

Impactos no solo provocados pela mineração e depósito de rejeitos de carvão mineral

Soil impacts caused by coal mining and coal mine waste

Mari Lucia Campos^{1*}, Jaime Antônio de Almeida¹, Cristian Berto da Silveira¹, Luciano Colpo Gatiboni¹, Jackson Adriano Albuquerque¹, Álvaro Luiz Mafra¹, David José Miquelluti¹, Osmar Klauberg Filho¹, Julio Cesar Pires Santos¹

Recebido em 15/04/2009; aprovado em 08/09/2010.

RESUMO

A bacia carbonífera catarinense encontra-se localizada entre os municípios de Araranguá e Lauro Müller e contém uma reserva de carvão mineral da ordem de 4,3 bilhões de toneladas, o que corresponde a 13% do total do país. A exploração do carvão mineral é feita em minas subterrâneas e a céu aberto. Ambos os processos acarretam em problemas ambientais. Até o final da década de 1990, o estéril ou rejeito era, na maioria dos casos, depositado a céu aberto em áreas próximas aos locais de mineração ou beneficiamento do carvão. Com isso, uma área de aproximadamente 6.400 hectares foi impactada. Em janeiro do ano 2000, o Ministério Público condenou a União e o Sindicato das Indústrias Mineradoras pelo passivo ambiental, obrigando-os a adotar normas mais rígidas de reconstrução das áreas ainda a serem mineradas, além de recuperar as áreas já degradadas anteriormente pela atividade. A recuperação desse passivo ambiental passa primeiramente pelo conhecimento dos principais problemas que podem impedir a restauração das funções ecológicas dos solos impactados, sendo que essas funções dependem diretamente das propriedades físicas e químicas dos solos. As propriedades químicas e físicas dos solos construídos pós-mineração de carvão refletem a variabilidade herdada dos materiais geológicos, dos diferentes processos construtivos, da espessura e grau de compactação das camadas, do grau de mistura

dos materiais da coluna geológica, do grau de mistura do estéril com o solo e da presença ou ausência de drenagem ácida de mina. A interação desses fatores resulta na complexidade e diversidade dos problemas encontrados quando da tentativa de recuperação das áreas do passivo ambiental catarinense.

PALAVRAS-CHAVE: recuperação de área degradada, mineração de carvão, drenagem ácida.

SUMMARY

The Coal basin of Santa Catarina is located between the towns of Araranguá and Lauro Müller and contains a reserve of mineral coal around 4.3 billion tons, corresponding to 13% of the country total exploitation. Coal mining is done in underground and in surface mines, and both processes lead to environmental problems. Until the late 1990's, the reject was, in most cases, deposited in open areas close to mining sites or coal beneficiation. Thus, an area of approximately 6,400 hectares was degraded. In January 2000, the Department of Public Prosecution ordered the Union and the Union of Mining Industries to adopt safer rules for the reconstruction of areas still being mined, and to recover areas previously degraded by the activity. The recovery of such areas undergoes primarily the knowledge of key issues that may prevent restoration of ecological functions of impacted soils; these functions depend directly on physical and

¹ Departamento de Solos e Recursos Naturais do Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/UEDESC. Av. Luiz de Camões, 2090, Bairro: Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages, SC. E-mail: a2mlc@cav.udesc.br. *Autor para correspondência.

chemical soil properties. The chemical and physical properties of soils built post-coal mining reflect the inherited variability of geological materials, different construction processes, thickness and degree of layers compaction, degree of material mixing of the geologic column, mixing degree of reject and soil and presence or absence of acid mine drainage. The interaction of these factors results in the complexity and diversity of problems found when attempting to recover the degraded areas of mining coal in Santa Catarina State, Brazil.

KEY WORDS: recovery of degraded area, coal mining, acid mine drainage.

INTRODUÇÃO

O carvão mineral é uma rocha sedimentar combustível, formada a partir de determinados vegetais que sofreram soterramento em bacias originalmente pouco profundas. Fatores como a pressão, a temperatura, a tectônica e o seu tempo de atuação, determinaram a carbonificação gradativa da matéria vegetal original, que sofreu modificações significativas com a perda de O_2 e H_2O e enriquecimento em carbono (DNPM, 1987).

