril foram acumuladas em pilhas a céu aberto sem nenhuma proteção, sendo expostas à ação do vento e da água da chuva. É válido destacar que a precariedade dos métodos e equipamentos utilizados no beneficiamento resultou em quantidades significativas de scheelita desperdiçada nos rejeitos (FERNANDES et al., 2009).

Recentemente, foi demonstrada a relação entre a atividade mineradora de scheelita na região e o aporte de contaminantes no sistema de drenagem do reservatório Gargalheiras (PETTA et al., 2004). Os autores verificaram a disponibilização de metais pesados a partir de pilhas de rejeito expostas no distrito de mineração, porém o potencial do solo das minas disponibilizar fósforo não foi avaliado e é de extrema importância quando se leva em consideração o estado de eutrofização deste reservatório (BEZERRA et al., 2014).

Dentre as minas existentes no município, a Barra Verde é uma das que está em operação e a Olho d'Água foi desativada após cerca de 40 anos de atividade. Salienta-se que as minas estão inseridas na bacia do rio Piranhas-Açu onde há importantes mananciais de abastecimento de água, destacando-se o reservatório Gargalheiras que abastece as cidades de Acari e Currais Novos, além de ser utilizado para dessedentação animal, recreação, pesca e agricultura irrigada.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de contaminação difusa por fósforo a partir do solo nas áreas de lavra das minas Barra Verde e Olho d'Água, localizadas em Currais Novos-RN.

## MATERIAIS E MÉTODOS

As minas de scheelita Barra Verde e Olho d'Água estão localizadas 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 do tipo BSh (Estepe) (KOTTEK et al., 2006), 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 (CPRM, 2005). Os solos predominantes são os Neossolos Litólicos eutróficos (EMBRAPA, 1971; EMBRAPA, 2013) com A fraco, fertilidade natural alta, textura arenosa/média, fase pedregosa, relevo plano a ondulado, baixa profundidade, drenagem moderada e alta suscetibilidade à erosão natural (CPRM, 2005).

A mina Olho d'Água foi desativada em 1976 após aproximadamente quatro décadas em atividade. Na mina Barra Verde, as atividades se iniciaram em 1947, foram interrompidas no final da década de 1990, em virtude da queda do preço do minério no mercado internacional, e retornaram a partir de 2005 com a perspectiva de reaproveitamento da scheelita desperdiçada nas antigas pilhas de rejeito. A extração da scheelita é realizada, na mina Barra Verde, através da metodologia subterrânea de câmaras e pilares. O beneficiamento do mineral inclui as etapas de fragmentação (britagem e moagem) e concentração gravimétrica (jigues e mesas vibratórias). Os equipamentos de concentração gravimétrica obtêm concentrados de scheelita explorando as características físicas do mineral, principalmente a densidade. Através do jigues, obtém-se o primeiro concentrado de scheelita, um material grosseiro. O rejeito do jigues alimenta mesas vibratórias que obtêm um concentrado de scheelita de granulometria fina (Figura 1). Os dois concentrados obtidos são levados a um forno rotativo de ustulação para queima na faixa de  $600^{\circ}\text{C}$ . A fração da pirita fina existente é eliminada por volatilização, mas a fração de maior tamanho segue ainda para a próxima etapa. Por último, os concentrados são levados para um separador eletromagnético para eliminação do ferro e da pirita magnetizada.



**Figura 1: Mesa vibratória com detalhe para o rejeito e o concentrado fino da scheelita, mina Barra Verde, Currais Novos-RN.**

Nas minas em estudo, sete áreas foram selecionadas para amostragem do solo. Na mina desativada Olho d'Água, amostras de solo foram coletadas em duas áreas: área de deposição de rejeito (ROD) e área de mistura de estéril e rejeito (EOD) (Figura 2). Na mina ativa Barra Verde, amostras de solo foram coletadas em quatro áreas: área de deposição de estéril (PE) (Figura 3); área de deposição de rejeito (RBV) (Figura 4); área próxima de um curso d'água residuária proveniente do processo de beneficiamento da scheelita (AR) (Figura 5) e área recentemente explorada para investigar a concentração de scheelita no local (FP). Para o estudo também foi selecionada uma área com 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.



