

TÉCNICAS DE CONTROLE DE EROÇÃO EM ÁREAS DE MINERAÇÃO NO SEMIÁRIDO

Rayane Dias da Silva¹; Ingredy Nataly Fernandes Araújo²; Giulliana Karine Gabriel Cunha³;
Karina Patrícia Vieira da Cunha⁴

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, rayaneditas2008@hotmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte, ingredynataly@hotmail.com

³Universidade Federal do Rio Grande do Norte, giullianakarine12@gmail.com

⁴Universidade Federal do Rio Grande do Norte, cunhakpv@yahoo.com.br

RESUMO

A extração mineral promove o aumento da erosão, a partir da retirada da cobertura vegetal para abertura das lavras e locais de depósito de rejeitos e estéril, deixam o solo exposto aos agentes erosivos, aumentando o risco de assoreamento nos corpos hídricos, e contaminação por elementos tóxicos. Os rejeitos de minas possuem altas concentrações de metais pesados e baixa fertilidade. A remoção dos rejeitos é praticamente inviável devido aos seus grandes volumes. Quando as precipitações intensas atingem solos rasos do semiárido e com pouca cobertura vegetal, o solo é facilmente erodido. Isso faz com que o solo atue como fonte difusa, aumentando o risco à saúde pública da região. É necessário a contenção da erosão de rejeitos, estéreis e perdas de solo em áreas de mineração, que pode ser feita usando metodologias de controle apropriadas. O uso da vegetação com espécies fitoestabilizadoras é uma excelente alternativa. Esse processo efetua a estabilização da superfície a processos erosivos e também reduz a probabilidade de metais pesados entrarem na cadeia alimentar. Outro método são os geossintéticos que continuam a impulsionar sua utilização em diversos ramos das atividades antrópicas. No semiárido, esses estudos se tornam essenciais, pois é necessário minimizar a degradação ambiental existente em ambientes vulneráveis a processos erosivos. A aplicação de metodologias eficientes e economicamente viáveis em áreas de mineração para controle da erosão em pilhas de rejeitos e perdas de solo auxilia na gestão ambiental e traz benefícios para a saúde pública.

PALAVRAS-CHAVE: Metais pesados; Fitoestabilização; Geossintéticos.

INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade antrópica fundamental para o desenvolvimento socioeconômico de um país, está ligada com a obtenção de recursos naturais para composição de produtos usados no cotidiano, sua importância vai além da geração de empregos, garante a disponibilidade dos recursos naturais para o desenvolvimento da sociedade e das cidades (PEJON *et al*, 2013). No entanto, na busca pelos recursos naturais a atividade mineradora provoca alteração da paisagem natural, alterando a biodiversidade local e ultrapassando o limite de resiliência do sistema ambiental, sendo assim uma potencial atividade de degradação ambiental (NASCIMENTO, 2015).

A degradação ambiental é agravada pela remoção do solo e da cobertura vegetal, mudanças na topografia e interrupção do escoamento superficial e subsuperficial (SHRESTHA; LAL, 2011). Esses fatores contribuem para a contaminação do local e das áreas vizinhas quando associados a erosão hídrica, eólica e a lixiviação dos contaminantes (ANDRADE *et al*, 2009).

A extração mineral configura-se numa atividade que auxilia no aumento da erosão, a partir da retirada da cobertura vegetal para abertura das lavras e dos locais de depósito de rejeito e estéril (MARTÍN DUQUE *et al*, 2015), deixam o solo exposto aos agentes erosivos, aumentando o risco de assoreamento, eutrofização dos corpos hídricos (BRITO, 2012), e contaminação por elementos tóxicos (SANCHEZ-LOPEZ *et al*, 2015). A mineração atua como fonte de contaminação por metais pesados (LI *et al*, 2014). Como o solo é um sistema aberto a contaminação não se restringe somente as áreas de lavras, pode atingir outros componentes da bacia hidrográfica. Juntamente com a retirada da vegetação, os desmontes e as escavações facilitam os movimentos de massa e os processos erosivos (NASCIMENTO, 2015).

De modo geral, as atividades de mineração são comuns no semiárido brasileiro (OLIVEIRA, 2012; MEDEIROS, 2016; CUIABANO *et al*, 2017), região cujas características naturais facilitam o processo de degradação ambiental.