O carvão mineral constitui dois terços dos recursos energéticos não renováveis do Brasil, sendo suas reservas 20 vezes maiores do que as de petróleo e 75 vezes superiores as de gás natural. Neste contexto, Santa Catarina possui reservas de 4,3 bilhões de toneladas de carvão mineral, correspondendo a 13,2% do total do país (SANCHEZ e FORMOSO, 1990). Em termos de geração de energia, no ano de 2005, o carvão mineral contribuía com 1.600 MW ano⁻¹ dos 101.000 MW ano⁻¹ da matriz elétrica brasileira. Atualmente, o plano de desenvolvimento da matriz elétrica brasileira, criado pelos Ministério de Minas e Energia (MME) e Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), apresenta um plano de expansão da matriz elétrica, chegando aos 221.000 MW até o ano de 2030 e, por consequência, um aumento da geração de energia elétrica advinda do carvão para 5.900 MW (ABCM, 2008).

Em termos de localização, os carvões do tipo betuminoso e sub-betuminoso, que constituem as

reservas brasileiras mais significativas, distribuem-se pelo flanco leste da Bacia do Paraná, predominantemente nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul e, menos significativamente, nos Estados do Paraná e São Paulo (DNPM, 1987). Em Santa Catarina, as reservas se concentram numa área alongada no sentido norte/sul, situada entre os municípios de Araranguá e Lauro Müller, com aproximadamente 70 km de comprimento por 15-20 km de largura (DNPM, 1994). As camadas de carvão mais importantes da Bacia Carbonífera Sul - Catarinense encontram-se na parte superior da Formação Rio Bonito, mais precisamente no Membro Siderópolis. As camadas de carvão identificadas nesta região são em número de 12, porém destacam-se pela constância lateral, maior espessura e reabilitação de carvão metalúrgico, as camadas Barro Branco, Irapuá e Bonito Inferior (DNPM, 1987).

A exploração do carvão mineral

A exploração do carvão mineral pode ser subterrânea ou a céu aberto. A mineração subterrânea implica em abertura de poços, planos inclinados, ou galerias de encosta para extração do minério, transporte de materiais e de pessoal. Na mineração subterrânea, o método de câmaras e pilares é o mais utilizado no Brasil e consiste na abertura de um eixo principal de transporte, que pode ser constituído de duas ou mais galerias paralelas e, perpendiculares a esse, são traçados os painéis de produção, onde são abertas galerias de produção. Entre as fases de desenvolvimento são deixados pilares, os quais são retirados parcialmente na fase de recuo.

A lavra a céu aberto consiste nas operações de remoção da cobertura de material estéril e a extração da camada de carvão descoberta. O método de lavra mais frequentemente utilizado no Brasil pode ser classificado de "Strip Mining", com variações que dependem das diferentes maneiras de decapeamento em função do equipamento utilizado. Normalmente a cobertura e o carvão são lavrados em sequência de cortes. O estéril removido de um corte é depositado dentro do vazio do corte anterior. As máquinas utilizadas no decapeamento são escavadeiras do tipo "Dragline", escavadeiras "Buckwell" e, ainda, equipamentos rodoviários como os "Moto-Scrapers" são utilizados quando o material

inerte da cobertura é de natureza argilosa (DNPM, 1987). Contudo, devido ao dano ambiental causado, o uso de escavadeiras tipo “Dragline” foi proibido no Estado de Santa Catarina no ano de 2002.

Independente da forma de extração, a mineração de carvão gera uma quantidade enorme de rejeitos, que são depositados em pilhas ou barragens próximas às áreas mineradas. De cada 1000 kg de material minerado, aproximadamente 600 kg é composto por “rejeitos e estéreis” que são depositados no entorno da área minerada (NASCIMENTO et al., 2002). O principal problema associado a esses materiais é que normalmente com o carvão mineral ocorrem também depósitos de pirita e outros minerais sulfetados. Esses minerais, quando expostos ao oxigênio e umidade, oxidam-se facilmente, gerando, entre outros produtos, ácido sulfúrico, sendo este responsável pela chamada “drenagem ácida de mina” (DAM).