**Figura 2 – Área de mistura de estéril e rejeito na mina desativada Olho d'Água, Currais Novos/RN.**





**Fotografia 3 – Área de deposição da pilha de estéril na mina Barra Verde, Currais Novos-RN.**



**Fotografia 4 – Área de deposição de rejeito na mina Barra Verde, Currais Novos/RN.**



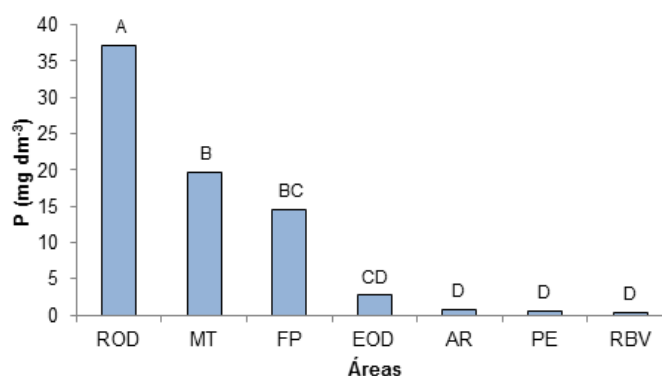
**Fotografia 5 – Curso de água residuária na mina Barra Verde, Currais Novos-RN.**

As amostras deformadas do solo foram coletadas na profundidade de 0-40 cm em cinco pontos amostrais simples em cada área selecionada para o estudo. As cinco amostras simples foram misturadas para compor uma amostra composta de aproximadamente 500 g. Todo o procedimento foi repetido três vezes visando à obtenção de três repetições para cada área selecionada. As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha para obtenção da terra fina seca ao ar, a qual foi submetida a análise laboratorial. A análise de fósforo disponível foi realizada por colorimetria após extração com extrator Mehlich-1 (EMBRAPA, 1999).

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

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de fósforo disponível variaram significativamente entre as áreas selecionadas para o estudo (Figura 6). Nas áreas EOD, AR, PE e RBV, os teores de fósforo disponível inferiores ao de MT demonstram que a mineração favorece a perda deste nutriente. Nessas áreas mineradas, os teores de fósforo disponível podem prejudicar o desenvolvimento da vegetação, bem como o processo de recuperação do solo, tendo em vista que a deficiência de P é considerada fator limitante para a produção primária, principalmente nos trópicos e subtropicais (RAMAEKERS et al., 2010). A ausência de vegetação nas áreas de lavra aumenta a suscetibilidade do solo à erosão, ampliando o seu potencial em atuar como fonte de contaminação difusa de corpos d'água superficiais.



**Figura 6 – Teores de fósforo disponível (P) dos solos de áreas de lavra das minas Barra Verde e Olho d'Água, Currais Novos-RN. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.**

Diferente das demais áreas mineradas, ROD apresentou maiores teores de P disponível no solo que em MT. Cabe ressaltar que ROD corresponde à área de deposição de rejeito de uma mina desativada há cerca de 40 anos. O rejeito depositado na área corresponde à rocha fragmentada durante o processo de beneficiamento da scheelita. Ao longo dessas quatro décadas, a exposição dos minerais que compõe o rejeito às condições ambientais favoreceu a ocorrência do intemperismo químico, o que pode explicar essa disponibilização de P no solo do local. Admitindo-se o teor de fósforo em MT como o limite aceitável que pode ser mantido ou assimilado pelo sistema solo, o excedente de P em ROD pode ser perdido para os corpos d'água superficiais existentes nas proximidades das minas, favorecendo o processo de eutrofização e, consequentemente, a deterioração da qualidade da água (HEATHWAITE et al., 2005).