O semiárido brasileiro é caracterizado por períodos longos de estiagem e elevada evapotranspiração, com precipitações intensas de pouca duração (JUNIOR; SILVA, 2007), seu bioma é a caatinga, identificada por ser uma vegetação esparsa e de pequeno porte, facilitando a perda de solo (BARBOSA *et al*, 2012). Os solos são pouco desenvolvidos e vulneráveis por apresentarem predominância de textura arenosa (CREPANI *et al*, 2001; PEREIRA; DANTAS NETO, 2014).

Quando as precipitações intensas atingem solos rasos e com pouca ou nenhuma cobertura vegetal, o solo é facilmente erodido. O material transportado de rejeitos e estéreis e a perda de solo é rico em metais pesados sendo levado até os corpos hídricos, intensificando os processos de contaminação e assoreamento. Isso faz com que o solo atue como fonte difusa, aumentando o risco à saúde pública da região (CARPENTER *et al*, 1998; MOURI *et al*, 2011; NGUYEN *et al*, 2017). Dessa forma, é intensificado os processos erosivos no semiárido pelas suas características susceptíveis a erosão.

Para minimizar os efeitos causados pela substituição da vegetação natural por uma atividade antrópica é necessário realizar a proteção do solo, com o objetivo de garantir a sua

manutenção e qualidade (CONAMA, 2009). Nesse contexto, para conter erosão do solo em áreas de mineradoras, alguns estudos utilizam técnicas conservacionistas e/ou de bioengenharia para promover a proteção do solo (LIMA *et al*, 2015).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar as vantagens, desvantagens e aplicabilidade de técnicas de controle de erosão em áreas de mineração em regiões tropicais semiáridas, a fim de facilitar a seleção de programas de recuperação dessas áreas.

METODOLOGIA

Para a realização dessa revisão bibliográfica utilizou-se como fonte de dados artigos científicos publicados no período de 20 anos, analisados utilizando os descritores: erosion, mining e heavy metal. Buscando uma coleta de dados mais ampla possível, optou-se por busca de artigos no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES. Destes artigos foram selecionados os que estudaram o controle de erosão em áreas de mineração (Quadro 1).

Quadro 1- Artigos que estudaram o controle de erosão em mineradoras.

ANO	ARTIGO	AUTOR(ES)
1998	MOBILIZATION AND ATTENUATION OF METALS DOWNSTREAM FROM A BASE-METAL MINING SITE IN THE MA'TRA MOUNTAINS, NORTHEASTERN HUNGARY	ÓDOR, L. <i>et al</i>
1999	"ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY OF THE GULF CREEK COPPER MINE AREA, NORTH EASTERN NEW SOUTH WALES, AUSTRALIA"	LOTTERMOSE, B.G. <i>et al</i>
1999	"FLUVIAL GEOMORPHOLOGY AND HYDROLOGY IN THE DISPERSAL AND FATE OF PYRITE MUD PARTICLES RELEASED BY THE AZNALCOLLAR MINE TAILINGS SPILL"	GALLART, F. <i>et al</i>
2001	HEAVY METAL CONTAMINATION OF SOILS AND WATERS IN AND AROUND THE IMCHEON AU-AG MINE, KOREA	MYUNG CHAE JUNG
2002	X-RAY ANALYSIS OF RIVERBANK SEDIMENT OF THE TISZA (HUNGARY): IDENTIFICATION OF PARTICLES FROM A MINE POLLUTION EVENT	OSAN, J. <i>et al</i>
2002	PARTITIONING OF METALS IN SEDIMENTS FROM THE ODIEL RIVER (SPAIN)	MORILLO, J. ;USERO, J. GRACIA, I.
2002	PHYTOSTABILIZATION OF METAL MINE TAILINGS USING TALL FESCUE	PIERZYNSKI, G. M. <i>et al</i>
2003	ECOLOGICAL RESTORATION OF MINE DEGRADED SOILS, WITH EMPHASIS ON METAL CONTAMINATED SOILS	M.H. WONG
2003	DOWNSTREAM EFFECTS OF EROSION FROM SMALL-SCALE GOLDMINING ON THE INSTREAM HABITAT AND FISH COMMUNITY OF A SMALL NEOTROPICAL RAINFOREST STREAM	OUBOTER, J. H. M. P. E.
2003	THE LONG TERM FATE AND ENVIRONMENTAL SIGNIFICANCE OF CONTAMINANT METALS RELEASED BY THE JANUARY AND MARCH 2000 MINING TAILINGS DAM FAILURES IN MARAMURES, COUNTY, UPPER TISA BASIN, ROMANIA	MACKLINA, M. <i>et al</i>
2003	ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY OF THE GUANAJUATO MINING DISTRICT, MEXICO	VEZA, A. C. C. <i>et al</i>