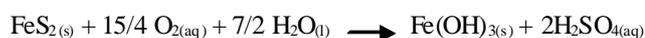
Para minimizar os problemas ambientais, após a mineração os rejeitos devem ser realocados no local de origem. No processo de reconstrução topográfica das áreas de mineração de carvão a céu aberto são utilizados o solo e as litologias sobrejacentes às camadas de carvão para a construção topográfica da paisagem. O subsolo e solo construídos devem ser de tal maneira a dar condições para desenvolvimento da nova vegetação (PINTO, 1997). Contudo, a operação de mineração tende a misturar material de várias partes da coluna geológica, determinando uma mistura do material ao acaso, esta é a razão do porque que as propriedades dos solos após mineração de carvão variam muito em escalas de distâncias menores do que o solo natural (SCHAFER, 1980).

Pinto (1997) afirma que os serviços de reabilitação devem seguir etapas sucessivas ao andamento da lavoura, com remoção inicial do solum no sentido do corte, e em seguida do regolito argiloso, armazenando-os em locais separados. Após a retirada do carvão, a cava deve ser preenchida com o resíduo piritoso e os fragmentos das rochas sobrejacentes, recobrimo-los com parte do regolito argiloso proveniente do corte adjacente. A última camada depositada será o solum estocado. Por fim, deve ser feita a drenagem do terreno e semeadura de espécies vegetais para a fixação do solo. Atualmente, essas etapas de reabilitação das áreas degradadas pela

mineração têm sido apresentadas ao DNPM em vários projetos de mineração e chamados de “plano de recuperação de área degradada”. Este plano sugere: 1) remoção do solum no sentido perpendicular ao corte, para estocagem em local pré - determinado; 2) retirada do regolito argiloso e camadas sobrejacentes ao carvão no sentido do espaço criado pelo corte para último recobrimento; 3) após a retirada do carvão, preenchimento da cava com o “estéril” piritoso e o arenito; 4) recobrimento do “estéril” reposto com parte do regolito argiloso proveniente do corte adjacente; 5) reposição do solum previamente estocado sobre o corte já preenchido e recoberto; 6) conformação e drenagem do terreno; 7) plantio e/ou semeadura de espécies vegetais para fixação do solo.

A oxidação dos materiais sulfetados

O principal impacto da atividade de mineração do carvão mineral é a drenagem ácida de mina. A pirita é reconhecida como o principal mineral responsável pela drenagem ácida, porém, esta pode também ser gerada por meio da oxidação de outros sulfetos, tais como a marcassita, esfarelita, arsenopirita e calcopirita (DAVIDSON et al., 1996; ORTIZ e TEIXEIRA, 2002). Segundo Nordstrom (1982), a oxidação da pirita é um processo complexo, no qual reações de oxirredução, hidrólise e formação de íons complexos, controle da solubilidade e efeito cinético estão envolvidas e variam com as características físicas, químicas e biológicas do solo de cada local. No mecanismo de oxidação inorgânica da pirita ocorrem oxidação e hidrólise, na qual há a perda de um elétron pelo Fe, 14 elétrons do enxofre e ganho de 7 ½ elétrons pelo oxigênio por mol de pirita, e é exemplificada pela reação a seguir:



De acordo com a reação, a pirita mais água, na presença de oxigênio, resulta em hidróxido férrico insolúvel e ácido sulfúrico. No entanto, grande parte do Fe (II), hidrogênio e íons sulfatos liberados durante a oxidação da pirita participam de várias outras reações no solo, tais como alteração na troca de cátions e no intemperismo de minerais. O Fe (II) é oxidado formando óxidos de Fe (III), além de participar da estrutura química da jarosita

{ $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ } e de argilominerais (VAN BREEMEN, 1982). Parte do sulfato ácido presente na solução do solo é removido pela lixiviação acompanhado de um cátion, principalmente Ca, Mg e Na, oriundos da fase trocável e do intemperismo de minerais (VANBREEMEN, 1982), resultando em perdas expressivas desses elementos. Assim, a drenagem ácida de minas intensifica o intemperismo dos minerais do sistema, sendo liberados na água, grande quantidade de ferro e alumínio dos minerais primários, além de outros metais.

