

VI-070 - DEGRADAÇÃO FÍSICA DO SOLO EM MINAS DE SCHEELITA NO SEMIÁRIDO TROPICAL

Karina Patrícia Vieira da Cunha⁽¹⁾

Bióloga pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Alana Rayza Vidal Jerônimo do Nascimento⁽²⁾

Engenheira Ambiental e Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Pesquisadora na Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH).

Endereço⁽¹⁾: Av. Senador Salgado Filho, 3000 - Campus Universitário - Lagoa Nova - Natal - RN - CEP: 59072-970 - Brasil - Tel: (84) 99669-9012 - e-mail: cunhakpv@yahoo.com.br

RESUMO

A mineração se destaca dentre as atividades antrópicas que causam significativa degradação ambiental. A condução de estudos que investigam as alterações nos atributos do solo, e, consequentemente, a redução de sua qualidade, subsidia o planejamento voltado para a redução dos impactos ambientais negativos e à recuperação das áreas mineradas. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar as alterações nos atributos físicos do solo nas áreas de deposição de estéril e rejeito das minas ativa Barra Verde e desativada Olho d'Água localizadas em Currais Novos/RN. Amostras de solo foram coletadas na camada de 0-20 cm em cinco áreas: área de deposição de estéril da mina desativada Olho d'Água (AE1); área de deposição de rejeito da mina desativada Olho d'Água (AR1); área de deposição de estéril da mina ativa Barra Verde (AE2); área de deposição de rejeito da mina ativa Barra Verde (AR2), e em uma área com vegetação nativa (MT) com pouca ou nenhuma interferência antrópica para servir como referência de qualidade do solo. Os atributos físicos analisados foram: densidade de partículas (Dp); densidade do solo (Ds), e porosidade total do solo (PT). Os solos das áreas das minas ativa e desativada apresentaram maiores valores médios de Ds e Dp em comparação ao solo da área de referência de qualidade (MT). Com exceção de AR1, os solos das áreas mineradas apresentaram redução da PT. A deposição de estéréis e rejeitos alterou a classificação textural dos solos das áreas mineradas em relação à MT devido ao aporte da fração areia e perda da fração argila. Tais resultados indicam a ocorrência de compactação e de processos erosivos, evidenciando a degradação da qualidade física dos solos das áreas mineradas. O aumento de Ds, associado à redução da PT, prejudica as principais funções do solo e acarreta limitações ao crescimento e estabelecimento da vegetação. A presença de scheelita nos estéréis e rejeitos, além da pouca ou inexistente cobertura vegetal nas áreas mineradas, pode explicar o aumento da Dp, o que demonstra a precariedade das técnicas de exploração e beneficiamento do minério. A perda de argila decorrente de erosão ou escoamento superficial aumenta a erodibilidade do solo, tendo em vista que a argila desempenha papel fundamental da estabilidade de agregados. A sensibilidade dos atributos físicos na distinção entre as áreas mineradas e área natural propicia a utilização dos mesmos como indicadores de qualidade do solo em programas de recuperação e monitoramento ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Mineração, Atributos Físicos, Qualidade do Solo, Recuperação de Áreas Mineradas.

INTRODUÇÃO

A mineração desempenha papel fundamental no desenvolvimento econômico, industrial e tecnológico das sociedades, contudo destaca-se dentre as atividades antrópicas que causam significativa degradação ambiental. Isso porque as atividades de mineração geralmente envolvem a remoção da cobertura vegetal, do solo e das camadas geológicas, sobrejacentes ou intercaladas ao minério de interesse; o tráfego de maquinário pesado; e a deposição de estéréis e rejeitos (SHRESTHA e LAL, 2011), promovendo alterações drásticas na paisagem e na biodiversidade local.

Como resultado, é possível diagnosticar várias alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo em áreas mineradas (MUKHOPADHYAY *et al.*, 2014; QUADROS *et al.*, 2016). De maneira geral, solos de áreas mineradas apresentam perda dos teores de matéria orgânica e nitrogênio, redução da porosidade, assim

como o aumento do pH, da densidade do solo e das concentrações de metais pesados (FU *et al.*, 2011; SHRESTHA e LAL, 2011; MARTINS *et al.*, 2018).

Os atributos físicos do solo, juntamente com os químicos, são os principais indicadores de qualidade do solo (MASTO *et al.*, 2015; MUKHOPADHYAY *et al.*, 2016). Vale salientar que bons indicadores de qualidade descrevem os processos que apresentam maior sensibilidade às mudanças nas funções do solo e seus serviços ecossistêmicos (ZORNOZA *et al.*, 2015).