Contribuem para intensificar o risco de contaminação difusa por fósforo nas áreas mineradas, as características naturais dos solos da região semiárida brasileira, como elevada suscetibilidade à erosão e baixa capacidade de adsorção resultantes da predominância da fração areia em detrimento da fração argila. As perdas de solo e de rejeito por erosão hídrica são relevantes tendo em vista a baixa profundidade do solo e pouca cobertura devido à vegetação esparsa e de pequeno porte do bioma caatinga (OYAMA e NOBRE, 2004). Além disso, a ocorrência de eventos chuvosos concentrados em poucos dias do ano agrava o processo erosivo na área. A textura arenosa dos solos da região também acentua a erosão hídrica, pois por serem mais friáveis e menos

coesos, os solos arenosos são vulneráveis à desagregação e ao transporte de partículas (VITTE e MELLO, 2007).

Além de favorecer as perdas de solo e de rejeito por erosão, as características dos solos da região concorrem também para a perda de solução do solo rica em nutrientes. Nos solos da região semiárida, os baixos teores de argila e óxidos reduz a formação de complexos de fósforo com Fe e Al e, consequentemente, reduz a capacidade de adsorção de fósforo no solo. Logo, a não formação de complexos aumenta a concentração de fósforo na solução do solo, facilitando seu transporte pelas enxurradas para os ambientes aquáticos adjacentes. Ao estudar a influência da erosão e da composição química do solo no processo de eutrofização dos corpos d'água superficiais, Ekholm e Lehtoranta (2012) verificaram que solos com baixos teores de Fe, característicos da região semiárida, contribuem para uma maior entrada de fósforo dissolvido e um aumento no processo de eutrofização dos ecossistemas aquáticos. De fato, estudos mostram que a eutrofização dos reservatórios Dourado e Gargalheiras, localizados, respectivamente, nos municípios de Currais Novos e Acari, tem o solo como fonte difusa de nutrientes (BEZERRA et al., 2014).

Diante disso, o teor de P disponível em ROD é ainda mais preocupante ao considerar que as pilhas de rejeito estão expostas sobre o solo desde o encerramento das atividades da mina e ainda há elevada concentração de fósforo remanescente com elevado potencial de difusão.

A ausência de medidas de controle que orientem a deposição dos resíduos e que norteiem o processo de recuperação da área degradada pela mineração favorece perdas de solo e nutrientes e a contaminação das águas superficiais, acelerando a degradação ambiental. Além disso, resulta em solos com propriedades físicas, químicas e microbiológicas seriamente alteradas e provocam reduções significativas de sua qualidade ambiental (LUNARDI NETO et al., 2008).

Neste sentido, destaca-se a necessidade de se determinar locais de contenção de rejeito conforme os critérios preconizados na NBR 13028:2006 (ABNT, 2006). A contenção realizada por meio de barragens ou diques deve impedir que o rejeito seja perdido por erosão e aporte elementos para o solo.

Enfatiza-se que, além de ampliar o seu potencial em atuar como fonte de contaminação difusa do ambiente, a alteração do teor de fósforo disponível do solo pode causar uma reação em cadeia e modificar o funcionamento de todo o sistema solo. No caso específico desse estudo, as pilhas de rejeito da mina Olho d'Água podem contribuir para o agravamento do processo de eutrofização encontrado em reservatórios da região.

## CONCLUSÕES

A deposição de rejeito sobre o solo em ROD sem adequadas medidas de proteção sanitária e ambiental e sua exposição aos agentes intempéricos contribui para o teor elevado de fósforo disponível nesta área em comparação à referência de qualidade natural do solo da região (MT) e às demais áreas.

O teor elevado de fósforo disponível em ROD se constitui uma fonte potencial de contaminação difusa para os demais componentes da bacia hidrográfica, inclusive para os corpos d'água superficiais próximos, podendo contribuir para o processo de eutrofização e, consequentemente, para a deterioração da qualidade da água.