Em $\text{pH} \leq 3,0$ o Fe (III) oxida a pirita muito mais rapidamente que o Fe (II) pode ser oxidado pelo oxigênio. Portanto, inicialmente a pirita é oxidada pelo oxigênio, produzindo ácido e diminuindo o pH que, por consequência, vai tornando mais solúvel o Fe (III), que age como agente oxidante (NORDSTROM, 1982). Contudo, a pirita pode reduzir Fe (III) até Fe (II) mais rapidamente que o Fe (II) pode ser regenerado para Fe (III) pelo oxigênio, o que resultaria na paralisação da reação. Porém, a existência de bactérias *Thiobacillus ferrooxidans* no ambiente, as quais usam enxofre elementar como fonte de energia, liberando ácido sulfúrico, e oxidando Fe (II) até Fe (III), realimentam o sistema, fornecendo Fe (III) para a oxidação da pirita. Assim, essas bactérias catalisam a reação, aumentando a razão de oxidação de 5 a 6 vezes em relação ao processo puramente inorgânico (NORDESTROM, 1982; CHI et al., 2006).

Um fator que acelera a oxidação química da pirita é a exposição do rejeito na superfície, porque o processo é aeróbio (MOSES et al., 1987). Desse modo, processos de construção de áreas mineradas a céu aberto que promovem expressiva contaminação das camadas superficiais com resíduos piritosos de carvão podem resultar em redução do pH.

A temperatura é outro fator que interfere nas reações da pirita no solo, pois afeta não só a atividade das bactérias do gênero *Thiobacillus* spp, mas também a razão de oxidação da pirita pelo oxigênio, sendo que um aumento de 10°C na temperatura duplica a velocidade da reação (NORDSTROM, 1982).

Por outro lado, várias técnicas têm sido utilizadas para tentar diminuir a drenagem ácida de mina. Alguns métodos são baseados na correção dos efeitos provocados pela DAM, enquanto outros se

baseiam na diminuição da oxidação da pirita. O principal método de tratamento dos locais atingidos é a adição de materiais de reação alcalina para corrigir a acidez. Porém, este tratamento não impede o processo de oxidação da pirita, apenas corrige a acidez já existente e, ainda, as quantidades de base necessárias para a correção são muito grandes. Por exemplo, Campos (2000) e Maçaneiro (2001) encontraram necessidades de calcário de mais de 100 toneladas de CaCO_3 por hectare (camada de 0-20 cm) em amostras de áreas de mineração no município de Lauro Müller, SC.

Para diminuir a oxidação da pirita, estratégias como a adição de bactericidas para eliminar *Thiobacillus* spp. ou o encapsulamento da pirita têm sido testadas (EVANGELOU, 2001). Alguns trabalhos têm mostrado que a aplicação de soluções contendo fósforo pode levar à diminuição da oxidação da pirita pela formação de um precipitado, o fosfato de ferro, que recobre o mineral, diminuindo sua reatividade. Além disso, há o consumo de Fe (III) no entorno das partículas de pirita, diminuindo a concentração do agente oxidante da reação (WALACE e WALACE, 1995; NYAVOR e EGIEBOR, 1995; EVANGELOU, 2001).

Alterações mineralógicas no solo provocadas pela drenagem ácida de mina

Após a oxidação da pirita, o sulfato remanescente na solução pode ser precipitado como jarosita, como sulfato de alumínio básico, ou ainda adsorvido, especialmente se o pH for baixo. Gesso e outros sulfatos solúveis podem ser formados, principalmente quando a evaporação exceder a precipitação (VAN BREEMEN, 1982). Quando a concentração de ácido sulfúrico é muito alta os aluminossilicatos tais como feldspatos, mica e esmectitas podem intemperizar rapidamente para alumita, jarosita, haloisita e silicatos amorfos (VAN BREEMEN, 1982; DIXON, 1982). Estes minerais tem sido observados como precipitados em águas de drenagem de minas, mas não são estáveis por mais do que uma estação do ano (NORDSTROM, 1982). A jarosita em solos com sulfato ácido é meta-estável e hidrolisa para ferrihidrita e goethita, frequentemente encontradas em rios e córregos (NORDSTROM, 1982; VAN BREEMEN, 1982).