Apesar de sua importância socioeconômica indiscutível, os impactos negativos da mineração precisam ser minimizados para os benefícios superarem os riscos potenciais (MARTINS *et al.*, 2018). Diante disso, conhecer as alterações nos atributos físicos e químicos do solo resultantes da mineração é de suma importância para adoção de medidas adequadas à redução de impactos gerados e à recuperação do solo das áreas mineradas.

No semiárido brasileiro, encontram-se localizados os principais depósitos de scheelita (CaWO_4) do país (DANTAS, 2000). No município de Currais Novos/RN, a exploração e o beneficiamento da scheelita tiveram início na década de 1940 e, ao longo do tempo, geraram elevadas quantidades de estéril e rejeito que foram acumuladas em pilhas a céu aberto sem nenhuma proteção, sendo expostas à ação do vento e da água da chuva (PETTA *et al.*, 2014).

Diante deste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar as alterações nos atributos físicos do solo nas áreas de deposição de estéril e rejeito das minas ativa Barra Verde e desativada Olho d'Água localizadas em Currais Novos/RN.

MATERIAIS E MÉTODOS

As minas subterrâneas 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. As atividades na mina Barra Verde se iniciaram em 1947, foram interrompidas no final da década de 1990 e retomadas a partir de 2005. A mina Olho d'Água foi desativada em 1976 após cerca de 40 anos de atividade.

O clima da região é descrito pela classificação de Köppen *et al.* (2006) como do tipo BSh (Estepe), caracterizado por um regime de escassez e distribuição desigual de chuvas, com média pluviométrica de 610,5 mm/ano e temperatura média anual de 27,5 °C. 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 (EMBRAPA, 1971; EMBRAPA, 2013).

A amostragem do solo foi realizada em cinco áreas: área de deposição de estéril da mina desativada Olho d'Água (AE1); área de deposição de rejeito da mina desativada Olho d'Água (AR1); área de deposição de estéril da mina ativa Barra Verde (AE2); área de deposição de rejeito da mina ativa Barra Verde (AR2), e em 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.

Em cada uma dessas áreas, foram coletadas amostras deformadas de solo na camada de 0-20 cm em cinco pontos amostrais simples. As cinco amostras simples foram misturadas para formar uma amostra composta de aproximadamente 500 g. Todo o procedimento foi repetido por três vezes visando à obtenção de três repetições para cada área selecionada. As amostras coletadas 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 às análises laboratoriais.

Os atributos físicos analisados foram: densidade de partículas (D_p) pelo método do balão volumétrico, densidade do solo (D_s) pelo método da proveta e granulometria pelo método do densímetro e diagrama triangular simplificado (EMBRAPA, 1997). A porosidade total do solo (PT) foi estimada pela equação: $PT (\%) = (1 - D_s/D_p) * 100\%$.

Os dados dos atributos físicos dos solos amostrados foram submetidos à análise de estatística descritiva.

RESULTADOS OBTIDOS

Os solos das áreas das minas ativa e desativada apresentaram maiores valores médios de densidade do solo (Ds) e de densidade de partículas (Dp) em comparação ao solo da área de referência de qualidade (MT) (Tabela 1). Os solos das áreas mineradas também apresentaram redução da porosidade total (PT), com exceção da área de deposição de rejeito da mina desativada (AR1), cujo valor médio da PT foi maior do que o da área MT.

Tabela 1. Atributos físicos do solo, na camada de 0-20 cm, das áreas da mina desativada Olho d'Água e da mina ativa Barra Verde, Currais Novos/RN.