(83) 3322.3222

contato@conadis.com.br

www.conadis.com.br

2004	BIOGEOCHEMICAL PROCESSES AND THE ROLE OF HEAVY METALS IN THE SOIL ENVIRONMENT	WEBER, J.;KARCZEWSKA, A.
2004	ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF COPPER–GOLD–MERCURY MINING IN THE ANDACOLLO AND PUNITAQUI DISTRICTS, NORTHERN CHILE	HIGUERASA, P. <i>et al</i>
2004	MOBILIZATION OF HEAVY METALS FROM MINE SPOILS IN A PART OF RANIGANJ COALFIELD, INDIA:CAUSES AND EFFECTS	DE, S. ; MITRA, A.K.
2004	DOWNSTREAM EFFECTS OF EROSION FROM SMALL-SCALE GOLD MINING ON THE INSTREAM HABITAT AND FISH COMMUNITY OF A SMALL NEOTROPICAL RAINFOREST STREAM	MOL, J. H.; OUBOTER, P. E.
2005	ENVIRONMENTAL IMPACTS OF SURFACE MINING ON MINED LANDS, AFFECTED STREAMS AND AGRICULTURAL LANDS IN THE DABAOSHAN MINE REGION, SOUTHERN CHINA	LIN, C. <i>et al</i>
2005	SMALL-SCALE GOLD MINING IN THE PUYANGO RIVER BASIN, SOUTHERN ECUADOR: A STUDY OF ENVIRONMENTAL IMPACTS AND HUMAN EXPOSURES	BETANCOURT, O.; NARVAÉZ, A. ; ROULET, M.
2005	HEAVY METAL POLLUTION DOWNSTREAM OF OLD MINING CAMPS AS A RESULT OF FLOOD EVENTS: AN EXAMPLE FROM THE MULDE RIVER SYSTEM, EASTERN PART OF GERMANY	KNITTEL, U.; KLEMM, W.; GREIF, A.
2005	THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF MINING IN THE PONTIDES, TURKEY: RECONNAISSANCE SAMPLING AND GIS-BASED ANALYSIS	AKÇAY, M. ; MOON, C. J.
2006	HEAVY METAL CONTAMINATION FROM MINING SITES IN SOUTH MOROCCO: 2. ASSESSMENT OF METAL ACCUMULATION AND TOXICITY IN PLANTS	BOULARBAH, A. <i>et al</i>
2006	ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE FORMER PB–ZN MINING AND SMELTING IN EAST BELGIUM	CAPPUYNS, V. <i>et al</i>
2006	THE EFFECTS OF MINING IN NORTHERN ROMANIA ON THE HEAVY METAL DISTRIBUTION IN SEDIMENTS OF THE RIVERS SZAMOS AND TISZA (HUNGARY)	KRAFTA, C. <i>et al</i>
2006	HEAVY METAL ACCUMULATION AND TOLERANCE IN PLANTS FROM MINE TAILINGS OF THE SEMIARID CARTAGENA–LA UNIÓN MINING DISTRICT (SE SPAIN)	CONESA, H. M.; FAZ, Á.; ARNALDOS, R.
2006	A COMBINED MODELLING AND GEOCHEMICAL STUDY OF THE FATE OF TERRIGENOUS INPUTS FROM MIXED NATURAL AND MINING SOURCES IN A CORAL REEF LAGOON (NEW CALEDONIA)	FERNANDEZ, J. M. <i>et al</i>
2006	LEAD, ZINC, AND ANTIMONY CONTAMINATION OF THE RIO CHILCO-RIO TUPIZA DRAINAGE SYSTEM, SOUTHERN BOLIVIA	VILLARROEL, L. F. <i>et al</i>
2006	HEAVY METAL CONTAMINATION FROM HISTORIC MINING IN UPLAND SOIL AND ESTUARINE SEDIMENTS OF EGYPT BAY, MAINE, USA	OSHER, L. J. <i>et al</i>
2006	THE AS-CONTAMINATED ELQUI RIVER BASIN: A LONG LASTING PERSPECTIVE (1975–1995) COVERING THE INITIATION AND DEVELOPMENT OF AU–CU–AS MINING IN THE HIGH ANDES OF NORTHERN CHILE	OYARZUN, R. <i>et al</i>
2007	PULSE-DISCHARGES OF MINING WASTES INTO A COASTAL LAGOON: WATER CHEMISTRY AND TOXICITY	MENDEZ, M. O. ; MAIER, R. M.
2007	METAL ACCUMULATION IN A. BACCIFERA GROWING NATURALLY ON ABANDONED COPPER TAILINGS POND	DAS, M. ; MAITI, S. K.
2007	HEAVY METAL CONCENTRATIONS IN SHALLOW MARINE SEDIMENTS AFFECTED BY SUBMARINE TAILINGS DISPOSAL AND ARTISANAL GOLD MINING, BUYAT-RATOTOTOK DISTRICT, NORTH SULAWESI, INDONESIA	EDINGER, E. N.; SIREGAR, R. P. ; BLACKWOOD, G.M.
2007	ANTIMONY AND ARSENIC DISPERSION IN THE MACLEAY RIVER CATCHMENT, NEW SOUTH WALES: A STUDY OF THE ENVIRONMENTAL GEOCHEMICAL CONSEQUENCES	P. M. ASHLEY <i>et AL</i>