Em condições de drenagem ácida em minas, os níveis de alumínio e ferro solúveis são controlados pelos sulfatos de Fe e Al (KARATHANASIS, 1988, VAN BREEMEN, 1982), ou pela schwertmannita ($\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_6\text{SO}_4$). Karathanasis et al. (1988) avaliaram a composição da solução do solo e das águas de superfície de várias áreas mineradas não reabilitadas ou parcialmente reabilitadas e observaram grandes concentrações de silício e alumínio, sugerindo extensiva intemperização de minerais aluminossilicatados provenientes da interação entre drenagem ácida e espólio/solo/sedimento.

Alterações químicas no solo provocadas pela drenagem ácida de mina

A acidez presente em solos após a mineração e reconstrução é geralmente atribuída à oxidação da pirita em seu processo de intemperização, sendo que quatro moles de H^+ podem ser produzidos pela oxidação completa de 1 mol de pirita (CARSON, 1982). Segundo Daniels (1996), o pH pode diminuir de 7,5 para valores menores do que 3,0 em alguns meses. A diminuição do pH afeta o crescimento vegetal devido à presença de metais pesados como ferro, alumínio e manganês, fixação de fósforo e redução da população edáfica de bactérias fixadoras de nitrogênio.

A oxidação da pirita produz grande quantidade de sais solúveis. Solos de minas com concentrações de sais solúveis extraíveis em água maiores que $0,4 \text{ Sm}^{-1}$ são considerados tóxicos para as plantas e podem inibir a absorção de água e de nutrientes. Cabe ressaltar que culturas sensíveis às concentrações de sais podem ser afetadas por condutividades elétricas de $0,1 \text{ Sm}^{-1}$ ou menores (DANIELS, 1996). Campos et al. (2003), trabalhando com solos construídos pós-mineração de carvão na região de Lauro Müller-SC, encontrou valores de condutividade elétrica que variaram de $0,01$ a $2,5 \text{ S m}^{-1}$ na profundidade de 20 cm em uma mesma área.

Em solos de minas, os sulfatos combinam-se com cálcio, magnésio e outros metais, formando sais solúveis, enquanto o potássio precipita na forma de jarosita (BARNHISEL et al., 1982), o que pode levar a deficiência nas plantas destes cátions essenciais (DANIELS, 1996). Assim, os níveis de Ca, Mg e K, apresentados nas análises de solo nem sempre

correlacionam-se com a absorção e performance da comunidade vegetal em solos de mina. Este fato, juntamente com a extrema variabilidade do tipo de rocha material de origem do solo e solubilidade de seus minerais, dificulta as recomendações de doses de fertilizantes (DANIELS, 1994). Bonumá (2006), trabalhando com solos contaminados com doses crescentes de estéril de carvão, observou que para as maiores doses de estéril, mesmo após aplicação de calcário, as concentrações de sulfato, Ca, Mg e K permaneceram altas no lixiviado, indicando uma alta liberação desses elementos para as águas de drenagem.

Os baixos teores de fósforo podem dificultar a revegetação das áreas reconstruídas (GRUBE et al., 1982). A disponibilidade de P diminui devido a dois fatores: 1) os materiais geológicos são geralmente pobres em P disponível e 2) os solos de mina intemperizam e oxidam, tornando-se enriquecidos em óxidos de Fe, os quais adsorvem especificamente o fósforo, tornando-o indisponível para as plantas (DANIELS, 1996).

Ainda, como resultado da larga variação nos valores de pH encontrado nestes solos, a zona de crescimento das raízes pode conter níveis tóxicos de Al, Cu, Ni, Zn, Mn, Fe, Al, e S (BARNHISEL et al., 1982; DANIELS, 1996; REDDY et al., 1995; BUSSLER et al., 1984; WEIXING et al., 1994), e deficiência de Mo e B (BARNHISEL et al., 1982).