Faz-se necessário conhecer e selecionar procedimentos voltados para a redução dos impactos durante a fase de extração e realizar uma gestão criteriosa das atividades de recuperação pós-mineração, a fim de manter adequado equilíbrio ecológico nas áreas mineradas e restabelecer os processos essenciais do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. 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.
2. BEZERRA, A. F. M.; BECKER, V.; MATTOS, A. Balanço de massa de fósforo total e o estado trófico em reservatórios do semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.19, n.2, p.67-76, abr/jun 2014.
3. DANTAS, J. R. A. Distritos Mineiros do Nordeste Oriental. DANTAS, J. R. A.; BARROS, L. B.; SOUZA, V. C.; MONT'ALVERNE, A. A. F. Recife: DNPM 4º Distrito, 2000. 90p.
4. EKHOLM, P.; LEHTORANTA, J. Does control of soil erosion inhibit aquatic eutrophication?. *Journal of Environmental Management*, v.93, p.140-146, 2012.
5. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.
6. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Levantamento Exploratório-Reconhecimento dos solos do Rio Grande do Norte. Recife: Convênio de Mapeamento de Solos MA/DNPEA-SUDENE/DRN, 1971. 536 p.
7. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária; organizador Fábio César da Silva. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.
8. FERNANDES, B. R. B.; MACHADO, A. O.; LEITE, J. Y. Lixiviação de scheelita – uma revisão do estado da arte. IV CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2009. Anais. Belém - PA, 2009.
9. HEATHWAITE, A. L.; QUINN, P. F.; HEWETT, C. J. M. Modelling and managing critical source areas of diffuse pollution from agricultural land using flow connectivity simulation. *Journal of Hydrology*, v.304, p.446-461, 2005.
10. KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, v.15, p.259-263, 2006.
11. LUNARDI NETO, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; MAFRA, A. L.; MEDEIROS, J. C.; ALBERTON, A. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1379-1388, 2008.
12. OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. Climatic consequences of a large-scale desertification in Northeastern Brazil: a GCM Simulation study. *Journal of Climate*, v.50, p.1718-1730, 2004.
13. PETTA, R. A.; SINDERN, S.; SOUZA, R. F.; CAMPOS, T. F. C. Influence of mining activity on the downstream sediments of scheelite mines in Currais Novos (NE Brazil). *Environmental Earth Sciences*, v.72, p.1843-1852, 2014.
14. RAMAEKERS, L.; REMANS, R.; RAO, I. M.; BLAIR, M. W.; VANDERLEYDEN, J. Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crop plants. *Field Crops Research*, v.117, p.169-176, 2010.
15. SAS Institute. Statistical analysis system: Procedure guide for personal computer, 1999.
16. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Currais Novos, estado do Rio Grande do Norte / Organizado [por] MASCARENHAS, J. C.; BELTRÃO, B. A.; SOUZA JR., L.C.; PIRES, S. T. M.; ROCHA, D. E. G. A.; CARVALHO, V. G. D. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.
17. SMITH, L. E. D.; SICILIANO, G. A comprehensive review of constraints to improved management of fertilizers in China and mitigation of diffuse water pollution from agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.209, p.15-20, 2015.
18. VITTE, A. C.; MELLO, J. P. Considerações sobre a erodibilidade dos solos e da erosividade da chuva e suas conseqüências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico. *Climatologia e Estudos da Paisagem Rio Claro*, v.2, p.107-133, 2007.
19. ZAMYADI, A.; MACLEOD, S. L.; FAN, Y.; MCQUAID, N.; DORNER, S.; SAUVE, S.; PREVOST, M. Toxic cyanobacterial breakthrough and accumulation in a drinking water plant: a monitoring and treatment challenge, *Water Research*, v.46, p.1511-1523, 2012.