2007	DYNAMICS OF METAL TOLERANT PLANT COMMUNITIES' DEVELOPMENT IN MINE TAILINGS FROM THE CARTAGENA-LA UNIO'N MINING DISTRICT (SE SPAIN) AND THEIR INTEREST FOR FURTHER REVEGETATION PURPOSES	CONESA, H. M.; FAZ, Á.; ARNALDOS, R
2007	DISTRIBUTION AND MOBILITY OF TRACE ELEMENTS IN SOILS AND VEGETATION AROUND THE MINING AND SMELTING AREAS OF THARSIS, RÍOTINTO AND HUELVA, IBERIAN PYRITE BELT, SW SPAIN	CHOPIN, E. I. B. ; ALLOWAY, B. J.
2007	ENVIRONMENTAL IMPACT OF MINING, EROSION AND SEDIMENTATION IN SRI LANKA	DISSANAYAKE, C. B. ; RUPASINGHE, M. S.
2008	ZN MOBILITY AND GEOCHEMISTRY IN SURFACE SULFIDE MINING SOILS FROM SE SPAIN	GARCIA, G.; PEN'AS, J.M.; MANTECA, J.I.
2008	MODELING EFFECTS OF NATURAL FLOW RESTORATION ON METALS FATE AND TRANSPORT IN A MOUNTAIN STREAM IMPACTED BY MINE WASTE 1	CARUSO, B. S. ; COX, T.J.
2008	THE IMPACT OF COAL MINING ON THE ECONOMY AND ENVIRONMENT OF SOUTH KALIMANTAN PROVINCE INDONESIA	LUTHFI FATAH
2008	PHYTOSTABILIZATION OF MINE TAILINGS IN ARID AND SEMIARID ENVIRONMENTS— AN EMERGING REMEDIATION TECHNOLOGY	MENDEZ, M. O. ; MAIER, R. M.
2008	HEAVY METAL CONTAMINATION IN SOILS AND PHYTOACCUMULATION IN A MANGANESE MINE WASTELAND, SOUTH CHINA	LI, M.S.; YANG, S.X.
2009	THE IMPACT OF UNCONFINED MINE TAILINGS IN RESIDENTIAL AREAS FROM A MINING TOWN IN A SEMI-ARID ENVIRONMENT: NACOZARI, SONORA, MEXICO	FIGUEROA, D. <i>et al</i>
2009	WIND EROSION ON MINING WASTE IN SOUTHEAST SPAIN	BROTONS, J. M <i>et al</i>
2012	HIGH VARIABILITY IN SEDIMENT CHARACTERISTICS OF A NEOTROPICAL STREAM IMPACTED BY SURFACE MINING AND GULLY EROSION	FRANCISCO L. <i>et al</i>
2013	ENDURING LEGACY OF A TOXIC FAN VIA EPISODIC REDISTRIBUTION OF CALIFORNIA GOLD MINING DEBRIS	SINGER, M. B. <i>et al</i>
2013	EFFECTS OF TOPOGRAPHY AND SURFACE SOIL COVER ON EROSION FOR MINING RECLAMATION: THE EXPERIMENTAL SPOIL HEAP AT EL MACHORRO MINE (CENTRAL SPAIN)	MORENO, C. M. <i>et al</i>
2015	USE OF LEAD ISOTOPES TO IDENTIFY SOURCES OF METAL AND METALLOID CONTAMINANTS IN ATMOSPHERIC AEROSOL FROM MINING OPERATIONS	FÉLIX, O. I. <i>et al</i>
2018	MINEROSION 3: USING MEASUREMENTS ON A TILTING FLUME-RAINFALL SIMULATOR FACILITY TO PREDICT EROSION RATES FROM POST-MINING LANDSCAPES IN CENTRAL QUEENSLAND, AUSTRALIA.	SO, H. B. <i>et al</i>