Alterações físicas no solo provocadas pela mineração de carvão

As propriedades físicas dos solos construídos são condicionadas pelo material utilizado e pelo processo de construção (KÄMPF et al., 1997). As limitações físicas resultantes dos processos de construção de áreas mineradas com carvão a céu aberto incluem estrutura fraca, baixa permeabilidade da camada superficial à água devido ao encrustamento superficial e baixa capacidade de retenção de água (PICHTEL, 1994). A construção do solo resulta em sérias modificações nos atributos morfológicos e físicos, e por consequência um inadequado desenvolvimento da vegetação, perdas excessivas de solo por erosão, assoreamento e contaminação dos cursos hídricos (NUNES, 2002).

A densidade do solo em áreas reconstruídas é

geralmente maior que a de solos naturais por causa da compactação, da estrutura fraca e do alto conteúdo de fragmentos de rochas (SKOUSEN et al., 1998; BUSSLER et al., 1984). Além disso, segundo Skousen et al. (1998), a capacidade de retenção de água é geralmente menor que a de solos naturais, por causa do predomínio de frações mais grosseiras e da menor quantidade de matéria orgânica. Daniels (1994) encontrou valores de densidade maiores que $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ em alguns solos de minas devido ao intenso tráfego de máquinas.

Roberts et al. (1988) avaliaram os estágios iniciais de gênese do solo afetado pelo tipo de solo superficial e pela adição de amenizantes orgânicos, como lodo de esgoto. As propriedades morfológicas e químicas mudaram nos primeiros três anos, pois importantes processos como oxidação, dissolução, lixiviação e acúmulo de matéria orgânica rapidamente alteraram aqueles solos jovens de minas, principalmente em superfície. Outra observação feita pelos autores é o desenvolvimento de um horizonte A bem estruturado e distinta transição entre horizontes AC e C1, resultado do incremento de matéria orgânica e crescimento radicular. Lunardi Neto et al. (2008) avaliaram algumas propriedades físicas do solo após aplicação de calcário, Dregs (resíduo da indústria de papel e celulose) e cama de aves, e o cultivo de *Brachiaria brizantha*. A adubação orgânica e o uso de *Brachiaria brizantha* aumentaram a estabilidade dos agregados e a água prontamente disponível, favorecendo a recuperação da qualidade física do solo degradado. Gonçalves (2002) avaliou o efeito das plantas de cobertura nos atributos físicos do solo após três anos de implantações de experimento e concluiu que o efeito ainda era incipiente. Muitas propriedades dos solos de minas, tais como a condutividade elétrica, a estrutura e o conteúdo de carbono na superfície podem levar mais de dez anos para se aproximarem aos níveis encontrados em solos não minerados. Todavia, outras propriedades como textura, cor do horizonte C, conteúdo de fragmentos e profundidade do solo até a rocha permanecem diferentes das do solo natural (SCHAFER et al., 1980).

As características químicas, físicas e morfológicas dos solos construídos após mineração de carvão dependem da variabilidade herdada dos

materiais geológicos e dos diferentes processos construtivos, determinando a espessura e o grau de compactação das camadas, bem como diferente disposição dos materiais, aos quais os processos pedogênicos irão se sobrepor (KÄMPF et al., 1997). As operações de mineração a céu aberto tendem a misturar materiais de várias partes da coluna geológica. Essa é a razão por que as propriedades dos solos construídos após mineração de carvão possuem alta variabilidade espacial (SCHAFER et al., 1980), determinando que em cada local se faça um estudo específico (CAMPOS et al., 2003; MAÇANEIRO, 2001). A recuperação das áreas impactadas pela mineração do carvão passa primariamente pelo restabelecimento das funções ecológicas do solo, ou seja, pela mitigação dos problemas químicos e físicos dos solos construídos após a mineração de carvão.

CONCLUSÕES

O carvão mineral é uma fonte de energia importante para a matriz energética brasileira e, em Santa Catarina, é uma das principais atividades da região sul do Estado.