Área	Ds — g cm ⁻³ —	Dp %	PT %	Areia g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Argila g kg ⁻¹	Classificação Textural
AE1							
<i>Média</i>	1,64	3,04	46,31	843,67	123,0	33,33	Areia Franca
<i>Desvio-padrão</i>	0,25	0,18	5,39	58,48	69,48	11,55	
<i>Máximo</i>	1,82	3,21	52,53	895,00	200,00	40,00	
<i>Mínimo</i>	1,36	2,86	43,13	780,00	65,00	20,00	
AR1							
<i>Média</i>	1,45	2,90	49,83	790,33	136,33	73,33	Areia Franca
<i>Desvio-padrão</i>	0,04	0,16	3,44	13,28	24,83	11,55	
<i>Máximo</i>	1,49	3,08	52,74	798,00	165,00	80,00	
<i>Mínimo</i>	1,41	2,77	46,04	775,00	122,00	60,00	
AE2							
<i>Média</i>	1,67	2,83	40,75	867,67	99,00	33,33	Areia Franca
<i>Desvio-padrão</i>	0,15	0,27	0,75	69,29	64,09	23,09	
<i>Máximo</i>	1,84	3,12	41,19	947,00	161,00	60,00	
<i>Mínimo</i>	1,55	2,58	39,87	819,00	33,00	20,00	
AR2							
<i>Média</i>	1,78	3,21	44,68	864,00	102,67	33,33	Areia Franca
<i>Desvio-padrão</i>	0,12	0,11	1,97	48,88	58,50	11,55	
<i>Máximo</i>	1,91	3,33	46,56	916,00	161,00	40,00	
<i>Mínimo</i>	1,67	3,12	42,64	819,00	44,00	20,00	
MT							
<i>Média</i>	1,43	2,80	48,75	669,0	184,33	146,67	Franco-arenosa
<i>Desvio-padrão</i>	0,05	0,03	1,51	4,36	10,60	11,55	
<i>Máximo</i>	1,48	2,83	50,44	666,00	186,00	140,00	
<i>Mínimo</i>	1,38	2,78	47,54	674,00	194,00	160,00	

n = 15. AE1-AR1: áreas de deposição de estéril e de rejeito, respectivamente, da mina desativada; AE2-AR2: áreas de deposição de estéril e de rejeito, respectivamente, da mina ativa; MT: área de referência de qualidade do solo.

Os solos das áreas selecionadas para o estudo apresentaram predominância da fração granulométrica areia, caracterizando a textura arenosa desses solos. Contudo, destaca-se que a deposição de estéréis e rejeitos resultou no aumento do teor de areia nos solos e, consequentemente, alterou a classificação textural nas áreas mineradas para Areia Franca. O aporte de areia ocorreu em paralelo à perda de argila nas áreas mineradas.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados das análises dos atributos físicos relevaram a degradação física dos solos das áreas mineradas. O aumento da densidade do solo (Ds) é comum em áreas mineradas tendo em vista a remoção da vegetação e a compactação do solo decorrente do tráfego de maquinário pesado e da sobrecarga ocasionada pela deposição das pilhas de estéril e rejeito (SHRESTHA e LAL, 2011). A vegetação tem efeito direto na densidade do solo, uma vez que o sistema radicular das plantas descompacta os horizontes superficiais do solo, tornando-os mais permeáveis (ZENG *et al.*, 2014). Logo, a remoção da cobertura vegetal desestrutura o solo, aumentando sua Ds.

Maiores valores de Ds prejudicam algumas das principais funções do solo visto que reduzem a capacidade de infiltração e retenção de água, assim como reduzem a aeração, e aumentam a resistência à penetração das raízes (MORA e LÁZARO, 2014). O aumento de Ds constitui-se o fator limitante mais significativo para a revegetação das áreas mineradas, pois provoca a limitação do acesso à água e aos nutrientes por parte das plantas

(SCHROEDER *et al.*, 2010). Em AR2, a D_s , igual a $1,78 \text{ g cm}^{-3}$ (Tabela 1), excedeu o valor crítico para o crescimento radicular ($1,75 \text{ g cm}^{-3}$) em solos arenosos (JONES, 1983).

É válido ressaltar que os rejeitos de mineração são formados pela mistura de partículas de diferentes tamanhos, o que pode promover o adensamento do solo, ou seja, as partículas menores podem preencher os espaços entre as partículas maiores, resultando em uma diminuição no espaço total de poros (SHRESTHA e LAL, 2011).

Os valores médios de densidade de partículas (D_p) nas áreas mineradas superiores ao da área de referência de qualidade podem ser explicados pela presença de scheelita nos estéréis e rejeitos, pois o tungstênio é um metal de densidade muito elevada (POLINI *et al.*, 2015). Assim, esse resultado evidencia a precariedade das técnicas de exploração e beneficiamento da scheelita, que resultou no desperdício do minério. Ademais, a redução do aporte de matéria orgânica, em virtude da pouca ou inexistente cobertura vegetal nessas áreas contribuiu também para o aumento de D_p .

A redução da porosidade total (PT) em áreas mineradas geralmente ocorre associada ao aumento da D_s , e justifica-se pela compactação do solo. Na área de deposição de rejeito em uma mina de carvão na China, a PT do solo reduziu 21,4% enquanto a D_s aumentou 3,7% em comparação com o solo da área de referência de qualidade (ZHANG *et al.*, 2015). No presente estudo, em AE2, a PT reduziu 16,41% e a D_s aumentou em 16,78%, e em AR2, a PT reduziu 8,35% e a D_s aumentou 24,48%. Um reduzido volume de poros, associado à densidade do solo elevada, dificulta o crescimento radicular devido à diminuição da aeração e à modificação das propriedades hidráulicas e de fluxo de nutrientes (KRÜMMELBEIN *et al.*, 2010). Cumpre destacar que solos arenosos tendem a apresentar maior D_s e menor PT.