Fonte: Autor próprio

RESULTADOS E DISCUSSÕES

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL EM ÁREAS DE MINERAÇÃO

Áreas de mineradoras possuem uma elevada vulnerabilidade ambiental, devido aos fatores de pressão do ambiente e mudanças ambientais nos processos de extração e

beneficiamento do minério de interesse afetando a qualidade do solo e outros componentes da bacia hidrográfica (SANTOS *et al*, 2010).

Sabendo do conceito de erosão, que é um processo natural de transporte e pode ocorrer em ecossistemas que estão em equilíbrio. (FUSHIMI *et al*, 2013). Entretanto, devido a intervenção humana, a taxa de erosão aumenta (FATAH, 2008; SILVEIRA, 2014). Para a extração de riquezas minerais do solo e de formações rochosas ocasiona alterações de topografia do ambiente, chegando a interferir na biodiversidade pelo potencial de degradação das atividades de mineração (SHRESTHA ; LAL, 2011; MORENO *et al*, 2013)

Atividades antrópicas em regiões onde a maior parte dos recursos econômicos depende da mineração, os solos diminuem a sua fertilidade com a redução da cobertura vegetal, deixando os solos expostos e mais vulneráveis aos processos erosivos (DRUMOND *et al.*, 2004; BROTONS *et al*, 2009).

A retirada da vegetação nativa com escavações para abertura das lavras, estradas, extração do minério de interesse com explosivos provoca o transporte de sedimentos e contaminantes nos corpos hídricos oriundos do solo, rejeitos e estéreis das minas (FRANCISCO *et al* , 2012). Os rejeitos e estéreis apresentam textura arenosa, justamente pela perda de argila por ausência de proteção e controle das pilhas de rejeitos e estéreis, que por processos erosivos hídricos e eólicos podem escoar superficialmente ou serem lixiviados para as águas subterrâneas afetando as áreas de influência direta e indiretas das mineradoras (SOBREIRA ; FONSECA, 2001; FIGUEROA *et al*, 2009; SINGER *et al*, 2013).

A perda de argila e perda de matéria orgânica com a remoção das camadas superficiais do solo provoca impactos na funcionalidade do solo e na estabilidade da sua estrutura (NASCIMENTO, 2015). Além disso, os rejeitos de minas possuem altas concentrações de metais pesados e baixa fertilidade (CONESA; FAZ; ARNALDOS, 2005). A remoção dos rejeitos é praticamente inviável devido aos seus grandes volumes. Por isso, há a necessidade de desenvolver tecnologias de baixo custo para contenção desses rejeitos e estéreis à processos erosivos.

Nas áreas de deposição dos rejeitos possivelmente ocorre a drenagem ácida que pode chegar aos corpos hídricos superficiais e subterrâneos (AKÇAY; MOON, 2005; ANDRADE, 2017). A drenagem ácida contém elevados teores de metais pesados (MENDEZ; MAIER, 2007). Com a exposição a metais pesados existe um alto risco para os seres vivos, principalmente os seres humanos. Seja pela respiração das partículas suspensas no ar, pelo consumo de plantas de áreas cultivadas afetadas pelos resíduos de mineração, pela ingestão de

animais aquáticos ou consumo de água de um corpo hídrico contaminado pelos metais pesados, pode afetar a saúde das populações que vivem próximas a essas áreas (ZHIYUAN; ZONGWEI; TSERING; ZENGWEI; HUANG, 2014; FÉLIX *et al*, 2015) .