No Estado de Santa Catarina, embora sejam bem conhecidos os efeitos ambientais desastrosos da deposição de resíduos do carvão sobre a superfície do solo, informações sobre a poluição do ar atmosférico e dos mananciais hídricos são praticamente inexistentes acerca das características dos solos construídos após a mineração de carvão a céu aberto. Sérias restrições ao estabelecimento de espécies florestais e de gramíneas têm sido observadas em muitas áreas construídas, que resultam em permanência de grande parte do solo desnudo, favorecendo a erosão hídrica e o assoreamento de mananciais hídricos.

A construção topográfica da área de mineração de carvão utilizando o material presente acima do carvão (solo e rocha), previamente separados e estocados antes da mineração, pode garantir pelo menos o estabelecimento de espécies vegetais, o que minimizaria a erosão e o assoreamento dos recursos hídricos. Entretanto, mesmo após sofrerem as práticas correntes de construção e reabilitação, os solos de minas podem manter características físicas adversas como, baixa

infiltração e capacidade de armazenamento de água, susceptibilidade a compactação e camadas de impedimento ao crescimento de raízes. A escolha de métodos de lavra adequado, a construção topográfica da área, a mitigação dos principais problemas químicos que possam impedir o sucesso da reabilitação, associada ao monitoramento são as ferramentas que garantirão a minimização do impacto ambiental proporcionado pela atividade mineradora em Santa Catarina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CARVÃO MINERAL. **O futuro da energia: carvão como matéria-prima**. Newsletter ABCM, v.4, n.157, 2007. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/informativos/2008.shtml>> Acesso em: 03 mai. 2008.
- BARNHISEL, R.I. et al. Characteristics and reclamation of acid sulfate mine spoil. In: KITTRICK, J.A. et al. **Acid sulfate weathering**. Madison: Soil Science Society America, 1982. p.37-56.
- BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Perfil analítico do carvão**. 2.ed. Porto Alegre, 1987. 140p. Boletim Técnico 6.
- BONUMÁ, A. S. **Acidez e calagem em solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota/RS**. 2006. 76p. Dissertação (Mestrado em Solos) – Curso de Pós-graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas.
- BUSSLER, B.H. et al. Properties of mine soil reclaimed for forest land use. **Soil Science Society of America Journal**, Madison. v.48, p.178-184, 1984.
- CAMPOS, M.L. **Caracterização de três áreas de solo construídos após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, Santa Catarina**. 2000 p. 101. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade do Estado de Santa Catarina.
- CAMPOS, M.L. et al. Avaliação de três áreas de solo construídos após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 1123-1137, 2003.
- CARSON, C.D. et al. Alfisols and Ultisols with acid sulfate weathering features em Texas . In : KITTRICK, J. A. et al. **Acid sulfate weathering**. Madison: SSSA Special Publication, 1982. n.10. p.127-145.
- CHI, R. et al. Bioleaching of phosphorus from rock phosphate containing pyrites by *Acidithiobacillus ferrooxidans*. **Minerals Engineering**, Oxford, v.19, p. 979-98, 2006.
- DANIELS, W.L. **Manipulating the chemical properties of soil and mining wastes**. In: ALVAREZ V.H. et al. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, 1996. p. 869 – 897.
- DAVIDSON, R.L. Trace elements in fly ash- dependence of concentration on particle size. **Environmental Science Technology**, Easton, v.8, p. 1107-1113, 1996.
- DIXON, J.B. et al. **Mineralogical properties of lignite overburden as they relate to mine spoil reclamation**. In: KITTRICK, J.A.; FANNING, D.S.; HOSSNER, L.R. (ed.) *Acid sulfate weathering*. Madison, Soil Science Society America, 1982. p.169-192.
- EVANGELOU, V.P. Pyrite microencapsulation technologies: Principles and potential field application. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 17, p. 165-178, 2001.
- GONÇALVES, F. C. **Efeito de plantas de cobertura sobre os atributos físicos de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota-RS após três anos**. 2008. 91p. Dissertação (Mestrado em Solos) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- GRUBE Jr., W. E. et al. Mineralogical alterations that affect pedogenesis in mine soils from bituminous coal overburdens . In : KITTRICK, J. A. et al. **Acid sulfate weathering**. Madison: SSSA Special Publication, 1982. n.10, p.209-224.
- KÄMPF, N. et al. Propriedades pedogênese e classificação de solos construídos em áreas de mineração na Bacia Carbonífera do Baixo Jacuí. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 165-178, 1997.
- KARATHANASIS, A.D. et al. Aluminum and iron equilibria in soil solutions and surface waters of acid mine watersheds. **Journal Environmental Quality**, v. 17, p. 534-543, 1988.
- LUNARDI NETO, A. et al. Atributos físicos do solo em áreas de mineração de carvão influenciados pela

- correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.32, p. 1379-1388, 2008.
- MAÇANEIRO, K.C. **Efeito da calagem e da adubação orgânica no estabelecimento de gramíneas em áreas de solo construído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, Santa Catarina**. 2001. 66p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **Critérios para recuperação ou reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão**. 2007. 15 p.
- MOSES, C.O. et al. Aqueous pyrite oxidation by dissolved oxygen and by ferric iron. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, London, v.51, p. 1561-1571, 1987.
- NASCIMENTO, F.M.F. et al. Impactos ambientais nos recursos hídricos da exploração de carvão em Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MINA A CÉU ABERTO, 1.; CONGRESSO BRASILEIRO DE MINA SUBTERRÂNEA, 2., Belo Horizonte, 2002. **Resumos...** Belo Horizonte, 2002.
- NYAVOR, K.; EGIEBOR, N.O. Control of pyrite oxidation by phosphate coating. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.162, p. 225-237, 1995.
- NUNES, M.C.D. **Condições físicas de solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota – RS**. 2002, 131p. Dissertação (Mestrado em Solos) Curso de Pós-graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas.
- NORDSTROM, D.K. Aqueous pyrite oxidation and the consequent formation of secondary iron mineral. In: KITTRICK, J. A. et al. **Acid sulfate weathering**. Madison, Soil Science Society America, 1982. p.37-56.
- ORTIZ, L.; TEIXEIRA, E.C. Influência das atividades de processamento do carvão sobre a qualidade dos recursos hídricos superficiais. In: TEIXEIRA, E.C.; PIRES, M.J.R. **Meio ambiente e carvão: impactos da exploração e utilização**. FEPAM, Porto Alegre, RG. 2002. 498p.
- PINTO, L.F.S. **Potencial de acidificação e de neutralização dos materiais geológicos para a composição do solo construído em áreas de mineração de carvão**. 1997. 186p. (Tese de Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- PITCHEL, J.R. et al. Comparison amendments and management practices for long-term reclamation of abandoned mine lands. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 23, p. 766-772, 1994.
- REDDY, K.J. et al. Solubility and mobility of copper, zinc and lead in acidic environments. **Plant and Soil**, The Hague, n.171, p. 53-58, 1995.
- ROBERTS, J.A. et al. Early stages of mines soil genesis in Southwest Virginia spoil lithosequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p.716-723, 1988.
- SANCHEZ, J.C.D.; FORMOSO, M.L.L. **Utilização do carvão e meio ambiente**. Porto Alegre: CIENTEC, 1990. 34 p.
- SCHAFER, W.M. et al. Minesoil genesis and morphology in a spoil chronosequence in Montana. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p. 802-807, 1980.
- SKOUSEN J. et al. **A handbook of technologies for avoidance and remediation of acid mine drainage**. Morgantown: National Mine Land Reclamation Center, 1998. p.131.
- SOUZA, L. S. **Variabilidade do solo em sistemas de manejo**. 1992. p. 162. (Tese de Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- WALLACE, A.; WALLACE, G. A. Factors influencing oxidation of iron pyrite in soil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.15, p. 1579-1582, 1992.
- WEIXING, G. et al. The role of thermal convection in resupplying O₂ to strip coal–mine spoil. **Soil Science**. Baltimore, v.158, p.47-55, 1994.
- VAN BREEMEN, N. Genesis, morphology, and classification of acid sulfate soil in coast plains. In: KITTRICK, J. A. et al. **Acid sulfate weathering**. Madison: SSSA Special Publication, 1982. n. 10, p.37-56.