Os maiores valores médios do teor de areia nas áreas mineradas revelam o caráter arenoso dos estéréis e rejeitos oriundos da fragmentação das rochas durante a extração e beneficiamento da scheelita e depositados nessas áreas. Embora a análise da granulometria tenha indicado aumento do teor de areia, a predominância natural dessa fração granulométrica é condizente com o clima quente e seco da região semiárida. Essa condição climática favorece o intemperismo físico em detrimento do intemperismo químico. Portanto, a textura dos solos pouco desenvolvidos do semiárido caracteriza-se pelos minerais primários e fragmentos de rocha do material de origem.

A redução no teor de argila nas áreas mineradas corrobora a degradação física dos solos das áreas mineradas. Tal redução pode ser justificada pela ocorrência de erosão e escoamento superficial. Na fração argila, predominam partículas coloidais que são mais vulneráveis à perda em decorrência do escoamento superficial do que a fração areia (CHARTIER *et al.*, 2013). A erosão é um processo de degradação esperado em áreas mineradas, principalmente nos locais de deposição de estéril e rejeito no solo (MARTÍN DUQUE *et al.*, 2015), onde a cobertura vegetal foi removida. Salienta-se que perda de argila diminui a resistência do solo à erosão (ZHANG *et al.*, 2015), contribuindo para o agravamento da degradação do solo. Isso porque, a argila desempenha papel fundamental da estabilidade de agregados do solo.

Em AR1, observou-se um teor de argila maior do que nas demais áreas mineradas (Tabela 1). Nessa área, o rejeito encontra-se exposto aos agentes intempéricos há no mínimo quatro décadas, tempo decorrido desde o encerramento das atividades na mina Olho d'Água. Essa exposição prolongada do rejeito favorece o intemperismo químico, o que explica esse aumento do teor de argila.

As alterações nos atributos físicos sugerem a ocorrência e ampliação da suscetibilidade dos solos das áreas mineradas à erosão. A erosão pode afetar negativamente a qualidade de outros componentes da bacia hidrográfica, causando além do assoreamento de corpos d'água, a contaminação de sistemas aquáticos. Neste contexto, a revegetação dessas áreas desempenharia papel fundamental no controle e redução dos processos erosivos. Tem sido documentado que pilhas de rejeitos representam uma ameaça para a saúde pública e ambiental, principalmente por causa das elevadas concentrações e riscos de dispersão de elementos potencialmente tóxicos, como os metais pesados, pela ação do vento e do escoamento superficial (JONATHAN *et al.*, 2010; SANCHEZ-LOPEZ *et al.*, 2015). Em regiões áridas e semiáridas, onde há desenvolvimento limitado de cobertura vegetal, a dispersão de particulados contendo elementos potencialmente tóxicos é ainda mais favorecida (MENDEZ e MAIER, 2008), devendo ser um fator considerado no estabelecimento de programa de recuperação ambiental de áreas mineradas.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Os atributos físicos foram sensíveis na distinção entre a área natural e minerada e devem ser utilizados como indicadores de qualidade do solo em programas de recuperação e monitoramento ambiental;

A degradação física da qualidade do solo nas áreas mineradas está relacionada à compactação e aos processos erosivos;