METODOLOGIAS EFICIENTES NA CONTENÇÃO DE EROÇÃO EM ÁREAS DE MINERAÇÃO

Dependendo da intensidade dos mecanismos ativadores, o grau da degradação ambiental aumenta pelos processos erosivos. É necessário a contenção da erosão de rejeitos, estéreis e perdas de solo em áreas de mineração, que pode ser feita usando metodologias de contenção apropriadas.

Essas metodologias de contenção leva em consideração a susceptibilidade a erosão de pilhas de rejeitos e estéreis a fatores naturais como o clima, as relevo, a declividade do terreno e aos ventos (RODRIGUES; NISHIYAMA, 2001), que propiciam a instabilidade do ecossistema.

O uso da vegetação é uma excelente alternativa, existem algumas espécies de plantas que podem estabilizar a superfície. Essa metodologia é conhecida como fitoestabilização, em que espécies de plantas tolerantes a elevado teor de metal, conseguem imobilizar os metais pesados (WONG, 2003). A fitoestabilização também pode estar associada a nucleação, que propicia uma melhoria na qualidade ambiental e permite a chegada de novas espécies, assim o ambiente degradado tem uma maior estabilização (ALMEIDA, 2009). Esse processo efetua a estabilização da superfície a processos erosivos e também reduz a probabilidade de metais pesados entrarem na cadeia alimentar (PIERZYNSKI *et al*, 2002). Algumas espécies fitoestabilizadoras são a *Eragrostis* e a *Leucena*.

Outro método é a aplicação de geossintéticos, que vêm sendo utilizados principalmente nos países desenvolvidos, em obras de proteção ambiental (MOZOS *et al*, 2014).

A versatilidade apresentada pelos geossintéticos continuam a impulsionar sua utilização em diversos ramos das atividades antrópicas. Esses materiais assumem funções relacionadas a características mecânicas e a propriedades hidráulicas impedindo a mistura ou interação entre materiais adjacentes (FERNANDES *et al*, 2009)

Os geossintéticos mais apropriados para serem utilizados em áreas de mineração são os geotêxteis e as geomantas por possuírem propriedades mecânicas para contenção de erosão (Quadro 2).

Quadro 2 – Descrição dos geossintéticos adequados na contenção de processos erosivos.

GEOSSINTÉTICO	TIPO	FUNÇÃO	IDENTIFICAÇÃO	FORNECEDOR
GEOTÊXTIL	Geotêxtil tecido Geotêxtil não tecido	Controle de erosão, drenagem, filtração, proteção, reforço, separação, e confinamento.	PROPEX 50/10 GeoFort GF 10/200	Propex do Brasil Ltda Ober S.A.
GEOMANTAS	Geomantas	Controle de erosão	MacMat	Maccaferri do Brasil Ltda

Fonte : Artigo Revista Fundações, 2012

Comparando essas técnicas de controle, o uso da vegetação é uma alternativa que apresenta várias vantagens em relação a outras técnicas, como o custo total da implantação e a melhoria estética da área. Como principal desvantagem dessa técnica tem-se a exigência de monitoramento a longo prazo. Enquanto, o geossintético apenas tem a estabilidade física, a fitoestabilização promove a estabilização física e química.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento sobre a erosão de determinada região contribui para a preservação dos recursos naturais e edáficos, para a saúde pública e o desenvolvimento econômico.

A exploração mineral causa degradação ambiental a partir da alteração da paisagem e de perdas de biodiversidade. No semiárido, esses estudos se tornam essenciais, pois é necessário minimizar a degradação ambiental existente em ambientes vulneráveis aos processos erosivos.

A remoção dos rejeitos é praticamente inviável devido ao volume que vem sendo acumulados em áreas mineradas. Quando as precipitações atingem solos rasos do semiárido e com pouca cobertura vegetal, o solo é facilmente erodido.

A aplicação de metodologias apropriadas em áreas de mineração para contenção da erosão em pilhas de rejeitos e perdas de solo, auxilia na gestão ambiental e traz benefícios para a saúde pública, evitando a contaminação por metais pesados.

REFERÊNCIAS

- AKÇAY, M. ; MOON, C. J. *The environmental impact of mining in the pontides, turkey: reconnaissance sampling and gis-based analysis*. 2005.
- ALMEIDA, DS. Modelos de recuperação ambiental. In: Recuperação ambiental da Mata Atlântica [online].3rd ed. rev. and enl. Ilhéus, BA: Editus, 2016.
- AMORIM, R. S. S. Desprendimento e arraste de partículas de solo decorrentes de chuvas simuladas. 2000. 80 f. Tese (Doutorado) . Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.
- ANDRADE, J. M. D. Perdas de qualidade e contaminação do solo em mina de scheelita no semiárido tropical. 2017. 47 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017
- ANDRADE, M. G. et al. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo: I - fitoextração. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa. 2009.
- BARBOSA, J. E. D. L. et al. *Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management*. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 24, n. 1, p. 103–118, 2012.
- BRITO, A. O. Estudos da erosão no ambiente urbano, visando planejamento e controle ambiental no Distrito Federal. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal. Publicação PPG EFL. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília. 2012.
- BROTONS *et al.* *Wind erosion on mining waste in southeast Spain*. 2009.
- CARPENTER, S. et al. *Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen*. *Ecological Application*, v. 8, n. January 1998, p. 559–568, 1998.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO nº 420 de 2009. Critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de área por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.
- CONESA, H; FAZ, A; ARNALDOS, R. *Initial studies for the phytostabilization of a mine tailing from the Cartagena-LA Union Mining District (SE, Spain)*. *Chemosphere* 2005.
- CREPANI, E. et al. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2001.
- CUIABANO, M. DO N. et al. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica na sub-bacia do córrego do guanabara/ reserva do cabaçal-MT Brasil. *Geociencias*. 2017.
- DRUMOND, MA *et al.* Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. 2004.

- FATAH, L. *The impact of coal mining on the economy and environment of south kalimantan province indonesia*. 2008
- FÉLIX, O. I. *et al. Use of lead isotopes to identify sources of metal and metalloid contaminants in atmospheric aerosol from mining operations*. 2015.
- FERNANDES, L.S. *et al. Uso de geomantas no controle da erosão superficial hídrica em um talude em corte de estrada*. 2009
- FIGUEROA, D. M. ; MAIER, R. M.; VILLANUEVA, M. O.; ÁLVAREZ, A.G.; ZAZUETA, A.M.; RIVERA, J.; CAMPILLO, A.; GRANDLIC, C.J.; ANAYA, R.; REYES, J.R. O impacto de rejeitos não refinados em áreas residenciais de uma cidade mineradora em um ambiente semi-árido: Nacozari, Sonora, México. *Quimiosfera*. volume 77, Edição 1 , setembro de 2009 , Páginas 140-147
- FOTH, H. D. *Fundamentals of soil science*. 8th Ed. New York: John Wiley & Sons, 1990.
- FRANCISCO *et al. High variability in sediment characteristics of a neotropical stream impacted by surface mining and gully erosion*. 2012
- FUNDAÇÕES E OBRAS GEOTÉCNICAS: Controle de Erosão. São Paulo: Rudder, v. 5, n. 54, mar. 2015.
- FUSHIMI, M. *et al. Vulnerabilidade ambiental e aplicação de técnicas de contenção aos processos erosivos lineares em áreas rurais do município de Presidente Prudente-SP*. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 14, p. 343–356, 2013.
- JOSÉ, A. C. *et al. Produção de mudas de aroeira (schinus terebinthifolius raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita*. *Cerne*, v. 11, n. 2, p. 187-196, 2005
- JUNIOR, J.G.O B.; SILVA, N. M. Caracterização geoambiental da microrregião do Seridó oriental do Rio Grande do Norte. *Holos*. V. 2, n. 23, p. 78-91, 2007.
- LI, Z.Y. *et al. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment*. *Sci. Total Environ*. v. 468–469, pag. 843–853, 2014.
- LIMA, K. D. R. *et al. Seleção de espécies arbóreas para revegetação de áreas degradadas por mineração de piçarra na caatinga*. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 203 – 213, 2015
- 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, 2015.
- MEDEIROS, C. E. B. F. de S. Os impactos do uso e ocupação e evento de seca extrema na qualidade da água e do solo de um manancial tropical do semiárido. 2016. 71 f. Dissertação

(Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MENDEZ, M. O. ; MAIER, R. M. *Pulse-discharges of mining wastes into a coastal lagoon: water chemistry and toxicity.* 2007

MORENO, C. M. *et al. Effects of topography and surface soil cover on erosion for mining reclamation: the experimental spoil heap at el machorro mine (central Spain).* 2013.