Os processos de degradação do solo não se distinguiram entre as minas ativa e desativada, indicando que situação atual das minas não é significativa para diferenciar o estágio de degradação das áreas mineradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHARTIER, M. P., ROSTAGNO, C. M., VIDELA, L. S. Selective erosion of clay, organic carbon and total nitrogen in grazed semiarid rangelands of northeastern Patagonia, Argentina. *Journal of Arid Environments*, v.88, p.43-49, jan. 2013.
2. 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.
3. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.
4. 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. 536p.
5. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2ª ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1997. 212p.
6. 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*, v.21, n.1, p.98-106, fev. 2011.
7. JONATHAN, M. P., JAYAPRAKASH, M., SRINIVASALU, S., ROY, P. D., THANGADURAI, N., MUTHURAJ, S., STEPHEN-PITCHAIMANI, V. Evaluation of acid leachable trace metals in soils around a five centuries old mining district in Hidalgo, Central Mexico. *Water, Air & Soil Pollution*, v.205, p.227-236, jan. 2010.
8. JONES, C. A. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. *Soil Science Society of America Journal*, v.47, n.6, p.1208-1211, 1983.
9. KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B., RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, v.15, n.3, p.259-263, jun. 2006.
10. KRÜMMELBEIN, J., HORN, R., RAAB, T., BENS, O., HÜTTL, R. F. Soil physical parameters of a recently established agricultural recultivation site after brown coal mining in Eastern Germany. *Soil & Tillage Research*, v.111, n.1, p.19-25, dez. 2010.
11. MARTÍN DUQUE, J. F., ZAPICO, I., OYARZUN, R., LÓPEZ GARCÍA, J. A., CUBAS, P. A descriptive and quantitative approach regarding erosion and development of landforms on abandoned mine tailings: New insights and environmental implications from SE Spain. *Geomorphology*, v.239, p.1-16, jun. 2015.
12. MARTINS, G. C., PENIDO, E. S., ALVARENGA, I. F. S., TEODORO, J. C., BIANCHI, M. L., GUILHERME, L. R. G. Amending potential of organic and industrial by-products applied to heavy metal-rich mining soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.162, p.581-590, jul. 2018.
13. MASTO, R. E., SHEIK, S., NEHRU, G., SELVI, V. A., GEORGE, J., RAM, L. C. Assessment of environmental soil quality around Sonapur Bazar mine of Raniganj coalfield, India. *Solid Earth*, v.6, n.3, p.811-821, jul. 2015.
14. MENDEZ, M. O.; MAIER, R. M. Phytoremediation of mine tailings in temperate and arid environments. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, v.7, n.1, p.47-59, jan. 2008.
15. MORA, J. L., LÁZARO, R. Seasonal changes in bulk density under semiarid patchy vegetation: the soil beats. *Geoderma*, v.235, p.30-38, 2014.
16. MUKHOPADHYAY, S., MAITI, S. K., MASTO, R. E. Development of mine soil quality index (MSQI) for evaluation of reclamation success: A chronosequence study. *Ecological Engineering*, v.71, p.10-20, ago. 2014.
17. MUKHOPADHYAY, S., MASTO, R. E., YADAV, A., GEORGE, J., RAM, L. C., SHUKLA, S. P. Soil quality index for evaluation of reclaimed coal mine spoil. *Science of the Total Environment*, v.542 (Part A), p.540-550, jan. 2016.

18. 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, n.6, p.1843-1852, set. 2014.
19. POLINI, R., PALMIERI, E., MARCHESELLI, G. Nanostructured tungsten carbide synthesis by carbothermic reduction of scheelite: A comprehensive study. *Internacional Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, v.51, p.289-300, jul. 2015.
20. QUADROS, P. D., ZHALNINA, K., DAVIS-RICHARDSON, A. G., DREW, J. C., MENEZES, F. B., CAMARGO, F. A., TRIPLETT, E. W. Coal mining practices reduce the microbial biomass, richness and diversity of soil. *Applied Soil Ecology*, v.98, p.195-203, fev. 2016.
21. SANCHEZ-LOPEZ, A. S., CARRILLO-GONZALEZ, R., GONZALEZ-CHAVEZ, M. C. A., ROSAS-SAITO, G. H., VANGRONSVELD, J. Phytobarriers: Plants capture particles containing potentially toxic elements originating from mine tailings in semiarid regions. *Environmental Pollution*, v.205, p.33-42, out. 2015.
22. SCHROEDER, P. D., DANIELS, W. L., ALLEY, M. M. Chemical and physical properties of reconstructed mineral sand mine soils in Southeastern Virginia. *Soil Science*, v.175, n.1, p.2-9, jan. 2010.
23. SHRESTHA, R., LAL, R. Changes in physical and chemical properties of soil after surface mining and reclamation. *Geoderma*, v.161, n.3-4, p.168-176, mar. 2011.
24. ZENG X., ZHANG W., CAO J., LIU X., SHEN H., ZHAO X. Changes in soil organic carbon, nitrogen, phosphorus, and bulk density after afforestation of the "Beijing-Tianjin Sandstorm Source Control" program in China. *Catena*, v. 118, p.186-194, jul. 2014.
25. ZHANG, L., WANG, J., BAI, Z., LV, C. Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in an opencast coal-mine dump in a loess area. *Catena*, v.128, p.44-53, maio 2015.
26. ZORNOZA, R., ACOSTA, J. A., BASTIDA, F., DOMÍNGUEZ, S. G., TOLEDO, D. M., FAZ, A. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. *SOIL*, v.1, p.173-185, fev. 2015.