MOURI, G.; TAKIZAWA, S.; OKI, T. *Spatial and temporal variation in nutrient parameters in stream water in a rural-urban catchment, Shikoku, Japan: Effects of land cover and human impact. Journal of Environmental Management*, v. 92, n. 7, p. 1837–1848, 2011.

MOZOS, J. A. *et al. Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effects on runoff and soil loss.* 2014

NASCIMENTO, A. R. V. J. Atributos físicos e químicos de áreas degradadas pela mineração de scheelita na região tropical semiárida. 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

NGUYEN, H. H. *et al. Modelling the impacts of altered management practices, land use and climate changes on the water quality of the Millbrook catchment-reservoir system in South Australia. Journal of Environmental Management*, v. 202, p. 1–11, 2017.

OLIVEIRA, J. N. P. de. A Influência da poluição difusa e do regime hidrológico peculiar do semiárido na qualidade da água de um reservatório tropical. 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

PEJON, O. J.; RODRIGUES, V.G.S; ZUQUETTE, L.V. Impactos ambientais sobre o solo. IN: CALIJURI, M. C; CUNHA, D. G. F. (Coords). Engenharia ambiental: conceitos , tecnologia e gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. p.317-341.

PEREIRA, R. A.; DANTAS NETO, J. Efeito das atividades agropastoris sobre os atributos físico-químicos de três classes de solos de uma bacia hidrográfica no semiárido brasileiro. Bol. Goia. Geogr., v. 34, n. 1, p. 169–188, 2014.

PIERZYNSKI, G. M. *et al. Phytostabilization of metal mine tailings using tall fescue.* 2002

RODRIGUES, J. E. Estudos de fenômenos erosivos acelerados – Voçorocas. 1982. 162 f. Tese de Doutorado. Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1982.

RODRIGUES, L.; NISHIYAMA, L. Estudo dos fatores responsáveis pela erosão acelerada na bacia do córrego do Macacos – Uberlândia – MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7., 2001, Goiânia. Anais... CD-ROM.

- SANCHEZ-LOPEZ, A. S. et al. *Phytobarrriers: Plants capture particles containing potentially toxic elements originating from mine tailings in semiarid regions*. *Environmental Pollution*, v.205, p.33-42, 2015
- SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2010.
- SHRESTHA, R.; LAL, R. *Changes in physical and chemical properties of soil after surface mining and reclamation*. *Geoderma*, v. 161, p. 168-176, 2011.
- SILVEIRA, H. L. F. ; VETTORAZZI, C. A. and VALENTE, R. A. avaliação multicriterial no mapeamento da suscetibilidade de deslizamentos de terra. *rev. árvore*. 2014.
- SINGER et al. *Enduring legacy of a toxic fan via episodic redistribution of california gold mining debris*. 2013
- SOBREIRA, F. G.; FONSECA, M. A. Impactos físicos e sociais de antigas atividades de mineração em Ouro Preto, Brasil. *Goetecnia*, n.92, p.5-28, 2001.
- TELLES, T. GUIMARÃES, M., DECHEN, S. Os Custos da Erosão do Solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:287-298, 2011.
- TRABUCCHI, M.; PUENTE, C.; COMIN, F.A.; OLAGUE, G.; SMITH, S. V. Mapeamento do risco de erosão na escala da bacia em um ambiente mediterrâneo com minas de carvão a céu aberto visando ações de restauração *Mudança Ambiental Regional*, dezembro 2012.
- VILAR, O.M.; PRANDI, E.C. (1993) Erosão dos solos. In: CINTRA, J.C.A.; ALBIERO, J.H. (Eds.). *Solos do interior de São Paulo*. São Carlos. Cap. 7, p.177-206 apud NISHYAMA, L. (1995) Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o, seu desenvolvimento. *Seminários Gerais em Geotecnia (833)*. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 95 p.
- WONG, M. H. *Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils*. *Chemosphere*, v.50, p.775-780, 2003.
- ZHIYUAN, L. ; ZONGWEI, M.; TSERING, K.; ZENGWEI, Y. ; HUANG, L. Uma revisão da poluição de metais pesados do solo por minas na China: Poluição e avaliação de risco para a saúde. *Ciência do Meio Ambiente Total*. Volumes 468–469 , 15 de janeiro de 2014.